

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

*Посвящается Дню белорусской науки,
165-летию лесотехнического образования Беларуси,
60-летию организации научно-исследовательской части БГТУ,
190-летию со дня рождения Д.И. Менделеева*



**ЛЕСНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ,
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ДИЗАЙН**

**Материалы докладов 88-й научно-технической конференции
с международным участием**

29 января – 16 февраля 2024 года

Минск 2024

УДК [630*3+674]: 005.745(06) (07.03.44)

Лесная инженерия, материаловедение и дизайн : материалы 88-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 29 января – 16 февраля 2024 г. [Электронный ресурс] / Белорус. гос. технол. ун-т ; отв. за изд. И. В. Войтов. – Минск : БГТУ, 2024. – 358 с. ISBN 978-985-897-175-5.

Сборник включает результаты научных исследований, выполненных профессорско-преподавательским составом, сотрудниками и аспирантами факультета лесной инженерии, материаловедения и дизайна, а также других ВУЗов, организаций и ведомств.

К открытой печати предлагаются материалы, которые направлены на решение актуальных теоретических и прикладных задач проектирования и эксплуатации лесозаготовительного оборудования и лесных машин. Рассмотрены научно-исследовательские работы, включающие разработку высокоэффективных ресурсосберегающих технологий лесозаготовок и деревообработки, а также позволяющие усовершенствовать конструкции и способы строительства лесных автомобильных дорог. В ряде представленных работ авторами освещены вопросы общетехнического характера, направленные на разрешение отраслевых проблем. Достаточно полно нашло отражение проблем применения нового дереворежущего инструмента, конкурентоспособных материалов и композитов, направления рационального и комплексного их использования.

В целом результаты проведенных научных исследований свидетельствуют, что представленные разработки прошли производственную апробацию, а это позволяет сделать вывод о их полезности специалистам практикам лесной и деревообрабатывающей промышленности, а также лесного машиностроения и станкостроения, проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог.

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

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

ISBN 978-985-897-175-5

© УО «Белорусский государственный
технологический университет», 2024

УДК 383.33 В.Н. Крылов, зам. директора Инновационного центра
инжиниринга, канд. техн. наук; А.А. Борозна, доц., канд. техн. наук;
С.Е. Суконкин, инж. Инновационного центра инжиниринга;
Н.А. Грязнов, магистр (ФГБОУ ВПО «СПбГЛТУ им. С.М. Кирова», РФ)

ИННОВАЦИОННЫЕ МАЛОТОННАЖНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ НИЗКОЛИКВИДНОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Инновационная технология сама по себе является инвестицией, финансирование здесь имеет второстепенную роль. В области глубокой переработке древесины важно, чтобы предметами её являлось избыточное неликвидное сырье или отходы глубокой переработки древесины (лесопиление либо деревообработка). За год образуется порядка 60 млн м³ лесосечных отходов (фаутные гнилые сортименты, вершины, сучья, древесная зелень), около 40 млн м³ лесопильных отходов (кусковые, горбыль, щепка, опилки и кора), отходы глубокой деревообработки в объеме около 8 млн м³ (кусковые, шпон рванина, «карандаши», стружка, пыль) и кора около 16 млн м³. Всего – 132 млн м³, из них используется для производства древесных топливных гранул и брикетов порядка 10 млн м³ и для получения тепловой энергии используется в качестве топлива кора, опилки и стружки в объеме около 12 млн м³, то есть не используется около 110 млн м³. Низкая рентабельность отраслей лесного бизнеса (лесозаготовка – 2%, лесопиление – 4-6%, производство целлюлозы производство – 10%) объясняется не использованием образующихся отходов, на себестоимость образования которых уходит практически 50% затрат.

Крошки от разрезанного хлеба остаются хлебом, а в нашем расточительном лесном бизнесе «вышеперечисленные отходы» могут являться более ценным сырьем, чем высококачественное древесное сырье (фан кряж, пиловочник и др.) и непосредственная продукция первичной обработки древесины (пиломатериалы, фанеры и т.п.).

В настоящее время выделены четыре основные технологии малотоннажных производств: переработка древесной зелени, производство древесного угля непрерывным пиролизом, производство экструзивной термомеханической массы (механической целлюлозы), производство OSB и МДФ. Основными критериями целесообразности строительства малотоннажных заводов, помимо избыточности используемого древесного сырья, безотходности, высокой экологической безопасности, низких первоначальных инвестиций и высокой рентабельности товарной продукции, являются высокий спрос на новую товарную продукцию и предоставление рабочих мест в лесных поселках с малым и средним лесным бизнесом.

Особое внимание заслуживает возможность «спасения» действующих в России 276-ти пеллетных заводов с переориентацией на

выпуск новой востребованной продукции и сохранением работающего производства, непосредственно пеллет.

Для высокорентабельного использования лесосечных отходов существуют две технологии:

- Производство порошкового древесного угля непрерывным пиролизом непосредственно на лесосеке или на близлежащих территориях к лесосеке;
- Переработка древесной зелени на нижних поселковых складах.

На сегодня существуют работающие головные образцы мобильных установок непрерывного пиролиза (УНП) сырых лесосечных отходов оборудования российского, белорусского и китайского производства. Подробная информация находится на сайте timberbusiness.ru. Это же оборудование можно и нужно использовать на остановленных или частично работающих российских пеллетных заводах. Угольный завод может являться частью модернизированного пеллетного завода. Для этого на технологическую линию пеллетного завода дополнительно устанавливаются: трубный реактор непрерывного пиролиза, трубный реактор для производства активированного угля, оборудование брикетирования, оборудование для упаковки готовой угольной продукции. Непосредственно модернизацию можно выполнить в течение двух месяцев. «На выходе» можно получить широкий спектр товарной продукции: порошок или брикетированный древесный уголь; гранулы биочар (удобрение и кормовая добавка для сельского хозяйства); угольные пеллеты; активированный уголь.

Ценовой коридор реализации этой продукции начинается от 20 тыс. руб. и достигает 600 тыс. руб. за тонну. Количество потребителей по видам использования этих различных форм древесного угля представлено 26 отраслями промышленного производства (сельское хозяйство, металлургия, химическое производство, ВПК, пищевая промышленность, различные виды водных и газовых фильтров, производство кремния для полупроводников т. д и т.п.). Инновационный Центр инжиниринга совместно с создаваемым в России Угольным союзом окажет необходимую помощь в маркетинге и выборе покупателю. И ещё несколько аргументов в пользу необходимости развития данного производства. В 2020 году мировой рынок производства угля достиг 54 млн тонн с предшествующим ежегодным ростом в течении пяти лет 600-800 тыс. тонн. В России официально производится только 85 тыс. тонн угля, но при этом серый рынок производства угля составляет около 300 тыс. тонн (для приготовления пищи, например, шашлыка и т.п.). Особо стоит отметить, что потребности в активированном угле в России в 2020 году на 75% были обеспечены за счет импортных закупок. В РФ всего 13 заводов выпускают активирован-

ный уголь. В СССР в каждом леспромхозе на каждом складе оборудования применялись мобильные ретортные установки производства древесного угля периодическим способом с длительным получением его доходящего до 3-ех суток (подготовка к пиролизу, пиролиз, охлаждение). Поэтому производительности одной ретортной установки составляла около 50 тонн в год. На современных установках непрерывного пиролиза 50 тонн можно произвести за 2-5 суток.

В итоге, можно утверждать, что предлагаемые малотоннажные заводы крайне необходимы и способствуют действенной и быстрой очистке лесосек и нижних складов от отходов лесопиления и деревообработки, с получением высокорентабельной товарной продукции.

Другой технологией использования лесосечных отходов должна быть технология переработки древесной зелени. До перестройки в крупных леспромхозах обязательно работали цеха переработки древесной зелени и производства древесного угля.

Сейчас работают пять заводов глубокой переработки древесной зелени и около двух десятков «пихтоварен» (производство пихтового масла). Также в каждом леспромхозе, совхозе и колхозе, расположенных в СССР, находились установки получения хвойной витаминной муки с целью предотвращения и снижения заболеваемости в животноводстве и птицеводстве. Применение хвойной витаминной муки и специальных кормовых добавок из неё давало ощутимый привес в производстве мяса, молока и яиц. Ещё одно замечательное свойство – профилактика и снижение заболеваемости животных.

Общеизвестно, что на 1 м³ товарной продукции, например, сухих пиломатериалов или изделий из них, количества отходов на 1 м³ готовой продукции составляет 120% - 130% (включая отходы лесозаготовок и отхода окорки). Лесосечные отходы практически не убираются, поскольку отвозить их некуда из-за применяемых технологий их переработки. В итоге, мы получаем случайные негативные факторы – пожары, которые происходят на лесосеках из-за их захламлённости. Также, на лесорубочных остатках происходит массовое размножение энтофито вредителей, вред от которых при благоприятных условиях перерастает в пандемию и распространяется на окружающую лесосеку со здоровыми деревьями, что приводит к их усыханию. И главный отрицательный фактор – невозможность проведения качественного лесовосстановления и уходов за лесными культурами. В СССР средняя приживаемость культур составляла 82-85%, а в настоящее время 52%.

Следовательно, необходимость возобновления практики строительства цехов по переработке низкокачественной древесины, лесосечных отходов и отходов деревопереработки остается актуальной.

Подсекция ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

УДК 630*36:621.9

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

МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСОВ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Предлагаемая методика состоит из следующих структурных блоков, реализованных в авторских компьютерных математических моделях.

1. Блок условий эксплуатации. В него вносятся данные о типологических и физико-механических свойствах почвогрунтов, макро- и микрорельефе местности, таксационных характеристиках древостоев. Результатом работы блока являются матрицы показателей названных условий эксплуатации: породы и возраста деревьев, таксационного диаметра, класса бонитета, полноты, диаметров сучьев и их распределения по стволам, распределения стволов по лесосеке, показателей несущей способности грунтов и высотных отметок размещенных на участках лесосек по заданным законам распределения.

2. Блок общего моделирования технологического процесса. Исходными данными для него являются результаты работы блока условий эксплуатации, технологические и лесохозяйственные требования к работе машин. Результат работы блока – выбор базовой технологии и типов машин для ее реализации. Базовые технологии разработки лесосек комплексами многооперационных лесозаготовительных машин разработаны под руководством автора в 2021–2023 гг. по заданию отраслевой научно-технической программы Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь «Сохранение устойчивого развития лесов с учетом изменения климата»;

3. Блок моделирования технологических операций. Основан на авторских математических моделях многооперационных лесозаготовительных машин. С его помощью устанавливаются: время проведения отдельных и совмещенных операций, затраченная на их реализацию энергия и выполненная полезная работа, динамические нагрузки в звеньях и узлах машин. Математические модели позволяют варьировать тип машины (харвестер, форвардер, рубильная машина, комбинированные машины на их основе), а также параметры конструкции: шасси, технологическое оборудование и рабочие органы. К при-

меру, для манипулятора это: кинематическая схема, грузоподъемность, поворотный момент и вылет манипулятора, массово-геометрические характеристики его отдельных звеньев, расположение и параметры исполнительных звеньев гидропривода, гидравлическая схема их питания (в том числе характеристики секций гидрораспределителя и гидронасосов) и др. Для харвестерных головок помимо параметров привода их исполнительных механизмов устанавливаются массово-геометрические параметры в целом, гидравлические и механические характеристики гидромоторов с вальцами (гусеницами) протяжки, геометрические параметры сучкорезных ножей, параметры контакта ствола дерева с несущей конструкцией, вальцами и сучкорезными ножами, параметры пильного механизма. Ввиду быстротечности процесса срезания сучьев с деревьев, существенной продолжительности моделирования такого процесса и высоких требований к аппаратной части компьютера данные, необходимые для работы подмодели харвестерной головки были получены предварительно методами конечно-элементного моделирования с последующей их проверкой в натуральных экспериментах. Полученные результаты внесены в подмодель в виде эмпирических зависимостей.

Для базовых шасси варьируемыми параметрами, помимо массово-геометрических характеристик отдельных узлов и агрегатов и их пространственного расположения на несущей конструкции, явились: колесная формула и упруго-демпфирующие характеристики двигателя, характеристики взаимодействия двигателя с лесными почвогрунтами, пространственное расположение мест установки технологического оборудования, упругие и демпфирующие свойства элементов несущей конструкции, пространственное положение оператора, параметры поддрессоривания его рабочего места и др.

4. *Блок анализа эксплуатационных свойств* работает параллельно с блоком моделирования технологических операций и при недостаточности определенных эксплуатационных свойств корректирует работу блоков общего моделирования технологического процесса и моделирования технологических операций. К примеру, ограничивает вылет манипулятора при недостаточной устойчивости машины и изменяет в соответствии с этим ширину полупасек и количество технологических коридоров.

5. *Блок оценки ресурса конструкции.* Здесь используются данные о динамических нагрузках в отдельных звеньях и узлах машин, получаемые из блока моделирования технологических операций. В нем предусмотрена реализация двух подходов к оценке ресурса. Оба основаны на предварительной схематизации процесса нагружения. Подход № 1 предоставляет большую точность оценки, но является бо-

лее трудоемким и может использоваться только при наличии трехмерной модели оцениваемой конструкции. При нем выполняется моделирование напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкции под действием исходной последовательности нагрузок, оценивается ресурс конструкции в виде количества циклов заданной схемы нагружения до потери прочности или до критического износа, требующего ремонта. Найденное количество циклов нагружения интерпретируется в величину продолжительности безотказной работы и в дальнейшем используется при оценке эффективности комплекса лесозаготовительных машин в виде коэффициента готовности.

Второй подход основан на прогнозе ресурса анализируемой конструкции в сравнении с оценкой степени повреждаемости подобной опытной конструкций. Такой подход более приемлем при необходимости проведения расчетов с большой выборкой начальных условий эксплуатации и сравнения разнообразных технологий, а также при многочисленных вариантах конструкций машин. Как правило такая оценка выполняется на начальном этапе анализа.

6. Блок данных о квалификации оператора. Эффективность эксплуатации лесозаготовительных машин значительно зависит от подготовки и опыта оператора, его психоэмоционального состояния, утомляемости и т.д. На протяжении 2021–2023 гг. на кафедре ЛМДиТЛП проводился сбор и анализ данных о 157 операторах многооперационных машин. Полученные данные позволили установить влияние возраста, стажа, условий работы, ее непрерывной продолжительности и времени суток на способность отдельных групп операторов реализовывать ряд приемов и способов выполнения операций, а также долговременно поддерживать определенный технический уровень их исполнения;

7. В блоке оценки эффективности и прогнозирования. На основе данных, полученных из предыдущих блоков, с использованием изложенного ниже критерия выполняется оценка эффективности комплекса лесозаготовительных машин в заданных природно-производственных условиях эксплуатации. Также возможен анализ для группы условий или в изменяющихся условиях. При этом работа предыдущих блоков повторяется необходимое количество раз с разными начальными условиями, после чего выполняется оценка эффективности для всей группы с учетом вероятности эксплуатации машин в них. Реализация блоков в виде математических моделей и созданных на их основе компьютерных программ позволяет прогнозировать влияние параметров конструкций машин на их эксплуатационную эффективность при различных природно-производственных условиях и технологиях проведения лесозаготовительных работ.

**АНАЛИТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЗАГОТОВКИ
ДРЕВЕСИНЫ КОМПЛЕКСАМИ МАШИН
«ХАРВЕСТЕР – ФОРВАРДЕР»**

Перемещение харвестера по лесосекам может происходить как по уже сформированным технологическим коридорам, так и при их непосредственном прорубании в процессе работы. Для обоих случаев в модели приняты следующие допущения:

- траектории передвижения харвестера криволинейны, но равноудалены от криволинейных границ соответствующих пасек;
- по окончании разработки каждой пасеки харвестер перемещается на следующую путем переезда по кратчайшей возможной траектории без возвращения по пройденному пути.

Минимальный общий путь $l_{двХ}$, проходимый харвестером для освоения всей лесосеки и общее количество технологических стоянок $n_{тсХ}$ определяется выражениями:

$$l_{двХ} = \frac{a_l}{2l_{рабХ}} (b_l - 2l_{рабХ}) + a_l, \quad (1)$$

$$n_{тсХ} = \frac{l_{двХ}}{l_{перХ}}, \quad (2)$$

где $l_{перХ}$ – расстояние между технологическими стоянками харвестера.

Участки лесосеки, обрабатываемые харвестером на каждой технологической стоянке (рисунок 1) математически ограничиваются осью абсцисс и функциями:

$$f_1(x) = \sqrt{l_{рабХ}^2 - x^2}; \quad f_2(x) = \sqrt{l_{рабХ}^2 - x^2} - l_{перХ}, \quad (3)$$

где $f_1(x)$ – функция рабочего вылета манипулятора, м; $f_2(x)$ – функция, ограничивающая участок, который разработан харвестером с предыдущей технологической стоянки, м; x – координата по оси OX положения точки подвеса рабочего органа манипулятора в системе координат OXY (Рисунок 1) и началом координат O , находящимся на оси поворота манипулятора, м.

В исследованиях отечественных и зарубежных ученых вопросы определения площадей участков, разрабатываемых манипуляторными лесозаготовительными машинами с одной технологической стоянки,

рассматривались неоднократно. Однако комплексное аналитическое моделирование таких процессов ранее не производилось.

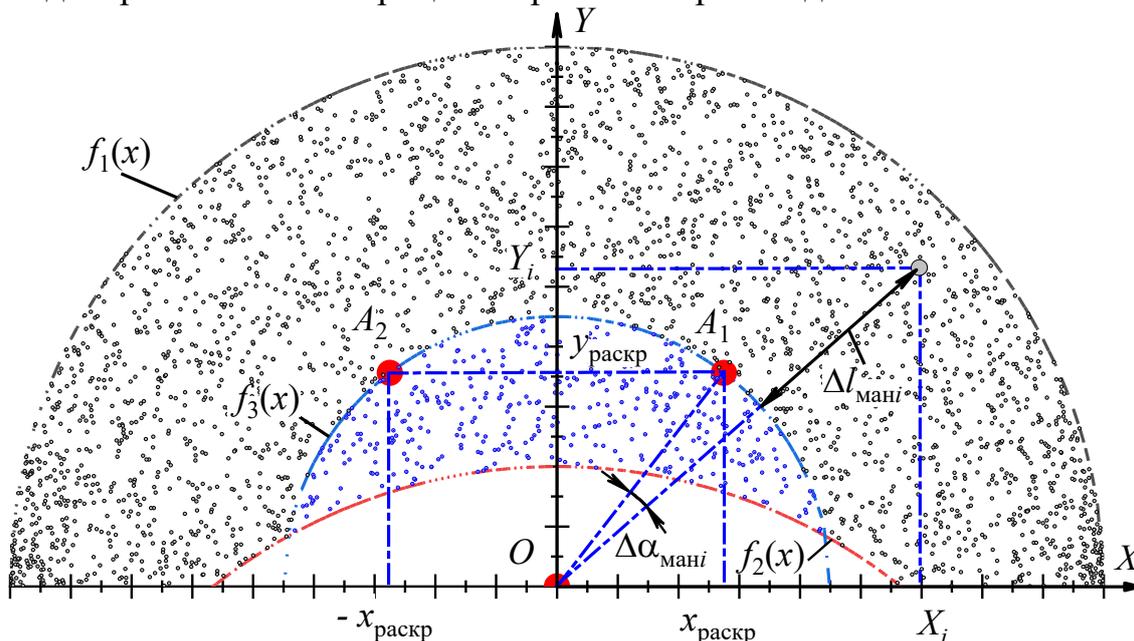


Рисунок 1 – Схема участка лесосеки обрабатываемого харвестером при концентрации всех стволов лесосеки на одном участке

Площадь $S_{обр}$, которая разрабатывается харвестером с одной технологической стоянки определяется выражением:

$$S_{обр} = \int_{-l_{раб}}^{l_{раб}} f_1(x) - f_2(x) dx - \int_{-\frac{b_{кор}}{2}}^{\frac{b_{кор}}{2}} f_1(x) - f_2(x) dx, \quad (4)$$

где $b_{кор}$ – ширина ранее проложенного технологического коридора при его наличии, м

Координаты положения мест обрезки сучьев и раскряжевки стволов на сортименты в модели определяются точками A_1 и A_2 пересечения функции $f_3(x)$ вылета манипулятора, на котором производится раскряжевка с функциями боковых границ за которыми производится пакетирование сортиментов справа и слева от продольной оси соответственно:

$$f_3(x) = \sqrt{l_{раскр}^2 - x^2}; \quad x = x_{раскр}; x = -x_{раскр}, \quad (5)$$

где $l_{раскр}$ – вылет манипулятора, на котором производится раскряжевка, м;

$x_{раскр}$ – координата x продольной границы за которой производится пакетирование лесоматериалов, м.

В процессе исследований для природно-производственных условий и реализуемых технологических процессов выделено 3 типо-

вых варианта размещения продольных границ $x_{\text{раскр}}$ (Рисунок 1). В первом случае (Рисунок 2, а) валка деревьев производится вдоль продольной оси движения харвестера, что удобно в зимнее время или при работе в низкополнотных древостоях. При таком технологическом процессе лесоматериалы и порубочные остатки располагаются технологического коридора справа и слева от харвестера, на минимальном расстоянии $x_{\text{раскр}}$, м:

$$x_{\text{раскр}} = \begin{cases} \frac{b_{\text{ГПДф}}}{2}, & \text{если } \frac{b_{\text{ГПДф}}}{2} \geq \frac{b_{\text{ГПДх}} + D_{\text{кр}}}{2} \\ \frac{b_{\text{ГПДх}} + D_{\text{кр}}}{2}, & \text{если } \frac{b_{\text{ГПДф}}}{2} < \frac{b_{\text{ГПДх}} + D_{\text{кр}}}{2} \end{cases} \quad (6)$$

где $b_{\text{ГПДф}}$ – габаритная полоса движения форвардера на заданном участке, связанная с габаритной шириной форвардера $b_{\text{ф}}$ (м) зависимостями, изложенными в, м; $b_{\text{ГПДх}}$ – габаритная полоса движения харвестера на заданном участке, м; $D_{\text{кр}}$ – диаметр кроны обрабатываемых деревьев, м.

Типовая схема размещения сортиментов и порубочных остатков на лесосеке, представленная на Рисунок 2 б, должна использоваться при необходимости укрепления волока порубочными остатками на грунтах с низкой несущей способностью. При этом валка дерева осуществляется перпендикулярно продольной оси волока, порубочные остатки, получаемые при обрезке сучьев, размещаются на технологическом коридоре, а сортименты – слева и справа от него. Тогда:

$$x_{\text{раскр}} = \begin{cases} \frac{b_{\text{ГПДх}}}{2}, & \text{если } \frac{b_{\text{ГПДх}}}{2} \geq \frac{b_{\text{ГПДф}}}{2} \\ \frac{b_{\text{ГПДф}}}{2}, & \text{если } \frac{b_{\text{ГПДх}}}{2} < \frac{b_{\text{ГПДф}}}{2} \end{cases} \quad (7)$$

При необходимости сохранения порубочных остатков для последующего сбора и переработки, удобно формировать из них валы по сторонам технологического коридора, как показано на рисунке 2 в. При этом граница $x_{\text{раскр}}$ определяется зависимостью:

$$x_{\text{раскр}} = \frac{b_{\text{ГПДх}}}{2} + b_{\text{вал}} + l_{\text{хг}}, \quad (8)$$

где $l_{\text{хг}}$ – габаритная длина харвестерной головки, м; $b_{\text{вал}}$ – допустимая ширина вала порубочных остатков, м.

Координата $y_{\text{раскр}}$, м положения места раскрывки вдоль оси OY определяется выражением:

$$y_{\text{раскр}} = \sqrt{l_{\text{раскр}}^2 - x_{\text{раскр}}^2} \quad (9)$$

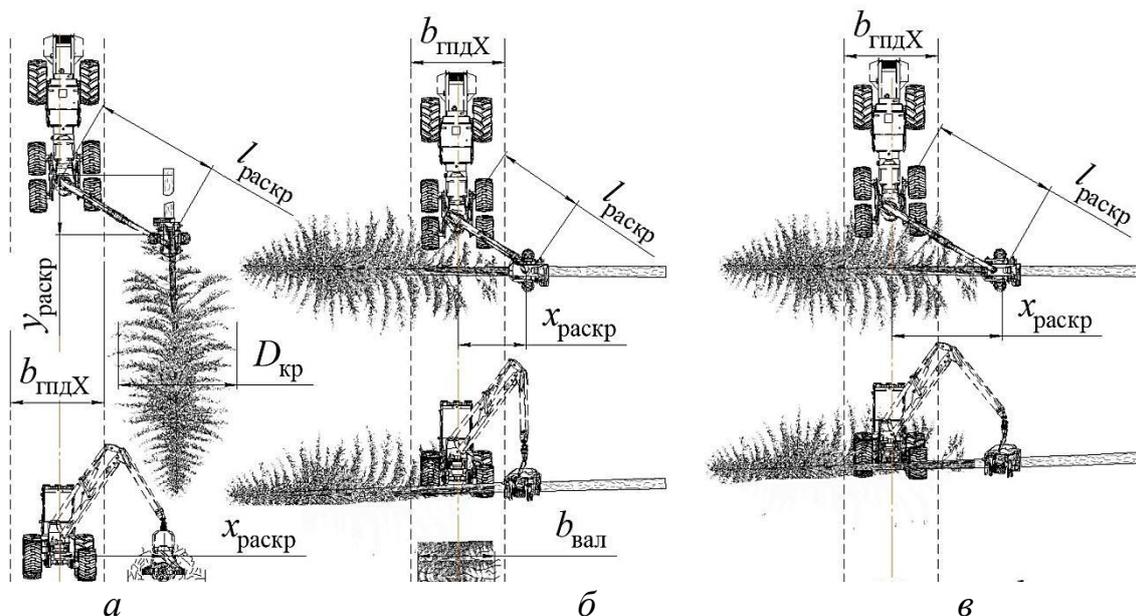


Рисунок 2 – Типовые схемы размещения лесоматериалов и порубочных остатков на лесосеке относительно мест технологических стоянок

Для последующей оценки временных и энергетических затрат на работу харвестера важно разделить участки лесосек, обрабатываемые харвестером с одной технологической на отдельные зоны, в которых он совершает однотипные действия. Так, деревья, растущие на левой полупасеке после валки, перемещаются в точку раскряжевки A_2 (Рисунок 1), а деревья с правой полупасеки – в точку раскряжевки A_1 . Сам процесс валки следует осуществлять таким образом, чтобы центр давления кроны упавшего дерева, находился близко к горизонтальной или вертикальной осям, проходящим через точки A_2 или A_1 соответственно, в зависимости от принятой типовой схемы размещения сортиментов (Рисунок 2). Такой подход обеспечит необходимую ориентацию сортиментов после обрезки сучьев и уменьшит необходимое количество корректирующих движений манипулятора.

Деревья, находящиеся за границей функции уровня раскряжевки $f_3(x)$, перемещаются в точки раскряжевки A_1 и A_2 путем уменьшения вылета манипулятора, а деревья, находящиеся до границы $f_3(x)$ – путем его увеличения.

Величина $\Delta l_{\text{ман}i}$, на которую должен быть сокращен или увеличен вылет манипулятора после валки i -го дерева, определяется выражением:

$$\Delta l_{\text{ман}i} = \sqrt{X_i^2 + Y_i^2} - l_{\text{раскр}}, \quad (10)$$

где X_i и Y_i – координаты положения i -го дерева относительно оси поворота манипулятора, м.

В обоих случаях, последовательно или параллельно с подтаскиванием деревьев, осуществляется поворот манипулятора в направлении места раскрывки на требуемый угол $\Delta\alpha_{\text{ман}i}$, рад:

$$\Delta\alpha_{\text{ман}i} = \text{arctg}\left(\frac{Y_i}{X_i}\right) \cdot \text{arctg}\left(\frac{y_{\text{раскр}}}{x_{\text{раскр}}}\right). \quad (11)$$

Расположение деревьев на отдельных лесосеках весьма разнообразно. Так могут наблюдаться локальные сгущения деревьев, куртины и прогалины. Однако ученые лесоводы сходятся во мнении, что при больших объемах выборок лесосек, вне зависимости от способа лесовосстановления (искусственного или естественного) уже к 20-летнему возрасту распределение деревьев по площади близко к равномерному. При этом количество стволов деревьев на 1 га площади $n_{\text{ств}}$, шт и на всей лесосеке $n_{\text{ствЛ}}$, шт до и после прохода харвестера определяется согласно зависимости:

$$n_{\text{ств}} = \frac{S_{\text{сеч}}(1 - i_{\text{руб}})}{\left(\frac{\pi \cdot d_{1,3}^2}{4}\right)}, \quad n_{\text{ствЛ}} = \frac{S_{\text{сеч}}(1 - i_{\text{руб}})a_{\text{л}}b_{\text{л}}}{10000\left(\frac{\pi \cdot d_{1,3}^2}{4}\right)}, \quad (12)$$

где $i_{\text{руб}}$ – интенсивность проводимой рубки. До проведения рубки харвестером $i_{\text{руб}} = 0$; $S_{\text{сеч}}$ – сумма площадей сечений на 1 га при полноте равной 1, м².

Для моделирования координат X_i и Y_i расположения каждого i -го дерева (Рисунок 1) рационально применять 2 основных подхода. Первый – для технологических процессов рубок прочистки в искусственно посаженном лесу. Деревья в нем располагаются рядами с шириной междурядья $b_{\text{мр}}$, м и средним расстоянием между деревьями в ряду $l_{\text{др}}$:

$$l_{\text{др}} = \frac{10000}{n_{\text{ств}}b_{\text{мр}}} \quad (13)$$

Моделирование иных видов рубок ухода и главного пользования основывается на случайном равномерном распределении координат деревьев по площади лесосеки с последующим их приведением к месту одной технологической стоянки харвестера с началом координат в точке O (Рисунок 1).

С.А. Голякевич, доц., канд. техн. наук;
Р.А. Карсюк, асп.;
В.Н. Лой, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ МАНИПУЛЯТОРОВ КОМБИНИРОВАННОГО ТИПА ДЛЯ МНОГООПЕРАЦИОННЫХ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Прогнозирование эффективности работы комплексов многооперационных лесозаготовительных машин тесно связано с получением широкого круга данных о их производительности, надежности, экономичности, безопасности и экологичности (далее эксплуатационные потребительские качества). Ввиду отсутствия на ранних этапах проектирования опытных образцов машин и невозможности проведения натуральных экспериментов с ними важным способом получения данных для прогнозирования эффективности машин и определения их рациональных параметров следует считать математическое моделирование.

Движение звеньев манипулятора многооперационной лесозаготовительной машины в пространстве описывается обобщенными координатами его отдельных звеньев (Рисунок 1):

φ_0 – вращательного движения в плоскости OXZ манипулятора массой M_0 и центральным моментом инерции J_0 ($\text{кг}\cdot\text{м}^2$) относительно оси его установки на шасси многооперационной лесозаготовительной машины в точке A_0 , рад;

φ_1 – вращательного движения в плоскости OXY стрелы с сосредоточенной массой m_1 (кг) и центральным моментом инерции J_{1c} ($\text{кг}\cdot\text{м}^2$) относительно колонны массой m_0 (кг) с центральным моментом инерции J_{0c} ($\text{кг}\cdot\text{м}^2$), рад;

φ_2 – вращательного движения в плоскости OXY рукояти и телескопического звена с сосредоточенными массами m_{21} (кг), m_{22} (кг) и центральными моментами инерции J_{21c} ($\text{кг}\cdot\text{м}^2$) и J_{22c} ($\text{кг}\cdot\text{м}^2$) соответственно, относительно стрелы, рад;

φ_3 – вращательного движения в плоскости OXY грейферного захвата и пачки сортиментов с общей сосредоточенной массой m_{30} (кг) и центральным моментом инерции J_{3c} ($\text{кг}\cdot\text{м}^2$) относительно вертикальной оси, рад;

x_1, x_2, x_3 – поступательного движения гидроцилиндров стрелы, рукояти и телескопического звена соответственно, м.

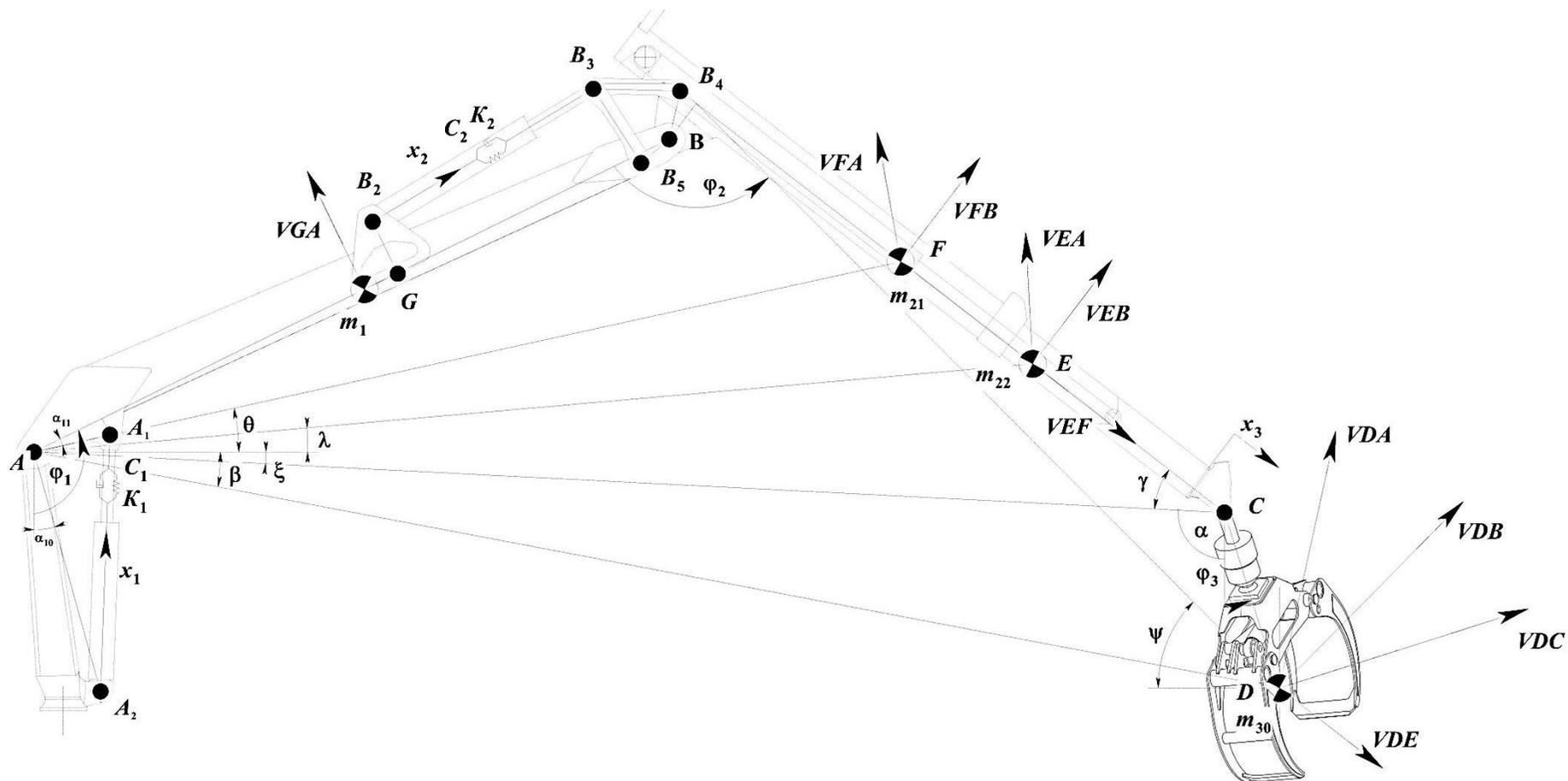


Рисунок 1 – Расчетная схема к математической модели шарнирно-рычажного манипулятора с телескопическим звеном

В модели учтены упругие и демпфирующие свойства отдельных звеньев манипулятора и его привода. Коэффициенты жесткости и демпфирования звеньев манипулятора имеют следующие обозначения:

$C_{СТР}$ – приведенный коэффициент жесткости металлоконструкции стрелы в направлении продольной оси гидроцилиндра ее подъема-опускания, Н/м,

$C_{РУК}$ – приведенный коэффициент жесткости металлоконструкции рукояти, телескопического звена в направлении продольной оси гидроцилиндра подъема-опускания рукояти, Н/м,

$C_{ТЕЛ}$ – приведенный коэффициент жесткости гидроцилиндра выдвижения телескопического звена, Н/м.

$K_{СТР}$ – приведенный коэффициент демпфирования металлоконструкции стрелы и гидроцилиндра ее подъема-опускания в направлении продольной оси его перемещения, Н/м,

$K_{РУК}$ – приведенный коэффициент демпфирования металлоконструкции рукояти и телескопического звена и гидроцилиндра их подъема-опускания в направлении продольной оси его перемещения, Н/м,

$K_{ТЕЛ}$ – приведенный коэффициент демпфирования гидроцилиндра выдвижения телескопического звена, Н/м.

Геометрическое положение звеньев манипулятора описано соответствующими величинами:

l_{AB} – расстояние между осями крепления стрелы к колонне и рукояти к стреле, м;

l_{AG} – расстояние между осью крепления стрелы к колонне и положением сосредоточенной массы m_1 , м;

l_{AA1} – расстояние между осями крепления стрелы к колонне и шарнира штока гидроцилиндра стрелы к стреле, м;

l_{AA2} – расстояние между осями крепления стрелы к колонне и шарнира корпуса гидроцилиндра стрелы к колонне, м;

l_{BC} – расстояние между осями крепления рукояти к стреле и грейферного захвата к телескопическому звену, м;

l_{B1B2} – расстояние между осью шарнира корпуса гидроцилиндра рукояти и отрезком, соединяющим оси крепления стрелы к колонне и рукояти к стреле, м;

l_{B2B3} – расстояние между осями шарниров корпуса гидроцилиндра рукояти и его штока, м;

l_{BB4} – расстояние между осями крепления к стреле рукояти и тяги №1 четырехзвенника, м;

l_{B3B4} – расстояние между осями крепления тяги №1 четырехзвенника к шарниру штока гидроцилиндра рукояти и к рукояти, м;

l_{B3B5} – расстояние между осями крепления тяги №2 четырехзвенника к шарниру штока гидроцилиндра рукояти и к стреле, м;

l_{BB5} – расстояние между осями крепления к стреле рукояти и тяги №2 четырехзвенника, м;

l_{BF} – расстояние между осями крепления рукояти к стреле положением центра тяжести рукояти, м;

l_{BE} – расстояние между осями крепления рукояти к стреле положением центра тяжести телескопического звена, м;

l_{CD} – расстояние между осью крепления грейферного захвата к телескопическому звену и положением сосредоточенной массы m_{30} , м;

Математическое описание кинематики манипулятора ввиду объемности в настоящей статье не приводим. В рамках данной статьи приведем лишь окончательные выражения кинетической T , потенциальной Π энергий и диссипативной функции Релея R :

$$\begin{aligned} \Pi = & m_1 g (l_{AG} - l_{AG} \cos \varphi_1) + m_2 g ((l_{AB} + l_{BF}) - (l_{AB} - l_{BF} \cos \varphi_2) \cos \varphi_1) + \\ & + m_3 g ((l_{AB} + l_{BE \max}) - (l_{AB} - l_{BE} \cos \varphi_2) \cos \varphi_1) + \\ & + m_4 g ((l_{AB} + l_{BE \max} + l_{CD}) - (l_{AB} - l_{BE} \cos \varphi_2 \cos \varphi_1) - l_{CD} \cos \varphi_3) + \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & + \frac{C_{\text{СТР}}}{2} \left(\sqrt{l_{AA_1}^2 + l_{AA_2}^2 - 2l_{AA_1}l_{AA_2} \cos(\varphi_1 - \alpha_{10} - \alpha_{11})} - l_{0\text{ГЦС}} - x_1 \right)^2 + \\ & + \frac{C_{\text{ПЫК}}}{2} \left(\sqrt{l_{B_2B_5}^2 + l_{B_3B_5}^2 - 2l_{B_2B_5}l_{B_3B_5} \cos(\beta_{350} - \beta_{251})} + l_{0\text{ПЫК}} - x_2 \right)^2 + \frac{C_{\text{ТЕЛ}}}{2} (x_3 - x_{30})^2; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R = & \frac{K_{\text{СТР}}}{2} \left(\frac{l_{AA_1}l_{AA_2} \sin(\varphi_1 - \alpha_{11} - \alpha_{10})}{\sqrt{l_{AA_1}^2 - 2\cos(\varphi_1 - \alpha_{11} - \alpha_{10})l_{AA_1}l_{AA_2} + l_{AA_2}^2}} \varphi_1 + \varphi_1 \right)^2 + \\ & + \frac{K_{\text{ТЕЛ}}}{2} (\varphi_3 - \varphi_{30})^2 + \frac{K_{\text{ПЫК}}}{2} \times \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & \times \left(\frac{d}{dt} \sqrt{l_{B_2B_5}^2 + l_{B_3B_5}^2 - 2l_{B_2B_5}l_{B_3B_5} \cos \left(\arccos \left(\frac{l_{B_3B_5}^2 + l_{B_0B_5}^2 - l_{B_0B_3}^2}{2l_{B_3B_5}l_{B_0B_5}} \right) - \arcsin \left(\frac{l_{B_1B_2}}{l_{B_2B_5}} \right) \right)} + \right. \\ & \left. + l_{0\text{ПЫК}} - \varphi_2 \right)^2; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
T = & \frac{m_{21}}{2} \left(\left(\left(\sqrt{l_{AB}^2 + l_{BF}^2 - 2l_{AB}l_{BF} \cos(\varphi_2)} \right) \varphi_1 \times \right. \right. \\
& \left. \left. \times \cos \left(\arctg \left(\frac{l_{AB} \sin \left(\varphi_1 - \frac{\pi}{2} \right) - l_{BF} \cos(\varphi_1 + \varphi_2 - \pi)}{l_{AB} \cos \left(\varphi_1 - \frac{\pi}{2} \right) + l_{BF} \sin(\varphi_1 + \varphi_2 - \pi)} \right) \right) + l_{BF} \varphi_2 \cos \left(\frac{3\pi}{2} - \varphi_2 - \varphi_1 \right) \right)^2 + \right. \\
& \left. \left(-\sqrt{l_{AB}^2 + l_{BF}^2 - 2l_{AB}l_{BF} \cos(\varphi_2)} \varphi_1 \times \right. \right. \\
& \left. \left. + \sin \left(\arctg \left(\frac{l_{AB} \sin \left(\varphi_1 - \frac{\pi}{2} \right) - l_{BF} \cos(\varphi_1 + \varphi_2 - \pi)}{l_{AB} \cos \left(\varphi_1 - \frac{\pi}{2} \right) + l_{BF} \sin(\varphi_1 + \varphi_2 - \pi)} \right) \right) + l_{BF} \varphi_2 \sin \left(\frac{3\pi}{2} - \varphi_2 - \varphi_1 \right) \right)^2 \right) + \\
& + \frac{m_{22}}{2} \left(\left(l_{AE} \varphi_1 \cos(\lambda) + l_{BE} \varphi_2 \cos \left(\frac{3\pi}{2} - \varphi_2 - \varphi_1 \right) - x_3 \cos(\varphi_1 + \varphi_2 - \pi) \right)^2 + \right. \\
& \left. + \left(-l_{AE} \varphi_1 \sin(\lambda) + l_{BE} \varphi_2 \sin \left(\frac{3\pi}{2} - \varphi_2 - \varphi_1 \right) + x_3 \sin(\varphi_1 + \varphi_2 - \pi) \right)^2 \right) + \\
& + \frac{m_1 (l_{AG} \varphi_1)^2}{2} + \frac{J_{1c} \varphi_1^2}{2} + \frac{J_{21c} \varphi_2^2}{2} + \frac{J_{22c} \varphi_2^2}{2} + \frac{J_{3c} \varphi_3^2}{2} + \\
& + \frac{m_{30}}{2} \left(\left(l_{AD} \varphi_1 \cos(\beta) + l_{CD} \varphi_3 \cos \left(\frac{\pi}{2} - \varphi_3 \right) + \right. \right. \\
& \left. \left. + l_{BD} \varphi_2 \cos \left(\arctg \left(\frac{l_{BC} x_3 \cos(\varphi_1 + \varphi_2 - \pi) + l_{CD} \cos(\varphi_3)}{l_{BC} x_3 \sin(\varphi_1 + \varphi_2 - \pi) + l_{CD} \sin(\varphi_3)} \right) \right) - x_3 \cos(\varphi_1 + \varphi_2 - \pi) \right)^2 + \right. \\
& \left. \left(l_{AD} \varphi_1 \sin(\beta) + l_{CD} \varphi_3 \sin \left(\frac{\pi}{2} - \varphi_3 \right) + \right. \right. \\
& \left. \left. + l_{BD} \varphi_2 \sin \left(\arctg \left(\frac{l_{BC} x_3 \cos(\varphi_1 + \varphi_2 - \pi) + l_{CD} \cos(\varphi_3)}{l_{BC} x_3 \sin(\varphi_1 + \varphi_2 - \pi) + l_{CD} \sin(\varphi_3)} \right) \right) + x_3 \sin(\varphi_1 + \varphi_2 - \pi) \right)^2 \right) ; \tag{3}
\end{aligned}$$

По указанным выражениям составлены дифференциальные уравнения движения по соответствующим обобщенным координатам на основе уравнений Лагранжа II рода. Их запись в стандартной форме Коши выполнялась в программном пакете MathCAD с использованием предварительно разработанного автоматизирующего алгоритма. Решение полученной системы дифференциальных уравнений осуществлялось методом Рунге-Кутты 5 порядка точности с переменным шагом интегрирования.

О.В. Зубова, доц., канд. техн. наук;
А.А. Борозна, доц., канд. техн. наук;
В.В. Силецкий, ассист.; А.С. Петрова
(ФГБОУ ВПО «СПбГЛТУ им. С.М. Кирова», г. Санкт-Петербург, РФ)

АНАЛИЗ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЛЕСНЫХ ДОРОГ

В работе рассматриваются различные виды дорожных материалов, их преимущества и ограничения, а также потенциал для инновационных подходов к улучшению качества дорожно-строительных работ в лесном секторе. Основное внимание уделяется разработке методологии исследования, которая способствовала бы эффективному выбору материалов, учитывая технические, экологические и экономические факторы.

В современных условиях устойчивого развития и ответственного подхода к природным ресурсам, строительство лесных дорог занимает особое место в инфраструктурном развитии. Эффективное функционирование и долговечность таких дорог непосредственно зависят от качества используемых дорожно-строительных материалов. Анализ этих материалов становится ключевым шагом в обеспечении устойчивости инфраструктуры лесных дорог и минимизации негативного воздействия на окружающую среду.

Методология анализа дорожно-строительных материалов для строительства лесных дорог представляет собой системный и комплексный подход, направленный на оценку различных аспектов материалов с учетом их физико-механических свойств, экологической устойчивости и экономической эффективности. Методология включает:

1. Идентификацию задач и требований.
2. Сбор данных и обзор литературы.
3. Выбор типов материалов.
4. Оценка физико-механических свойств.
5. Экологический анализ.
6. Экономическую эффективность.
7. Разработку методики оценки.
8. Формирование рекомендаций.
9. Валидацию результатов.

Эта методология обеспечивает системный подход к анализу дорожно-строительных материалов, учитывая комплексные потребности лесных дорожных инфраструктур и стремление к устойчивому развитию. На основе представленной методологии было проведено исследование.

дование по подбору оптимальной смеси из каменных материалов и нефелинового шлама для слоев покрытия. Данные о дорожно-строительном материале брались на основе проведенных кафедрой промышленного транспорта исследований [1–2].

Идентификация задач и требований: повышение долговечности, устойчивость к деформациям, минимизация воздействия на окружающую среду, высокая прочность, устойчивость к влажности, экологическая устойчивость в соответствии с ГОСТ [3].

Сбор данных и обзор литературы: в рамках этого шага проведен структурный анализ свойств каждого из компонентов смеси как отдельного материала, а также возможности их взаимодействия на основе ранее проводимых исследований.

Оценка физико-механических свойств: на основе данных предыдущего шага была запланирована серия многофакторных экспериментов, наиболее полно изучающая технологические и эксплуатационные свойства материалов.

Экологический анализ: в рамках данного шага оценивалось как воздействие от добычи природных материалов, от воздействия на окружающую среду не утилизируемых компонентов побочных продуктов, ток и оценка экологической безопасности получаемого продукта. Экономическая эффективность: на данном этапе по аналогии с предыдущим проводилась комплексная оценка как затрат на утилизацию отходов, так и затрат на производство и доставку смесей по сравнению с традиционными аналогами.

Разработка методики оценки: на этом этапе необходимо расставить приоритеты, учесть не только экономическую и технологическую составляющие, но также принимать во внимание как экологический, так и, в том числе, социальный эффект.

Формирование рекомендаций: разработка рекомендаций носит достаточно широкий характер, включая состав смесей, регионы их возможного применения, технологические особенности и т.д.

Валидация результатов: мониторинг и оценка в течение периода эксплуатации для подтверждения результатов анализа.

Результаты. В результате проведенного анализа дорожно-строительных материалов, представляющих собой каменные материалы и нефелиновый шлам, можно сделать следующие выводы.

Прочностные свойства:

– Гравийная смесь и щебень обладают высокой прочностью и устойчивостью к деформациям, что делает их подходящими для использования в строительстве дорог с различными интенсивностями движения.

– Нефелиновый шлам требует дополнительных исследований и контроля качества, чтобы обеспечить необходимую прочность и устойчивость.

Экологическая устойчивость:

– Гравийная смесь может потребовать энергоемких процессов при добыче гравия, что может оказывать влияние на окружающую среду.

– Щебень, в свою очередь, может также оказывать воздействие при добыче и транспортировке.

Нефелиновый шлам, как побочный продукт, представляет потенциальную возможность использования отходов добычи, что содействует экологической устойчивости.

Экономическая эффективность:

– Стоимость гравийной смеси зависит от стоимости битума и гравия, что может сказаться на общей экономической эффективности.

– Щебень, как природный материал, обычно более доступен и недорог, что может сделать его более экономически эффективным.

– Нефелиновый шлам может представлять собой экономически выгодную альтернативу, особенно если используется как побочный продукт.

Рекомендации:

– Гравийная смесь рекомендуется для дорог с высокой интенсивностью движения, где необходима высокая прочность и долговечность.

– Щебень подходит для нагруженных дорог с высокой прочностью.

– Нефелиновый шлам может быть рекомендован для использования при условии строгого контроля качества и адекватного применения в конкретных условиях.

В целом, выбор дорожно-строительных материалов должен основываться на комплексном подходе, учитывая технические, экологические и экономические факторы, а также конкретные условия строительства лесных дорог. В дальнейшем необходимы исследования для подтверждения результатов и обеспечения устойчивости инфраструктуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зубова, О.В. Исследование процесса структурообразования материала из смеси нефелинового шлама и щебня с добавлением цемента / О. В. Зубова, В. В. Силецкий // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2021. – № 235. – С. 179–186. – DOI 10.21266/2079-4304.2021.235.179-186. – EDN OXDWYB.

2. Силецкий, В. В. Оценка влияния химического и фракционного состава нефелинового шлама на прочностные свойства шламогрунтов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2023. – № 243. – С. 227–239. – DOI 10.21266/2079-4304.2023.243.227-239. – EDN SAXEII.

3. Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами, для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия: ГОСТ 23558-94. – Введ. 01.01.1995. – Москва: Издательство стандартов, 1995. – 12 с.

УДК 629.373.3

А.А. Борозна, доц., док. техн. наук;
Ф.М. Свойкин, доц., канд. техн. наук;
А.В. Гриневич, инж.,

(ФГБОУ ВПО «СПбГЛТУ им. С.М. Кирова», г. Санкт-Петербург, РФ)

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ СРЕДОСБЕРЕГАЮЩЕГО ОСВОЕНИЯ МАЛОНАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ РАЙОНОВ КРАЙНЕГО СЕВЕРА И АРКТИКИ

В настоящее время тенденция снижения последствий прохода техники по малонарушенным территориям в условиях районов Крайнего Севера РФ и приравненным к ним местностям, которая освещалась во многих работах [1, 2] особенно актуальна. Воздействие технологических операций при проведении логистических работ по доставке грузов и населения (персонала) на почву, воду, воздух, биоразнообразие и др. следует уменьшать исходя из соображений экологии [3]. Почвы малонарушенных территорий в условиях районов Крайнего Севера и приравненным к ним местностям особо чувствительны к воздействию агрегатной техники, в особенности при проведении логистических работ по доставке грузов и населения (персонала). Гранулометрический состав, влажность почвы, содержание органических веществ, уклон местности, тип и размер транспортных средств, давления шин, формы шин, и количество проездов транспортных средств и др. оказывает влияние на масштабы, степень и продолжительность прямого и косвенного воздействия техники на почвы [4].

Согласно [5, 6], а также в соответствии с [7], запрет на перемещение транспортных средств на пневматическом ходу с удельным давлением шины на грунт более $0,12 \text{ кг/см}^2$ вне зависимости от разрешенной массы транспортного средства.

Традиционно согласно недавним представлениям о развитии науки и техники при освоении северных и арктических территорий применяется классическая гусеничная техника и тяжелый колесный

спецтранспорт, а также устраиваются зимники для традиционных решений, однако в настоящее время с учетом климатических изменений такая техника и технология зачастую являются неработоспособными. Неработоспособность традиционных решений для приведено на Рисунок 1. В рамках программы освоение Арктического побережья существуют экологические ограничения при ведении хозяйственной деятельности по передвижению вездеходного транспорта после схода снежного покрова по целине тундры. Со сходом снежного покрова в северных широтах налагается ограничение на передвижение любой гусеничной техники, на законодательном уровне по экологическим требованиям [5–8]. Общеизвестно, что экосистемы тундры особочувствительны к любому воздействию и долго восстанавливаемые, большая часть территорий, в частности ягельные поля является комовой базой для домашних животных коренных народов, поэтому особо охраняются.



Рисунок 1 – Неработоспособность современных решений

Общепризнанно, что потепление климата в последнее время приводит к более раннему сходу снежного покрова и сокращению времени выполнения производственных задач в полном объеме.

Минимальное антропогенное воздействие на почвенные экосистемы позволяет использовать новые современные технические решения, а именно спецтехнику на шинах сверхнизкого давления после схода снежного покрова тундры. Так, при создании снегоболотохода «Тром 8» применили привода Робсона в проектировании трансмиссии облегченного шасси, что позволило сделать полный привод на 8 колес, имея на борту 1 раздаточную коробку и два моста. Балансирная подвеска позволила данному шасси всегда иметь равномерное сцепление с поверхностью земли всеми восьмью колесами не зависимо от рельефа местности. Трансмиссия с приводом Робсона позволила перевозить 1500 кг полезного груза имея на борту дизельный двигатель энерговооруженностью 60 л.с., объемом 2400 см³. Потребление дизельного топлива составляет около 5 литров в час. Вследствие этого

малая мощность обуславливает как экономию топлива, так и минимальное воздействие выхлопными газами на окружающую среду.

Стоит отметить, что аналогичные решения на иных движителях обладают значительно большей энерговооруженностью, так: ГАЗ-71 – 115 л.с., МТЛБ – 240 л.с., что влечет за собой значительно более высокие эксплуатационные расходы (низкая топливная эффективность, повышенная металлоемкость) и как следствие высоким антропогенным воздействием на ягельные поля и Арктические экосистемы, а также повышенный объем выхлопных газов при перевозке грузов. Особоактуален вопрос применения вездеходов с минимальным воздействием на экосистему в природных парках, родовых угодьях, заповедника, заказниках, национальных парках, где помимо минимального удельного давления на почву и отсутствию возможных утечек жидкостей учитывается и количество выхлопных газов.

Учитывая, что вся техника «Тром 8» плавающая, шасси состоит из двух сочлененных герметичных лодок. Двигатель, КПП, раздаточная коробка, два моста и все агрегаты размещены внутри герметичных лодок, что не позволяет проливаться масла и технические жидкостям в почву. Стоит отметить, что производство полного цикла «Тром 8» расположено в г. Сургут. Помимо этого, шины вездехода «Тром 8» также разработаны в г Сургут. Компания «ИП Гринкевич Алексей Вадимович» имеет многолетний опыт в проектировании шин, спроектировано и выпускается 5 различных покрышек низкого давления. Большой практический опыт в проектировании шин позволяет регулировать пятно контакта с поверхностью земли, с оптимальными показателями негативного воздействия на почву за счет грамотного применения норма-слоиности шины и правильно подобранного ГОС-Та применяемой резиновой смеси.

Некоторыми исследованиями, а также в процессе длительного опыта эксплуатации отмечено, что при проходе по ягельным полям вездеход «Тром 8» практически не оставляет за собой видимый след («трак») от воздействия шин сверхнизкого давления. Для сравнения, взрослый человек при движении по ягелю оказывает удельное давление 0,25–0,3 кг/см², вездеход «Тром 8» с полной загрузкой имеет удельное давление 0,12 кг/см².

Большая часть передвижения по малонарушенным территориям связана с разведочной рекогносцировкой и поиском топографической привязки будущих объектов инфраструктуры, при таком перемещении вездеход минимально нагружен и воздействие на почвенные экосистемы снижается до 0,09–0,1 кг/см². Такие «первоходы» по малонарушенным экосистемам практически не оставляют следа. Многолетняя эксплуатация спецтехники «Тром 8» позволила отметить, что тра-

вяной покров не имеет разрушения корневой системы, стебли травяного слоя поднимаются на вторые сутки после проезда вездехода, уплотнение почвы под колесами в два раза меньше по сравнению со следами человека.

Многолетняя круглогодичная эксплуатация более 200 единиц снегоболотоходов «Тром 8» показала, что главными преимуществами, по мнению эксплуатации, являются высокая энергонасыщенность, грузоподъемность, способность решать задачи в неблагоприятных природных, климатических условиях, возможность максимально быстро и эффективно передвигаться на избыточно увлажненных и заболоченных почвах с низкой несущей способностью, а также в условиях пересеченной местности, и на глубоком снежном покрове. Вышеуказанные факторы безусловно являются на сегодняшний день самыми важными качествами для заказчиков подобного вида техники.

С 2015 года в проектной документации строительства линейных продуктопроводов на территориях ХМАО, ЯНАО, севера Красноярского края, имеющих сильно обводненную и экологически ранимую территорию в разделе транспортное обеспечение высокопроходимой и экологически безопасной спецтехники, указывается именно снегоболотоход «Тром 8», что подчеркивает доверие проектантов к высокой проходимости и экологичности. «Тром 8» стало именем нарицательным в кругу специалистов транспортников практических всех крупных компаний недропользователей ТЭК Западной Сибири. Снегоболотоходы приобретены и эксплуатируются как самими недропользователями, или приобретены основными сервисными компаниями данного недропользователя. В сегодняшней геополитической ситуации важным аспектом становится комплектация техники отечественными узлами и агрегатами, «Тром 8» на 80 % состоит из отечественных комплектующих.

Стоит отметить постоянное усовершенствование и расширение модельного ряда. Так, на шасси «Тром» выпускаются плавающие буровые установки, плавающие экскаваторы, мульчеры, актуальные промышленные решения для природосберегающего освоения малонарушенных территорий Крайнего Севера и Арктики, которые приведены на Рисунок 2. Вездеходы «Тром 8» в данный момент широко используются на арктическом побережье, привлекались к ликвидации последствий аварии в Норильске, среди стратегических партнеров, компании ООО «Геопроектизыскания» полуостров Ямал, район Нового порта, ООО «Навгис» Ванкорское месторождение, Сузунское месторождение, Пякехинское месторождение ООО «Барс», Ванкорское месторождение ООО «Сервисная нефтяная компания» и т.д.



а – плавающий вездеход грузопассажирский; *б* – плавающий вездеход с буровой установкой; *в* – плавающий вездеход с экскаваторной установкой; *г* – плавающий мульчер

Рисунок 2 – Актуальные промышленные решения «Тром» для природосберегающего освоения малонарушенных территорий

Заключение. На основании исследований снегоболотоходов «Тром 8» следуют выводы по экологическому аспекту применения такой техники:

- обеспечивается снижение выбросов CO₂ при перевозке 1 кг груза в сравнении с аналогичной спецтехникой в 2 и более раз;
- обеспечивается при перевозке 1500 кг груза удельное давление на почву в пределах 0,12 гр/см², что в 2 раз менее воздействия пешехода;
- технически обеспечено отсутствие попадания на почву масел и технических жидкостей за счет конструктивных решений (кузов лодка);
- обеспечивается безопасная и комфортная перевозка пассажиров без переворачивания и потопления техники на сильно обводненных территориях и при преодолении водных преград;
- снижается антропогенная нагрузка при перевозке грузов, персонала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Свойкин, Ф.В. Математическая модель деформации почвы при повороте трактора / Ф.В. Свойкин, А.И. Жукова, М.В. Цыгарова, Д.В. Лепилин // Известия СПбГЛТА. №195. – 2011. – С. 120–128.
2. Гайнуллин, И.А. Влияние конструктивных параметров движителей и нагрузочных режимов тракторов на почву / И.А. Гайнуллин, А.Р. Зайнуллин // Фундаментальные исследования. – № 2. – Пенза: издательский дом «Академия Естествознания», 2017 г. – С. 31–36.
3. Marchi, E. Sustainable Forest Operations (SFO): A new paradigm in a changing world and climate / E. Marchi [et al.] // Science of the Total Environment. – 2018. – V. 634. – P. 1385–1397.
4. Cambi, M. The impact of heavy traffic on forest soils: A review / M. Cambi [et al.] // Forest Ecology and Management. – 2015. – №338. – P. 124–138.
5. Постановление администрации Таймырского (Долгано-Ненецкого) АО от 01.12.2003 №450 «О порядке передвижения транс-

портных средств по межселенным территориям Таймырского (Долгано-Ненецкого) АО».

6. ПП Красноярского края № 475-п от 31.05.2022 «О внесении изменений в ПА Таймырского (Долгано-Ненецкого) АО от 01.12.2003 № 450 "О порядке передвижения транспортных средств по межселенным территориям Таймырского (Долгано-Ненецкого) АО».

7. Закон Красноярского края от 25.11.2010 № 11-5343 «О защите исконной среды обитания и традиционного образа жизни коренных малочисленных народов Красноярского края».

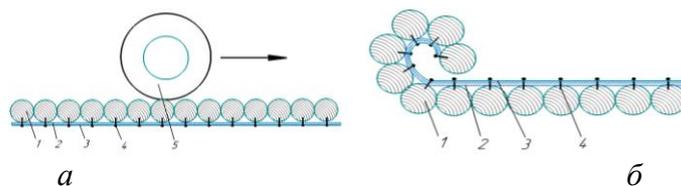
УДК*630

М.Т. Насковец, доц., канд. техн. наук; П.Н. Жлобич асп.;
Г.М. Каледра студ.; И.Л. Найденок студ.
(БГТУ, г. Минск)

СПОСОБ УСТРОЙСТВА МНОГОСЛОЙНОГО ЛЕСОТРАНСПОРТНОГО ПУТИ

В настоящее время наблюдается тенденция выпуска лесотранспортных автомобилей с повышенной грузоподъемностью, в связи с этим также повышаются осевые нагрузки, которые оказывают неблагоприятное воздействие на состояние дорог. В связи с этим предлагается способ устройства многослойного лесотранспортного пути на слабом грунтовом основании, задачи которого состоят в том, чтобы повысить несущую способность слабых оснований, а также снизить расход высококачественной древесины при строительстве лесных подъездных путей. Данные задачи достигаются тем, что при устройстве данной конструкции применяется комбинированная прослойка, состоящая из хворостяной выстилки, короткомерных древесных поперечных элементов и продольной гибкой связи, которую располагают на полосе геосинтетического материала по центру и на расстоянии 0,2 ширины полос от краев. скрепляет геосинтетический материал и поперечные древесные элементы.

Причем данная конструкция дает возможность собранным лентам работать как жесткому настилу (рис. 1 а), так и сворачивать их в рулон (рис. 1 б) для транспортировки.



1 – поперечные элементы; 2 – геосинтетическая прослойка;
3 – продольная гибкая связи; 4 – элементы крепления
Рисунок 1 – Конструкция ленточного покрытия

Технология устройства данного способа заключается в том, что на слабом грунте основания колеи размещают и уплотняют, до заполнения 2/3 глубины колеи, хворостяную выстилку, затем поверх хворостяной выстилки укладывают вплотную друг к другу поперечные элементы, ширина которых равна ширине колеи, а по поверхности поперечных элементов по их ширине раскатывают полосы гибкого геосинтетического материала.

На каждой полосе геосинтетического материала на расстоянии 0,2 ширины полос от краев и по центру полос располагают продольные полужесткие ленты. Далее посредством крепежных элементов полужесткие ленты и полосы гибкого геосинтетического материала скрепляют между собой с образованием секций.

После этого секции разворачивают на 180 градусов относительно продольной оси колеи и укладывают на хворостяную выстилку. Поверх секций отсыпают и уплотняют песчаное покрытие (рис. 2).

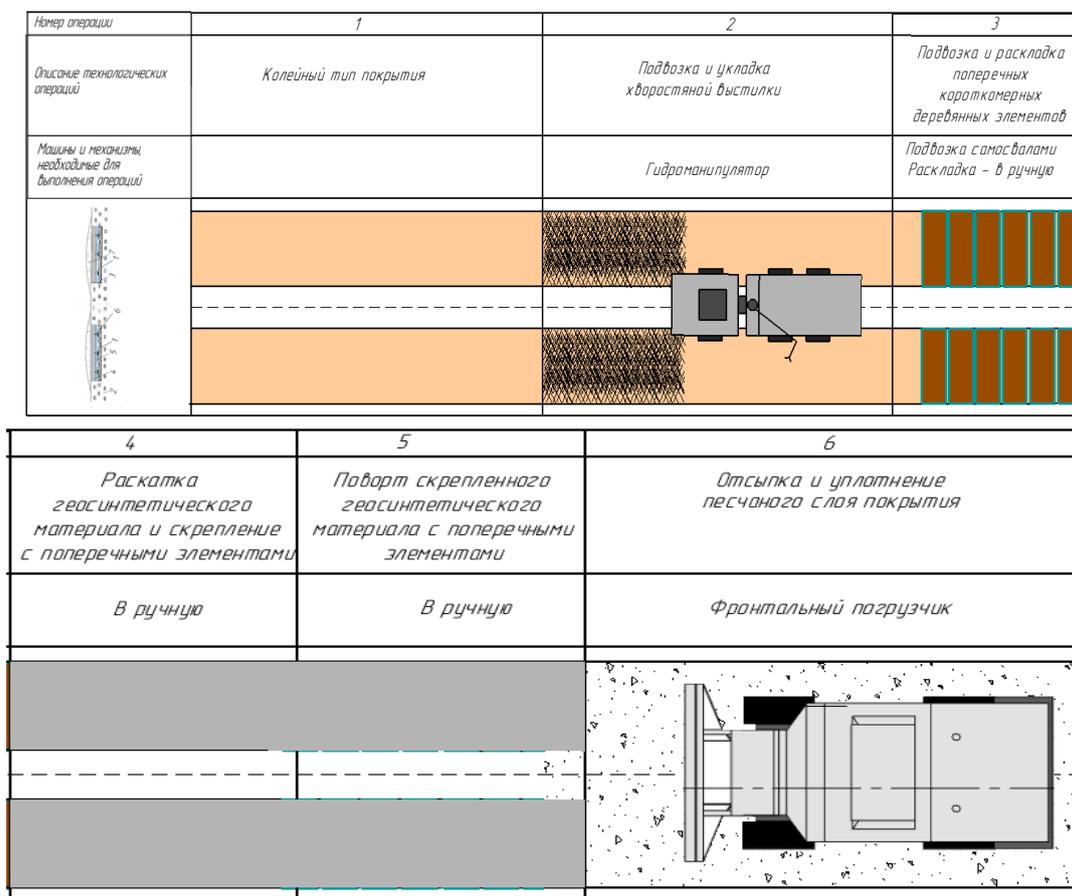


Рисунок 2 – Технологическая карта способа устройства многослойного лесотранспортного пути

М.Т. Насковец, доц., канд. техн. наук;
С.В. Красковский, доц., канд. техн. наук;
Жлобич П.Н., асп.
(БГТУ, г. Минск)

КОМБИНИРОВАННЫЕ ПРОСЛОЙКИ ДЛЯ ПОДЪЕЗДНЫХ ПУТЕЙ К ЛЕСОСЕКАМ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В УСЛОВИЯХ 3-ГО ТИПА МЕСТНОСТИ ПО УВЛАЖНЕНИЮ

Использование комбинированных прослоек на переувлажненных грунтах, позволяет в значительной степени повысить несущую способность за счет обеспечения равномерной передачи колесной нагрузки по поверхности контакта покрытия с грунтовым основанием, а также снизить его материалоемкость.

Для повышение несущей способности слабых оснований при устройстве опытного участка Глубокского опытного лесхоза применялся способ устройства дорожной конструкции на грунтах с низкой несущей способностью, заключающийся в том, что по поверхности подготовленного основания из слабого грунта на ширину дорожного полотна, укладывают комбинированную прослойку из геосинтетического материала и поперечных древесных элементов (рисунок 1).



Рисунок 1 – Укладка комбинированной прослойки

Комбинированную прослойку формируют путем выполнения на расстоянии от начала ее укладки, равном 0,1 ширины геосинтетического материала, продольных прорезей по границам колесопроводов с образованием полос геосинтетического материала, после чего подни-

мают полосы колесопроводов и под каждой из них с обеих сторон дорожного полотна пропускают поперечные древесные элементы, затем поднимают полосы обочин и под ними с обеих сторон дорожного полотна пропускают поперечные древесные элементы, которые далее располагают над полосами колесопроводов и под полосой межколейного пространства (рисунок 2). Формирование прослойки заканчивается на расстоянии от конца ее укладки равном 0,1 ширины геосинтетического материала.



Рисунок 2 – Формирование комбинированной прослойки

Заключаящим этапом устройства опытного участка после формирования комбинированной прослойки является отсыпка и уплотнение слоя покрытия серповидного профиля по всей ширине дорожного полотна поверх прослойки (Рисунок 3).



Рисунок 3 – Формирование комбинированной прослойки

МЕТОДИКА АНАЛИЗА ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО КОЛЕСА С ДЕФОРМИРУЕМЫМ ОСНОВАНИЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Изучение процесса взаимодействия пневматического колеса с деформируемой опорной поверхностью является сложным как в части его математического описания, так и экспериментального исследования. Однако сегодня решение данной задачи получает дальнейшее развитие благодаря использованию информационных технологий, которые формируют новые методы и способы проведения научных исследований. В частности, применение находят системы автоматизированного проектирования (САПР) как эффективный и достаточно точный инструмент для изучения сложных процессов качения колесного движителя по деформируемому опорному основанию [1].

В рамках проводимой работы по изучению взаимодействия пневматического колеса и лесного почвогрунта помимо теоретической и экспериментальной составляющих в общую методику проведения научных исследований предложено включить этап проведения вычислительного эксперимента с применением САПР (Рисунок 1).

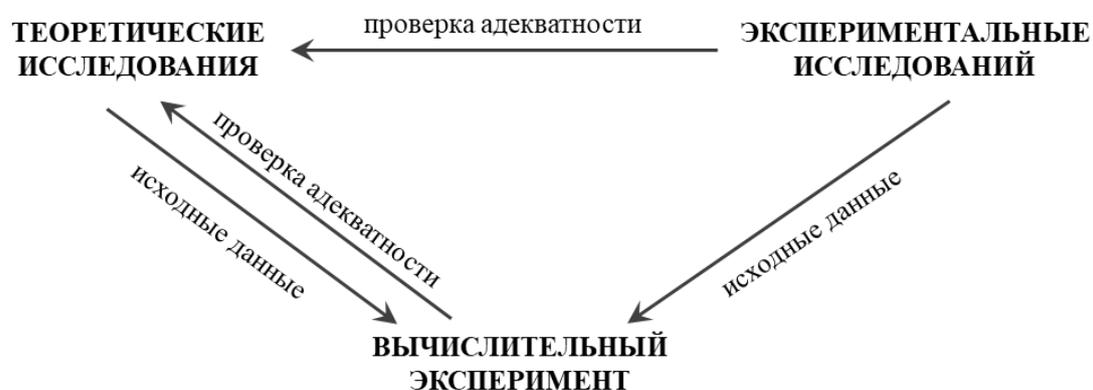


Рисунок 1 – Методики проведения научных исследований

Такой вид исследований является обоснованной альтернативой экспериментам в полевых условиях с высокими материальными и трудовыми затратами. Кроме того, САПР дает возможность проектировать и моделировать различные конструкции и процессы, что способствует их углубленному изучению, рассмотрению всех влияющих факторов, по отдельности или в комплексе, с использованием сложных математических описаний [1].

При этом экспериментальная и теоретическая составляющие исследований не исключаются. Напротив, они необходимы, так как моделирование исследуемых процессов осуществляется по ранее установленным данным и реальным опытным значениям. По этим же данным осуществляется проверка точности и адекватности результатов вычислительного эксперимента.

На Рисунок 2 и 3 показаны общая методика анализа исследуемого процесса с применением САПР и этапы вычислительного эксперимента [1].



Рисунок 2 – Методика проведения научных исследований



Рисунок 3 – Этапы вычислительного эксперимента

Приведенный алгоритм на Рисунок 3 реализуется во многих программных комплексах. И в тоже время их функционал позволяет возвращаться на любой этап вычислительного эксперимента и вносить новые данные или включать дополнительные условия для обеспечения достоверности расчетов.

В рамках решаемой задачи научная значимость проводимых исследований с применением САПР заключается в исследовании сложного процесса качения пневматической шины по деформируемому основанию. Практическая же значимость сводится к разработке рекомендаций по параметрам шин и диапазону их механических характеристик, при которых будут соблюдаться требования по минимизации

ции негативного влияния колесного движителя на лесной почвогрунт и будет обеспечена эффективная работа машин в сложных эксплуатационных условиях.

С учетом вышесказанного проведение вычислительного эксперимента предусматривает определение основных параметров взаимодействия колесного движителя с опорным основанием: площади контакта, распределения давления по площади контакта, распределения напряжения по глубине почвогрунта. Объектами исследований являются пневматические шины передних и задних колес форвардера Ам-кодор 2661-01 (30,5L-32LS и 700/50-26,5), а также лесной почвогрунт, который представлен в виде небольшого участка с многослойной структурой.

Необходимо отметить, что проведенные ранее теоретические и экспериментальные исследования не позволяют в полной мере проверить достоверность результатов вычислительного эксперимента. Функционал применяемых программных комплексов требует задания соответствующих характеристик материала пневматической шины и лесного почвогрунта. Кроме того, в расчетный модуль необходимо включить математическое обеспечение, достаточно точно описывающее изменение деформаций исследуемых объектов. В связи с этим предложено провести вычислительный эксперимент в три этапа:

1. Анализ деформации почвогрунта под действием штампа.
2. Анализ деформации пневматической шины на недеформируемом жестком основании.
3. Анализ взаимодействия пневматического колеса и деформируемого почвогрунта.

Заключение. Дальнейшая работа по подготовке вычислительного эксперимента связана с уточнением физико-механических свойств материалов исследуемых объектов, а также с разработкой математической модели, описывающей деформацию лесного почвогрунта с учетом эксплуатационных условий работы колесного движителя и мер, обеспечивающих снижение негативного воздействия со стороны движителя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мисуно, Ю. И. Применение систем автоматизированного проектирования для оценки взаимодействия пневматических шин с лесными почвогрунтами / Ю. И. Мисуно, П. А. Протас, Л. Н. Москальчук // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2023. – № 1(264). – С. 111–120. – DOI 10.52065/2519-402X-2023-264-12. – EDN TYJWDT.

Ю.И. Мисуно, ассист.;
П.А. Протас, доц., канд. техн. наук;
А.С. Панкратович, асп.
(БГТУ, г. Минск)

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ЗАДАЧА ОПТИМИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ЛЕСОСЕКИ С ОБЕСПЕЧЕНИЕМ СОВМЕСТИМОСТИ ЛЕСНЫХ МАШИН С ПОЧВОГРУНТАМИ

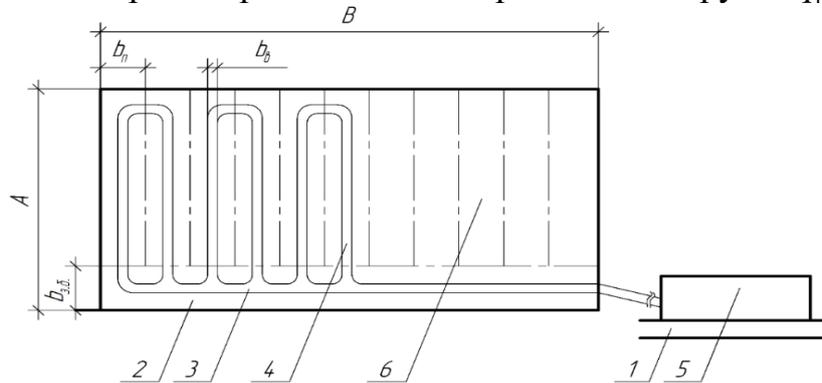
Задача оптимизации транспортно-технологических элементов лесосеки (далее – ТТЭ) является многокритериальной, так как с учетом целей лесопользования может требовать решения сразу нескольких целевых функций: минимизация негативного экологического влияния лесозаготовительных машин на лесной почвогрунта, с обеспечением максимальной производительности лесозаготовительных машин и минимальными затратами на транспортно-переместительные операции.

В качестве основного показателя экологического воздействия лесных машин на почвогрунт принята степень уплотнения почвогрунта, а повышение эксплуатационной эффективности работы лесных машин в задаваемых условиях будет обеспечена путем увеличения числа рейсов на транспортировку лесоматериалов с лесосеки на погрузочный пункт с эффективной грузовой работой.

В целом постановка задачи оптимизации будет следующая: на предприятии имеется к разработке лесосека с параметрами $A \times B$ (м), средним запасом древесины на 1 га $q_{га}$ ($м^3/га$), суглинистыми или переувлажненными супесчаными почвами. Для выполнения транспортно-переместительных операций будет использоваться погрузочно-транспортная машина (ПТМ) с грузоподъемностью $V_{п}$ ($м^3$). Задача заключается в том, чтобы подобрать такие параметры технологических элементов лесосеки, чтобы обеспечить минимальное уплотнение почвогрунта ρ ($г/см^3$) и максимально возможное количество рейсов n_p лесотранспортных машин с лесосеки на погрузочный пункт.

При определении исходных данных следует принять предварительный вариант схемы расположения трелевочных волоков и погрузочного пункта. Наиболее распространенной в Беларуси является параллельная схема с устройством промежуточного склада у дороги общего пользования (Рисунок 1). При этом расстояние подвозки $l_{п}$ (от лесосеки до промежуточного склада) не превышает 1–1,5 км.

В качестве основного параметра оптимизации ТТЭ лесосеки является ширина пасеки $b_{п}$ (м), а обеспечения эффективности применения погрузочно-транспортных машин – рейсовая нагрузка q_p (м³).



- 1 – лесохозяйственная дорога или дорога общего пользования;
 2 – зона безопасности; 3 – магистральный трелевочный волок; 4 – пасечный трелевочный волок; 5 – промежуточный склад; 6 – пасека

Рисунок 1 – Транспортно-технологическая схема лесосеки с промежуточным складом и параллельным расположением пасечных трелевочных волоков

Первой целевой функцией является максимально возможное число рейсов с учетом принятых параметров оптимизации:

$$n_p(b_p, q_p) = \frac{b_p \cdot A \cdot q_{га}}{10^4 \cdot q_p} + 1 \rightarrow \max. \quad (1)$$

Вторая целевая функция учитывает состояние лесного почвогрунта после выполнения всех технологических и транспортных операций через показатель степени уплотнения почвогрунта [1]:

$$\rho(b_p, q_p) = \rho_0 + \frac{\rho_{ТВ}}{1 + \frac{E \cdot (1 + 0,2 \cdot n_p) \cdot (\varphi_0 \cdot l \cdot n_p + v \cdot K_F)}{q_{\max} \cdot K_F \cdot \varphi_0 \cdot l \cdot n_p}} \rightarrow \min, \quad (2)$$

где ρ_0 – начальная плотность грунта, г/см³; $\rho_{ТВ}$ – плотность твердых частиц, г/см³; E – модуль деформации почвогрунта, МПа; φ_0 – угол внутреннего трения почвогрунта; l – длина линии контакта движителя лесной машины с почвогрунтом, м; n_p – количество проходов машины по одному волоку; v – скорость движения машины, м/с; K_F – коэффициент площади контакта движителя с почвогрунтом; q_{\max} – максимальное давление движителя на почвогрунт, кН.

Важным этапом постановки задачи оптимизации является определение ограничений, которые устанавливают пределы изменения значений принятых параметров оптимизации.

В качестве первого ограничения следует принять требования СТБ 1360-2002, согласно которому суммарная площадь технологических элементов лесосеки не должна превышать 25 % от площади лесосеки. Тогда:

$$\frac{b_{\text{в}} \cdot l_{\text{в}} \cdot \frac{B}{b_{\text{п}}} \cdot k_{\text{уд}} \cdot k_{\text{раз}} + b_{\text{м}} \cdot l_{\text{м}} \cdot n_{\text{м}}}{S_{\text{л}}} \leq 0,25, \quad (3)$$

где $b_{\text{в}}$ – ширина пасечного трелевочного волока, м; $l_{\text{в}}$ – длина пасечного трелевочного волока, м; $k_{\text{уд}}$ – коэффициент удлинения волока за счет маневрирования ПТМ; $k_{\text{раз}}$ – коэффициент, учитывающий поворот лесных машин на следующую пашку; $b_{\text{м}}$ – ширина магистрального трелевочного волока, м; $l_{\text{м}}$ – длина магистрального трелевочного волока, м; $n_{\text{м}}$ – количество магистральных трелевочных волоков.

Второе ограничение касается параметра ширины пашки, величина которого зависит от типа применяемого оборудования и машин, выполняющих технологические операции на лесосеке. Так, при разработке пашки харвестером значение ширины пашки не может превышать величину двойного вылета манипулятора харвестера.

Обязательным условием при поставленной задаче является обеспечение транспортировки всего объема заготовленной древесины с лесосеки на склад. Так как количество рейсов лесотранспортных машин зависит от запаса лесоматериалов на пашке и на лесосеке в целом, то очередное ограничение будет связано с грузовой работой $R_{\text{п}}$ ($\text{м}^3 \cdot \text{м}$) на пасечном волоке [2]:

$$R_{\text{п}} = \frac{0,5 \cdot A \cdot b_{\text{п}} \cdot q_{\text{га}} \cdot l_{\text{в}}}{10000}. \quad (4)$$

Соответственно суммарная грузовая работа на пасечных трелевочных волоках должна составить общий запас древесины на лесосеке:

$$\sum_{i=1}^{n_{\text{п}}} R_{\text{п}i} = \frac{A \cdot B \cdot q_{\text{га}}}{10000}, \quad (5)$$

где $n_{\text{п}}$ – число пашек:

$$n_{\text{п}} = \frac{B}{b_{\text{п}}}. \quad (6)$$

Для ограничения экологического воздействия техники на лесной почвогрунт учтем характеристику работоспособности трелевочного волока через показатель грузонапряженности W ($\text{м}^3 \cdot \text{м}/\text{м}$) – определяется количеством грузовой работы, приходящейся на 1 м трелевки лесоматериалов:

$$W = \frac{R_{\text{п}}}{l_{\text{в}}}, \quad (7)$$

В зависимости от типа местности значение работоспособности можно принять в следующем диапазоне: I тип – от 6 до 17 $\text{м}^3 \cdot \text{м}/\text{м}$; II тип – 3,4–6 $\text{м}^3 \cdot \text{м}/\text{м}$; III тип – 2,55–5,1 $\text{м}^3 \cdot \text{м}/\text{м}$; IV тип – 1,7–2,55 $\text{м}^3 \cdot \text{м}/\text{м}$.

На основании выполненных расчетов в соответствии с заданными условиями и полученным результатам (Рисунок 2), можно сделать вывод о том, что транспортная способность пасечного трелевочного волока на III типе местности сможет обеспечить работу ПТМ по транспортировке лесоматериалов только при ширине пасеки менее 5 м, при этом плотность почвогрунта все равно будет увеличиваться в два раза.

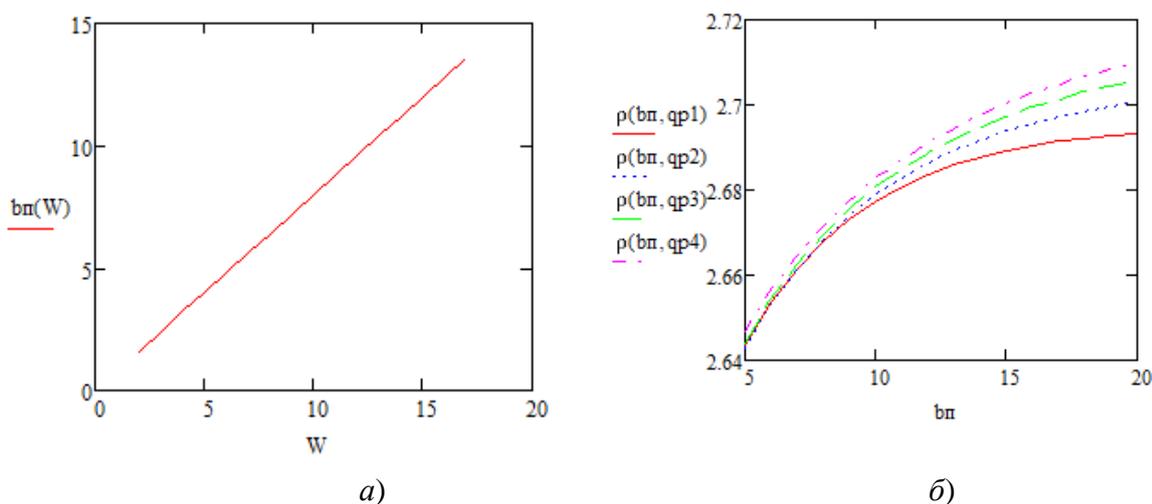


Рисунок 2 – Влияние грузонапряженности трелевочного волока на ширину пасеки (а) и ширины пасеки на плотность почвогрунта при различной рейсовой нагрузке ПТМ (б)

Проблемы переуплотнение слабонесущих лесных почв почвогрунта может стать только 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.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жураковский, В.П. Оценка проходимости и вредного воздействия на почву многоосной колесной машины: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.05.03 / Московский автомобилестроительный институт. – Москва, 1993. – 15 с.
2. Григорьев И.В., Тихонов И.И., Куницкая О.А. Технология и машины лесосечных работ: учебное пособие по курсовому проектированию. – СПб.: СПбГЛТУ, 2013. – 132 с.

А.В. Вавилов, проф., д-р техн. наук (БНТУ, г. Минск);
П.А. Протас, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ ЛЕСОСЕК С ПОСЛЕДУЮЩИМ ЭФФЕКТИВНЫМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЕМ ПРЯМОЛИНЕЙНОЙ ПОСАДКИ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР

В соответствии с установленными нормативными документами требованиями заключительной операцией лесосечных работ является очистка мет рубок для их освидетельствования и передачи органам лесного хозяйства. Так Правилами рубок леса в Республике Беларусь предусмотрено, что очистка лесосек от порубочных остатков может осуществляться одновременно с рубкой леса или после ее окончания до освидетельствования лесосек. При этом одной из важных целей данной операции является приведение лесосек в состояние, обеспечивающее условия для лесовосстановления.

Рассматривая способы очистки лесосек и применяемое оборудование, можно сделать вывод, что в настоящее время не в полной мере обеспечивается создание условий для последующей прямолинейной посадки лесных культур и эффективного использования древесного сырья. Например, в ряде случаев необходимо производить **удаление пней**, что также может выполняться различными методами. Находят применение методы фрезерования и корчевания пней.

Фрезерование пней выполняется мульчерами и измельчителями пней с роторным механизмом фрезерования или дисковым и винтовым механизмами измельчения. Мульчеры, предназначенные главным образом для расчистки территории, не собирают щепу от измельчения пней, а измельчают древесное сырье и отходы и разбрасывают получаемую щепу по обрабатываемой площади.

Если измельчитель работает с погружением в грунт (используется для измельчения порубочных остатков и подготовки почвы), то его называют «ротаватор» (Рисунок 1).

Дисковые мульчеры (Рисунок 2) устанавливаются на трактор или стрелу экскаватора. С помощью дисковой фрезы измельчаются стволы деревьев и пни диаметром до 50 см (за 2–3 прохода).

По обрабатываемой площади за единицу времени дисковые мульчеры проигрывают роторным. При обработке объемных территорий выбирать дисковую фрезу нецелесообразно.

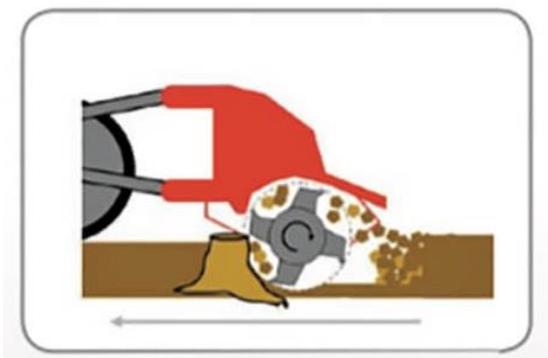


Рисунок 1 – Оборудование для фрезерования пней и грунта



Рисунок 2 – Рабочий орган дискового мульчера

Анализируя эффективность применения мульчеров на очистке лесосек, можно выделить следующие основные проблемные вопросы:

1. большие удельные энергозатраты;
2. значительная стоимость оборудования;
3. малоэффективны при обработке почвы с включениями камней;
4. не обеспечивают использование древесного сырья в энергетических и других целях.

Корчевание пней осуществляется корчевальными машинами, которые бывают непрерывного и циклического действия. Выпускаются как отдельные агрегаты, устанавливаемые на трактор, так и специализированные корчеватели, и корчеватели-сборители. Наиболее распространение получили рычажно-клыковые отвальные корчеватели, работающий по методу прямого толкающего воздействия (Рисунок 3, а). Встречаются комбинированные машины с набором сменных рабочих органов, монтируемых на универсальную раму или манипулятор. В настоящее время все они имеют гидропривод.

Учитывая экологические ограничения, корчеватель прямого толкающего воздействия на очистке лесосек применять не целесообразно.

Эффективным оборудованием для выполнения операции корчевки пней на очистке лесосек может выступать корчеватель на базе одноковшового экскаватора (Рисунок 3, б) с удлиненным рабочим оборудованием и сменными корчующими органами (Рисунок 4).



Рисунок 3 – Корчеватель, работающий по методу прямого толкающего воздействия (а); корчеватель на базе одноковшового экскаватора (б)



Рисунок 4 – Корчующие рабочие органы к одноковшовому экскаватору

Технология очистки лесосек с использованием дополнительных источников древесного сырья (заготовки древесной биомассы из пней и корней) осуществляется в основном на участках рубок главного пользования с рыхлыми минеральными почвами и включает следующий цикл операций (Рисунок 5).



Рисунок 5 – Операции технологии очистки лесосек с эффективным использованием древесного сырья и обеспечением прямолинейной посадки лесных культур

Представленная технология может также иметь отличие в месте операции измельчения лесосечных отходов и пней. Так, измельчение может осуществляться у потребителя после доставки сырья (Рисунок 6), или на промежуточном лесопромышленном складе, что для условий лесопользования в Республике Беларусь более предпочтительно.

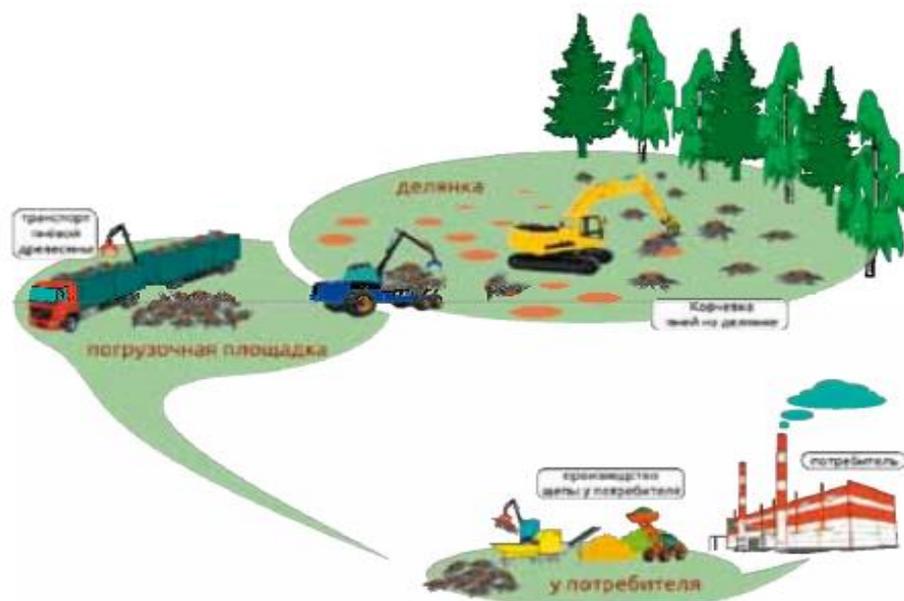


Рисунок 6 – Технология заготовки и измельчения пневой и корневой древесины с использованием экскаватора, оснащенного специальным оборудованием

Отличительными особенностями технологии очистки лесосек (подготовки участка к лесовосстановлению) с использованием дополнительных источников древесного сырья являются:

- применение корчевателя на базе одноковшового экскаватора с удлиненным рабочим оборудованием;
- применение сменных рабочих органов с функциями отряхивания, раскалывания, заравнивания ям и др.;
- корчевка пней с возможностью захвата с одной стоянки всей рабочей зоны;
- может применяться среднеполосная или широкополосная раскорчевка пней;
- сбор и транспортировка порубочных остатков и пней может осуществляться форвардером (тележкой) или специальным оборудованием;
- измельчение порубочных остатков и пней на промскладе после их просыхания.

В.В. Легкий, зам. директора;
Ю.Н. Язубец, директор
(ЧУП «Биоэнергетика, г. Минск, РБ)

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЩЕПЫ. КАЧЕСТВО ЩЕПЫ И НАСТРОЙКА ЕЕ РАЗМЕРОВ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ

Существующий объем древесины в Беларуси – это хороший потенциал, который можно использовать как в энергетических целях, так и для использования в деревообрабатывающей отрасли. За последние годы большое количество котельных системы ЖКХ было переведено на использование местных видов топлива (МВТ), а конкретно щепы. Одновременно с этим построены и введены в эксплуатацию мини-ТЭЦ на МВТ, которые обеспечивают энергией небольшие города и районные центры. Также были модернизированы существующие производства концерна «Беллесбумпром» и запущены новые мощности иностранных компаний ВМГ ИНДУСТРИ ИООО и ИООО Kronospan.

Рынок щепы в Республике Беларусь начал формироваться около 15 лет назад и на сегодняшний момент можно сказать, что он сформирован. Основное потребление идет на внутренний рынок.

Центральное место в данном случае занимает рубительная машина и в зависимости от того какая топливно-сырьевая база, а также выбранная логистическая цепочка, применяется та либо иная технология. Укрупненно можно выделить несколько способов производства топливной щепы: на делянках в лесу или верхнем складе; на нижнем складе или на специально подготовленных площадках.

Принципиальным моментом является то, какую рубительную машину выбрать – стационарную или мобильную. В зависимости от данного выбора будет выстраиваться комплекс машин, в особенности транспорт (лесовозы или щеповозы). Точный расчет, учет всех особенностей и нюансов – залог успеха в правильности выбора технологической цепочки, соответственно и рубительной машины.

Завод изготовитель JENZ GmbH (Германия), имеет широкий спектр рубительных машин, как относительно исполнения (мобильная и стационарная), так и по производительности (от 1.500 до 30.000 пл. м³ щепы в месяц).

Мобильную рубительную машину стоит выбирать в том случае, когда топливно-сырьевая база значительно рассредоточена в пределах одного района, либо в пределах нескольких районов или даже областей. Возможна и такая ситуация, когда имеется несколько энергетических

ческих источников, которые необходимо обеспечивать топливной щепой, производимой одной рубительной машиной. Также следует понимать, что при отсутствии собственной топливно-сырьевой базы, риски, связанные с отсутствием сырья, возрастают. Такая ситуация возникает в основном у организаций, которые оказывают услуги.

Мобильные рубительные машины условно можно разделить по степени мобильности:

– на базе прицепов и полуприцепов (со сцепной петлей (Рисунок 1) либо под седельный тягач (Рисунок 2));



Рисунок 1 – Мобильные рубительные машины JENZ GmbH со сцепной петлей



Рисунок 2 – Мобильные рубительные машины JENZ GmbH под седельный тягач

– на базе шасси грузовых автомобилей (с приводом от двигателя грузовика (Рисунок 3) либо с собственным дизельным двигателем (Рисунок 4).

Подбор мобильной рубительной машины будет зависеть от производительности, организации производства, ежемесячного пробега и особенностей эксплуатации. Исходя из опыта белорусских предприятий, можно выделить определенную закономерность. При работе в радиусе 50–100 км и пробегах в месяц около 1000–1500 км – выбирают прицепную рубительную машину. Если предполагается работа в условиях рассредоточенной сырьевой базы (в нескольких областях, снабжая щепой несколько энергообъектов либо работа на услугах) и

пробегах в месяц более 1500 км – выбирают рубительную машину на базе шасси грузовых автомобилей.



Рисунок 3 – Мобильные рубительные машины JENZ GmbH с приводом от двигателя грузовика



Рисунок 4 – Мобильные рубительные машины JENZ GmbH собственным дизельным двигателем

Выбор мобильной рубительной машины должен быть обоснован и просчитан. В первом и втором варианте есть как свои плюсы, так и минусы. Здесь необходимо сопоставить следующие факторы:

- стоимость техники. Рубительные машины на базе шасси грузовых автомобилей имеют более высокую стоимость из-за шасси грузовика, прицепные – соответственно дешевле;
- степень мобильности. Скорость перемещения рубительных машин на базе шасси грузовых автомобилей достигает 90 км/ч и в сочетании с малым радиусом разворота дает максимальную степень мобильности по сравнению с прицепными рубительными машинами, которые в основном агрегируются с тракторами МТЗ, имеют скорость передвижения около 40 км/ч и большой радиус разворота.

Стационарная рубительная машина одновременно с рядом ограничений, по сравнению с мобильной рубительной машиной, имеет и свои преимущества, которые позволяют ей занять свою нишу (Рисунок 5).

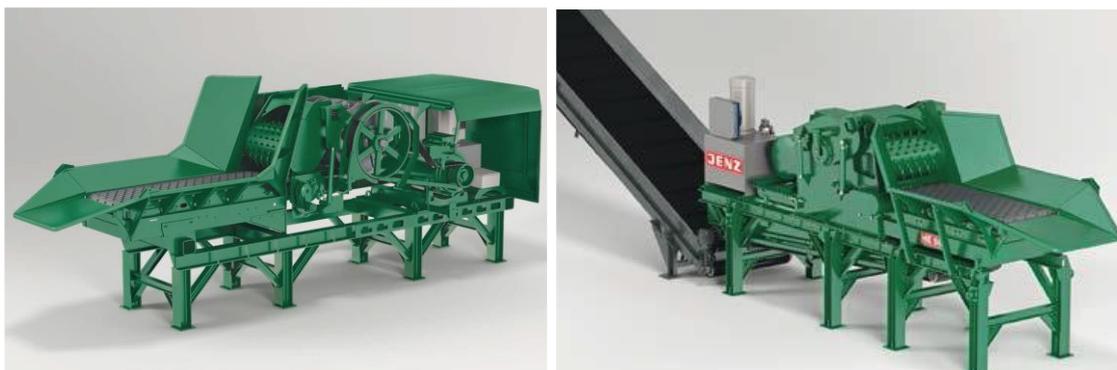


Рисунок 5 – Стационарные рубительные машины JENZ GmbH с электродвигателем

Основное распространение стационарные машины получили у предприятий, которые «тонко» проработали вопрос топливно-сырьевой базы, локализовали производство и могут обеспечить отличную логистику как в поставке сырья, так и у себя на площадке.

Главной особенностью стационарных рубительных машин является необходимость бесперебойного обеспечения сырьем и отгрузки готовой щепы. Основой бесперебойной подачи сырья является возможность аккумулировать сырье на площадке, постоянно загружать машину, а также отводить/убирать щепу от машины.

Выделяют три варианта загрузки сырья в стационарную рубительную машину:

- с помощью дополнительного падающего транспортера или подающего стола. Такую схему применяют, когда стационарная рубительная машина стоит в линии на крупных предприятиях и весь процесс автоматизирован (блок управления машиной подключается к главному пульту в диспетчерской);
- посредством гидравлического манипулятора. Обычно это стационарно установленный гидравлический манипулятор рядом с машиной или на лесовозе, который подвозит сырье и загружает машину;
- загрузка с помощью фронтального погрузчика.

Произведенная щепа при помощи системы транспортеров или фронтальным погрузчиком загружается в автощеповозы, железнодорожные вагоны или складывается в бурты. Загрузка щепы транспортерами в автощеповозы или железнодорожные вагоны подразумевает работу с колес и поэтому большинство предприятий организывает оперативный склад щепы.

Фронтальный погрузчик со сменными рабочими органами (челюстной захват и ковш) позволяет обеспечить бесперебойную работу стационарной рубительной машины и выполняет как подвоз сырья, так и перемещение щепы с последующей ее загрузкой.

Минусы данной технологии заключаются в ограничениях, касающихся топливно сырьевой базы и необходимости «тонкой» настройки всей логистической цепочки (подвоз сырья и транспортировка готовой щепы). Данную технологию выбирают главным образом для минимизации затрат на рубку 1 м³ плотного щепы. Есть примеры предприятий, которые имеют как мобильные, так и стационарные рубительные машины. Затраты на рубку 1 м³ плотного щепы у стационарных рубительных машин в 2–3 раза меньше по сравнению с мобильными, однако у владельцев техники нет однозначного ответа на вопрос: «Что лучше – мобильная или стационарная?». Каждый отвечает на этот вопрос сам.

В зависимости от перерабатываемого сырья (дрова/ горбыль/ ветки), необходимо правильно подобрать тип ротора, для того чтобы получить максимальное качество щепы (Рисунок 6).



Рисунок 6 – Типы роторов рубительных машин JENZ для топливной щепы

Однако в последнее время вырос спрос на технологическую щепу, что подтолкнуло JENZ к созданию линейки новых роторов и определенных доработок конструктива рубильных машин, машин нового поколения.

Ротор нового поколения Н1 для получения технологической щепы на горбыле и ветках (Рисунок 7).

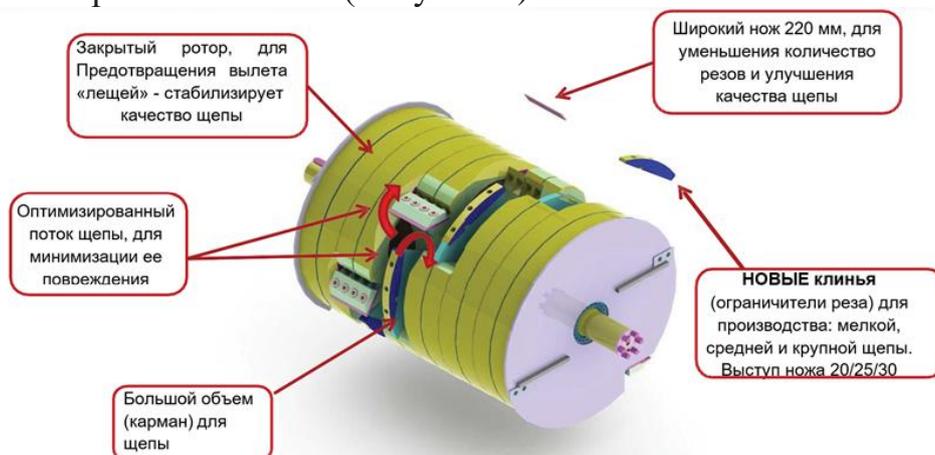


Рисунок 7 – Ротор Н1 рубительных машин JENZ для технологической щепы

Ротор нового поколения D1 для получения технологической щепы на стволовой древесине и горбыле (Рисунок 8).

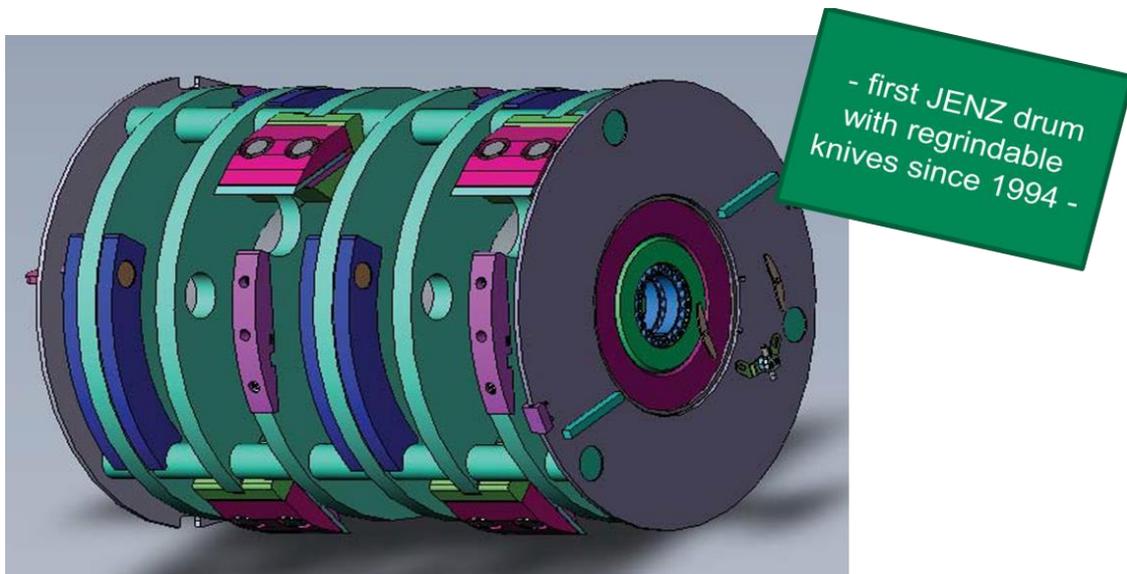


Рисунок 8 – Ротор D1 рубительных машин JENZ для технологической щепы

Основные преимущества роторов нового поколения H1 и D1:

- значительно повысилось качество щепы (особенно на горбыле);
- уменьшилось количество «мелкой фракции» внутри щепы;
- уменьшилось количество вылета «лещей/лучин»;
- легкость настройки и производства щепы в широком диапазоне: 15/20/25/30/40 мм;
- уменьшился расход топлива на 5–7%;
- улучшилась плавность рубки.

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

ВИДЫ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА И НАПРАВЛЕНИЯ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Древесное топливо в соответствии с Законом Республики Беларусь № 204-З относится к возобновляемым источникам энергии (ВИЭ), в общем балансе которых составляет около 97% [1]. При этом с учетом взятых Беларусью обязательств в ряде международных соглашений, в том числе в соответствии с Парижским соглашением по климату в нашей стране к 2030 году планируется:

- на 28% уменьшить выбросы парниковых газов (по сравнению с 1990);
- обеспечить выбросы парниковых газов к 2030 г. на уровне не более 96,1 млн. тонн;
- увеличить долю ВИЭ с 6,2 до 9%;
- уменьшить энергоемкость ВВП на 25% по сравнению с 2010 годом;
- уменьшить долю газа в производстве энергии на 50%.

Достичь таких показателей возможно при дальнейшем вовлечении и развитии использования различных видов древесного топлива, как основного ВИЭ.

Рассматривая ЦУР в области использования ВИЭ и борьбы с изменением климата необходимо отметить ЦУР 13 и 7. Достижение **Цели 13 «Принятие срочных мер по борьбе с изменением климата и его последствиями»** за счет стабилизации уровня выбросов парниковых газов, может произойти благодаря замене высокоуглеродных видов топлива возобновляемыми источниками энергии. В этой связи в Беларуси разработана и реализуется долгосрочная политика по использованию ВИЭ. Реализация Цели 13 существенно зависит от выполнения **Цели 7 «Обеспечение доступа к недорогим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех»**. В этой связи в 2022 году выполнены установленные показатели по выполнению Цели 7:

- отношение объема производства (добычи) первичной энергии из возобновляемых источников энергии к объему валового потребления ТЭР – 8,3%;

– установленная электрическая мощность генерирующих установок, функционирующих на основе возобновляемых источников энергии, на душу населения (в ваттах на душу населения) – 69,3.

Для реализации поставленных целей в том числе вводятся новые энергообъекты на местных видах топлива. В Республике Беларусь из более чем 10,5 тыс. энергоисточников суммарной тепловой мощностью около 35 тыс. МВт на местных видах топлива (древесное топливо, торф) работают 5,6 тыс. энергоисточников суммарной тепловой мощностью около 7 тыс. МВт. В 2021 году в стране использовалось порядка 1,5 млн. т у.т. древесного топлива, что позволило снизить годовой потребление импортируемого природного газа на 1,3 млрд. м³ и сэкономить более 188 млн. долларов США. Следует отметить, что в организациях ЖКХ себестоимость тепловой энергии, вырабатываемой в котельных с автоматической топливоподачей (топливная щепка), на 20–25% была ниже, чем в газовых [2].

Древесное топливо по используемому сырью делится на первичное и вторичное, а по степени его подготовки – на не облагороженное и облагороженное.

Первичное древесное топливо подразделяется на топливо из спелого древостоя, из припевающей и молодой древесины, а также топливо из частично переработанной древесины.

Вторичное древесное топливо производится в целях утилизации ранее использованной деловой древесины и продуктов ее переработки в энергетических целях.

В Беларуси находит применение только первичное древесное топливо, а вторичное не вовлечено в топливный баланс, за исключением незначительной доли использованной деревянной тары и упаковки.

Необлагороженная форма топлива состоит, как правило, из древесных отходов основного производства (сучья, ветви, кора, отходы лесопиления и т.д.), целенаправленно заготовленной топливной древесины, а также частично переработанного топливного сырья для обеспечения удобства транспортировки и использования (колотые дрова, щепка и др.).

Облагороженное топливо – специально произведенные из необлагороженного топлива продукты: брикеты, гранулы, древесный порошок, биогаз, биодизель, то есть топливо с гораздо более высокими потребительскими свойствами.

При этом всех видов древесного топлива; в стране производится более 10,4 млн. м³. Основную долю в этом объеме занимают дрова, которые реализуются в основном в круглом виде. Однако в последние

годы учреждения Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь наращивают объемы производства колотых дров, которые сегодня составляют около 200 тыс. м³. Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 35 от 2014 года твердое топливо, топливные брикеты и дрова для населения относятся к социально значимым товарам, цены на которые регулируются облисполкомами и Минским горисполкомом.

В организация Минлесхоза РБ имеется 85 производств топливной щепы общим годовым объемом 3,3 млн. м³, а также 21 завод по производству древесных топливных гранул (пеллет) общим объемом 370 тыс. тонн в год. Общая мощность производства пеллет в стране более 800 тыс. тонн.

В связи с вводом санкций потребовалось искать **новые пути реализации пеллет**, так как основной планируемый рынок европейских стран отказался от их приобретения. Постановлением СМ РБ № 716 от 23 октября 2023 года утвержден комплекс мер по увеличению использования древесных топливных гранул (пеллет). Документ предусматривает принятие стимулирующих мер, направленных на развитие внутреннего рынка потребителей этого вида топлива.

Одним из мероприятий по увеличению использования пеллет является совместное их сжигание с иными видами твердого топлива на энергоисточниках и предприятиях цементной отрасли в технологическом процессе.

В Германии достаточно широко развивается направление мультитопливного сжигания (Рисунок).



Рисунок – Виды топлива для мультитопливного сжигания

Мультитопливное сжигание осуществляется в одном котле, при этом возможно комбинировать различные системы сжигания:

– решетка: древесная щепа и другое крупное топливо;

- горелка для пыли / гранулированного топлива: мелкие частицы < 3 мм;
- вспомогательные горелки: жидкое топливо или природный газ.

В общем можно отметить, что из всех видов около 40% древесного топлива потребляют организации ЖКХ, 25% – население, около 20% – Минэнерго и др.

Одним из направлений производства древесного топлива является получение жидких, твердых и газообразных продуктов пиролиза.

К жидким продуктам относятся масла, биотопливо и смолы, которые имеют теплоту сгорания 20–25 МДж/кг.

Твердым продуктом пиролиза является древесный уголь (30 МДж/кг).

Газообразные продукты пиролиза представляют собой среднекалорийный газ (15–22 МДж/м³).

Однако данные направления в Беларуси развиты недостаточно, что является существенной перспективой в развитии применения древесного топлива.

Госпрограммой «Энергосбережение» в 2021–2025 годах предусмотрено построить в организациях ЖКХ 86 котельных на древесном топливе общей тепловой мощностью 490 МВт [3], что, по оценке Департамента по энергоэффективности позволит снизить годовое потребление импортируемого природного газа еще на 114 млн. м³, то есть экономить 16,5 млн. долларов США ежегодно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Развитие возобновляемой энергетики Беларуси [Электронный ресурс] / http://energoeffekt.gov.by/news/news_2023/20231025_news1. Дата доступа: 02.02.2024.

2. Беларусь ежегодно экономит до 188,5 млн долларов за счет использования древесного топлива [Электронный ресурс] / <http://www.belta.by/economics/view/belarus-ezhegodno-ekonomit-do-1885-mln-za-schet-ispolzovanija-drevesnogo-topliva-468897-2021/>. Дата доступа: 02.02.2024.

3. Государственная программа «Энергосбережение» на период 2021–2025 годы. Утверждена Постановлением СМ РБ от 24 февраля 2021 г. №103.

МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МАРШРУТИЗАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК

Изучение источников информации по изучаемой теме позволяет резюмировать, что в настоящее время разработано достаточно много методов, применяемых для решения задачи маршрутизации автомобильных перевозок. Но разнообразие самих постановок задач не позволяет вывести универсальный алгоритм, который мог бы обеспечить получение набора оптимальных маршрутов независимо от количества транспортных средств, числа поставщиков и потребителей, и в тоже время не иметь критических ограничений [1–4].

В качестве одного из критериев классификации методов решения задач маршрутизации можно выделить точность получаемого решения. В соответствии с этим подходом можно выделить следующие методы.

Точные методы. Обеспечивают нахождение оптимального маршрута путем вычисления всех возможных решений.

Анализ литературных источников показывает [1–4], что при выборе маршрутов перевозки точные методы решения применяют исключительно для задач с небольшим количеством входных данных. На практике, основную массу составляют задачи с множеством пунктов объезда, парком транспортных средств, расположенных не в одном месте, и множеством критериев и ограничений. Для таких задач поиск оптимальных маршрутов точными методами нецелесообразен в силу значительных затрат по времени на осуществление расчетов.

Среди точных алгоритмов можно выделить следующие.

Метод ветвей и границ основан на разделении множества допустимых решений на подмножества, в каждом из которых далее будет выполнена проверка на наличие оптимального решения. Существует дерево поиска решений, ветви которого – сами решения, а границы – то, что ограничивает их рост. Для каждого подмножества определяется нижняя граница, и в случае, когда вариант обхода пунктов имеет длину пути не большую, чем нижняя граница любого из неразбитых подмножеств, то данное решение будет являться оптимальным. Данный алгоритм непрогнозируем по времени.

Метод ветвей с отсечением отличается от предыдущего тем, что в случае, когда нижняя граница подмножества больше верхней границы предыдущего подмножества, то оно отсекается.

Особенность решения задачи *методом динамического программирования* заключается в разбиении задачи на стадии. Преимуществом является то, что за счет деления на каждом этапе не так много неизвестных, следовательно, упрощаются расчеты. Одновременно, это вызывает негативный эффект – приходится сохранять результаты каждого этапа, которые в последующем могут быть не использованы. Среди достоинств можно отметить то, что скорость получения результата не будет зависеть от входных данных.

В процессе решения задачи *методом целочисленного линейного программирования* составляется система линейных ограничений с целочисленными переменными. Особенность метода заключается в том, что искомые неизвестные должны принимать только целочисленные решения, в связи с этим могут быть получены менее точные решения.

Решение *методом сил* связано со сложностями в вычислениях, так как метод основан на поиске всех возможных вариантов, которых может быть значительное число. Существенным недостатком метода является большое количество времени, требуемое для перебора всех возможных решений.

Эвристические методы. Данные методы позволяют получить приближенные решения, поскольку основаны на правилах эвристики и не всегда подчиняются математическим принципам.

Применение приближенных алгоритмов не всегда дает оптимальное решение, так как преобразования и ограничения предполагают упрощение системы, т.е. рассматриваются не все варианты, а только «типичные», остальные отбрасываются в виду малой вероятности.

Эвристические методы делят на:

– *двухфазные алгоритмы (алгоритм лепестков, алгоритм заметания, алгоритм Фишера-Джекумера).* При выборе маршрута перевозки груза используя эвристические двухфазные алгоритмы, решение задачи делится на 2 этапа: сбор вершин в группы и построение маршрута для каждой группы;

– *конструктивные алгоритмы (алгоритм Кларка-Райта).* Данные алгоритмы основаны на поэтапном решении задачи, и учете общей суммы затрат;

– *улучшающие алгоритмы.* В процессе решения задач такими методами формируется любое допустимое решение, которое потом преобразуется с целью улучшения.

Метаэвристические методы. Такие алгоритмы основаны исключительно на эвристических принципах, в связи с чем уступают другим методам по точности. Однако они являются хорошим компромиссом между качеством решения и временем, затраченным на вы-

числения. Еще одним достоинством является их гибкость ввиду отсутствия требований к задаче.

Среди часто используемых метаэвристических алгоритмов выделяют:

– *эволюционные методы*: генетические алгоритмы, имитация иммунной системы человека, метод дифференциальной эволюции. Огромным преимуществом применения данных алгоритмов является то, что они могут быть легко распараллелены и совмещены с использованием нейронных сетей;

– *поведенческие методы*: муравьиный алгоритм, метод пчелиных колоний. Данные методы основаны на природных способах оптимизации: естественном отборе и генетическом наследовании;

– *методы, имитирующие физические процессы*: имитация отжига, метод поиска гармонии;

– *жадные методы*: алгоритм ближайшего соседа и рекурсивного перебора.

Данные алгоритмы эффективно использовать при небольшом количестве факторов, иначе время на обработку данных будет достаточно большим.

На данный момент существуют различные комбинации скрещивания эвристических методов решения задачи маршрутизации.

Помимо перечисленных алгоритмов, для получения приближенных результатов используют следующие методы.

1. *Имитационное моделирование*. Сущность метода заключается в создании имитационной модели, которая позволяет исследовать структуру транспортной системы, и посредством аналогов выполнить ее оптимизацию.

2. *Методы теории расписаний*. Методы основываются на составлении почасовых графиков поставок с минимизацией простоев и пробегов.

3. *Методы случайного поиска*. В основе методов лежит статистическая обработка входных данных, на основе которой выявляют закономерности, основываясь на которые занимаются дальнейшим планированием. Основным принципом такого планирования (ситуационного) является выделение базовых маршрутов, чередование которых дает возможность воспроизвести всё множество маршрутов.

4. *Методы локальной оптимизации*. В реальных условиях задача выбора оптимального маршрута сводится к определению первоначального допустимого маршрута – базового, который далее будет подвержен различным способам оптимизации.

В ходе процедуры выбора оптимального маршрута могут быть использованы и другие подходы.

Например, поиск оптимального маршрута осуществляется по грузообороту транспортного средства (суммарные затраты перевозки в тонно-километрах) и показателю минимизации риска или издержек на маршруте (степень непредвиденных расходов). Для решения задачи формируется граф, и для нахождения оптимального маршрута задается целевая функция. Методом перебора всех возможных маршрутов или с помощью алгоритма Дейкстры определяют минимальный из них.

Существует решение задачи маршрутизации методом совмещенных планов, который включает в себя план перевозок груза и возврата порожних автомобилей.

Таким образом, можно сделать следующий вывод. Решение задачи маршрутизации достаточно ресурсоемкий процесс, требующий уже на этапе подготовки исходных данных понимания всей структуры целевой функции и системы ограничений. Выбор же методов и алгоритмов решения зависит, в том числе, и от требуемой точности полученного решения и вводимых в задачу допущений и ограничений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Vlasov A. V., Stanovskih A. A. Additional constraints in the vehicle routing problem // *Universum: технические науки*. 2022. № 4-12 (97). P. 49–55. DOI: 10.32743/UniTech.2022.97.4.13513.

2. Волкова М. В., Флигиль М. М. Принятие решения о выборе маршрута перевозки в условиях неопределенности // *Гуманитарный научный вестник*. – 2022. – № 6. – С. 185-189. – DOI 10.5281/zenodo.6758062. – EDN IISBAU.

3. Барташевич, Е.И. Анализ существующих способов выбора маршрутов для перевозки древесины автомобильным транспортом / Е.И. Барташевич, Р.О. Короленя // *Научные исследования XXI века*. – 2023. - № 4 (24). – С. 20-25.

4. Барташевич, Е.И. Классификация способов решения задачи маршрутизации / Е.И. Барташевич, К.А. Гриневич, науч. рук. Р.О. Короленя // *74-я научно-техническая конференция учащихся, студентов и магистрантов: тезисы докладов: в 4-х ч.* – Минск, 17–22 апреля 2023 г. [Электронный ресурс] – Минск : БГТУ, 2023. – Ч. 1. – С. 74-75.

РАЗРАБОТКА ГРАФ-СХЕМЫ КРАТЧАЙШИХ РАССТОЯНИЙ ПЕРЕВОЗОК ЛЕСНЫХ ГРУЗОВ В СТОЛБЦОВСКОМ ЛЕСХОЗЕ

Для реализации оптимальной стратегии управления транспортным процессом и получения решения задач маршрутизации, транспортной задачи и ряда других, важнейшим этапом является определение граф-схем кратчайших маршрутов.

Район расположения Столбцовского лесхоза характеризуется достаточно развитой сетью путей транспорта общего пользования.

По территории лесхоза проходят различные транспортные пути, обслуживающие потребности в пассажирских и грузовых перевозках как внутри страны, так и между разными государствами.

Имеется множество автомобильных дорог местного значения, связывающих между собой населенные пункты и лесные массивы. Эти дороги, наряду с естественными лесными дорогами, широко используются для вывозки заготовленной древесины.

Состояние дорог республиканского значения на территории лесхоза удовлетворительное и используется для целей лесного хозяйства в течение круглого года.

Местные дороги в своем большинстве, также находятся в хорошем состоянии, имеют асфальтобетонные и гравийные типы покрытий. Дороги находятся в эксплуатации круглогодично.

В пределах границ лесхоза преобладают сухоходольные территории, что создает условия для хорошей дорожной насыщенности и возможности почти круглогодичной эксплуатации большинства естественных лесных дорог.

Вывозка лесоматериалов на железнодорожную станцию и непосредственно к пунктам потребления древесины в пределах района производится по автомобильным дорогам.

В качестве водных путей транспорта (для плотового и молевого сплава), с учетом экологической обстановки, в силу наличия больших перепадов, отмелей, непостоянной глубины и формы, русла реки Неман не используется.

В пониженных элементах рельефа создаются трудности в круглогодичной эксплуатации дорог. Некоторые участки незначительно числа дорог требуют улучшения и ремонта.

В целом, территория лесхоза сравнительно хорошо насыщена сетью дорог. В границах лесного фонда лесхоза общая протяженность путей транспорта, используемых для транспортировки лесных грузов и иных лесохозяйственных целей, составляет 1953 км или 2,153 км на 100 га общей площади.

В состав Столбцовского лесхоза, помимо девяти лесничеств, входит производственно-мастерский участок «Окинчицы» (ПМУ). На производственно-мастерском участке «Окинчицы» осуществляется производство пиломатериалов обрезных и необрезных хвойных пород, оцилиндрованной древесины, топливных гранул (пеллетов) и щепы топливной.

Вывозка и перевозка лесоматериалов в лесхозе, помимо производственно-мастерского участка, осуществляется на железнодорожную станцию, расположенную в населенном пункте Задворье, а также конечным потребителям.

Разветвленная транспортная сеть района расположения лесхоза позволяет строить разнообразные маршруты для перевозки лесоматериалов и пиломатериалов. В таких условиях актуальной задачей является определение кратчайших маршрутов перевозки и составление их граф-схемы.

С целью анализа путей транспорта и сбора необходимых данных, были изучены данные замеров расстояний работниками лесхоза, показания системы мониторинга работы транспорта в ГЛХУ «Столбцовский лесхоз» и в результате чего были получены показатели маршрутов между лесничествами, производственно-мастерским участком и ближайшими населенными пунктами.

На основе полученных данных был смоделирован граф расстояний между лесничествами, ПМУ и железнодорожной станцией, где лесхоз осуществляет отгрузку лесных грузов.

Согласно выбранной методике нахождения кратчайших расстояний – методу потенциалов [1], для поставленных задач, были определены все звенья графа и их длины.

В качестве поставщиков в Столбцовском лесхозе выступают лесничества, их вершины закодированы буквой «А» с цифрой, обозначающей последовательность названий лесничеств в алфавитном порядке.

Потребители закодированы буквой «Б» и представлены: лесхозом – Б1, производственно-мастерским участком «Окинчицы» – Б2 и железнодорожной станцией – Б3.

Полученные кратчайшие расстояния от лесничеств до производственно-мастерского участка и железнодорожной станции представлены Рисуноку.

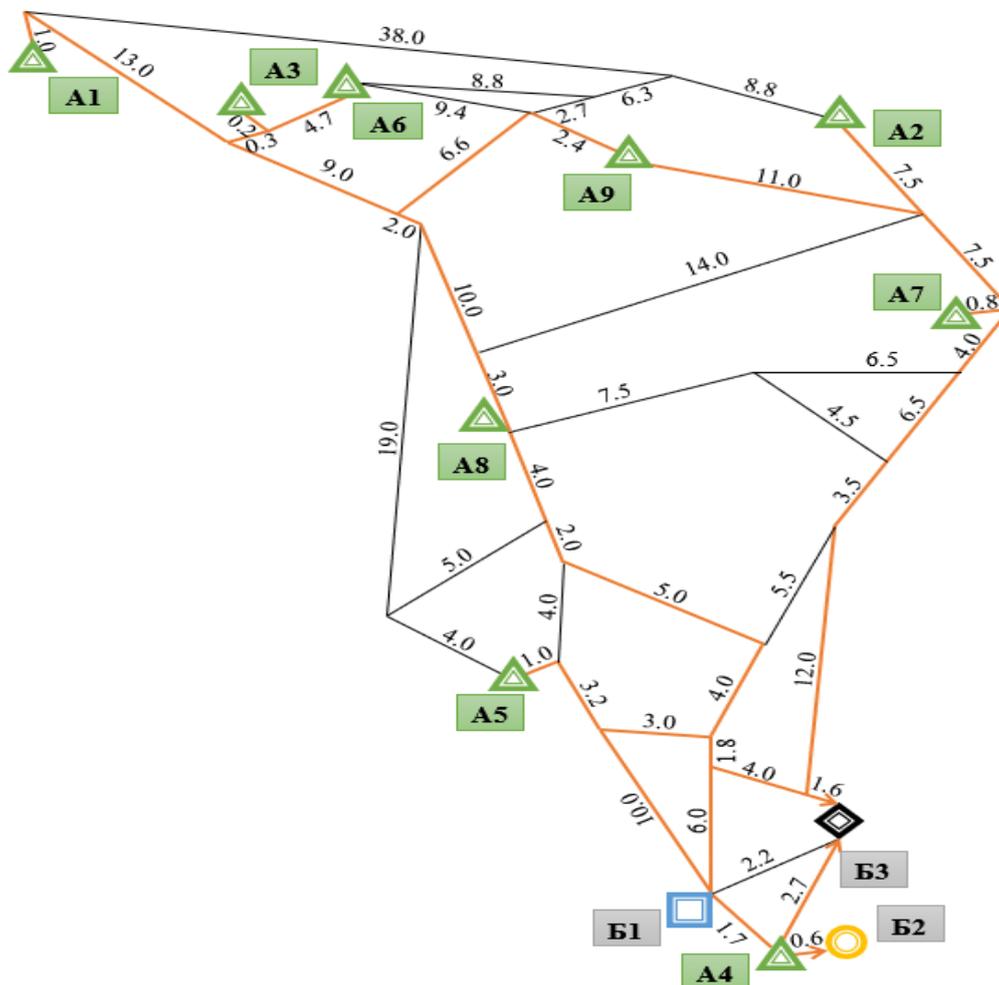


Рисунок – Граф-схема кратчайших расстояний в Столбцовском лесхозе

Полученные результаты позволяют обосновывать маршруты перевозки путем решения задачи маршрутизации, а также решения транспортной задачи по критерию минимума затрат, что позволяет при практическом использовании полученных результатов увеличить коэффициент использования пробега сортиментовозов, а также осуществлять перевозки с минимальными транспортными затратами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кожин, А.П. Математические методы в планировании и управлении грузовыми автомобильными перевозками: учебное пособие для вузов / А.П. Кожин, В.Н. Мезенцев. – Москва : Транспорт, 1994. – 304 с.

КЛАССИФИКАЦИЯ МАРШРУТОВ ПЕРЕВОЗОК ЛЕСНЫХ ГРУЗОВ

В настоящее время в литературе [1–5] выделяют следующие разновидности маршрутов для перевозки грузов автомобильными транспортными средствами (Рисунок 1): маятниковые, кольцевые, верные (радиальные), сборные, развозочные, сборно-развозочные, комбинированные, участковые (челночные).



Рисунок 1 – Общая классификация маршрутов

Из представленных видов маршрутов (Рисунок 1), радиальные маршруты некоторые авторы рассматривают как разновидность маятниковых, другие – как разновидность кольцевых. Сборочно-развозочные маршруты одними авторами рассматриваются как отдельный тип маршрутов, другими как разновидностью кольцевых маршрутов. В работе [4] автор рассматривает маятниковые маршруты как частный случай развозочных маршрутов. Что касается комбинированных маршрутов, то этот вид маршрутов является наименее изученным. Можно предположить, что комбинированные маршруты обладают определенной спецификой по сравнению с другими видами и, что их использование в рамках логистических систем может повышать эффективность работы транспорта и всей системы в целом.

В связи с тем, что в литературе нет определенного единства в области классификации маршрутов перевозки, то на наш взгляд целесообразно выделить и дать определения конкретным маршрутам перевозки лесных грузов.

Установившиеся в практике организации лесозаготовительного производства схемы работы лесовозных транспортных средств, можно определить следующим образом.

При маятниковом маршруте лесоматериалы с одного погрузочного пункта или промежуточной площадки перевозятся одному потребителю (Рисунок 2).

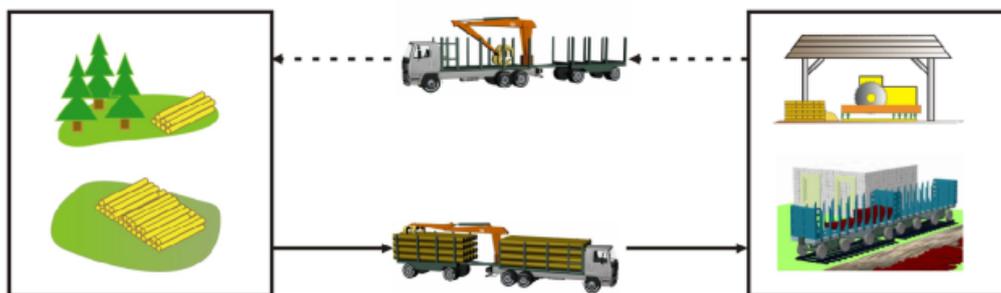


Рисунок 2 – Схема маятникового маршрута

Радиальные (веерный) маршрут: лесоматериалы с одного погрузочного пункта или одной промежуточной площадки последовательно перевозятся на разные разгрузочные площадки (различным потребителям) (Рисунок 3).

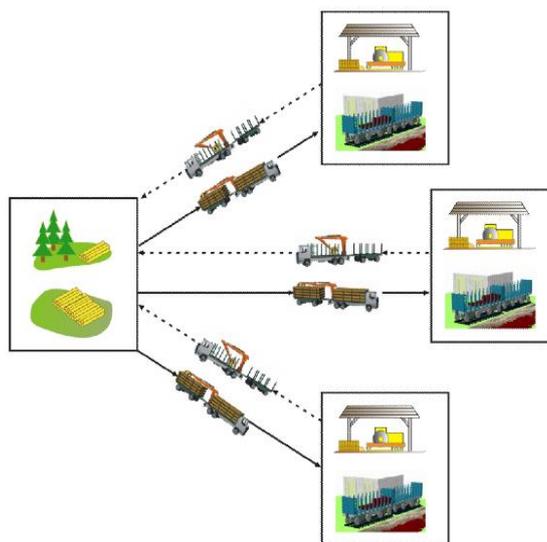


Рисунок 3 – Схема радиального (веерного) маршрута

При работе по сборному маршруту лесоматериалы с нескольких погрузочных площадок или промежуточных пунктов поставляются на одну разгрузочную площадку (Рисунок 4).

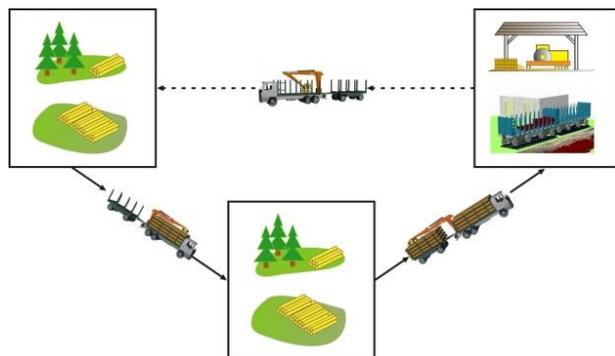


Рисунок 4 – Схема сборного маршрута

При работе по развозочному маршруту лесоматериалы с одной погрузочной площадки или промежуточного пункта поставляются на одну несколько разгрузочных площадок (Рисунок 5):

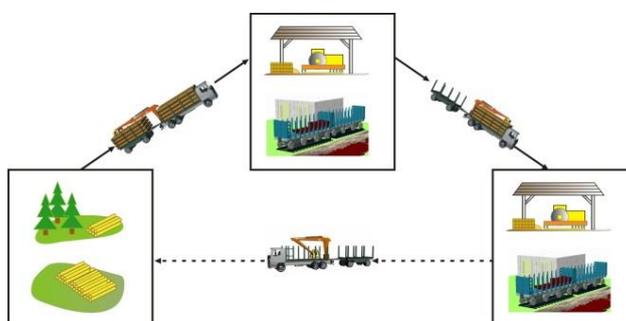


Рисунок 5 – Схема развозочного маршрута

При сборно-развозочном маршруте сортиментовоз с нескольких погрузочных площадок транспортирует лесоматериалы на несколько разгрузочных площадок за одну езду (Рисунок 6):

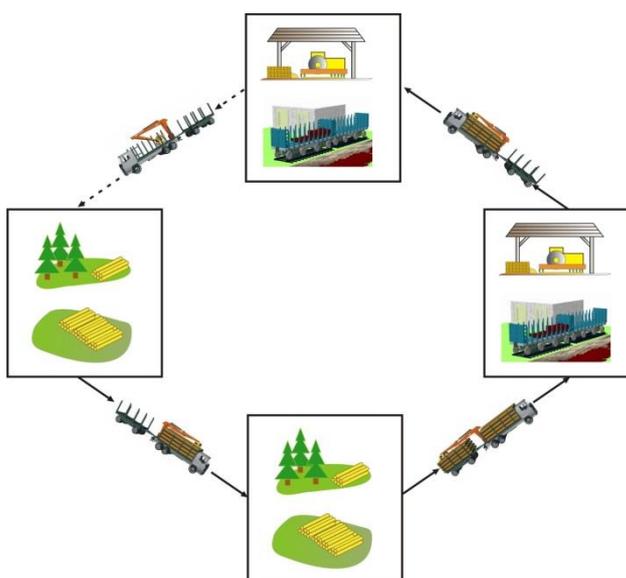


Рисунок 6 – Схема сборно-развозочного маршрута

На кольцевом маршруте работы сортименты последовательно с разных погрузочных площадок поставляются на разные разгрузочные площадки, при этом, каждая новая ездка начинается с нового погрузочного пункта (промежуточной площадки) (Рисунок 7).

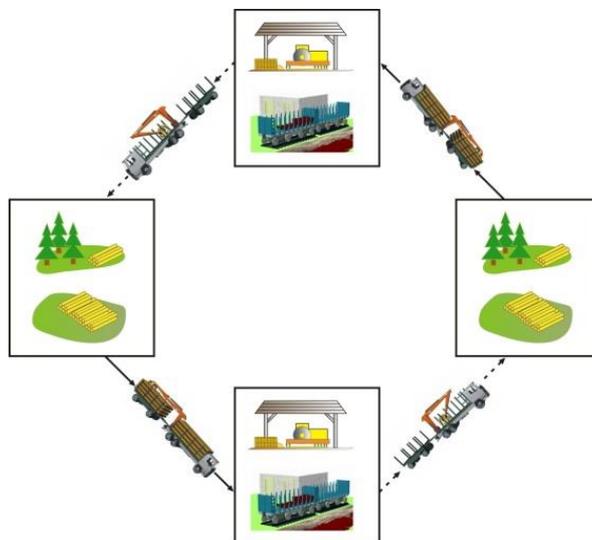


Рисунок 7 – Схема кольцевого маршрута

Комбинированный маршрут – это маршрут, который представляет собой сочетание различных маршрутов движения транспортных средств (маятниковых, радиальных, кольцевых).

Анализ существующей практики транспортного процесса перевозки лесных грузов также позволяет заключить, что в настоящее время диспетчеризация перевозок осуществляется «на лету», т.е. наиболее часто используются комбинированные маршруты. Которые, как отмечалось ранее, являются менее изученными и с достаточной долей неопределенности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горев А.Э. Грузовые автомобильные перевозки. / А.Э. Горев. – 2-е изд., стер. – М.: Изд. центр «Академия», 2004. – 288 с.
2. Воркут А.И. Грузовые автомобильные перевозки. / А.И. Воркут. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Вища школа, 1986. – 447 с.
3. Ванчукевич В. Ф., Седюкевич В. Н. Автомобильные перевозки. / В.Ф. Ванчукевич, В.Н. Седюкевич. – Мн: Выш. шк., 1988. – 264 с.
4. Николин В.И. Грузовые автомобильные перевозки. / В.И. Николин [и др.] – Омск: ВариантСибирь, 2004. – 480 с.
5. Организация и планирование грузовых автомобильных перевозок / Под ред. Л.А. Александрова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1986. – 336 с.

ОСОБЕННОСТИ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ КОНЦЕПЦИИ «JUST IN TIME» В ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Идея концепции «Just in Time» «Точно в срок» заключается в синхронизации процессов доставки материальных ресурсов с потребностью в них, т.е. координация снабжения, производства и сбыта. Это современная система производства и поставки продукции, деталей и комплектующих изделий к месту производственного потребления в необходимых количествах и в нужное время с целью минимизации затрат, связанных с запасами и транспортировкой [1].

Данная концепция дает возможность значительно сократить запасы незавершенного производства, готовой продукции и производственные запасы, к тому же снизить производственные издержки. Следовательно, для обеспечения ритмичной и своевременной транспортировки лесных грузов потребителям в полном объеме, реализация на практике данной концепции является приоритетной задачей.

Существует две группы методов решения поставленной цели. К первой группе относятся методы теории управления запасами и методы планирования доставки по заданному графику – которые уделяют основное внимание первому условию задачи.

Ко второй группе – методы маршрутизации, которые оптимизируют использование подвижного состава при установленных ограничениях на объем перевозок, время в наряде и т.д.

Данные методы не учитывают динамику процессов заготовки – потребления древесного сырья, определяющую колебания сроков доставки и отправки, прямую связь между сроками отправки и нормативами запасов древесины.

В целом же, рассматриваемая концепция предполагает следующее. Если план производства известен, то организовать движение материальных потоков можно таким образом, что все материалы, компоненты и полуфабрикаты будут поступать в необходимом количестве, в нужное место и точно к назначенному сроку для производства, сборки или реализации готовой продукции.

Математическую модель данной концепции в разрезе лесозаготовительного производства, в частности для перевозки лесных грузов, можно свести к следующему виду (1) [2].

$$\sum_{i=1}^N C_i(t) \cdot \varphi(\bar{T}_i, \sigma_i) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где $C_i(t)$ – оценочный критерий, отражающий удельные затраты, приходящиеся на 1 м³ перевезенного груза в зависимости от времени пребывания на i -ой операции процесса перевозки, состоящего из N операций; $\varphi(\bar{T}_i, \sigma_i)$ – функция, которая отражает продолжительность движения лесных грузов в процессе перевозки и зависящая от среднего значения времени движения и статистического закона распределения этого показателя.

В общем виде продолжительность движения лесных грузов можно оценить следующим образом (2).

$$\bar{T}_i = \sum_{i=1}^I t_{i,i+1} + \sum_{j=1}^J \tau_j + \sum_{k=1}^K \Theta_k, \quad (2)$$

где $t_{i,i+1}$ – время движения между i -ым и $(i+1)$ -м пунктами; τ_j – время непроизводительных простоев; Θ_k – продолжительность погрузочно-разгрузочных операций.

В целях определения времени движения в настоящее время не существует универсальной методики, которая позволила бы определить продолжительность транспортного цикла в зависимости от конкретных природно-производственных условий.

Таким образом, для реализации модели «Точно вовремя» при оперативном управлении поставками древесины необходимо учитывать особенности лесозаготовительного производства и реализовать следующие мероприятия:

- проведение глубокого анализа работы подвижного состава на различных маршрутах в различных природно-производственных условиях;
- корректировка существующих нормативов погрузочно-разгрузочных работ;
- обеспечение перевозок лесных грузов без непроизводительных простоев.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаджинский, А. М. Логистика: учеб. / А. М. Гаджинский. – 2-е изд. – М.: ИВЦ «Маркетинг», 1999. – 228 с.
2. Модели и методы теории логистики: учеб. пособие / В. С. Лукинский [и др.]; под ред. В. С. Лукинского. – 2-е изд. – Спб.: Питер, 2007. – 448 с.

УМЕНЬШЕНИЕ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ СТВОЛОВ ДЕРЕВЬЕВ ПРИ ВЫБОРОЧНЫХ РУБКАХ ЛЕСА

Выборочные постепенные рубки позволяют обеспечить непрерывное и экологически выгодное использование лесных ресурсов, а также значительно сократить необходимость в искусственном лесовосстановлении. Но их реализация сталкивается с определенными трудностями, связанными с отсутствием специализированной техники и соответствующих технологий, которые удовлетворяют требованиям экологического лесоводства и учитывают принципы сбережения природы при проведении лесосечных работ.

Организация лесозаготовительных операций включает использование различных технологических схем, а также разных типов и составов лесозаготовительной техники. Однако, основной приоритет при выполнении работ по трелевке – минимизация негативного воздействия на природную среду, особенно при рубках ухода. Поэтому главная цель в экологическом аспекте заключается в оптимизации использования техники и технологий, таким образом, чтобы достичь максимальной производительности труда при одновременно рациональном использовании всей биомассы деревьев и минимальном воздействии на лесные экосистемы.

Основные повреждения деревьев, которые могут влиять на дальнейшую их жизнеспособность и продуктивность, можно разделить на три группы (Рисунок 1).

Важно отметить, что технические методы были разработаны с целью уменьшить уплотнение почвы и ее минерализацию на вырубке, что составляет примерно 65–70 % общей площади. Для достижения оптимального удельного давления на почву в 50 кПа был разработан ряд технических решений. Некоторые из них включают использование специальных широкопрофильных шин с низким давлением (15–20 кПа) на транспортных средствах или установку колес одинакового размера по схеме "тандем" с приводом на каждое колесо. Также были применены быстросъемные приспособления, которые повышают проходимость в сложных участках, если это необходимо. Применение полного привода, где каждое колесо имеет свою силу тяги, способно увеличить ее на 40 %.

При проведении выборочных или санитарных рубок обрезка сучьев деревьев осуществляется непосредственно на месте валки деревьев, хлысты разделяются на сортименты.



Рисунок 1 – Основные повреждения, отрицательно влияющие на дальнейшую продуктивность древостоев

Трелевка выполняется различным оборудованием, при этом по способу захвата и удержания хлыстов при перемещении его можно условно разделить на группы:

- трелевка в полуподвешенном положении на подвеске с центром ее вращения вдоль волока;
- трелевка волочением посредством шарнирно закрепленного на трелевочном механизме захвата;
- трелевка в полуподвешенном положении с использованием гибкого каната, при этом точка его крепления (на барабане или блоке) расположена не на продольной оси трелеваемого хлыста;
- трелевка волочением канатом с точкой его крепления (на барабане или блоке), расположенной не на продольной оси хлыста.

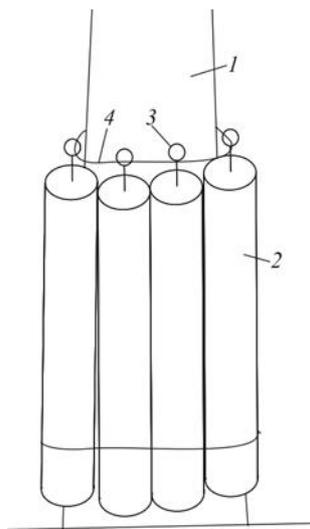
Трелевка в полностью подвешенном состоянии является наиболее щадящим, но энергоемким способом. Однако, она позволяет значительно увеличить сохранность почвенного покрова и корневой системы от повреждений, особенно в теплое время года. Для этого можно использовать технические или технологические решения, такие как укрепление волоком порубочных остатков.

Также для снижения вредного воздействия на лесные экосистемы трелевочных средств возможно непрямолинейное расположение трелевочного волока, а, следовательно, и движение машин, выполня-

ющих трелевку, будет осуществляться по криволинейному маршруту, позволяющему добиться сохранности подроста. Однако, использование криволинейных маршрутов трелевочных волоков может повысить вероятность повреждения стволов деревьев. Одной из главных причин повреждений деревьев является отслаивание коры ствола, что может составлять от 6 % до 10 % при сортиментной технологии.

Одной из важных задач является снижение повреждаемости стволов деревьев. Однако, увеличение ширины волоков может привести к увеличению площади вырубki и уменьшению количества деревьев, которые остаются на доращивание. С другой стороны, современные технологии требуют прямолинейного расположения волоков.

Для защиты деревьев от повреждений было разработано универсальное, съемное и разборно-сборное защитное приспособление [1]. Оно состоит из ограждающих элементов, для которых можно использовать отрезки стволовой части тонкомерной не кондиционной древесины или горбыль. Эти элементы закрепляются гибкой отоженной проволокой (Рисунок 2).



1 – ствол дерева; 2 – элементы ограждения;
3 – крепление (шурупы с кольцом); 4 – проволока

Рисунок 2 – Схема установки защитного приспособления на стволе дерева

Технология защиты ствола дерева от повреждения заключается в следующем: определяются те деревья, стволы которых могут получить повреждения при трелевке, затем вокруг стволов этих деревьев устанавливаются ограждающие элементы (предварительно подготовленные, вырезанные или из порубочных остатков, или из горбыля требуемой длины с установленными в верхний торец шурупами с кольцами). В кольца шурупов продевается отоженная проволока или же трос диаметром 3–4 миллиметра, длиной больше диаметра ствола

дерева, при этом на одном их конце прикрепляется винтовой зажим, необходимая длина проволоки регулируется с помощью второго свободного конца.

Данное защитное устройство позволяет использовать проволоку (или трос) с замком для стволов деревьев разных диаметров, добиваясь быстроты его установки вокруг ствола дерева. После закрепления на стволе дерева верхней части защитного приспособления и фиксации его зажимом, такой же отожженной проволокой (или тросом) обвязывается и фиксируется зажимом нижняя ее часть, что позволяет повысить надежность крепления защитного приспособления и жесткость конструкции.

Такая конструкция повышает надежность и жесткость защитного устройства, что позволяет сохранить ствол дерева и защитить кору от повреждений при трелевке. По окончании трелевки и при необходимости устройство снимается и может быть повторно установлено в другом месте.

Выводы:

1. В результате проведения лесозаготовок возникает негативное воздействие на состояние почвенного покрова и на деревья, которые оставляются для дальнейшего роста, поскольку машины, осуществляющие трелевку леса, их повреждают.

2. Для минимизации повреждений почвенного покрова применяются различные технические решения, например, использование цепей и гусениц на машинах, чтобы снизить действие удельного давления на почву.

3. Как вариант, для изготовления защитного устройства могут применяться неиспользуемые порубочные остатки или горбыль, образующихся при распиловке бревен.

4. Предложенное устройство не только обеспечивает защиту оставленных деревьев от повреждений, но также позволяет размещать трелевочные волокна по криволинейным линиям, что способствует сокращению вырубаемых площадей и повышает экологическую и экономическую эффективность использования лесов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. на полезную модель 181336 РФ, МПК А01G 13/00; А01G 23/00. Защитное приспособление для стволов деревьев / А.Н. Заикин, В.В. Сиваков, В.С. Полеготченков; заявитель и патентообладатель Брянский государственный инженерно-технологический университет. – № 2018101818; заявл. 17.01.2018; опубл. 11.07.2018.

Е.С. Богдан, инженер-конструктор
(ЧПТУП «ТигерЛесЭкспорт», г. Логойск);
А.О. Германович, доц., канд. техн. наук;
В. Н. Лой, канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

ПРИМЕНЕНИЯ МОДУЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА БАЗЕ ПРИЦЕПНОГО ФОРВАДЕРА

В настоящее время машиностроительные предприятия Республики Беларусь освоили широкий перечень выпуска лесозаготовительной техники. Но основной и востребованной техникой остается погружно-транспортная машина, включающая лесохозяйственный вариант трактора, двухосную тележку, гидроманипулятор, грузовую платформу для транспортировки лесоматериалов длиной 2, 4, 6 метров. Данный вид техники хорошо зарекомендовал себя не только в лесных предприятиях, но и во многих сельхоз, коммунально-хозяйственных и других предприятиях [1–4].

Таким образом, для решения проблемы многоцелевого использования лесотранспортных средств, необходимы такие машины, которые позволяли осуществлять перевозку как сыпучих материалов, так и длинномерных, штучных и других материалов.

Предприятием ЧПТУП «ТигерЛесЭкспорт» освоен выпуск двухзвенных форвадеров различных конфигураций, таких как ТИГЕР 7-680, ТИГЕР 9-680, ТИГЕР 9-710, ТИГЕР 9-800, ТИГЕР 9-800 2WD, ТИГЕР 9-800 4WD, ТИГЕР 14-800. Исходя из запросов потребителей, предприятием был разработан ряд спецтехники на базе прицепных форвадеров ТИГЕР, удовлетворяющие различные потребности заказчиков.

Полуприцеп ТИГЕР 7-710Щ для перевозки щепы, дров и порубочных остатков (Рисунок 1), оборудован самосвальным грузовым отсеком с возможностью разгрузки в две стороны и возможностью установки дополнительных надставных бортов на базе полуприцепа ТИГЕР 9-710.

Дополнительно данная модификация может комплектоваться харвестерной головкой, что превращает данный полуприцеп в полноценный комплекс по заготовке дров (Рисунок 2).



Рисунок 1 – Полуприцеп ТИГЕР 7-710Щ



Рисунок 2 – ТИГЕР 7-710Щ с харвестерной головкой Naarva S23

Полуприцеп ТИГЕРАГРО Т-9-800 для перевозки рулонов (Рисунок 3) и ТИГЕРАГРО П-9-800 полуприцеп для перевозки биг-бегов (Рисунок 4) на базе лесовозного полуприцепа ТИГЕР 9-800. Грузовая платформа устанавливается вместо лесовозных стоек.



Рисунок 3 – Полуприцеп ТИГЕРАГРО Т-9-800



Рисунок 4 – Полуприцеп ТИГЕРАГРО П-9-800

Прицепная рубильная машина Тигер МСА-700 (Рисунок 4) представляет собой автономный рубильный модуль, агрегированный на базу лесовозного полуприцепа ТИГЕР 14-800. Рубильный модуль оснащен четырьмя аутригерами для стационарного размещения в месте заготовки щепы, что позволяет использовать полуприцеп для подвоза сырья или отдельно для выполнения других технологических операций.

При работе на верхних и промежуточных складах в условиях лесных дорог возможно применение прицепные рубильные машины, транспортируемые колесными тракторами (Рисунок 5). Такие рубильные машины (Тигер МСА-700) выпускает лесное машиностроительное предприятие ЧПТУП «ТигерЛесЭкспорт».



Рисунок 5 – Прицепная рубильная машина Тигер МСА-700

Наиболее целесообразно перевозить стволковую древесину на склад потребителя и там производить ее переработку в щепу, тем самым сокращая транспортные затраты на перевозку щепы. Для такой технологии заготовки щепы наиболее подходит прицепная рубильная машина. На нижнем складе не требуется высокая проходимость и высокая скорость передвижения, поэтому прицепная рубильная машина хорошо вписывается в технологический процесс заготовки щепы на складе потребителя.

Данные модификации позволяют относительно быстро переоборудовать лесовозный полуприцеп в прицеп для перевозки различных грузов. У малого или частного предприятия имеется ограниченный автотракторный парк, но они заняты разнообразными сезонными работами то это позволит полноценно применять полуприцеп в любое время года и избавит от простоя либо позволит оказывать услуги другим организациям в период межсезонья. Если предприятие занято частично лесной и сельхоз деятельностью, то они могут применять грузовую платформу для перевозки посадочного материала и удобрений, лесовозный полуприцеп и платформу для перевозки рулонов сенажа и соломы имея в своем распоряжении одну единицу техники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богдан, Е. С. Применение прицепной рубильной машины повышенной проходимости / Е. С. Богдан, А. О. Германович // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн : материалы 87-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 31 января–17 февраля 2023 г. – Минск: БГТУ, 2023. – С. 55–57.

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

3. Пищов, С. Н. Перспективы использования погрузочно-транспортных машин для освоения лесосечного фонда Республики Беларусь / С. Н. Пищов, А. Р. Гороновский, В. Н. Лой // Труды БГТУ. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – №2. – 2011. – С. 49–51.

4. Жуков, А. В. Обоснование параметров прицепного форвардера "Беларус" / А. В. Жуков, Д. В. Клоков, С. П. Мохов // Ресурсосберегающие технологии в лесном хозяйстве, лесной и деревообрабатывающей промышленности: МТК, 24–25.11.1999 г. – Минск, 1999. – С. 211–214.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВОЙ ВЕРСИИ ПРОГРАММЫ ТИМ КРЕДО ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЛЕСНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Лесохозяйственные дороги имеют ярко выраженную географическую природу, так как являются линейно-протяженными объектами с изменяющимися по длине сооружения природными и конструктивными условиями [1, 2]. В связи с этими особенностями, проектные решения разрабатываются на картографической основе, а техническая документация представляется в виде условных линейных схем и чертежей (Рис. 1).

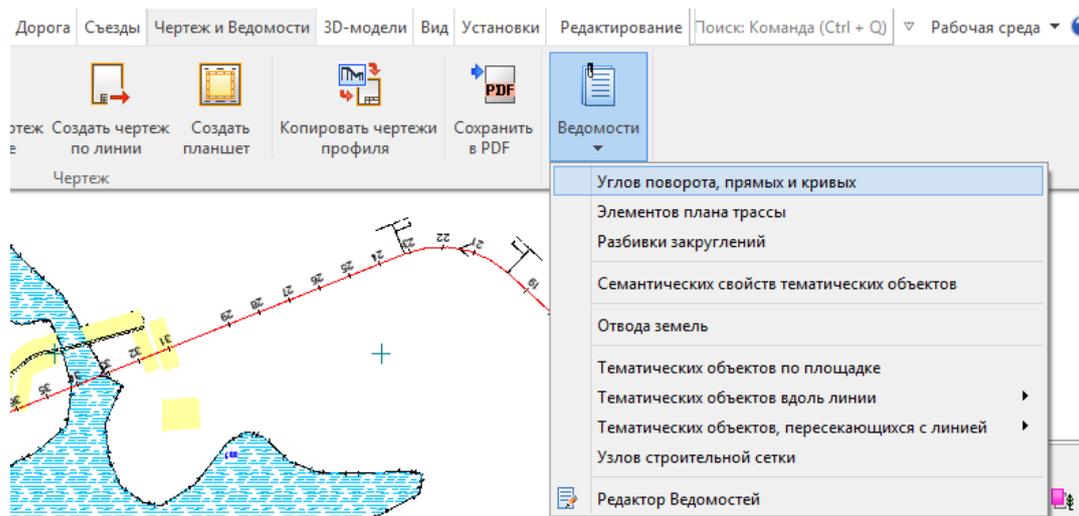


Рисунок 1 – Вид меню Чертеж и Ведомости

Эти особенности определяют выбор информационных технологий на различных этапах жизненного цикла транспортных сооружений. На стадии проектирования широко используются технологии автоматизированного проектирования автомобильных дорог (САПР-АД) и геоинформационные системы (ГИС).

Современные программные продукты обеспечивают комплексную автоматизацию процессов изысканий и проектирования транспортных сооружений и сохранение результатов работы в едином электронном формате.

Для технологии автоматизированного проектирования результаты инженерных изысканий представляют в виде математической (цифровой) модели местности (ЦММ). При этом цифровое представ-

ление пространственных объектов соответствует составу топографических карт и планов. Вся последующая информация для проектирования (план трассы, продольный профиль дороги, поперечные профили земляного полотна, геологические разрезы и т.д.) получают на основе цифровых моделей местности.

Трассирование лесохозяйственных дорог производят с учетом ситуации в районе проектируемого объекта, также отображаемой на специальной цифровой модели. В связи с этим, в лабораторном практикуме подробно рассмотрена технология создания цифровых моделей местности (ЦММ) средствами программного комплекса ТИМ КРЕДО ПРОЕКТИРОВАНИЕ (Рис. 2).

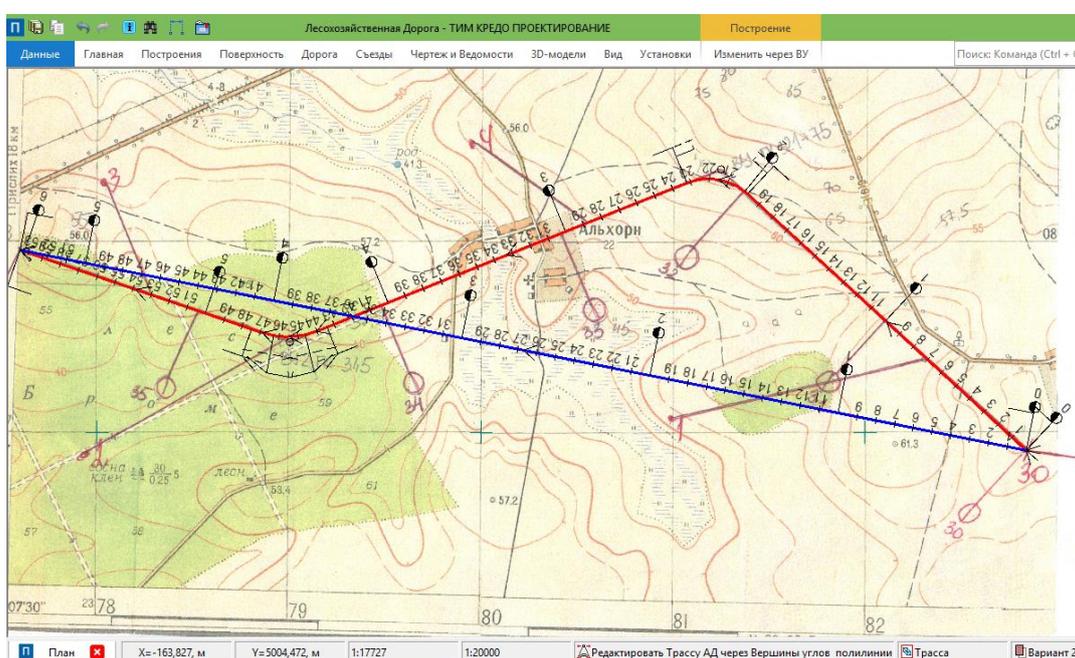


Рисунок 2 – Пример создания трассы

Программный комплекс ТИМ КРЕДО ПРОЕКТИРОВАНИЕ позволяет создавать цифровые модели местности, решать на их основе задачи проектирования транспортных сооружений и получать в итоге цифровую модель дорожного объекта (ЦМД), которая приведена на Рисунок 3.

Необходимость разработки данного практикума обусловлена выходом программного продукта третьего поколения, значительно отличающегося от ранних версий. Основной целью создания систем ТИМ КРЕДО ПРОЕКТИРОВАНИЕ является дальнейшее развитие комплексных автоматизированных технологий проектирования и геоинформационного обеспечения объектов транспортного строительства.



Рисунок 3 – Просмотр 3D-модели проектных решений

Лабораторный практикум предназначен для студентов по специальности 6-05-0821-04 «Лесная инженерия и логистическая инфраструктура лесного комплекса» (1-46 01 01 «Лесная инженерия и логистическая инфраструктура лесного комплекса» по направлению 1-46 01 01-02 «Лесная инженерия и логистическая инфраструктура лесного комплекса (логистические системы и инфраструктура лесного комплекса)»).

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. Лыщик П.А., Бавбель Е.И., Науменко А.И. Особенности проектирования лесных автомобильных дорог на основе ГИС-технологий В сборнике: Состояние и перспективы развития лесного комплекса в странах СНГ. Сборник статей II Международной научно-технической конференции в рамках Международного молодежного форума по лесопромышленному образованию (Лес-Наука-Инновации-2022). Белорусский государственный технологический университет. Минск, 2022. С. 100-105.

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

ПРИМЕНЕНИЕ ВТОРИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ, УКРЕПЛЯЮЩИХ ГРУНТЫ, ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЛЕСНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Результаты проведенных лабораторных исследований и производственных испытаний позволили изучить процессы структурообразования, проходящие в грунтах, укрепленных новым композиционным вяжущим. На основе полученных зависимостей разработана методика проектирования цементогрунтов с учетом рецептурно-технологических параметров цементогрунтовой смеси для различных природно-производственных условий.

Выбор и назначение составов цементогрунта заключается в определении рационального соотношения между составляющими материалами, при котором смесь по физико-механическим свойствам отвечает заданным требованиям нормативных документов [1].

Подобранная смесь цементогрунтов должна удовлетворять следующим требованиям (табл. 1).

Таблица 1 – Требования к грунтам, укрепленным минеральными вяжущими

Свойства укрепленного грунта	Значения показателя по классам прочности		
	I	II	III
Расчетные значения модулей упругости, МПа	800...500	500...250	250...80
Предел прочности при сжатии водонасыщенных образцов, МПа	6...4	4...2	2...1
Предел прочности на растяжении при изгибе водонасыщенных образцов, МПа, не менее	1,0	0,6	0,2
Коэффициент морозостойкости, не менее	0,75	0,7	0,65

При подборе составов цементогрунтов требовалось установить рациональное количество вводимого композиционного малоцементного вяжущего и выработать оптимальные способы его введения в грунт в зависимости от вида грунта, его физических свойств.

Подбор составов цементогрунта 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 [1].

В соответствии с выбранной схемой исследований были проведены отборы проб грунтов в предполагаемых местах строительства и реконструкции дорожного полотна, которые были изучены в полном объеме. В соответствии с литературными и нормативными данными ориентировочный расход минеральных вяжущих материалов при укреплении грунтов зависит не только от вида грунта, но и от положения слоя цементогрунта в конструкции дорожной одежды.

К примеру, при устройстве верхнего слоя основания или покрытия для суглинистых грунтов рекомендуется 11–14% портландцемента или 7–8% извести; для нижнего слоя основания расход составит 8–12% и 5–6% соответственно (табл. 2).

Таблица 2 – Рекомендуемая влажность укрепляемого грунта

Грунты	Оптимальная влажность грунта, %
Пески пылеватые, мелкие однородные	7 – 10
Супеси	8 – 11
Суглинки:	
легкие	11 – 15
тяжелые	14 – 19
Глины	17 – 23

В табл. 2 указана рекомендуемая влажность для каждого из типа грунтов, однако при проведении испытаний влажность смеси грунта и композиционного вяжущего в каждом случае определялась экспериментального и фактический расход воды для каждого из составов имел свои значения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лыщик П.А., Бавбель Е.И., Науменко А.И. Стендовые и производственные испытания дорожных конструкций на основе композиционного малоцементного / П. А. Лыщик, Е. И. Бавбель, А.И. Науменко // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2022. № 1 (252). С. 122-128.

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

РАЗРАБОТКА СП «ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ДОРОГИ» НА БАЗЕ ТКП 500-2016

Эффективность работы лесотранспорта во многом зависит от правильно установленных параметров лесохозяйственной дороги, основными из которых являются: расчетная скорость движения автомобиля; расстояние видимости поверхности дороги; расчетная нагрузка на ось, число полос движения (пропускная способность дороги).

Расчетная скорость является одним из важнейших проектных параметров. Под этим термином подразумевается максимальная безопасная скорость движения автомобилей, которая обеспечивается на всех участках дороги данной категории. От величины расчетной скорости зависит, каким должно быть расстояние видимости, ширина земляного полотна, ширина проезжей части, радиусы кривых и т.д.

Расчетную скорость движения автомобиля следует принять в соответствии с существующей классификацией лесохозяйственных дорог: для I_л^а категории – 16,7 м/сек ≈ 60 км/час; для I_л^б категории – 13,9 м/сек ≈ 50 км/час; для II_л категории – 11,1 м/сек ≈ 40 км/час; для III_л категории – 8,3 м/сек ≈ 30 км/час.

Расчетное расстояние видимости препятствия на дороге называют минимально необходимое расстояние, на котором водитель должен всегда видеть перед собой дорогу, чтобы иметь возможность предотвратить наезд на препятствие путем торможения.

Величину необходимого расстояния видимости определяют

$$S_{\text{в}} = t_{\text{п}} V_{\text{п}} + \frac{500kV_{\text{п}}^2}{b + w - gi_{\text{сп}}} + S_3, \quad (1.1)$$

где $V_{\text{п}}$ – расчетная скорость движения автомобиля, м/с; $t_{\text{п}}$ – время на подготовку водителя к торможению, т.е. время реакции водителя, с; k – коэффициент не полного или несвоевременного нажатия тормозов; b – удельная тормозная сила, Н/м; w – удельное сопротивление автомобиля, Н/с; $i_{\text{сп}}$ – максимальный спуск, ‰; S_3 – запасной путь, т.е. расстояние, необходимое для остановки автомобиля, не доезжая до препятствия (8 ÷ 12 м); g – ускорение свободного падения, м/с².

Учитывая, что нами установлены расчетные скорости движения автомобиля для каждой категории дороги и то, что лесохозяйственные дороги в основном имеют гравийное покрытие или грунтовое, рассто-

яние видимости составит: для лесохозяйственной дороги I^a_л категории 125 м; I^б_л – ой категории – 100 м; II_л – 60 и III_л – 50 м.

Расчетные нагрузки на ось лесовозного автомобиля и прицепного состава определяют необходимую прочность дорожной одежды и искусственных сооружений. В соответствии с ТКП 45-3.03-19 предусмотрены две группы подвижного состава на автомобильных дорогах в зависимости от нагрузки на ось:

– группа А – допускаемая нагрузка на одиночную ось 100 кН при расстоянии между осями более 2,5м; 90кН, если расстояние между смежными осями от 1,4 до 2,5; 80кН, если расстояние между смежными осями от 1,25 до 1,39м; 70 кН, если расстояние между смежными осями от 1,0 до 1,25м.

– группа Б – допускаемая нагрузка на одиночную ось 60 кН при расстоянии между осями более 2,5м; 55 кН, если расстояние между смежными осями от 1,25 до 2,5м; 45 кН, если расстояние между смежными осями от 1,0 до 1,25м.

На лесохозяйственных дорогах для вывозки леса и других продуктов леса используются автомобили и прицепной состав, относящийся к обеим группам.

Пропускная способность дороги – это число автопоездов или автомобилей, которое может проходить по данному участку дороги в одном направлении в единицу времени. Особенностью лесных дорог является то, что движение автопоездов происходит с одинаковой интенсивностью. Пропускную способность лесных дорог измеряют числом пар автопоездов грузового и негрузового направлений, которое может быть пропущено по данному участку в единицу времени, час, сутки.

Теоретическая пропускная способность двухполосной дороги за один час, можно определить по формуле:

$$N_{\text{од}} = \frac{3600 \cdot V_{\text{ср}}}{S_{\text{а}} + S_{\text{в}}}, \quad (1.2)$$

где $V_{\text{ср}}$ – среднестатистическая скорость движения, м/с; $S_{\text{а}}$ – длина автопоезда, м; $S_{\text{в}}$ – расстояние видимости поверхности дороги, м.

Теоретическая пропускная способность однополосной дороги за один час, можно определить по формуле:

$$N_{\text{од}} = \frac{3600 \cdot V_{\text{ср}}}{2l + V_{\text{ср}} \sum t_{\text{пр}}}, \quad (1.3)$$

где l – расстояние между разъездами, м; $\sum t_{\text{пр}}$ – время на разгон, замедление движения и ожидание встречного автопоезда на разъезде, с.

Расчеты показывают, пропускная способность однополосной дороги в зависимости от скорости движения, расстояния между разъездами $l=500$ м и $\Sigma t_{\text{пр}}=180$ с составляет от 10 до 15 авт./час, а для двухполосной в зависимости от скорости движения и расстояния видимости составляет от 200 до 300 авт./час., что достаточно для вывозки нескольких сот тысяч тонн брутто груза в год.

Однако, следует отметить, что для однополосной дороги наряду со снижением стоимости ее строительства характерно снижение производительности лесотранспортных машин за счет увеличения времени, затрачиваемого на рейс, в связи с ожиданием встречных машин на разъездах. Таким образом, снижение инвестиций влечет за собой рост эксплуатационных затрат.

Учитывая изложенное, можно написать условие выгодности варианта применения однополосного пути взамен двухполосного:

$$\mathcal{E}_{\text{од}} - \mathcal{E}_{\text{дв}} \leq E_n (K_{\text{дв}} - K_{\text{од}}) \quad (1.4)$$

где $K_{\text{дв}}$ и $K_{\text{од}}$ – соответственно, инвестиции на постройку двух – и однополосной дорог; $\mathcal{E}_{\text{од}}$ и $\mathcal{E}_{\text{дв}}$ – годовые эксплуатационные расходы по вывозке грузов по двухполосной и однополосной дорогам; E_n – нормативный коэффициент эффективности (коэффициент дисконта).

Величина $(\mathcal{E}_{\text{од}} - \mathcal{E}_{\text{дв}})$ – представляет собой стоимость простоя автопоездов на разъездах в ожидании встречных машин, т.е.

$$\Delta \mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{од}} - \mathcal{E}_{\text{дв}} = T_{\text{п}} M_{\text{ч}}, \quad (1.5)$$

где $T_{\text{п}}$ – общая величина простоев за год, час; $M_{\text{ч}}$ – стоимость одного машино-часа автопоезда с накладными расходами и учетом зарплаты водителя, руб.

Значение $T_{\text{п}}$ можно определить по формуле

$$T_{\text{п}} = \frac{\alpha N k_{\text{с.н.}} t_{\text{пр}} D}{1800} \left(\frac{2NL}{3.6VT_{\text{сут}}} - 1 \right), \quad (1.6)$$

где α – коэффициент учитывающий движение хозяйственного и прочего транспорта, равный 1,2; N – проектное число рейсов автопоездов в сутки; $t_{\text{пр}}$ – время простоя при встрече на разъезде, сек ($150 \div 200$ с); D – число рабочих дней в году; $T_{\text{сут}}$ – продолжительность работы дороги за день, час; V – скорость движения автопоездов, м/с; L – длина дороги, км; $k_{\text{с.н.}}$ – коэффициент, учитывающий, что в начале и в конце рабочего дня автомобили движутся по дороге в одном направлении не имея встречных машин ($0,8 \div 0,9$).

Разница в капитальных вложениях (затратах) по вариантам:

$$\Delta K = K_{\text{дв}} - K_{\text{од}} = 1000L(B_{\text{дв}} - B_{\text{од}})(aH_{\text{ср}} + \gamma b) \mu, \quad (1.7)$$

где $B_{\text{дв}}$ и $B_{\text{од}}$ – ширина земляного полотна двух – и однополосной дороги, м; a – стоимость постройки 1 м³ насыпи с учетом ее от-

сыпки, уплотнения, плани-ровки и т.д., руб.; b – стоимость постройки 1 м^2 дорожной одежды, руб.; μ – коэффициент, учитывающий дополнительные расходы по устройству развязок на однополосных дорогах, равный – 0,9; γ – коэффициент, учитывающий некоторое увеличение ширины полосы движения и толщины дорожной одежды на однополосных дорогах по сравнению с двухполосными, равный 0,8.

Подставляя значения $\Delta \mathcal{E}$ и ΔK в неравенство (1.1-1.4) получим квадратное уравнение, из которого можно определить число пар автопоездов в сутки, при котором целесообразно переходить к двухполосной дороге.

$$N \geq \frac{B + 2\sqrt{AE_H \Delta K}}{2A}, \quad (1.8)$$

$$\text{где } A = \frac{2LB}{3.6VT_{\text{ср}}}; \quad B = \frac{ak_{\text{с.н.}} t_{\text{пр}} DM_{\text{ч}}}{1800}.$$

Условие (8) можно записать в зависимости от годового грузооборота

$$Q_{\text{год}} \geq Q_{\text{пол}} D \frac{B + 2\sqrt{AE_H \Delta k}}{2A}. \quad (1.9)$$

Расчеты показывают, что при грузообороте 200 тыс. брутто тонн в год потери времени автомобилей на развязках в ожидании встречных доходят до $6,5 \div 7,0$ тыс. час. В таких условиях является выгодным устраивать двухполосные дороги. Следовательно, на дорогах I-ой категории необходимо устраивать двухполосные дороги. На однополосных дорогах развязки назначают на расстоянии друг от друга не более 500м в пределах видимости.

Таким образом, на лесохозяйственных дорогах решение вопроса об ее пропускной способности по существу сводится к установлению числа полос движения в пределах проезжей части. Следовательно, при проектировании лесохозяйственных дорог необходимо решать вопрос о строительстве дороги с одной или двумя полосами движения в пределах проезжей части и рассчитать ее ширину.

ЛИТЕРАТУРА

1. Третьяков В.В., Бавбель Е.И. Проектирование и строительство лесохозяйственных автомобильных дорог в Республике Беларусь / В.В. Третьяков, Е.И. Бавбель // Состояние и перспективы развития лесного комплекса в странах СНГ. Сборник статей II Международной научно-технической конференции в рамках Международного молодежного форума по лесопромышленному образованию (Лес-Наука-Инновации-2022). БГТУ. Минск, 2022. С. 60-67.

А.О. Шошин, ст. преп.;
С.В. Ярмолик, ст. преп.
(БГТУ, г. Минск);

В. Штоллманн, канд. техн. наук, доц.
(Технический университет в Зволене, г. Зволен, Словацкая Республика)

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОБИЛЬНОЙ КАНАТНОЙ ТРЕЛЕВОЧНОЙ УСТАНОВКИ

При проектировании мобильной канатной трелевочной установки необходимо руководствоваться лесорастительными условиями лесосечного фонда и годовым объемом лесозаготовок по труднодоступному лесному фонду [1, 2, 3].

Для условий Республики Беларусь наиболее эффективно применение установки со следующими характеристиками:

- а) тип привода – от двигателя базовой машины;
- б) назначение рабочих канатов – несущий (неподвижный), тяговый, возвратный, вспомогательный, монтажный;
- в) способ перемещения – самоходная;
- г) конструкция трелевочной мачты – навесная;
- д) тип каретки – вытяжная;
- е) тип движителя базовой машины – колесный.

Установки с заданными характеристиками могут эффективно применяться в первую очередь для трелевки древесины на сплошных рубках.

Алгоритм определения параметров мобильной канатной трелевочной установки с вышеописанными характеристиками представлен в виде блок-схемы на Рисунок 1.

Алгоритм включает ряд действий:

- анализ лесорастительных условий разрабатываемого лесного фонда;
- определение сменной производительности $P_{см}$ канатной установки по заданным исходным данным;
- определение скорости трелевки $v_{тр}$ по выбранному $V_{пач}$ и определенному $P_{см}$;
- определение сменной производительности $P_{см}$ канатной установки по заданным исходным данным;
- определение необходимых параметров элементов конструкции.

Предлагаемый алгоритм и соответствующие ему методики расчета параметров мобильных канатных трелевочных установок позволяют определять базовый трактор для привода и перемещения; диаметры гибких органов (тягового, несущего) и рабочих барабанов,

производителя специализированных гибких органов и каретки; высоту мачты и ее сечение.

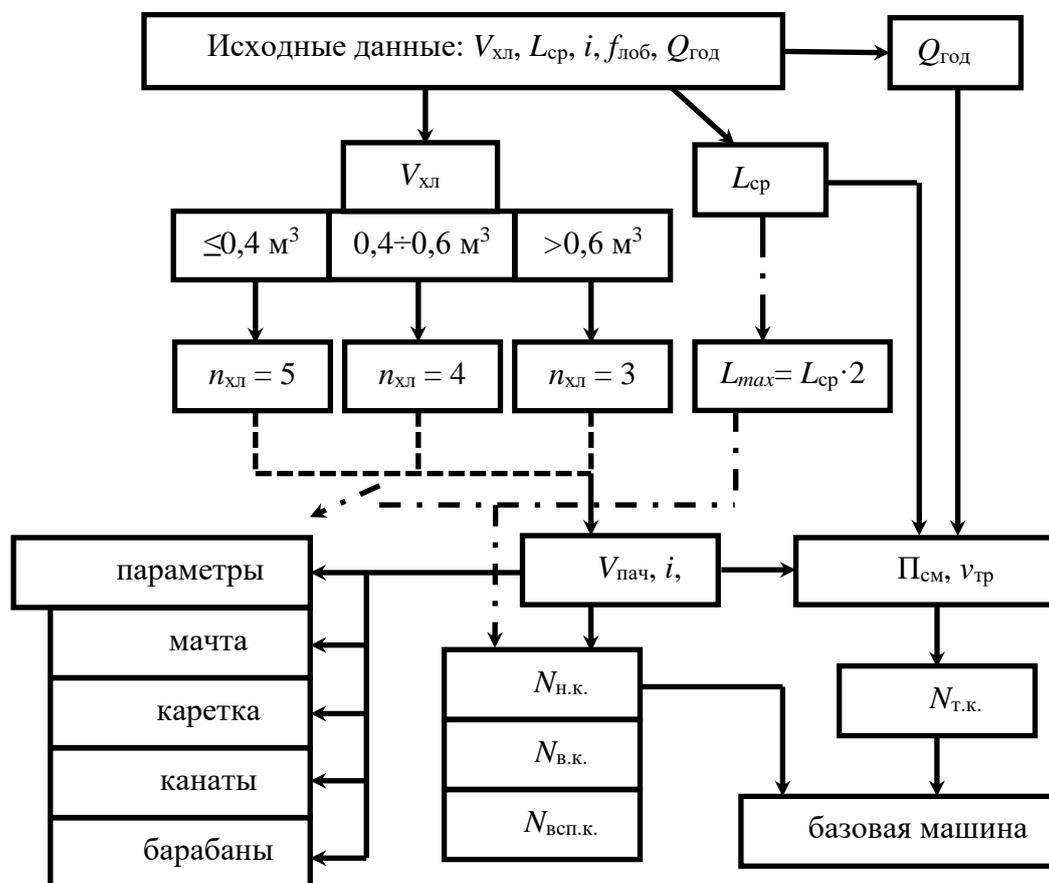


Рисунок 1 – Алгоритм определения параметров мобильной канатной трелевочной установки на базе трактора

Новизной разработанного подхода является учет лесорастительных особенностей заболоченного труднодоступного лесного фонда, в первую очередь пней, находящихся на пути перемещаемых лесоматериалов; подбор параметров установок в зависимости от способа трелевки древесины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Horek, P., 2007: Lesní lanovky. Praha, 104 p. [in Czech].
2. Štollmann, V., Ilčík, Š., Nikitin, J.R., 2017: Rekuperačné lanové zariadenia. Vysokoškolská učebnica, Technická univerzita vo Zvolene, 171 p. [in Slovak].
3. Пищов С. Н., Мохов С. П., Гороновский А. Р. Обоснование параметров мобильной канатной трелевочной машины // Труды БГТУ. 2012. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 49–50.

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

К ВОПРОСУ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ «КАБИНА – СИДЕНЬЕ – ВОДИТЕЛЬ» ПРИ ИМИТАЦИОННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ КОЛЕСНЫХ ТРЕЛЕВОЧНЫХ МАШИН

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

Постановка задачи. Выбор рациональной математической модели системы «Кабина – сиденье – водитель» при имитационном моделировании колесных трелевочных машин.

Основная часть. Для решения поставленной задачи необходимо рассматривать два основных варианта такого взаимодействия.

Первый из них предусматривает влияние динамических процессов, происходящих с предметом труда через технологическое оборудование и колесный трелевочный трактор на водителя.

Второй вариант рассматривает влияние динамических процессов, происходящих с водителем во время движения на общую динамику базовой машины и технологического оборудования. При этом особенность построения предлагаемых моделей аналогичны ранее разработанной математической модели, где за основу принималась кабина базового трактора с жесткой рамой МТЗ-82.1 [1].

Выбор расчетно-кинематических и весовых параметров при этом проводился на основе анализа показателей, оказывающих преимущественное влияние на динамику поведения всей транспортной системы.

При рассмотрении первого варианта взаимодействия наиболее рациональным является трех массовой математической модели обрат-

ных маятников. К сожалению, подобная математическая модель водителя включает в себя тригонометрические функции обобщенных угловых координат, что значительно усложняет расчет.

Упрощение расчетов предполагает применение разложения тригонометрических функций в бесконечную сумму степенных функций и при аппроксимации тригонометрические функции входящих в математическую модель заменяются многочленами, а линеаризация тригонометрических уравнений происходит путем разложения в ряд Тейлора с последующим отсечением всех членов многочлена выше второго порядка [2]. Преобразования подобного рода имеют смысл, когда колебания обобщенных угловых координат математической модели водителя не превышают 15° .

При рассмотрении второго варианта наиболее рациональным видится представление математической модели водителя в виде трех массовой модели, в которой угловые колебания обобщенных координат и крутильные жесткости системы заменены на приведенные горизонтальные, т.к. вертикальные составляющие малозначительны.

Предложенный вариант позволяет существенно минимизировать количество обобщенных координат в рассматриваемой модели и упростить расчет по сравнению с первым вариантом.

Заключение. Рациональная математическая модель системы «Кабина – сиденье – водитель» при имитационном моделировании колесных трелевочных машин требует учитывать взаимодействие базовой машины с технологическим оборудованием и предметом труда.

ЛИТЕРАТУРА

1. Математическая модель динамики тракторного поезда на базе колесного трактора класса 1.4-2.0 / Я. И. Остриков [и др.] // Труды БТИ им. С. М. Кирова. Сер. I Лесная и деревообраб. пром-сть. 1993. Вып. I. С. 56–60.

2. Вдовин А. Ю., Золкина Л. А., Воронцова Н. Л. Справочник по математике для бакалавров: Учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2014. – 80 с.

В.С. Исаченков, ст. преп.;
Е.А. Леонов, зам. декана, канд. техн. наук;
А.А. Гарабажиу, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск);
Д.В. Клоков, зав. кафедрой, канд. техн. наук (БНТУ, г. Минск);
А.И. Лагун, студ. (БГТУ, г. Минск)

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

Значительная доля древесного сырья в Республике Беларусь заготавливается специальными трелевочными машинами по хлыстовой технологии трелевки, который имеет проблемный момент в преодолении участков трелевочного и магистрального волоков со слабой несущей способностью почвогрунтов с технологическим приемом сброса пачки хлыстов со следующим подтаскиванием. Эта задача может быть решена оснащением колесных трелевочных машин (КТМ) с шарнирно-сочлененной рамой (ШСР) комбинированным технологическим оборудованием (ТОК).

Для части технологического оборудования, расположенного на прицепе, наиболее рациональной является опорная система в виде одноосной тележки. Такое сочетание навесного и прицепного вариантов в ТОК позволяет перераспределить нагрузки и крутящие моменты на полуосях базовой машины в момент буксования, тем самым увеличить проходимость и производительность.

Необходимо проведение исследований теоретической направленности для определения оптимального состава ТОК.

Постановка задачи. Разработать математическую модель движения КТМ с ШСР оснащенной ТОК при работе в особых условиях.

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

Построения новой модели аналогичны ранее разработанным математическим моделям, а 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.

Дифференциальные уравнения, входящие в математическую модель КТМ с ШСР оснащенной ТОК, имели ряд допущений, аналогичны ранее разработанным математическим моделям. За основу принимался базовый трактор с жесткой рамой МТЗ-82.1 и трелевочная машина МЛ-127, это позволило существенно минимизировать количество обобщенных координат [1, 2].

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

При проведении теоретических исследований следует учитывать различные объемы пачки хлыстов, а также скорость перемещения базовой машины по микропрофилю трелевочных и пасечных волок. При этом весовые и геометрические параметры комбинированного технологического оборудования определяются путем изменения входящих в динамическую систему параметров.

Заключение. Создание математической модели КТМ с ШСР, оснащенной ТОК требует минимизацию расчетно-кинематических и весовые параметров системы, что может существенно снизить количество численных значений степеней свободы.

ЛИТЕРАТУРА

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

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

В.С. Исаченков, ст. преп.;
С.Е. Арико, зам. декана, канд. техн. наук;
В.А. Симанович, канд. техн. наук;
В.И. Гиль, ст. преп., канд. техн. наук;
В.А. Бобрович, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

К ВОПРОСУ ВЫБОРА БЕЗЧОКЕРНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ КОЛЕСНОЙ ТРЕЛЕВОЧНОЙ МАШИНЫ С ШАРНИРНО-СОЧЛЕНЕННОЙ РАМОЙ

Значительная доля древесного сырья в Республике Беларусь заготавливается специальными трелевочными машинами с шарнирно-сочлененной рамой по хлыстовой технологии трелевки, который имеет проблемный момент в преодолении участков трелевочного и магистрального волоков со слабой несущей способностью почвогрунтов с технологическим приемом сброса пачки хлыстов со следующим подтаскиванием.

Для решения этой задачи предлагается оснащение колесных трелевочных машин с шарнирно-сочлененной рамой (КТМ) безчokerным технологическим оборудованием (ТОБ), состоящим из навесной и прицепной части, где для прицепной части рассматривается опорная система в виде одноосной тележки.

Сочетание навесного и прицепного вариантов в ТОБ позволит перераспределить нагрузки и крутящие моменты на полуосях базовой машины в момент буксования, увеличить проходимость, снизить затраты времени, тем самым увеличить производительность. Чтобы определить оптимальные параметры ТОБ необходимо проведение исследований теоретической направленности.

Постановка задачи. При обосновании выбора ТОБ для КТМ для работы на участках трелевочного и магистрального волоков со слабой несущей способностью почвогрунтов необходимо разработать математическую модель движения.

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

При построении новой модели использовались принципы аналогичные ранее разработанным математическим моделям, где за основу принимался базовый трактор с жесткой рамой МТЗ-82.1 и трелевочная машина МЛ-127.

Выбор расчетно-кинематических и весовых параметров системы проводился нами 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. В математической модели КТМ с ТОО дифференциальные уравнения имели такие же допущения как в ранее выполненных работах. Это позволило существенно минимизировать количество обобщенных координат в рассматриваемой модели [1, 2].

Математический аппарат, предлагаемый нами, дал возможность получить в системах высокоуровневого программирования матрицы численных значений отклонений степеней свободы модели, первые производные этих отклонений в соответствующие им моменты времени протекания процесса. Это позволило определить все необходимые параметры оценки динамической нагруженности и тем самым обосновать выбор ТОО при работе КТМ со слабой несущей способностью почвогрунтов. Весовые и геометрические параметры безчokerного технологического оборудования могут быть определены изменением входящих в динамическую систему параметров.

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

ЛИТЕРАТУРА

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

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

А.А. Беляков, зав. лабораторией;
С.Е. Арико, зам. декана, канд. техн. наук;
М.К. Асмоловский, доц., канд. тех. наук
(БГТУ, г. Минск)

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МАЛОГАБАРИТНОЙ ТЕХНИКИ С ЭЛЕКТРОСИЛОВЫМ ПРИВОДОМ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

В лесных питомниках выращивают различный посадочный материал с использованием технологий, основанных на комплексной механизации работ. Основу составляет агротехника, включающая рациональные севообороты, обеспечением плодородия почвы, качественную обработку почвы, посев, посадку, уход, дождевание, химическую защиту от болезней, вредителей и сорной растительности, подрезку и выкопку посадочного материала.

В лесных питомниках широко применяют сельскохозяйственную технику: плуги – для вспашки почвы; дисковые и зубовые бороны, лапчатые культиваторы – для поверхностной обработки почвы; опрыскиватели – для обработки площадей гербицидами; прицепы – для перевозки различных материалов; разбрасыватели – для внесения в почву органических и минеральных удобрений; рассадопосадочные машины – для посадки семян и черенков.

Специальные лесохозяйственные машины и орудия применяются для получения компоста, предпосевной обработки почвы, посева лесных семян, мульчирования посевов, междурядной обработки почвы, посадки семян в школу, для выкопки посадочного материала и его сортировки.

Саженцы древесных и кустарниковых пород в лесных питомниках выращивают путем посадки в школьное отделение питомника семян, выращенных в посевном отделении.

В лесных питомниках в качестве энергетических средств чаще используются тракторы тягового класса 9–14 кН: МТЗ-320, МТЗ-422, МТЗ-622, МТЗ-82.1, МТЗ-921. Однако применение мотоблоков и мини-тракторов возможно на небольших площадях и с орудиями с небольшим тяговым сопротивлением.

Тракторы для работ в питомнике. В настоящее время может обеспечиваться поставка на рынок любого из всей линейки выпускаемых тракторов холдингом «МТЗ-ХОЛДИНГ» ОАО «МТЗ» и его филиалов – ОАО «Сморгонский агрегатный завод», ОАО «Бобруйский завод тракторных агрегатов и деталей» и др., в том числе для выполнения работ в условиях питомнического хозяйства.

Типовой ряд тракторов [1] (Рисунок 1) для работ в питомнике существенно отличается от комплекса для лесокультурных и лесохозяйственных работ. Каждое хозяйство имеет возможность с учетом природно-производственных особенностей выбрать несколько типов тракторов [2] для использования в питомнике, наиболее пригодных в данных условиях и увязанных с комплексом работ, предусмотренным нормативно-технологическими картами и агротехникой выращивания посадочного материала.



Рисунок 1 – Типаж тракторов для питомника

Для выполнения большинства работ в питомнике наиболее приемлемыми являются тракторы с мощностью двигателя 25–65 кВт.

На энергоемких тяжелых работах (обработка почвы под посадку саженцев и кустарников, раскорчевка и др.) целесообразно применять тракторы Беларус МТЗ-92.1, МТЗ-1025.3 и даже МТЗ-122.1. с мощностью двигателя 65, 80, 100 кВт, соответственно.

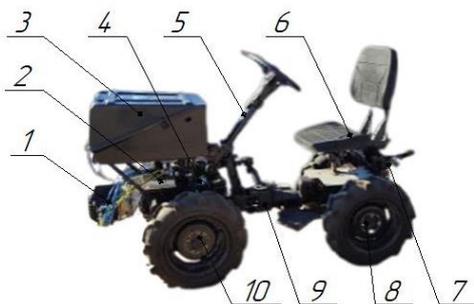
Для выполнения менее энергоемких работ – вспашка почвы, дискование, культивация, копка ям, внесение удобрений и гербицидов, опрыскивание и др. – применяют тракторы Беларус 320, 42.2, 62.2, 82.1, 92.1.

Для работы на малых площадях целесообразно использование мотоблоков и мини тракторов – МТЗ-09; МТЗ-132; МТЗ-152.

Однако, в настоящее время в автотракторостроении все больше распространение получает силовой привод установок мобильных машин на основе применения электродвигателей и гибридных силовых приводов. Производятся работы по применению таких устройств и в лесном машиностроении. На основе изучения конструкций транспортных средств и литературных источников установлено, что наиболее перспективным является создание малогабаритного лесохозяйственного трактора с электросиловым приводом, на базе шасси МТЗ-132Н.

Движение трактора (Рисунок 2) осуществляется за счет BLDC (Brushless DC electric motor) бесколлекторного электродвигателя постоянного тока 1, который передает крутящий момент на коробку перемены передач 4, которая в свою очередь соединена с главной пере-

дачей. Далее крутящий момент через полуось и бортовую передачу передается на переднюю ось 10. Привод на заднюю ось 8 передается от коробки перемены передач через согласующую пару шестерен, карданную передачу 9, главную и бортовую передачу. Необходимый для привода вала отбора мощности крутящий момент передается от входного вала заднего моста через две пары шестерен, одна из которых имеет постоянное зацепление, а вторая позволяет включать и отключать вал отбора мощности.



1 – электродвигатель, 2 – контроллер, 3 – короб для аккумуляторов, 4 – коробка передач, 5 – устройство рулевого управления, 6 – сиденье оператора, 7 – навесная система, 8 – задний мост, 9 – карданная передача, 10 – передний мост

Рисунок 2 – Малогабаритный лесохозяйственный трактор с электросиловым приводом

Выводы:

1. В результате проведения анализа данных применения техники в питомниках, выделены три типа применимой техники.
2. Для минимизации загрязнения продуктами сгорания, задымления и создания неприемлемых для работы людей условий труда в условиях закрытых теплиц целесообразно использование тракторов с электросиловым приводом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Асмоловский М.К., Арико С.Е., Голякевич С.А. Механизация лесного хозяйства: учеб. пособие. – Минск: БГТУ, 2007.– 256 с.
2. Лесотранспортные машины: учеб. пособие / под ред. Г. М. Анисимова. – СПб.: Издательство «Лань», 2009. – 448 с.
3. Валяжонков В.Д. Трансмиссии лесной автотракторной техники: учеб, пособие. – СПб.: СПбГЛТА, 2008. – 172 с.
4. Голякевич С.А., Гороновский А.Р., Пищов С.Н. / Моделирование электросилового привода малогабаритного лесохозяйственного трактора // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: материалы 85-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, Минск 31 января – 12 февраля 2022г. – Минск: БГТУ, 2022. - С. 23 – 26.

АНАЛИЗ ИНТЕНСИВНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ В ЛЕСАХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

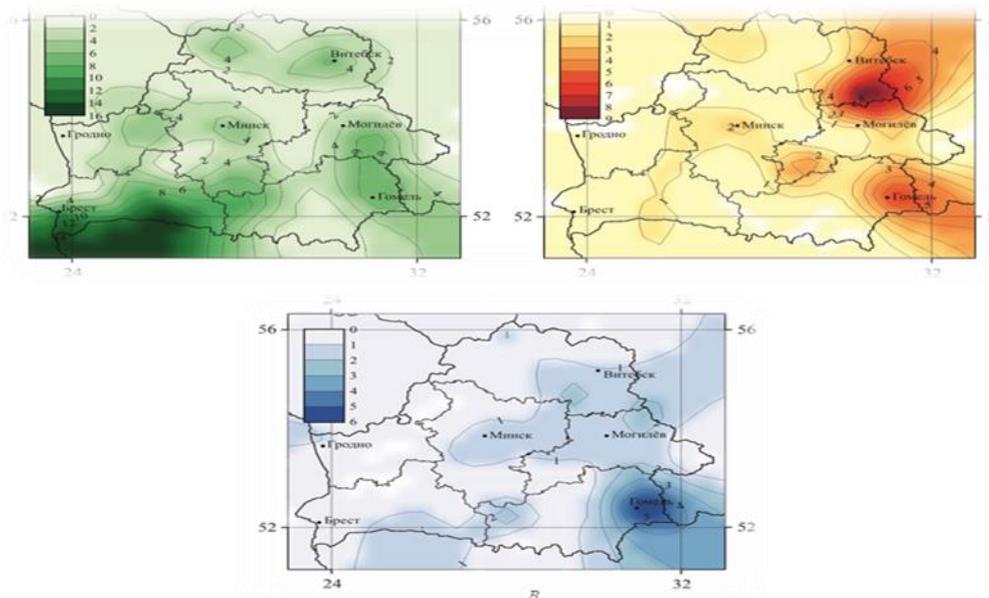
Леса Беларуси являются одним из основных возобновляемых природных ресурсов и важнейших национальных богатств. Вместе с тем они ежегодно терпят ущерб от воздействия стихийных бедствий, таких как: ветровалы, буреломы, пожары, снеголомы. В отдельных районах республики от них в разные года повреждалось от 3 до 50 % лесопокрытой площади. Характеристики стихийных бедствий и их последствия в различных регионах имеют свои особенности, поэтому необходимы исследования по оценке интенсивности возникновения стихийных бедствий в лесах с учетом местных лесорастительных и метеорологических условий. Одними из негативных факторов, нанесенных лесному хозяйству Беларуси, за последнее десятилетие кроме усыханий лесных насаждений стали ветровалы и буреломы.

Наиболее разрушительный ветровал произошел в 2016 году, в результате которого площадь поврежденных лесонасаждений с различной степенью интенсивности составила 110 тыс. га, а объем поврежденной древесины – около 6 млн м³ или 25% от годового объема заготовки лесоматериалов в стране [1]. Кроме того, 12–13 мая 2022 года по территории Беларуси прошли сильные ветра, которые нанесли большой ущерб, который в общем объеме составил около 5 млн м³ поврежденной древесины на площади 90 тыс. га. Значительные повреждения были отмечены в: Климовичском лесхозе, Могилевском лесхозе, «Чаусском лесхозе, Чериковском лесхозе.

На разработке ветровально-буреломных лесосек в 2022 году было задействовано: 1366 человек, 300 бензопил, трактора для трелевки древесины (ТТР-401, МТЗ с лебедкой) – 37 единиц, харвестеров – 219 ед., форвардеров – 167 ед., машин погрузочно-транспортных – 115 ед., задействовано 176 сортиментовозов на вывозке древесины. Помощь в разработке ветровалов оказывали наиболее пострадавшим лесхозам специалисты из Брестского, Витебского, Гомельского, Гродненского и Минского лесохозяйственных объединений, которые направили наиболее опытных работников. Всего на разработке ветровалов принимали участие 15 лесхозов с Брестского, 18 с Витебского, 21 с Гомельского, 11 с Гродненского и 17 с Минского ГПЛХО в количестве 797 человек.

Еще одним стихийным бедствием на территории Республики Беларусь являются лесные пожары, приводящие к значительным экономическим последствиям: разрушению экосистемы, ухудшению экологической обстановки, гибели животных и людей. За 2021 год на территории РБ произошло 6085 пожаров. В сравнении с 2020 годом их количество снизилось на 27 пожаров или на 0,44 %. В 2022 году в лесах потушили 344 возгорания на общей площади 323 гектара. Чаще всего горят леса в южных областях Беларуси, самое большое количество пожаров с начала года было в Брестской области – 137, в Гомельской области – 83 возгорания, в Гродненской – 56, в Минской – 41, Могилевской – 20, и в Витебской – 7.

При этом, совместно с учеными Института природопользования НАН РБ в лаборатории климатологии и климатических исследований, были изучены повторяемости опасных погодных явлений, вызванных стихийными бедствиями, которые показали, что разные из них концентрируются и группируются в разных областях Беларуси и представлены на Рисунок 1 [2].



a – ветром; *б* – пожаром; *в* – снегопадом

Рисунок 1 – Повторяемость опасных явлений природы, вызванных стихийными бедствиями за период 2017–2023 гг.

Например, ветровалами у нас больше всего поврежден восток Могилевской и Гомельской областей, юг Брестской области и некоторые очаги центральной части Минской и Витебской областей. Пожары в основном наблюдаются на востоке, это Гомель и север Могилевской области, юг Витебской. За счет снегопадов видна локализация больше всего в восточных регионах Республики Беларусь.

Поврежденные участки леса представляли собой средневозрастные насаждения 40–60 лет, с особенностями пространственной структуры древостоев, выраженными «окнами» в пологе, открытыми поваленными участками, чередующимися с лесопокрытыми площадями лесного фонда с безвершинными, сломанными деревьями. Ураган произвел комбинированное воздействие – ветровально-буреломное. Наблюдался излом стволов деревьев со стержневой корневой системой (сосна) и опрокидывание с выворачиванием корней стволов деревьев с поверхностной корневой системой (ель).

Таким образом, стихийные бедствия в лесах оказывают существенное влияние не только на экономическом, но и на экологическом уровне, что в будущем приводит еще к большим финансовым затратам на восстановление лесных экосистем. С целью минимизации экологических последствий и наиболее эффективных мер в лесных экосистемах, является разработка системы мониторинга и учёта лесного фонда.

Для принятия мер по предотвращению и ликвидации последствий, необходима подготовка квалифицированных специалистов, т.е. дополнительное обучение работников, проведение периодических инструктажей по охране труда в сложных эксплуатационных условиях [1]. Это необходимо проводить для того, чтобы специалисты или работающие, в любой момент могли быстро принимать эффективные меры, связанные с потерей древесины, экологическими рисками, возникновением последующих пожаров, вторичными повреждениями.

Несмотря на проведение различных профилактических мероприятий, лесопожарное районирование, лесные пожары возникают ежегодно, предотвратить или полностью исключить их в лесах Республики Беларусь невозможно. Анализ временной изменчивости стихийных бедствий в лесном фонде среднегодового суммарного числа дней с ветровалами и пожарами по всем метеостанциям Беларуси показал их значительную изменчивость за последние 10 лет.

В первую очередь, в результате исследования было установлено, что стихийные бедствия в лесах РБ постоянны и с достаточно высоким показателем. Это говорит о необходимости принятия мер по их предотвращению и минимизации возможных последствий.

Основными факторами, влияющими на возникновение стихийных бедствий в лесах, являются климатические условия, географическое положение и состояние лесных экосистем. Например, более высокая частота лесных пожаров имеет место в засушливых регионах, а более сильные ветры являются фактором воздействия ураганов и лесных разрушений. Важным выводом также является необходимость

усиления возможных мер по управлению лесными явлениями, включая быстрое обнаружение и тушение лесных пожаров, прогнозирование и предупреждение стихийных бедствиях, а также создание специализированных отделов, занимающихся реагированием и страхованием на возникающие ситуации в лесах.

В целях минимизации возможных последствий стихийных бедствий в лесах РБ рекомендуется принимать во внимание их последствия и прогнозировать вероятность их возникновения. Для этого необходимо проводить регулярные мониторинговые исследования, а также разработать системы защиты и предотвращения стихийных бедствий в лесах, создавать платформы рисков.

Платформы позволяют собирать данные о климатических условиях, сохранять ресурсы, рельеф местности и т. д., а также анализировать и моделировать эти данные для прогнозирования возможности возникновения опасностей. На основе этой информации можно разработать более глубокие планы и стратегии по устранению последствий, скорректировать ресурсы и координировать действия различных сторон лесохозяйственных учреждений.

В заключение можно сказать, что анализ распространения стихийных бедствий в лесах РБ является необходимым этапом в изучении данной проблемы и позволяет предложить рекомендации по обеспечению безопасности лесных экосистем. Это необходимо для сохранения экономического богатства и сохранения экологического баланса в отношениях.

Выполненное исследование позволило выявить тенденции в изменении повторяемости опасных явлений природы, вызванных стихийными бедствиями на территории Беларуси более чем за 20-летний период. Результаты исследования дают возможность обосновать, разработать и реализовать природоохранные мероприятия для уменьшения негативных последствий прогнозируемых изменений в лесном фонде.

ЛИТЕРАТУРА

1. Экономическая оценка потерь в результате стихийных бедствий в лесном секторе Беларуси в контексте климатических изменений: современное состояние и направления совершенствования с учетом международного опыта / А.В. Ледницкий [и др.]. – Минск: Изд-во World Bank Group, 2018. – 123 с.

2. Институт природопользования НАН Беларуси [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nature-nas.by/contacts>. – Дата обращения: 29.01.2024 г.

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

ПЛАТФОРМЫ РИСКОВ – КАК ИНСТРУМЕНТ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ В ЛЕСФОНДЕ

Платформы рисков являются важнейшим инструментом в борьбе с минимизацией потерь древесины, непосредственно связанных со стихийными бедствиями в лесах.

Этот инструмент позволяет объединять различные источники данных и информацию о рисках, анализировать ее и предлагать решения для минимизации затрат.

Платформы риска уже активно применяются в ряде стран для прогнозирования и ликвидации последствий стихийных бедствий в лесах. В настоящее время немецкими и европейскими учеными разработаны платформы рисков, которые позволяют накапливать данные, их актуализировать, а также иметь доступ к лесопользователям, лесофондодержателям для принятия своевременных решений [1].

Такие платформы представляет собой веб-инструмент с мобильным приложением, призванный внести свой вклад в концепцию механизма лесных рисков: повышение устойчивости лесов и связанных с ними ландшафтов к будущим воздействиям глобальных изменений, содействие предотвращению, а также управлению рисками и кризисами.

Данный механизм оценки рисков позволяет руководству расставить приоритеты в отношении факторов риска, создающих серьезную угрозу для достижения целей, и, таким образом, организовать максимально эффективное использование дефицитных мощностей.

Одной из основных задач платформы рисков в борьбе со стихийными бедствиями (ветровалами, буреломами, пожарами) является надлежащее управление информацией.

Платформа рисков (Рисунок1) включает блок статистических баз данных, которые содержат сведения по всем видам стихийных бедствий в национальном и региональном масштабах, по интенсивности, повторяемости и длительности проявления катастроф в лесфонде, имевших место в прошлом.



Рисунок 1 – Схема рисков стихийных бедствий

В настоящее время статистике стихийных бедствий в мире уделяется большое внимание, создан глобальный сайт в сети Интернет, представляющий собой базу данных по стихийным бедствиям, происшедшим во всем мире в текущем году. Эта база выполнена в виде постоянно пополняемой таблицы, столбцы которой содержат следующие сведения:

- порядковый номер стихийного бедствия в текущем году;
- дату;
- причину;
- страну и регион;
- площадь поврежденного лесфонда;
- краткую характеристику стихийного бедствия.

Данные по стихийным бедствиям, случившимся в Республике Беларусь, России, Польше в этой базе не приведены.

Следует также отметить, что в Беларуси до сих пор нет однозначных статистических данных, по которым можно было бы судить о значимости отдельных видов стихийных бедствий и природных катастроф в лесах.

Например, по данным Института климатологии и геоэкологии НАН РБ [2], опубликованным в 2022 г., оценивается последовательность природных катастрофических процессов в порядке уменьшения

экономического ущерба имеет следующий вид: ветровалы и буреломы (около 5 млн. м³); пожары (2170 млн. м³); снеголомы (около 0,5 млн. м³). Но нет данных по факторам, влияющим на степень стихийного бедствия и др.

Важнейшая функция статистических баз данных состоит в информационном обеспечении математических моделей развития природных катастроф (Рисунок 1).

Блок математических (детерминистических) моделей, математическое моделирование реальной природной катастрофы использует математические формулы, выражающие установленные физикой, гидрологией, метеорологией и другими науками закономерности, и представляет собой численный эксперимент, проводимый на компьютерах.

Несмотря на всю сложность таких процессов, эти модели смогут позволить рассчитать по простой формуле ущерб, нанесенный лесному хозяйству во время стихийного бедствия.

Прогнозирование и предупреждение элементарных рекомендаций являются необходимыми шагами для минимизации их негативного воздействия на лесные ресурсы. Платформы позволяют собирать данные о климатических условиях, сохранять ресурсы, рельеф местности и т. д., а также анализировать и моделировать эти данные для прогнозирования возможности возникновения опасностей.

На основе этой информации можно разработать более глубокие планы и стратегии по устранению последствий, скорректировать ресурсы и координировать действия различных сторон лесохозяйственных учреждений.

Например, в Германии была разработана платформа риска, которая анализирует данные о погодных условиях, поверхностных водоемах, гидрологии рек и других параметрах, запускает прогнозирование и предупреждает наводнения. Эта платформа также обеспечивает информацией о рисках наводнений, помогает найти решения в отношении размещенного лесного фонда и стратегий его защиты.

Используемые платформенные риски также могут быть эффективно применены для прогнозирования и ликвидации других последствий стихийных бедствий. В отличие от платформы риска, разработанной в Германии, аналогичный инструмент, представленный в пользование американскими разработчиками, в большей степени рассматривают конкретные стихийные бедствия в лесах (буреломы, пожары и т. д.).

Использование платформ риска в лесном хозяйстве позволяет изучить системный и комплексный подход к управлению рисками, что позволяет принимать обоснованные и правильные решения. Благодаря

данным платформы рисков можно улучшить планирование и прогнозирование действий при различных стихийных бедствиях, а также повысить эффективность мер по ликвидации последствий и минимизации ущерба от них.

Однако важно отметить, что использование платформы рисков является лишь одним из инструментов управления рисками, и для качественной работы необходимо учитывать и другие факторы, такие как законодательные, организационные аспекты и международное участие.

Исходя из вышеизложенного, для оценки рисков возникновения стихийных бедствий и их последствий в лесном хозяйстве необходимо разработать систему, которая будет включать в себя различные методы: сбор базы данных, анализ рисков, выбор методов воздействия на риск, система обучения и подготовки кадров и др.

Разработанная система оценки рисков возникающих стихийных бедствий, оказывающих непосредственное влияние на деятельность лесопромышленного предприятия позволит:

- сократить круг рисков, требующих детального анализа;
- дать возможность выделить из набора рисков, оказывающих наибольшее воздействие на данное предприятие, наиболее приоритетные риски с максимальной вероятностью наступления события и негативными последствиями;
- разработать мероприятия, направленные на снижение вероятности рисков или уменьшение последствий отрицательных эффектов, которые могут возникнуть на предприятии.

Следует отметить что оценка управления рисками лесопромышленного предприятия в современных условиях хозяйствования должна иметь четкую иерархическую структуру с необходимостью ее корректировки по итогам реализации программы мероприятий по снижению рисков и с учетом изменяющихся факторов воздействия окружающей среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Немецкая платформа управления лесными рисками и кризисными ситуациями [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.waldwissen.net/de/waldwirtschaft/schadensmanagement/risikobewertung>]. – Дата обращения 28.01.2024.

2. Институт природопользования НАН Беларуси [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://nature-nas.by/contacts>. – Дата обращения: 29.01.2024 г.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В связи с прогрессом техники область применения пневматических систем (пневмосистем) расширяется, номенклатура увеличивается, конструкции становятся более разнообразными. Пневмосистемы наряду с электромеханическими и гидромеханическими широко используют в машиностроении, авиационной, судостроительной и деревообрабатывающей промышленности, а также в специальных областях. Дальнейшему внедрению таких систем способствует развитие их теории и методов расчета и проектирования. Основные разделы теории пневмосистем включают логический и динамический анализ и синтез.

Наряду с преимуществами пневмосистемы имеют и недостатки, препятствующие более интенсивному их внедрению. Главный недостаток – существенное влияние переходных процессов на их работу.

Чтобы построить пневмосистему, нужно найти логическую связь между составляющими ее устройствами, обеспечить функционирование выбранной схемы. Для решения этого этапа используют различные теории. Если задачи логического анализа и синтеза пневмосистем в настоящее время можно успешно решать, то этого нельзя сказать о задачах динамического анализа, разработки теории и расчета динамики сложных пневмосистем.

В отличие от нелинейных электрических цепей характеристики нелинейных элементов в этом случае чаще всего бывают неизвестны, что не позволяет применить для исследования переходных процессов в пневмосистемах такие методы, как графический, метод интегрируемой нелинейно аппроксимации, метод, основанный на замене характеристики нелинейного сопротивления отрезками прямых. На переходные процессы в нелинейных пневмосистемах широкого назначения в отличие, например, от гидравлических, существенно влияет переменная плотность газа. Она вносит затруднения при расчете переходных процессов в реальных промышленных системах и установках. Поскольку конструктивные параметры пневмосистем выбирают по результатам расчета протекающих в них переходных процессов, становится понятно то значение, которое отводится расчетным методам

для более интенсивного внедрения рассматриваемых систем в промышленность.

Пневмосистемы обычно рассчитывают в сосредоточенных параметрах [1, 2]. Переходный процесс в объемах приводов рабочих органов машин и линиях передачи сигналов, принимают квазистационарным и установившимся, а переходные процессы рассматривают для приведенных объемов наполняемых или опорожняемых через местные сопротивления, характеризующиеся той же пропускной способностью, что и рассматриваемая система.

Чтобы определить коэффициенты расхода, используемые при указанном методе расчета, экспериментально исследуют модели устройств или элементов пневмосистемы. Существует два основных способа определения коэффициента μ [3, 4]. К первому относятся способы непосредственного измерения расхода воздуха, протекающего через испытуемое пневмоустройство (пневматический дроссель), а ко второму – способы косвенной оценки расхода, когда измеряется другая, зависящая от расхода величина, например, скорость увеличения давления в пневматической камере (полости).

В работе [3, 4] отмечено, что при использовании первого способа определения μ к стенду предъявляются достаточно жесткие требования, которые нужно выполнить. Поэтому рекомендуется второй способ, получивший более широкое распространение [1].

Точность расчетов с использованием экспериментальных коэффициентов во многом зависит от достоверности последних. Естественно, что при таком подходе возникают трудности при расчете динамики переходных процессов в принципиально новых системах и установках, внедрение которых может задерживаться из-за отсутствия экспериментальных коэффициентов. В частности, в ряде случаев при динамическом расчете пневматических звеньев и цепей нужно установить, какой принимать входной пневматический сигнал, а именно, задавать его постоянным или изменяющимся во времени. При постоянном сигнале значительно упрощается математическая модель

Кроме того, допущения, принимаемые при расчете динамики пневмосистем в сосредоточенных параметрах, могут оказать влияние волновые процессы и образующихся под их воздействием ударных волн, на движение поршневых пневматических устройств, соединенных как простыми, так и сложными разветвленными линиями передачи пневматических сигналов, влияние на переходные процессы постоянных и переменных местных сопротивлений в трубопроводах в зависимости от места их расположения и скорости переключения. Сюда относится также определение влияния элементов пневматической цепи, переключающихся во время рассматриваемого переходного про-

цесса, на динамику газовой системы и движение поршневых исполнительных механизмов, расчет переходных процессов в комплексе «система управления – линия передачи сигналов – исполнительные механизмы», рассматриваемом как единое целое, расчет переходных процессов в проточных пневмосистемах и др.

Кроме достоверного определения коэффициента расхода при моделировании и расчете пневмосистем важно дать рекомендации по составлению их расчетных схем, что позволит сократить время моделирования и время динамического расчета на ЭВМ. В частности, часто предоставляется возможным осуществлять замену сложных пневматических контуров на упрощенные, например, двухзвенные пневматические цепи, включающие две камеры и два дросселя, заменять на однозвенные. При расчете необходимо также учитывать силы сопротивления при перемещении подвижных частей в исполнительных устройствах, например, силы трения.

Помимо вышеуказанного нужно также отметить, что современные пневматические приводы транспортных и технологических машин являются многоконтурными, представляющими собой соединения трубопроводов и емкостей. Поэтому при их математическом моделировании целесообразно выбрать оптимальную газодинамическую функцию расхода, а также принять ряд возможных допущений [5].

Все допущения при математическом моделировании пневмосистем должны быть всегда обоснованными. В частности, давление на входе пневматических звеньев и цепей можно принимать постоянным или изменяющимся во времени. Поэтому ставится задача, при каких соотношениях объемов наполняемой и опорожняемой емкостей (камер) давление сжатого воздуха в опорожняемой емкости можно принимать постоянными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Герц Е.В. Пневматические приводы. Теория и расчет. – М.: Машиностроение, 1969. – 359 с.
2. Герц Е.В., Крейнин Г.В. Расчет пневмоприводов. Справочное пособие. М.: Машиностроение, 1975. – 272 с.
3. Метлюк Н.Ф., Автушко В.П. Динамика пневматических и гидравлических приводов автомобилей. – М.: Машиностроение, 1980. – 231 с.
4. Бартош П.Р. Исследование динамики и повышение быстродействия пневматического тормозного привода большегрузных прицепов. Кандидатская диссертация. – Мн.: БПИ, 1977. – 230 с.
5. Бартош П.Р., Жилевич М.И., Филипова Л.Г. и др. К выбору газодинамической функции и использованию допущений при математическом моделировании пневматических приводов. – Сборник «Автомобиле- и тракторостроение», Минск, БНТУ, 2019. – 309–313 с.

Д.А. Кононович, спец. по послепродаж. обслуж.
 (ООО «Зумлион Бел-Рус», Индустриальный парк «Великий Камень»);
 С.Е. Арико, зам. декана, канд. техн. наук;
 С.П. Мохов, зав. кафедрой, канд. техн. наук
 (БГТУ, г. Минск)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО УСТАНОВЛЕНИЮ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ПРОФИЛЯ ОБРАЗУЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ПНЯ

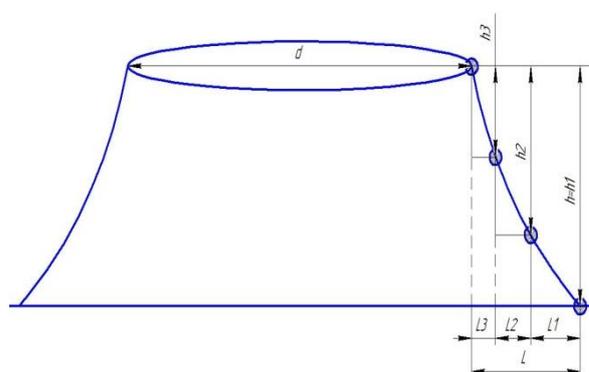
Эксплуатация машины с технологическим оборудованием для сбора лесосечных отходов сопровождается значительными динамическими нагрузками, передающимися через зуб оборудования при его взаимодействии с пнем [1].

Величина таких нагрузок зависит от геометрических параметров самого зуба и профиля, воздействующего на него поверхности, в том числе профиль образующей поверхности пня [2]. При преодолении пня зуб технологического оборудования копирует его поверхность, обкатываясь по ней. Направление и величины сил в точке взаимодействия зуба с пнем в процессе копирования его поверхности будут изменяться, и может быть описана математической функцией.

В связи с этим были проведены экспериментальные исследования по определению профиля образующей поверхности пня.

Экспериментальные исследования проводились в природно-производственных условиях Негорельского учебно-опытного лесхоза. В качестве измерительных приборов использовались: линейка, угольник строительный, уровень.

Процесс измерения осуществлялся согласно разработанной схеме измерений (Рисунок 1).



а



б

а – схема измерения высот пня; б – экспериментальные исследования

Рисунок 1 – Исследования по определению профиля образующей поверхности пня

Для проведения экспериментальных исследований были выбраны наиболее типичные для условий Республики Беларусь лесосеки с пнями наиболее распространенных пород деревьев – сосны, березы и ели. Измерения осуществлялись с южной и северной стороны пней. Результаты исследований приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты исследований

Порода	Параметр			
	Север		Юг	
	L, м	H, м	L, м	H, м
Сосна	пень №1			
	0	0	0	0
	0,04	0,032	0,066	0,046
	0,125	0,069	0,191	0,146
	0,24	0,205	0,26	0,269
	пень №2			
	0	0	0	0
	0,058	0,055	0,085	0,053
	0,165	0,088	0,168	0,088
	0,274	0,287	0,25	0,198
	пень №3			
	0	0	0	0
	0,05	0,023	0,133	0,057
	0,145	0,066	0,315	0,146
	0,25	0,233	0,44	0,43
	пень №4			
	0	0	0	0
	0,045	0,039	0,061	0,03
	0,16	0,1	0,172	0,081
	0,245	0,199	0,26	0,185
пень №5				
0	0	0	0	
0,068	0,057	0,068	0,057	
0,14	0,084	0,14	0,084	
0,245	0,181	0,245	0,181	
Береза	пень №1			
	0	0	0	0
	0,055	0,076	0,055	0,028
	0,137	0,098	0,125	0,034
	0,24	0,211	0,21	0,269
пень №2				
	0	0	0	0
	0,06	0,003	0,05	0,029
	0,13	0,048	0,085	0,039
	0,203	0,147	0,175	0,284

Продолжение таблицы 1

	пень №3			
	0	0	0	0
	0,058	0,055	0,05	0,028
	0,165	0,088	0,13	0,105
	0,274	0,287	0,21	0,18
	пень №4			
	0	0	0	0
	0,05	0,023	0,04	0,004
	0,145	0,066	0,12	0,021
	0,25	0,233	0,2	0,164
	пень №5			
	0	0	0	0
	0,045	0,015	0,03	0,01
	0,14	0,034	0,16	0,031
	0,22	0,25	0,18	0,131
	Ель	пень №1		
0		0	0	0
0,05		0,07	0,11	0,078
0,18		0,152	0,175	0,083
0,31		0,303	0,261	0,253
пень №2				
0		0	0	0
0,045		0,025	0,113	0,025
0,155		0,047	0,185	0,06
0,255		0,267	0,28	0,166
пень №3				
0		0	0	0
0,023		0,004	0,05	0,052
0,135		0,016	0,132	0,047
0,23		0,186	0,235	0,246
пень №4				
0		0	0	0
0,05		0,039	0,06	0,032
0,155		0,13	0,18	0,081
0,26		0,244	0,287	0,195
	пень №5			
	0	0	0	0
	0,08	0,047	0,067	0,01
	0,189	0,08	0,15	0,041
	0,31	0,3	0,217	0,196

Данные значения были аппроксимированы соответствующими полиномами, в результате чего получены математические функции профилей образующих поверхностей пней различных пород (табл. 2).

Таблица 2 – Математическое описание профилей образующих поверхностей пней

Порода	Математическая функция	
	Юг	Север
Сосна	$y = 1,145 \cdot x^2 + 0,426 \cdot x + 0,0026$ $R^2 = 0,9131$	$y = 1,0663 \cdot x^2 + 0,4757 \cdot x + 0,0025$ $R^2 = 0,9105$
Береза	$y = 5,9112 \cdot x^2 - 0,2301 \cdot x + 0,0056$ $R^2 = 0,7561$	$y = 3,8511 \cdot x^2 - 0,0336 \cdot x + 0,0078$ $R^2 = 0,9203$
Ель	$y = 2,2168 \cdot x^2 + 0,1625 \cdot x + 0,0021$ $R^2 = 0,8162$	$y = 2,7686 \cdot x^2 + 0,1331 \cdot x + 0,0065$ $R^2 = 0,9257$

Данные математические функции необходимы для моделирования процесса преодоления зубом пня и определения величины силы сопротивления движению технологического оборудования при сборе лесосечных отходов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кононович, Д. А. Моделирование и анализ воздействия единичных неровностей на рабочий орган уборочного лесохозяйственного оборудования // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн : материалы докладов 84-й науч.-технич. конф., посвященной 90-летнему юбилею БГТУ и Дню белорусской науки (с междунар. участием), Минск, 03–14 февраля 2020 г. – Минск: БГТУ, 2020. – С. 75–76.

2. Анализ воздействия единичных неровностей на рабочий орган технологического оборудования для сбора лесосечных отходов / Д. А. Кононович [и др.] // Эколого-экономич. и технологич. аспекты устойчив. развития Республики Беларусь и Российской Федерации: сб. статей III Междунар. науч.-техн. конф. «Минские научные чтения-2020», Минск, 3 декабря 2020 г.: в 3 т. – Минск: БГТУ, 2021. – Т. 3. – С. 259–263.

Е.А. Леонов, зам. декана, канд. техн. наук;
В.В. Игнатенко, доц., канд. физ.-мат. наук;
В.С. Исаченков, ст. преп. (БГТУ, г. Минск);

Д.В. Клоков, зав. кафедрой, канд. техн. наук (БНТУ, г. Минск)

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОСТАВКИ И ПОТРЕБЛЕНИЯ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА

В ходе исследований по методике, изложенной в [1], были изучены ежемесячные объемы поставки и сжигания древесной биомассы в условиях действующих предприятий Республики Беларусь.

Анализ эмпирических законов распределения показал, что случайная величина коэффициента неравномерности поставки древесного топлива в течение года подчиняется нормальному закону распределения с параметрами K и σ^2 и для каждого предприятия индивидуальна. Данная гипотеза подтверждена согласно критериям Пирсона и Колмогорова при доверительной вероятности $P(t) = 0,95$.

Анализ неравномерности сжигания древесного топлива по месяцам в течение года показал функциональную зависимость величины коэффициента неравномерности от времени $K^c(t_i)$, которая имеет вид синусоидальной зависимости и в зависимости от сезона года носит достаточно устойчивый характер:

$$K^c(t_i) = a_1 + a_2 \cdot \sin\left(a_3 + \frac{\pi}{6} t_i\right). \quad (1)$$

Для всех поставщиков и потребителей наибольшие значения коэффициентов неравномерности приходятся: по фазе «поставка» на март и июнь ($K^п = 1,01-1,15$); по фазе «сжигание» на январь-февраль ($K^с = 1,4-2,2$).

Наименьшие значения коэффициентов неравномерности приходятся:

– по фазе «поставка» для предприятий северного региона на апрель ($K^п = 0,83-0,92$), для предприятий южного региона – на январь – февраль ($K^п = 0,83-0,89$);

– по фазе «сжигание» – на июнь – август ($K^с = 0,10-0,36$).

Данные значения объясняются прежде всего климатическими и географическими особенностями расположения предприятий-поставщиков, периодом распутицы, снижением потребления сырья в летний и его ростом в зимний периоды.

Значения месячных коэффициентов неравномерности позволяют оценить степень совершенства организации и управления процес-

сом поставки и потребления древесного топлива, которая характеризуется коэффициентами стабильности ($\overline{K}_{ст}^п$) и использования пропускной способности ($K_{исп}$). Данные параметры для складов топлива некоторых предприятий представлены в таблице [1].

Таблица – Параметры стабильности и использования пропускной способности складов древесного топлива

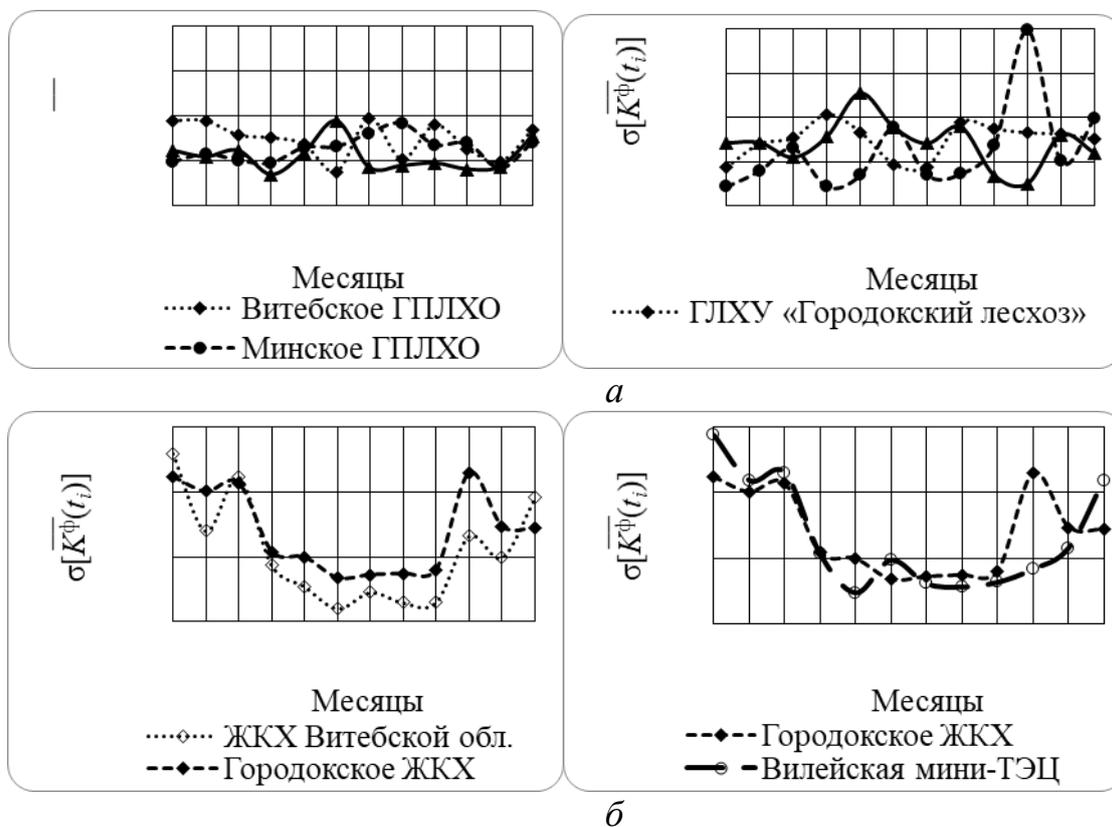
Поставка			Сжигание		
Предприятие	$\overline{K}_{ст}^п$	$K_{исп}$	Предприятие	$\overline{K}_{ст}^с$	$K_{исп}$
Витебская обл.					
Витебское ГПЛХО	1,31	0,92	ЖКХ Витебской обл.	0,48	15,88
Городокский лесхоз	1,43	0,86	Городокское ЖКХ	0,49	20,26
Лиозненский лесхоз	1,31	0,88	Шумилинское ЖКХ	0,44	18,75
Минская обл.					
Минское ГПЛХО	1,27	0,87			
Вилейский опытный лесхоз	1,40	0,82	Вилейская мини-ТЭЦ	0,51	7,91
Березинский лесхоз	1,31	0,88			
Брестская обл.					
Брестское ГПЛХО	1,18	0,93			
Барановичский лесхоз	1,29	0,87			
Пинский лесхоз	1,31	0,92			

Чем меньше значение $\overline{K}_{ст}^п$, тем стабильнее на предприятии организованы процессы заготовки и потребления древесного топлива и более эффективно в течение года используется оборудование и людские ресурсы. Из таблицы видно, что наибольшая стабильность в целом по предприятиям присуща фазе «поставка», а наименьшая – фазе «сжигание». Среди поставщиков и потребителей древесного топлива наибольшая стабильность присуща крупным предприятиям (областным ГПЛХО) на юге республики, наименьшая – мелким предприятиям (лесхозам) на севере республики. Данное обстоятельство позволяет для конкретных производственных условий выбирать собственную стратегию организации вывозки топливной древесины.

На рисунке приведены кривые, характеризующие зависимости оценки среднего квадратичного отклонения $\sigma[\overline{K}^ф(t_i)]$ от времени по фазам поставки и сжигания для нескольких поставщиков и потребителей древесного топлива.

Из рисунка видно, что для каждого предприятия характер изменения величины $\sigma[\overline{K}^ф(t_i)]$ по месяцам индивидуален. Так, наименьшее значение среднего квадратичного отклонения для Городокского лесхоза приходится на июль (месяц наиболее стабильной работы), а

наибольшее – на март; наименьшее значение среднего квадратичного отклонения для котельной Городокского ЖКХ приходится на июнь (месяц наиболее стабильной работы), а наибольшее – на октябрь [1].



а – фаза «поставка», б – фаза «сжигание»

Рисунок – Оценка среднего квадратичного отклонения коэффициента неравномерности

Правомерность принятия к исследованию коэффициентов неравномерности фаз поставки и сжигания по месяцам за 5 лет подтверждается статистической обработкой. В 92,6 % случаев ошибка в определении математического ожидания не превышала 10 %. В 70,4 % случаев значение коэффициента вариации не превышало 15 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Комплексное использование древесного сырья для обеспечения устойчивой работы гибких терминалов: диссертация ... кандидата технических наук: 05.21.01: защищена 26.09.2012: утверждена 30.01.2013 / Леонов Евгений Анатольевич. – Минск, 2012.

М.Т. Насковец, доц., канд. техн. наук;
Е.В. Рассоха, доц., канд. эконом. наук;
Н.В. Хорошун, доц., канд. эконом. наук
(БГТУ, г. Минск)

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЭФФЕКТИВНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ОРГАНОВ В СФЕРЕ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА И ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Изучение научной литературы, анализ мирового опыта и отечественной практики управления позволили установить, что в настоящее время приобретает важность анализ деформаций в развитии предпринимательской деятельности в тех секторах экономики, которые имеют стратегически важное значение для развития экономики всей страны. Это связано с тем, что Республика Беларусь занимает достойное место в мире с уровнем лесистости более 40%. В этой связи, развитие предпринимательской деятельности в лесном хозяйстве Республики Беларусь, что является наиболее проблемным в современных условиях хозяйствования. В силу специфики сферы деятельности и ограниченности финансовых возможностей предпринимательская деятельность в этом секторе экономики Республики Беларусь демонстрирует недостаточную эффективность в своем развитии, что выражается в увеличении недоимок в бюджеты всех уровней и др. Это обуславливает необходимость более внимательного исследования реализуемого инструментария государственной поддержки предпринимательской деятельности в лесном секторе экономики Республики Беларусь с учетом существующих в настоящее время факторов деформации бизнес – процессов.

Известно, что система взаимодействия государства и лесного предпринимательства в разных странах функционирует по-разному.

Российский ученый Е.Г. Ясин, в силу наличия серьезных проблем в нормативно-правовой базе Российской Федерации, при отсутствии условий для эффективного сотрудничества, неразвитости инвестиционной и инновационной среды, выделяет три модели: белую, черную и серую.

Российский ученый М.В. Киварина говорит о наличии двух альтернативных моделей взаимодействия властных и предпринимательских структур – атомистической и ассоциированной.

Атомистическая модель, по мнению ученого, формируется в условиях низкой экономической силы предпринимательства, которое представлено отдельными разрозненными конкурирующими между

собой предпринимательскими структурами, осуществляющими с государством в зависимости от степени доверия к нему одностороннее (лидерство власти) или двустороннее (частное) взаимодействие. Государство в данной модели рассматривается как внешняя сила, при этом его основной функцией является совместная с предпринимательством разработка правил регулирования экономики, разрешения деловых конфликтов (которые не могут быть преодолены предпринимательским сообществом самостоятельно), а также мер поддержки национальных производителей на международных рынках.

В рамках ассоциированной модели бизнес эволюционирует от экономического сектора, ориентированного на максимизацию прибыли, до социально ответственного субъекта гражданского общества. При этом во взаимодействие вступают уже не отдельные предпринимательские структуры, а их объединения и союзы, оформленные институционально, которые получают возможность участвовать в выработке законопроектов и принятии политических решений в обмен на добровольное выполнение части социальных функций, традиционно осуществляемых государством. На современном этапе в Республике Беларусь процесс преобразования атомистической модели в ассоциированную находится на начальном этапе, поэтому преобладающей формой является частное взаимодействие государственных и предпринимательских структур.

В нашем случае важна модель эффективного взаимодействия государственных органов в сфере лесного хозяйства и предпринимательской деятельности. Лесное хозяйство и система управления лесными ресурсами Республики Беларусь постоянно совершенствуется. Введенный в действие с 01.01.2007 г. новый Лесной кодекс РБ, также, как и предыдущие варианты Лесного кодекса РБ, содержит целый ряд недоработок, в первую очередь, организационного характера.

Модель взаимодействия эффективного взаимодействия государственных органов в сфере лесного хозяйства и предпринимательской деятельности изначально основана на различных формах собственности на лесные ресурсы и другие средства производства. Для нее характерно разделение функций управления лесами и функций хозяйствования. Такая система предполагает наличие хорошо развитого лесного законодательства, которое предусматривает ответственность государства, лесовладельцев и лесопользователей за нарушения норм и правил лесозаготовки, лесовосстановления и лесозащиты. Следует отметить, что наиболее совершенную модель имеют страны Скандинавии – Финляндия, Швеция, отличающиеся наличием рыночной экономики, в которых преобладают частные леса. В этих странах рынок

лесных материалов выступает как регулятор экономических отношений и ценообразования. Лесовладельцы получают от государства льготы или частичную компенсацию расходов на возобновление лесов после рубки.

Согласно историческим данным, в СССР государство изначально финансово поддерживало лесозаготовительную промышленность через сохранение низкого уровня попенной платы за древесину, строительство лесных дорог и благоустроенных по стандартам того времени поселков, научно-техническую и кадровую поддержку, в то время как лесное хозяйство финансировалось по остаточному принципу. Неравное экономическое положение двух смежных отраслей (лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства) предопределило долговременные конфликты в отношениях между ними как на уровне государства, так и на низовом уровне, к сожалению, не преодоленные до настоящего времени.

Усилия государства в этом плане должны быть направлены на обеспечение экологически безопасного взаимодействия лесной промышленности и лесных экосистем, на благополучии которых базируется благополучие всего лесного сектора национальной экономики. Устойчивое управление лесным хозяйством и лесами напрямую зависит от продуктивности лесов, а она, в свою очередь, снижается в результате хозяйственной деятельности человека, включая загрязнение окружающей природной среды. Развитие предпринимательской деятельности в лесном секторе является одним из основных условий роста эффективности и конкурентоспособности лесного хозяйства, лесной промышленности и смежных отраслей Республики Беларусь.

В свою очередь, модель эффективного взаимодействия государственных органов в сфере лесного хозяйства и предпринимательской деятельности представляет собой организационное обеспечение согласованных действий субъектов лесных отношений в вопросах использования, охраны, воспроизводства лесных ресурсов. Взаимодействие предпринимательской деятельности и органов власти должно развиваться в оптимальных для лесного сектора формах и направлениях, главными из которых являются:

- обеспечение благоприятных условий комплексного многоцелевого использования лесных ресурсов;
- рациональное, неистощительное природопользование;
- адресная поддержка и государственная гарантия устойчивости функционирования предпринимательства в сфере лесопользования;
- рост профессионализма и компетентности в вопросах лесного хозяйства;

- создание лесной инфраструктуры;
- снижение деформаций в развитии лесного предпринимательства.

Представленная на рисунке организационная модель эффективного взаимодействия государственных органов в сфере лесного хозяйства и предпринимательской деятельности позволяет обеспечить привлекательность предпринимательской деятельности в сфере лесопользования за счет снижения уровня ее деформации и теневизации.

В соответствии с Лесным кодексом Лесопользование – деятельность, в процессе которой используются лесные ресурсы, а лесопользователь – гражданин, юридическое лицо, индивидуальный предприниматель, которым в порядке, установленном законодательством об использовании, охране, защите и воспроизводстве лесов, предоставлено право лесопользования. Лесные участки, относящиеся к государственной собственности, продаже не подлежат, но их можно взять в аренду, срок действия которой составляет от года до сорока 15 лет (Глава 10 ЛК РБ). Участки лесного фонда предоставляются в аренду по результатам лесных конкурсов за исключением случаев предоставления участков лесного фонда в целях, не связанных с ведением лесного хозяйства и осуществлением лесопользования. По результатам конкурсных процедур составляется договор аренды и осуществляется передача участка лесного фонда арендодателем и принятие его арендатором на условиях, предусмотренных договором аренды.

Арендатор обязан разработать проект освоения лесов. Проект освоения лесов разрабатывается лицами, которым лесные участки предоставлены в аренду в соответствии со положениями главы 10 Лесного кодекса РБ на основании договора аренды лесного участка, лесохозяйственного регламента лесничества, материалов государственного лесного реестра.

Более того, согласно Лесного кодекса РБ невыполнение лесохозяйственного регламента и проекта освоения лесов является основанием для досрочного расторжения договоров аренды лесного участка или договоров купли-продажи лесных насаждений, а также принудительного прекращения права постоянного (бессрочного) пользования лесным участком или безвозмездного срочного пользования лесным участком.

Проект освоения лесов содержит сведения о разрешенных видах и проектируемых объемах использования лесов, мероприятиях по охране, защите и воспроизводству лесов, по созданию объектов лесной и лесоперерабатывающей инфраструктуры, по охране объектов животного мира и водных объектов.

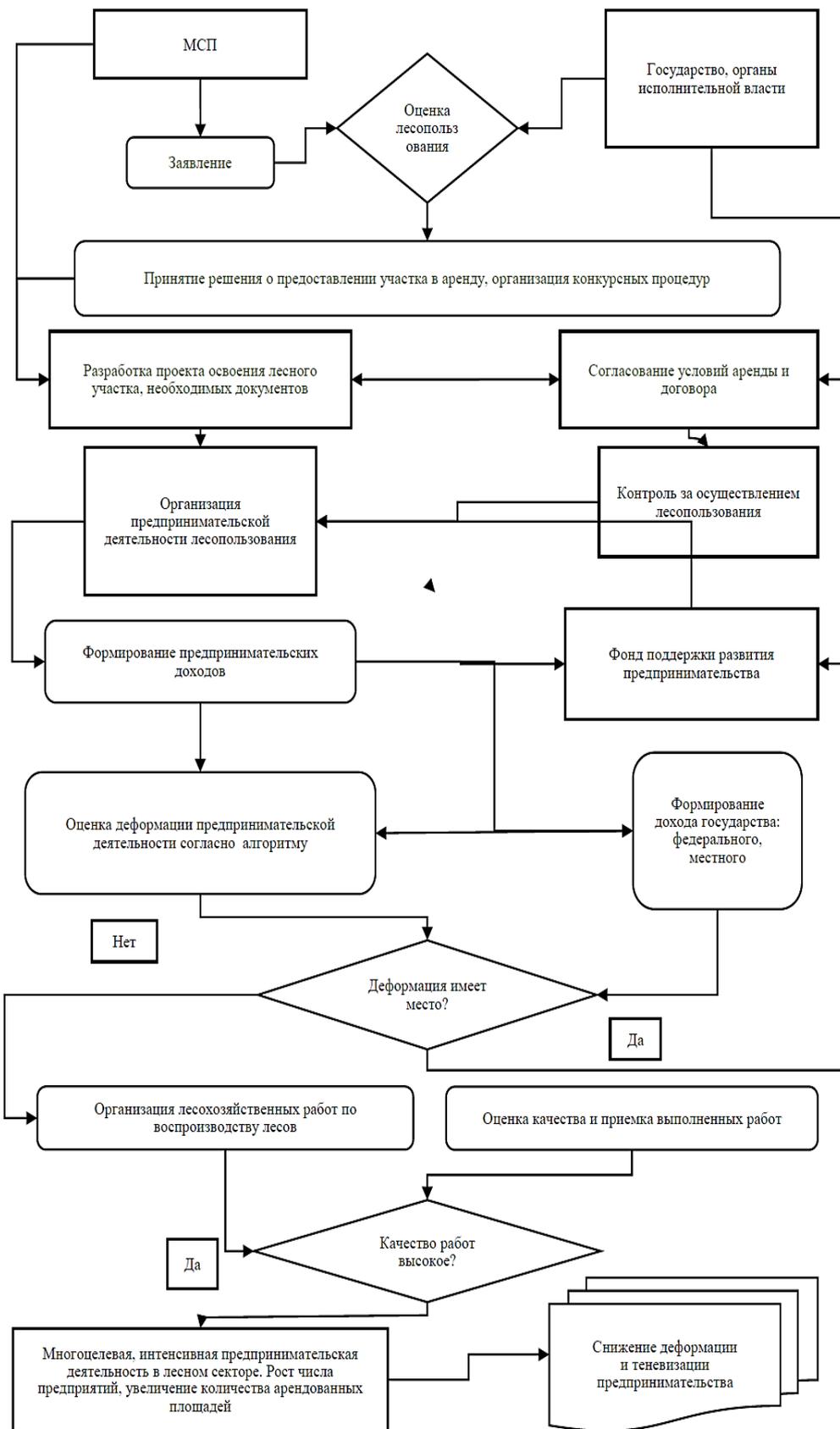


Рисунок – Организационная модель эффективного взаимодействия государственных органов в сфере лесного хозяйства и предпринимательской деятельности

В то же время в проекте освоения на фективность освоения лесного участка ни для арендодателя, ни для арендатора.

Экономические расчеты являются базой для выполнения комплекса работ в соответствии с лесохозяйственным регламентом и проектом освоения лесов. Перед заключением договора аренды лесного участка целесообразно выполнить экономические расчеты и определить стоимость лесохозяйственных работ на единицу и весь объем. В этой связи в представленную организационную модель введен блок «Оценки эффективности лесопользования». Первоначальной информацией для этих расчетов является лесной план субъекта и регламенты лесхозов.

Определение полной себестоимости единицы лесохозяйственных работ $C_{л/х}$ (км, га, т, м³), которые помимо рубок ухода включают лесовосстановительные, противопожарные и лесозащитные работы, следует рассчитывать по формуле 1.

$$C_{л/х} = \sum_{i=1}^m T_{ei} \times TC + (\sum_{i=1}^m (T_{ei} \times TC) * \%)/100 + \sum_{j=1}^n \mathcal{E}_j / ПТ_j + \sum_{k=1}^1 M_k \times Ц_k + Н, \quad (1)$$

где T_{ei} – трудоемкость выполнения i -й операции; TC – дневная тарифная ставка с учетом различного рода доплат и выплат; i – количество операций в технологическом процессе; $\%$ – ставка налога на страховые взносы; \mathcal{E}_j – расходы на содержание и эксплуатацию технических средств на j -й операции технологического процесса с учетом заработной платы вспомогательных рабочих, страховых взносов, амортизационных отчислений, затрат на ГСМ, техническое обслуживание и ремонт основных средств и прочих расходов; j – количество операций, на которых используются технические средства; $ПТ_j$ – сменная производительность технических средств на j -й операции технологического процесса; M_k – расход k -го материала на единицу работ (услуг, объектов); $Ц_k$ – цена единицы k -го материала; k – количество видов используемых материалов; $Н$ – накладные расходы на организацию единицы лесохозяйственных работ.

Расчеты рекомендуется осуществлять в форме расчетно-технологических карт.

Для определения прибыли от основной деятельности (лесозаготовка) необходимо рассчитать выручку от продаж продукции (доход), которой будут являться круглые лесоматериалы (сортименты), а в затраты (расходы) включать стоимость проведения комплекса лесохозяйственных работ и работ по лесозаготовкам.

При определении прибыли $Пр$ целесообразно использовать

формулу 2.

$$\text{Пр} = \sum_{i=1}^m Q_i \times P_i - C_{л/х}, \quad (2)$$

где $1 \dots m$ – набор сортиментов круглого леса, отходов; Q_i – объем заготовки древесины i -го вида; P_i – рыночная цена i -го вида сортиментов; $C_{л/х}$ – затраты на лесохозяйственные работы, затраты на заготовку, первичную обработку и транспортировку лесоматериалов.

Для определения прибыли от основной деятельности (рекреация) необходимо рассчитать выручку от оказания услуг (доход), а в затраты (расходы) включать стоимость проведения комплекса лесохозяйственных работ. Определяют прибыль Пр в данном случае по аналогичной формуле 3.

$$\text{Пр} = \sum_{i=1}^m Q_i \times P_i - C_{л/х}, \quad (3)$$

где Q_i – объем оказания рекреационных услуг i -го вида; P_i – цена i -го вида оказываемой услуги, р.

Для определения прибыли от основной деятельности (недревесные продукты леса) необходимо рассчитать выручку от оказания услуг (доход), а в затраты (расходы) включать стоимость проведения комплекса лесохозяйственных работ. При определении прибыли целесообразно использовать формулу 4.

$$\text{Пр} = \sum_{i=1}^n (P_{\text{недр.пр.}} \times V_{\text{заг.недр. пр.}}) - C_{л/х}, \quad (4)$$

где i – вид недревесного продукта леса; $P_{\text{недр.пр.}}$ – цена объема недревесных лесных ресурсов, пищевых лесных ресурсов и лекарственных растений, р./т; $V_{\text{заг.недр. пр.}}$ – годовой объем заготовки недревесных продуктов леса, тыс. т/год.

Применение данного подхода позволяет произвести предварительную оценку эффективности лесохозяйственной деятельности на арендованном лесном участке (либо в порядке планирования аренды участка лесного фонда), на основании чего могут приниматься стратегические решения о целесообразности пользования данным лесным участком. При этом возможны два варианта.

Платежи за пользование лесными ресурсами поступают в бюджеты трех уровней (республиканский, областной, региональный) и используются для финансирования органов управления лесным хозяйством, а также на охрану и воспроизводство лесных ресурсов на лесных участках, не переданных в аренду.

Размер арендной платы определяется на основе минимального размера арендной платы: при использовании лесного участка с изъятием лесных ресурсов – в зависимости от объема изъятия, без изъятия

лесных ресурсов – от площади лесного участка.

Распределение арендной платы происходит в следующем порядке: в государственный бюджет зачисляется плата за использование лесов в части минимального размера арендной платы, рассчитанная как произведение ставок платы за единицу объема лесных ресурсов или за единицу площади лесного участка, установленных Правительством Республики Беларусь, и среднегодового объема использования лесов или площади лесного участка.

В областные бюджеты зачисляется арендная плата в части, превышающей минимальный размер арендной платы.

В создании фонда поддержки заинтересованы не только арендаторы лесных участков – лесопользователи, но и фондодержатель лесных земель – государство.

В этой связи в бюджет фонда поддержки предпринимательства должны направляться финансовые потоки в размере, необходимом и достаточном для содействия развитию предпринимательства в лесном хозяйстве. Это позволит оказывать адресную поддержку малому предпринимательству, реализовать программы поддержки лесовосстановления горельников, внедрения инновационных технологий в лесовыращивание и др.

Включенный в организационную модель алгоритм позволяет дать оценку уровню деформации предпринимательской деятельности в лесном хозяйстве отдельного региона по результатам реализуемых мер поддержки предпринимательской деятельности.

Разработанная организационная модель позволяет обеспечить привлекательность предпринимательской деятельности в сфере лесопользования за счет снижения уровня ее деформации и тенизации, а также способствует повышению эффективности принятия управленческих решений.

А.Н. Четырбок, преп.
(Филиал БГТУ «Полоцкий государственный лесной колледж»);
М.Т. Насковец, доц. канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТЕКЛОТКАНЕЙ ПРИ РЕМОНТЕ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ДОРОГ

Технология восстановления лесохозяйственных дорог занимает важнейшее место при выполнении запланированных лесопользователем мероприятий и зависит от многих факторов: интенсивности эксплуатации, характеристики напочвенного покрова, экономической целесообразности, имеющихся материалов и т.д. При планировании ремонтных работ необходимо учитывать передовой опыт, используемый в отрасли, а именно применение различных прослоек из композитных материалов. При выборе требуется уделить особое внимание свойствам применяемого материала. Промышленность Беларуси предлагает огромный выбор композитных материалов для применения в обустройстве лесных дорог, но необходимо учесть все требования, предъявляемые лесопользователями при устройстве лесотранспортного сообщения.

В ходе поиска нового композитного материала для устройства дорог лесного фонда необходимо обратить внимание на стеклоткани, которые имеют следующие преимущества:

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

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

Стеклоткань не гниет. Стеклоткань не ухудшается со временем и не гниет. Она не подвержено воздействию насекомых и грызунов.

В виду того, что производство геосинтетических материалов в нашей стране имеет локальный характер, и доставка значительно увеличивает смету на ремонт дороги, было проведено исследование о возможности использования для этих целей материала выпускаемого заводом ОАО «Полоцк - Стекловолокно». При изучении выпускаемой продукции завода был сделан вывод, что данная продукция соот-

ветствует запрашиваемым условиям, а именно сетка стеклянная марки ССШ и рулонный стеклопластик РСТ.

Сетка стеклянная ССШ - предназначена для защиты оштукатуриваемой поверхности от образования трещин, повышения механической прочности покрытия, предохранения стен от деформации, характеристики представлены в таблице 1. Может применяться в создании наливных полов, гидроизоляции, монтажа звуко и теплоизоляционных материалов, при возведении заграждений для птиц и животных, защиты фасадов зданий и сооружений.

Кроме того, штукатурная сетка, которая изготовлена на основе специальной ткани, востребована при проведении теплоизоляции труб.

Таблица 1 – Характеристики материала сетки стеклянной

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

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

Таблица 2 – Характеристики материала стеклопластик рулонный

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

В ходе обследования необходимых для ремонта дорог на территории гослесфонда Полоцкого учебно-опытного лесхоза ставилась за-

дача подобрать участки, которые наиболее полно охватывали типичные разрушения, встречающиеся при эксплуатации лесных дорог. Таким образом были выбраны лесные дороги на которых имелись характерные повреждения, а именно келейность (Рисунок 1) и продавливание грунта (Рисунок 2).



Рисунок 1



Рисунок 2

Такие участки были подобраны и разбиты на несколько опытных объектов:

Опытный участок № 1. **Дорожная конструкция с устройством слоёв основания из хворостяной выстилки, стеклоткани и песчано-гравийной смеси.**

Дорожная конструкция состоит из: грунтового основания, хворостяной выстилки толщиной 20-25 см уложенной в колеи (рисунок 3), слоя стеклоткани марки ССШ-160 (рисунок 4) и покрытия из песчаного материала толщиной 20–25 см. (рисунок 5).



Рисунок 3



Рисунок 4



Рисунок 5

Опытный участок №2. **Дорожная конструкция из хворостяной выстилки и лент стекловолкна.**

Дорожная конструкция состоит из: грунтового основания (рису-

нок 6), слоя хворостяной выстилки толщиной 25-30 см (рисунок 7), лент из стекловолокна, стеклопластика 250Л (рисунок 8) и покрытия из песчаного материала толщиной 20–25 см (рисунок 17).



Рисунок 6



Рисунок 7



Рисунок 8

Опытный участок №3. Дорожная конструкция с устройством слоёв основания из хворостяной выстилки, уложенной в места продавливания грунта, стеклоткани и песчано-гравийной смеси.

На участках дорог, где грунт, по всей ширине проезжей части укладывают порубочные остатки с последующим уплотнением (рисунок 9), затем поверх образовавшейся хворостяной выстилки раскатывают прослойку из стекловолокна скрепляя между собой по всей длине степлером (рисунок 10). Далее на подстилающий слой из хворостяной выстилки и прослойки из ССШ-160 производят отсыпку слоя насыпного грунта с последующим разравниванием и уплотнением (рисунок 11).



Рисунок 9



Рисунок 10



Рисунок 11 – Отсыпка насыпного слоя

В ходе проведения исследования на опытных участках были выявлены следующие преимущества:

- небольшой вес укладываемого материала, что даёт возможность вручную переносить рулоны на длительное расстояние и облегчает монтаж полотна при устройстве лесохозяйственных дорог;
- рулон стеклоткани имеет ширину не более 1 метра, что позволяет использовать его в различных технологиях обустройства лесных дорог;
- стеклоткань имеет довольно высокие показатели механической прочности, что даёт возможность уменьшения верхнего слоя грунта, тем самым удешевляя стоимость обустройства 1 метра погонного лесохозяйственной дороги;
- стеклоткань имеет более низкую цену в сравнении с другими композитными материалами, что позволяет снизить себестоимость ремонта лесохозяйственных дорог;
- имея высокие прочностные показатели, стеклоткань препятствует продавливанию грунта лесохозяйственной техникой;
- при изготовлении стеклоткани используют современное экологичное сырьё, что позволяет эксплуатировать ее в различных гидрологических условиях.

Недостатки выявленные в ходе обустройства участков:

- при укладке на порубочные остатки необходима подготовка в виде измельчения слоя на который укладывается волокно;
- при монтаже ССШ -160 диагональное растяжение не устойчиво.

Так в результате исследования опытных участков можно сделать вывод об эффективности применения стеклоткани, которая выражается в удешевлении себестоимости обустройства лесохозяйственных дорог, увеличении пропускной способности дорог за счёт высоких прочностных показателей, возможности применения в различных видах грунта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по применению нетканых синтетических материалов при строительстве автомобильных лесовозных дорог: утв. начальником технического управления Минлесбумпрома СССР 14.05.1982. – Химки 1982. – 52 с.
2. Лесохозяйственные дороги. Нормы проектирования и правила устройства. ТКП 500-2016 (33090). [Утвержден и введен в действие постановлением Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь от 26 июля 2016 г. № 11. (изменения: Постановление «Об утверждении, введении в действие изменения № 2 к техническому кодексу установившейся практики» от 29.03.2022 № 6]
3. О порядке выполнения работ по эксплуатации (содержанию и текущему ремонту) автомобильных дорог общего пользования: [Постановление Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь от 19 июня 2019 г. № 36: введен в действие 26.07.2019. Акты, изменяющие (дополняющие) документ: Об изменении постановления Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь от 19 июня 2019 г. № 36. Постановление Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь от 27 сентября 2022 г. № 84 (8/38874 от 17.10.2022)] // Источник: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=W21934346> – Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь
4. Стекловолокно. Ткань конструкционного назначения. Технические условия: межгосударственный стандарт ГОСТ 19170-2001. [Принят Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол № 19 от 24 мая 2001 г.): введен в действие с 1 октября 2002 года]
5. Автомобильные дороги Беларуси: энциклопедия под общ. ред. А.В. Минина. – Минск: Беларуская энцыклапедыя, 2002. – 700 с.
6. Вырко Н.П. Сухопутный транспорт леса: учебник для студентов вузов. – Минск: Выш. шк., 1987. – 437 с.
7. Герасимов Ю.Ю., Катаров В.К. Лесные дороги – Йоэнсу: Издательство НИИ леса Финляндии МЕТЛА, 2011. – 70 с.
8. Домке Э.Р., Бажанов А.П., Ширшиков А.С. Управление качеством дорог: учебное пособие. – Ростов-на-Дону, 2006. – 253 с.
9. Насковец М.Т. Лесные дороги и вывозка древесины: учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-75 01 01 «Лесное хозяйство» – Минск: БГТУ, 2011. – 57 с.
10. Насковец М.Т. Транспортное освоение лесов Беларуси и компоненты лесотранспорта – Минск: БГТУ, 2010. – 178 с.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КАЛЬКУЛИРОВАНИЮ ЗАТРАТ ДЛЯ УСТРОЙСТВА ОПЫТНЫХ УЧАСТКОВ

В результате выполнения анализа практической реализации работ по устройству и содержанию подъездных путей лесхозов были проанализированы аспекты, включающие порядок планирования работ (определение наименований и объемов работ), расчет стоимости выполняемых работ и расходуемых ресурсов, оформления документации для свода и учета затрат.

На основании данного анализа результатов работ и расчет по ним были выявлены следующие особенности указанных выше процессов:

1. Лесхозы используют 2 способа реализации работ по устройству/содержанию подъездных путей. Первый – включает выполнение всех работ полностью «своими силами». Второй – предполагает частично (или полностью) привлечение подрядной организации (как правило, локальной).

2. Лесхозы производят свод и учет затрат на основании документов, подтверждающих выполнение работ и стоимость фактически понесенных затрат. Например, подтверждающими документами могут быть «Акты выполненных работ», «Акты сдачи-приема работ», «Путевые листы», «Справки о стоимости ресурсов (материалов)», «Справки о стоимости выполненных работ», «Утвержденные нормы выработки и расценки перевозку грузов», «Ведомости объемов работ и расхода ресурсов» и др.

3. Сводная и объектная сметы работ по устройству/содержанию подъездного пути, как правило, не составляются. Определение стоимости затрат ведется по их фактическому расходованию, а учет затрат ведется на основании Типового плана счетов бухгалтерского учета, адаптированного под специфику лесхозов (Постановление Министерства лесного хозяйства №12 от 20.12.2004г.) по счету 37 «Затраты на лесное хозяйство» или счету 20 «Основное производство».

4. Подъездные пути к лесохозяйственным дорогам, как правило, используются для проведения лесохозяйственных мероприятий в лесном фонде.

5. Процессы, реализуемые при устройстве/содержании подъездного пути, включают: осмотр специалистом лесхоза подъездного пути или траектории (места) ее устройства; принятие решения о способе

выполнения работ; оформление Приказа о выполнении работ; свод фактических затрат о стоимости выполненных работ и израсходованных ресурсов; учет фактически понесенных затрат на основании подтверждающих документов.

Таким образом, нами была Утверждена следующая структура и содержание «Рекомендации по калькулированию затрат для устраиваемых опытных участков».

Содержание рекомендации включает в себя 5 разделов:

- Общие положения;
- Номенклатура и объем работ;
- Расчет стоимости работ и ресурсов;
- Оформление документации по стоимости затрат;
- Учет фактической стоимости затрат.

Рекомендации по калькулированию затрат для устраиваемых опытных участков (далее – Рекомендации) являются отраслевым документом, используемым для свода и учета затрат для устраиваемых опытных участков.

Настоящие Рекомендации могут быть использованы:

- при расчете и учете затрат для устраиваемых опытных участков;
- при формировании укрупненных нормативов, в том числе нормативов финансовых затрат по устройству опытных участков;
- при разработке планов по устройству опытных участков;
- при обосновании стоимости затрат по устройству опытных участков в составе тендерной документации;
- при разработке и при проведении экспертизы сметной документации по устройству опытных участков.

Рекомендации ставят целью определение номенклатуры и объемов работ, стоимости работ и ресурсов по устройству опытных участков. Номенклатуру работ по устройству опытных участков (далее – Подъездной путь) рекомендуется определять в соответствии Сборником нормативов расхода ресурсов в натуральном выражении на строительные конструкции и работы», разрабатываемым РУП «Республиканский научно-технический центр по ценообразованию в строительстве» (далее – НРР).

При выполнении расчетов стоимости работ по устройству опытных участков рекомендуется использовать текущий уровень цен (расценок) на единицу работы.

При выполнении расчетов стоимости ресурсов (в том числе материалов) по устройству опытных участков следует использовать документы, отражающие цену (стоимость) их приобретения.

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

П.Н. Жлобич, асп. (БГТУ, г. Минск);

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

С.Н. Пищов, канд. техн. наук, нач. главного управления
(Министерство образования Республики Беларусь, г. Минск)

О ВЛИЯНИИ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕСНОГО ДВИЖЕТЕЛЯ НА СОСТОЯНИЕ ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

При вывозке заготовленной древесины по подъездным путям к лесохозяйственным дорогам и движении на покрытых лесом территориях лесосек, специфика работы транспортных средств, в процессе выполнения транспортно-технологических операций во многом определяется условиями взаимодействия их колесных движателей с контактируемой опорной поверхностью.

В данном случае, одним из основополагающих факторов, оказывающих влияние на проезжаемость колесного транспорта по грунтовым основаниям, является величина воздействующей удельной нагрузки. Как известно, удельная нагрузка в процессе перемещения по грунтовым основаниям различных видов субъектов и объектов движения определяется соотношением их массы и площади поверхности, через которую происходит ее передача. При этом, вышеуказанные составляющие, как и прочностные характеристики грунта, по-разному влияют на формирование структуры опорной поверхности после ее контакта с той или иной нагрузкой (рис. 1).

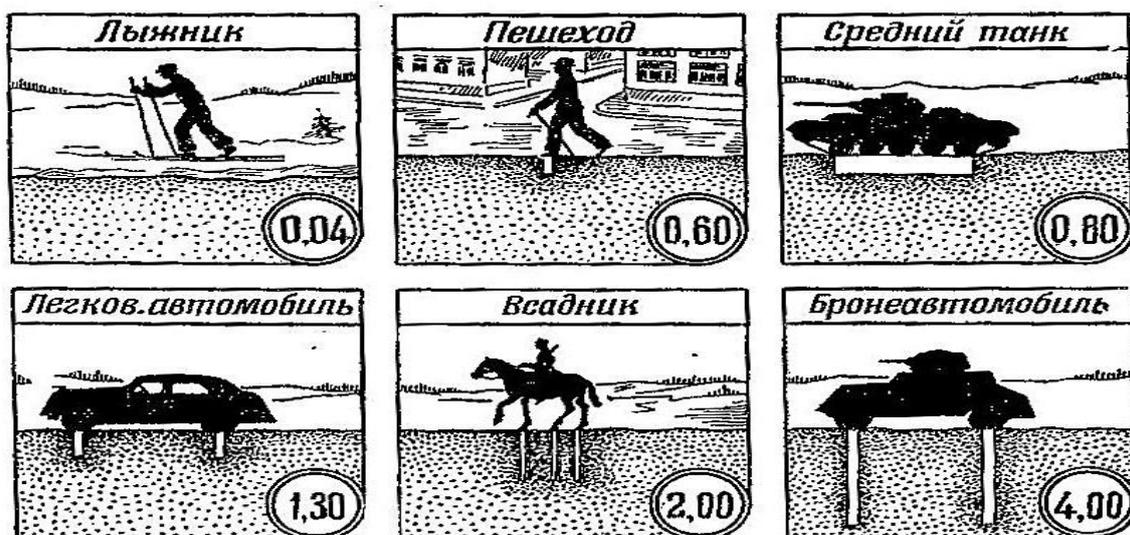


Рисунок 1 – Варианты передачи удельного давления по глубине грунтового основания в зависимости от воздействующей нагрузки и площади контакта

В этой связи важную роль играет и изменение площади поверхности контакта колес за счет регулирования давления воздуха в шинах (рис. 2).

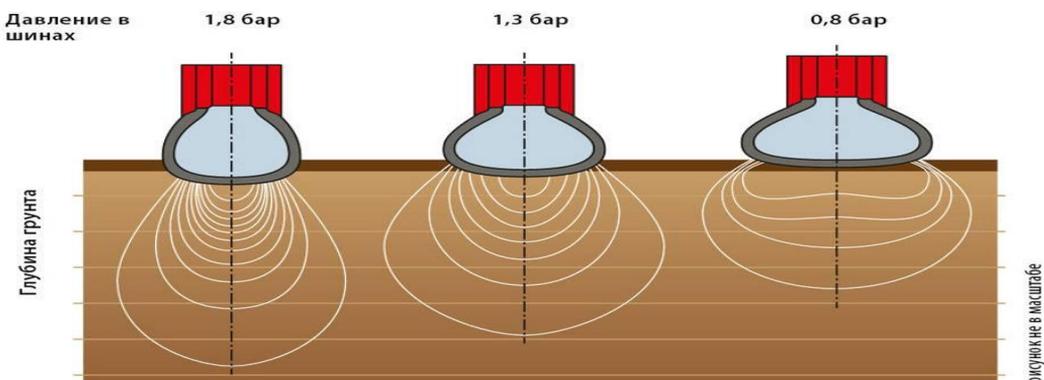


Рисунок 2 – Схема распределения напряжений в грунте основания

Также неоднозначно выглядит форма образующейся опорной поверхности в зависимости от количества и ширины колес транспортного средства (рис. 3), а также диаметра колеса (рис. 4).



Рисунок 3 – Изменение формы очертания поверхности контакта грунтового основания в зависимости от количества и ширины колес

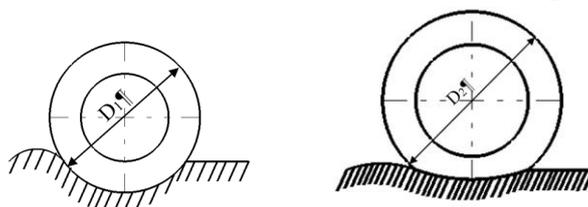


Рисунок 4 – Варианты очертания контактной поверхности грунта при разных диаметрах колес

Для средств транспорта, кроме колесной нагрузки, также характерно влияние размерных параметров колес, главным образом, формы и профиля шин (рис. 5).



Рисунок 5 – Классификация шин по форме профиля

УДК: 677.076.49

В.В. Наумов, канд. техн. наук, заместитель
технического директора, доцент РУТ (МИИТ, Москва, РФ);
П.В. Афонин, технический директор
(ООО «ТЕРАТЕКС», Москва, РФ)

ПОВЕРХНОСТНАЯ ПЛОТНОСТЬ НЕТКАНОГО ГЕОТЕКСТИЛЯ КАК УСТАРЕВШИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПАРАМЕТР

Компания ООО «ТЕРАТЕКС» высокотехнологичная компания, специализирующаяся на производстве и реализации современных геосинтетических и гидроизоляционных материалов, а также на создании эффективных технологических решений по проектированию широкого спектра инженерно-технических конструкций и сооружений.

Опыт компании позволяет участвовать в разработке и изменении сводов правил, государственных стандартов и т.п. связанных с геосинтетическими материалами. Например, были приняты решения, на уровне Федерального дорожного агентства «РОСАВТОДОР» и ГК «АВТОДОР» о применении в проектной и рабочей документации нетканого геотекстиля без указания поверхностной плотности.

Поверхностная плотность, до недавнего времени, имела значимый показатель при производстве нетканого геотекстиля. Это было связано с тем, что при производителях нетканых материалов применяли одинаковую технологию производства и сырья. Развитие технологий, позволили расширить спектр производства и появились, помимо штапельного производства, производство спанбонд, иглопробив, термоскрепление, а также использовалось различное сырьё – полипропилен, первичный полиэфир, вторичный полиэфир. Всё это дало скачок в улучшении характеристик нетканого геотекстиля, при этом снизилась его поверхностная плотность.

Например, прочность при растяжении нетканого геотекстиля, произведенного из вторичного полиэфира поверхностной плотности 400 г/м², такая же как у нетканого геотекстиля с поверхностной плотности 200 г/м² произведенного из первичного полипропилена (см. Рисунок 1).

Аналогичные исследования были проведены в научно-исследовательском институте транспортно-строительного комплекса (АНО «НИИ ТСК»), где испытывали различный нетканый геотекстиль (по способу производства) с разной поверхностной плотностью. Результаты представлены на рисунке 2.



Рисунок 1 – Зависимость прочности на разрыв от поверхностной плотности нетканого геотекстиля произведенного из различного сырья



Рисунок 2 – Прочность при растяжении нетканого геотекстиля произведенного по различной технологии и сырья

По результатам проведенных исследований АНО «НИИ ТСК» можно сделать вывод, что нетканый геотекстиль имеет более высокую прочность при растяжении с меньшей поверхностной плотностью. Это было достигнуто за счёт современных технологий производства и типа сырья, из которого был произведен нетканый геотекстиль.

Проведенный анализ и исследования технологии производства и типа сырья нетканого геотекстиля, позволяет утверждать, что на прочность при растяжении влияет технология производства и тип сырья, из которого был произведен нетканый геотекстиль. При меньшей поверхностной плотности возможно произвести материал с более высокими прочностными характеристиками (прочность при растяжении).

Следовательно, поверхностная плотность нетканого материала, стала устаревшим технологическим параметром.

В проектной и рабочей документации следует указывать качественные характеристики, такие как прочность при растяжении, относительное удлинение, прочность при статическом и динамическом продавливании, устойчивость к агрессивным средам. Поверхностную плотность, как устаревший технологический параметр, следует не указывать.

М.Н. Апталаев, ст. преп.
(ПНИПУ, Лысьвенский филиал, г. Лысьва, РФ);
А.М. Бургонутдинов, проф., д-р техн. наук
(ПВИ ВНГ РФ, г.Пермь, РФ);
В.И. Клевеко, доц., канд. техн. наук
(ПНИПУ, г.Пермь, РФ)

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ЗОНАХ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ С ПОДЗЕМНЫМИ КОММУНИКАЦИЯМИ

Наличие сетей инженерных коммуникаций подземной прокладки непосредственно в зонах пересечения с объектами автотранспортной инфраструктуры негативным образом сказывается на состоянии и эксплуатационных свойствах автомобильных дорог, поскольку подземные теплопроводы непосредственно влияют на сезонное промерзание-оттаивание грунтов дорожной конструкции, что приводит к накоплению напряжений и, как следствие, деформаций дорожной одежды.

Несоответствие автомобильной дороги нормативным требованиям в связи с нарушением ровности ее покрытия приводит к утрате работоспособности и снижению безопасности её функционирования [1-6].

Для разработки метода минимизации воздействия подземных коммуникаций на тепловой режим дорожной одежды требуется обеспечить нормальные условия функционирования дорожной конструкции, которые близки к естественным условиям. Для достижения этой цели требуется изучить возможности выравнивания (максимального приближения) температуры в системах "дорожная одежда – земляное полотно" и "дорожная одежда – теплопровод – земляное полотно", а также уровня влажности в зоне размещения подземных систем теплоснабжения на участках автомобильных дорог и улиц.

Один из радикальных способов устранения воздействия внутригрунтовых источников тепла на температурный режим дорожной конструкции, заключается в физическом разделении объектов инженерной инфраструктуры и объектов автотранспортной инфраструктуры на расстояние, превышающее зону влияния температурного поля подземного теплопровода.

Этот метод способствует обеспечению эффективной защиты от теплового влияния трубопроводов и поддержания оптимального

теплового баланса в системе "подземный трубопровод – дорожная конструкция". Такое пространственное разнесение инфраструктурных элементов и изменение геометрии системы "подземный трубопровод - дорожная конструкция" позволяет уменьшить влияние подземных тепловых источников на дорожную одежду, что способствует повышению надежности и безопасности функционирования автотранспортной инфраструктуры в условиях изменяющегося температурного режима.

Решение задачи оптимизации теплового баланса системы с целью минимизации или полного устранения влияния трубопровода подземной прокладки на тепловой режим дорожной поверхности может быть выражен из формулы расчета температуры точек грунтового массива в окрестностях подземного теплопровода [7]:

$$t = t_{\text{в}} + \frac{t_{\text{г}} - t_{\text{в}}}{R} \cdot R_{\text{п}} + \frac{h_1}{\lambda_1} \cdot \frac{t_{\text{г}} - t_{\text{в}}}{R} + \frac{h_2}{\lambda_2} \cdot \frac{t_{\text{г}} - t_{\text{в}}}{R} + \dots + \frac{h_n}{\lambda_n} \cdot \frac{t_{\text{г}} - t_{\text{в}}}{R} + \frac{H}{H \cdot \lambda_{\text{гр}}} \cdot \frac{t_{\text{г}} - t_{\text{в}}}{R} =$$

$$= t_{\text{в}} + \frac{t_{\text{г}} - t_{\text{в}}}{R} \cdot R_{\text{п}} + \frac{h_1}{\lambda_1} \cdot \frac{t_{\text{г}} - t_{\text{в}}}{R} + \frac{h_2}{\lambda_2} \cdot \frac{t_{\text{г}} - t_{\text{в}}}{R} + \dots + \frac{h_n}{\lambda_n} \cdot \frac{t_{\text{г}} - t_{\text{в}}}{R} + \frac{H}{H \cdot \lambda_{\text{гр}}} \cdot \frac{t_{\text{г}} - t_{\text{в}}}{R} +$$

$$+ \frac{q_1}{\lambda_{\text{гр}}} \cdot \ln \sqrt{\frac{x^2 + (y+h)^2}{x^2 + (y-h)^2}} + \frac{q_2}{\lambda_{\text{гр}}} \cdot \ln \cdot \sqrt{\frac{(x-b)^2 + (y+h)^2}{(x-b)^2 + (y-b)^2}} \quad , \text{ } ^\circ\text{C} \quad (1)$$

где t – температура точки грунтового массива, $^\circ\text{C}$; $t_{\text{в}}$ – температура воздуха, $^\circ\text{C}$; $t_{\text{г}}$ – температура грунта на глубине H от поверхности дорожной одежды, $^\circ\text{C}$; $R_{\text{п}}$ – термическое сопротивление дорожного покрытия, назначается в зависимости от скорости ветра, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$; R – термическое сопротивление слоев дорожной одежды, определяется по формуле (2), $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$ [8];

$$R = R_{\text{п}} + \frac{h_1}{\lambda_1} + \frac{h_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{h_n}{\lambda_n}, \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}, \quad (2)$$

где $h_1 \dots h_n$ – толщины конструктивных слоев дорожной одежды и неоднородных слоев грунтового массива, м; $\lambda_1 \dots \lambda_n$ – коэффициенты теплопроводности соответствующих конструктивных слоев дорожной одежды и неоднородных слоев грунтового массива, $\text{Вт} / (\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$; h – глубина заложения оси теплопровода, м; b – межосевое расстояние, м; x, y – координаты выбранной точки грунтового массива, м; q_1, q_2 – удельные тепловые потери первой и второй трубы трубопровода, $\text{Вт} / \text{м}$.

Упростив выражение (1) можно получить уравнение (3):

$$\frac{q_1}{\lambda_{\text{гр}}} \cdot \ln \sqrt{\frac{x^2 + (y+h)^2}{x^2 + (y-h)^2}} + \frac{q_2}{\lambda_{\text{гр}}} \cdot \ln \cdot \sqrt{\frac{(x-b)^2 + (y+h)^2}{(x-b)^2 + (y-b)^2}} = 0 \quad (3)$$

На практике полностью исключить влияние внутригрунтового источника тепла на температурный режим грунтового массива в его

окрестностях невозможно, окончательно критерий оптимальности был сформулирован следующим образом:

$$F = \frac{q_1}{\lambda_{гр}} \cdot \ln \sqrt{\frac{x^2+(y+h)^2}{x^2+(y-h)^2}} + \frac{q_2}{\lambda_{гр}} \cdot \ln \sqrt{\frac{(x-b)^2+(y+h)^2}{(x-b)^2+(y-b)^2}} \rightarrow \min, \quad (4)$$

Удельные тепловые потери трубопроводов определяются следующими параметрами:

- 1) температурой теплоносителя в трубопроводах;
- 2) термическим сопротивлением изоляции трубопроводов;
- 3) термическим сопротивлением стенки коллектора;
- 4) термическим сопротивлением грунта на глубине прокладки оси трубопроводов;
- 5) термическим сопротивлением воздушной прослойки между трубопроводом и стенкой коллектора.

Помимо этого, величина влияния теплопровода подземной прокладки на температурный режим грунтового массива напрямую зависит от глубины заложения оси трубопровода и горизонтального расстояния между осями трубопроводов. Необходимо учитывать, что термическое сопротивление теплоизоляции, воздушной прослойки и стенки коллектора напрямую зависит от коэффициентов теплопроводности соответствующих материалов и толщины соответствующих слоев.

Эти параметры могут быть изменены в широком диапазоне, что позволяет сохранять эффективность функционирования инженерных коммуникаций. Поэтому, определение оптимальных значений указанных параметров является ключевой задачей в решении поставленной оптимизационной задачи.

В исследованиях [9, 10, 11] отмечается, что изменение температуры грунта земляного полотна, используемого при обратной засыпке траншеи, определяется совокупностью теплофизических свойств применяемых материалов, таких как тип грунта, его плотность и влажность. В исследовании, выполненном под руководством профессора Кудрявцева С.А., отмечается, что для снижения деформации поверхности дорожной одежды в местах прокладки теплосетей необходимо применение теплоизоляционного покрытия [12].

В процессе проектирования зон пересечения автомобильных дорог и улиц с подземными системами инженерных коммуникаций, одним из актуальных вопросов становится проблема уравнивания температурных флуктуаций в грунте земляного полотна автомобильной дороги. Перспективным подходом к решению

данной проблемы представляется внедрение дополнительного теплоизолирующего слоя (экрана) в систему "подземный трубопровод – дорожная конструкция". Данный слой размещается между нижней частью дорожной одежды и подземным искусственным источником тепла.

На базе прелиминарных исследовательских выводов установлено, что в случае укладки пенополиуретанового экрана между верхним слоем дорожного покрытия и подземными тепловыми коммуникациями на участке пересечения автомобильной дороги (улицы) с подземной тепловой сетью наблюдается уравнивание температурных показателей грунта на данной участке со значениями, регистрируемыми на прочем объеме дорожной конструкции.

Оптимизация температурного режима в системе «подземный трубопровод – дорожная конструкция» возможна разными методами - это увеличением глубины заложения трубопроводов и межосевых расстояний труб трубопровода; изменением материалов, применяемых для отсыпки траншеи трубопровода и в конструкции коллектора (канала), а также использование теплоизоляции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каменчуков, А.В. Оценка работоспособности дорожных одежд / А.В. Каменчуков, К.И. Богдановская // Международный сборник научных трудов Дальний Восток. Авто мобильные дороги и безопасность движения / под ред. А.И. Ярмолинского. – Хабаровск, 2015. – С. 59–62.

2. Карелина, Е.Л. Определение причин нарушения ровности покрытия дорожной одежды на участках устройства водопропускных труб / Е.Л. Карелина // Политранспортные системы: материалы VIII Международной научно-технической конференции в рамках года науки России. – Новосибирск, 2015. – С. 287–293.

3. Николенко, Д.А. Прогнозирование деформаций и разрушений дорожных конструкций автомобильных дорог / Д.А. Николенко, А.Г. Кмета // Строительство. – Ростов на Дону, 2014. – С. 35–36.

4. Немчинов, М.В. Физика и динамика работы дорожной одежды автомобильных дорог / М.В. Немчинов // Техполиграфцентр. – М., 2012. – 102 с

5. Сухоруков, А.В. Обоснование региональных норм проектирования дорожных одежд с учетом изменчивости геоконструктивных территорий / А.В. Сухоруков // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2016. – № 4. – С. 159–169.

6. Алексеев С.В. Воздействие природных факторов на состояние дорог в различных регионах России / С.В. Алексеев, Д.Л. Симонов, А.С. Катикова // ИТСТ. 2022. №4.

7. Горячев, М.Г. Моделирование температурного поля от бесканальных теплосетей в футляре в грунтовой среде / М.Г. Горячев, А.Н. Давидяк // Строительство и эксплуатация дорог: научные исследования и их реализация. МАДИ (ГТУ): сб. науч. тр. – М., 2008. – С. 100-107.

8. Галкин А.Ф. Эквивалентное термическое сопротивление дорожной одежды // Арктика и Антарктика. 2022. №3. – С. 129-138.

9. Геворкян С.Г. Влияние температуры замораживания грунта на процесс его морозного пучения. // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2018. №8. С. 23–27.

10. Бургонутдинов, А.М. Моделирование процесса промерзания дорожной одежды (на примере Пермского края). / А.М. Бургонутдинов, К.С. Стецюк, А.Г. Окунева // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2015. Т. 1. С. 351–354.

11. Лопашук В.В. Исследование температурного режима земляного полотна автомобильной дороги Петропавловск-Камчатский – Мильково. / В.В. Лопашук, А.В. Лопашук, В.Н. Ермолин, А.Е. Казаринов // Вестник евразийской науки. 2021. №2. – С. 37.

12. Кудрявцев С.А. Исследование влияния прокладки теплотрассы на состояние основания дорожной одежды автомобильной дороги / С.А. Кудрявцев, Т.Ю. Вальцева // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2019. № 4.

А.М. Бургонутдинов, проф., д-р техн. наук;
В.И. Клевеко, доц., канд. техн. наук;

В.Э. Рубенков, маг.
(ПНИПУ, г. Пермь, РФ)

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ВРЕМЕННЫХ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

Лесовозные дороги играют важную роль в лесопромышленной отрасли России. Они не только обеспечивают доступ к ценным лесным ресурсам, но и оказывают влияние на сохранение окружающей среды.

В последние десятилетия были созданы и стали широко применяться специальные геосинтетические материалы дорожного назначения (далее – ГМ), позволившие кардинально изменить подход к проблеме обеспечения эксплуатационной надежности автомобильных дорог общего пользования и технологических дорог промышленного транспорта, в частности, дорог лесопромышленного и нефтегазового комплексов [1-4].

В данной статье рассмотрены, какие преимущества и вызовы существуют в использовании геосинтетики в строительстве лесовозных дорог в России.

История лесозаготовки и строительства лесовозных дорог в России насчитывает десятилетия. По данным ФАО ООН на 2021 год, Россия занимает около 1/5 мировых лесных запасов и является крупнейшим экспортером пиломатериалов в мире [5]. В начале XX века, с расширением деревообрабатывающей промышленности, возрос спрос на древесину, и это стимулировало развитие дорожной инфраструктуры в лесных районах.

Однако традиционные методы строительства лесовозных дорог имеют свои недостатки, такие как низкая прочность и устойчивость к влажности.

Для решения многих проблем при строительстве лесовозных дорог могут быть применены ГМ.

Геосинтетические материалы – вид полимерных строительных материалов – в дорожном строительстве выполняют функции армирования, разделения и дренирования [6]. Они включают в себя геотекстиль, геосетки, геомембраны и другие элементы, которые могут быть применены в различных фазах строительства дорог.

На практике применение ГМ показало повышение таких показателей как:

- Улучшение несущей способности грунта: Одним из основных преимуществ применения ГМ на лесовозных дорогах является улучшение несущей способности грунта. ГМ позволяют укрепить слабые грунты, повысить их устойчивость к нагрузкам и предотвратить просадку дорожного покрытия. Это особенно важно в условиях лесных массивов, где грунт часто имеет низкую прочность и подвержен деформациям.

- Снижение эрозии и улучшение дренажа: ГМ создают барьер для перемещения грунта и предотвращают его смыв, что помогает снизить эрозию на лесовозных дорогах. Они также способствуют улучшению дренажа путем обеспечения проницаемого слоя, который позволяет воде проникать через дорожное покрытие и предотвращает образование луж и грязи. Это особенно полезно во время сезонных дождей или таяния снега, когда вода может накапливаться на дороге и приводить к ее разрушению.

- Увеличение срока службы дорожного покрытия: Применение ГМ на лесовозных дорогах также способствует увеличению срока службы дорожного покрытия. Они предотвращают проникновение влаги в грунт и помогают сохранить его прочность и стабильность на протяжении длительного времени. Это позволяет дорожному покрытию выдерживать повышенные нагрузки, такие как движение тяжелых лесовозных машин и грузовиков.

Применяемые типы ГМ для лесовозных дорог:

- Георешетка – плоский рулонный материал с ячейками линейных размеров от 1 см (геосетка), выполняющий преимущественно армирующие функции, или объемный материал с ячейками высотой от 3 см, поставляемый в виде блоков слоев со сложными ячейками (пространственная георешетка), выполняющий преимущественно защитные функции по отношению к заполнителю ячеек (грунту, крупнопористым минеральным материалам – щебню, гравию, шлаку, материалам, обработанным вяжущим и др.) [7]

- Геотекстильный материал – поставляемое в рулонах сплошное водопроницаемое тонкое гибкое нетканое, тканое, трикотажное полотно, получаемое путем скрепления волокон или нитей механическим (плетение, иглопробивание), химическим (склеивание), термическим (сплавление) способами или их комбинацией.

Геотекстили изготавливаются из полиэфирных смол, полипропилена, полиакрила, полиамида и др. Применение геотекстилей в дорожном строительстве основано на их высокой механической прочности, эластичности, водопроницаемости, фильтрующей способности, устойчивости к агрессивным средам, долговечности [7].

В России в последние годы наблюдается увеличение интереса к ГМ в строительстве лесовозных дорог. Они используются для укрепления грунта, улучшения дренажа и уменьшения воздействия высокой влажности на дорожное покрытие.

Строительство лесовозных дорог на Севере Европейской части России производится в условиях избыточного увлажнения местности, при котором поверхностный сток не обеспечен [8]. Так в сибирских лесных районах, где зимы суровы и большая глубина промерзания, ГМ используются для создания устойчивых дорог, которые остаются проезжаемыми даже в холодные периоды года.

На Дальнем Востоке в условиях высокой влажности и сильных дождей, геотекстиль используется для улучшения дренажа и предотвращения образования болотистых участков на лесовозных дорогах.

Несмотря на многочисленные преимущества, есть вызовы, связанные с использованием ГМ в лесовозных дорогах. ГМ могут быть более дорогими в начальных инвестициях, но они должны продемонстрировать свою экономическую выгоду в долгосрочной перспективе. Необходимость квалифицированных кадров, чтобы правильно проектировать и строить с использованием этих материалов. Так же это связано с грунтовыми характеристиками, разнообразие грунтовых типов в России требует анализа и инженерных решений, учитывающих различия в устойчивости почв.

Применения ГМ в лесовозных дорогах в России обещает быть перспективным направлением снижения эксплуатационных затрат. С развитием технологий и снижением стоимости материалов можно ожидать более широкое распространение этой практики в строительстве.

Ниже рассмотрим несколько ключевых направлений, которые могут определить будущее применения геосинтетики в лесовозных дорогах:

- Исследования и разработки Один из способов продвижения ГМ в строительстве лесовозных дорог - это продолжение исследований и разработок в этой области. Российские ученые и инженеры могут проводить более глубокие исследования, чтобы узнать, какие типы ГМ наилучшим образом подходят для конкретных регионов и условий. Исследования также могут включать в себя анализ долговечности ГМ, чтобы определить, какие из них могут обеспечивать наилучшую стабильность и сопротивление разрушению в течение многих лет.

- Улучшение нормативной базы. Для более широкого использования ГМ в строительстве лесовозных дорог необходимо

усовершенствование нормативной базы. Нормы и стандарты должны учитывать специфику геосинтетики и предоставлять рекомендации по ее применению.

Государственные исследовательские и проектные институты могут активно участвовать в разработке и утверждении нормативов, что способствовало бы увеличению доверия к ГМ и их более широкому использованию.

- Обучение и подготовка специалистов. Применение ГМ в строительстве лесовозных дорог требует высокой квалификации и опыта. Важно обеспечить обучение инженеров и строителей современным методам и технологиям, связанным с геосинтетикой. Также включает в себя обучение и управленцев для того, чтобы они понимали преимущества и методику использования ГМ, что может ускорить процесс при внедрении новых методов строительства.

- Международный опыт. Полезно анализировать международный опыт в области использования ГМ в строительстве лесовозных дорог. Многие страны уже активно применяют эти материалы и могут предоставить ценную информацию и практический опыт.

Обмен опытом и знаниями между странами может ускорить процесс внедрения ГМ в России.

Одним из ключевых моментов, влияющих на принятие решения об использовании ГМ, является экономическая эффективность. Помимо стоимости материалов, необходимо оценивать экономическую выгоду от продления срока службы дорог и снижения затрат на их регулярное обслуживание.

Исследования экономической эффективности использования ГМ могут помочь компаниям и правительству принимать верные решения о внедрении этой технологии. Основная экономическая выгода заключается в:

- Снижение затрат: Укрепление лесовозных дорог ГМ снижает затраты на ремонт и обслуживание.

- Увеличение производительности: Проходимость дорог повышается, что способствует более быстрой доставке материалов.

Суммируя вышесказанное, можно утверждать, что использование ГМ в укреплении лесовозных дорог в России имеет огромный потенциал для улучшения инфраструктуры лесопромышленного сектора.

Проанализировав полученную информацию, можно утверждать, что это позволяет снизить эксплуатационные затраты, увеличить производительность и улучшить условия работы в этой важной отрасли.

Несмотря на начальные затраты, долгосрочная экономическая перспектива делает их важным инструментом в современном лесном хозяйстве.

Будущие исследования и разработки в этой области могут привести к еще большим преимуществам и эффективности использования геосинтетических материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Меньшиков А.М. Эффективность применения геосинтетических материалов в конструкциях лесовозных дорог // Фундаментальные основы инновационного развития науки и образования – 2019. – С. 57-59.

2. Соколова В.Д., Клевеко В.И. Основные положения по расчету армогрунтового устоя моста//Будущее науки -2014: сб. науч. ст. 2-й междунар. молодежной науч. конф.: в 3 т. -Курск, 2014. -Т. 2. -С. 236-239.

3. Бургонутдинов А.М., Бурмистрова О.Н., Клевеко В.И., Лицингер Ю.К. Использование армогрунта в конструкции устоев деревянного моста лесовозной автомобильной дороги//Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2023. № 3 (393). С. 113-125.

4. Клевеко В.И., Бургонутдинов А.М. Существующие виды армированных оснований лесовозных автомобильных дорог//Теория и практика современной науки. 2022. № 11 (89). С. 72-76.

5. Солодянкина А.А., Лаптев В.А. Использование геосинтетических материалов при строительстве лесовозных дорог // Современные технологии в строительстве, теория и практика – 2022 – №1 – С. 254-260.

6. Петрова О.Н., Солдатов А.А., Яшин С.О. Современные дорожно-строительные материалы. Геосинтетические материалы // Вестник науки и образования. – 2021. – №7-3 (110). – С. 27-30.

7. Рожин Д.В. Применение геосинтетических материалов при строительстве лесовозных дорог // Трубы лесоинженерного факультета ПетрГУ. – 2010. – №8. – С. 126-127.

8. Вайс К.Е., Николаев Г.Б. Особенности строительства лесовозных дорог в сложных инженерно-геологических условиях на севере Европейской части России // Ориентированные фундаментальные и прикладные исследования - основа модернизации и инновационного развития архитектурно-строительного и дорожно-транспортного комплексов России. – 2012. – С. 56-66.

К.С. Досалиев, доц., канд. техн. наук;
М.М. Куттыбаева; А.Ж. Жанабай; Ж.Т. Исмаил
(ЮКУ имени М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан)

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ КОРОБЧАТОГО ТИПА

В настоящее время в Республике Казахстан важные значения имеют такие качественные показатели, как снижение удельных затрат природного сырья, материалов и топлива. Это, в свою очередь приводит к увеличению применения прогрессивных конструкционных материалов, замену дорогостоящих материалов более дешевыми, на основе отходов различных производств, рациональному и комплексному использованию природных и топливно-энергетических ресурсов, значительному вовлечению в хозяйственный оборот вторичных ресурсов и попутных продуктов. Использование таких основных направлений в экономики, как бережного отношения к ресурсам за счет снижения количества отходов и вторичных материалов, внедрение новых индустриально-инновационной технологий, повышение качества сырья и материалов, ресурсов за счет их рационального и комплексного применения, позволяет создать надежно действующий механизм функционирования различных отраслей экономики строительства и решить экологические проблемы промышленных регионов нашей страны [1].

Все это является актуальной задачей, которая хорошо сочетается и при получении строительных материалов и изделий остро необходимых в строительстве автомобильных дорог.

Применяемые при процессе получения композиционного материала исходные вещества, например, электротермофосфорный шлак и фосфогипс, получены можно сказать из одного и того же фосфоросодержащего материала, где основным компонентом является P_2O_5 , а остальные составляющие это адьюмо силикаты, оксиды кальция и магния, щелочные элементы, а также полуторные оксиды железа и алюминия. Внутренние вскрышные породае (ВВП) угледобычи, которые наряду с вышеназванными соединениями содержит до 35-45 % углерода, а иногда и больше [3-6] проб ВВП, проведенный на приборе Specord- 75 JP с использованием эмульсии вазелинового масла, в диапазоне $4000-450\text{ см}^{-1}$ показал, что наличие широких полос поглощения в области $500-900\text{ см}^{-1}$ характерны для соединений алкан-аленовых типов связей. $C=C=C$ связи наблюдаются в области поглощения $850-9700\text{ см}^{-1}$, а область поглощения $550-700\text{ см}^{-1}$ характеризуются $RC=CH$ связями.

Колебания с частотой 1040 указывают на присутствие $(R)_2-S=O$, 0,6 серофтороксидов, с координацией по кислороду.

Интенсивная полоса поглощения в области 2600-3700 см⁻¹ характерна карбонильным группам ароматического ряда, а в области поглощения 3080-3700 см⁻¹ соответствуют валентным колебаниям гидроксидных групп.

Термографическими исследованиями ВВП угледобычи Ленгерского месторождения на приборе ДРОН-3 установлены следующие эндотермические эффекты: 1-при 90 °С, 2-при 134,35 °С, 3 - при 353,4 °С, которые обусловлены: 1 - потерей физически адсорбированной воды, 2 - потерей химической связанной цеолитно адсорбированной воды, 3 - выгоранием органических составляющих.

Внутренние вскрышные породы Ленгерского месторождения бурых углей представлены в следующими основными кристаллическими фазами: кварцы α-SiO₂, а кальцит Ca(CO₃)

Химический состав ВВП Ленгерского месторождения бурых углей устанавливаются с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-5610 LVc системой химического анализа EDXJED-2201 (JEOL, Япония). На рисунке 1 показан укрупненный вид ВВП.

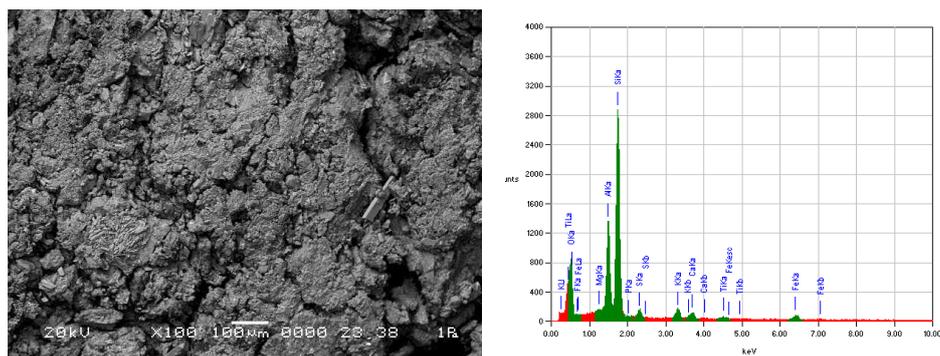


Рисунок 1 – Укрупненный вид ВВП Ленгерского месторождения бурых углей

Таблица 1 – Химический состав ВВП Ленгерского месторождения бурых углей

Element	(keV) mass%	Error%	At%	Compound mass%	K
O K	0,525	41,42	0,37	56,26	45,8623
F K	0,677	1,28	0,43	1,46	0,2685
Mg K	1,253	0,08	0,11	0,07	0,0611
Al K	1,486	13,30	0,10	10,71	12,1660
Si K	1,739	34,11	0,11	26,40	30,6301
P K					
S K *	2,307	2,02	0,12	1,37	1,9657
K K	3,312	2,34	0,14	1,30	2,7355
Ca K	3,690	1,64	0,16	0,89	2,0528
Ti K *	4,508	0,74	0,19	0,34	0,8053
Fe K *	6,398	3,06	0,31	1,19	3,4527
Total		100,00		100,00	

Таблица 2 – Содержания оксидов в ВВП

Element	(keV) mass%	Error%	At%	Compound mass%	K
O 0,000	48,68	0,00	0,00	0,00	0,0000
F K 0,677	1,74	0,59	2,19 F	1,74	0,4959
Mg K 1,253	0,07	0,17	0,20 MgO	0,12	0,1129
Al K 1,486	11,82	0,17	14,87 Al ₂ O ₃	22,34	2,4723
Si K 1,739	29,39	0,21	71,03	SiO ₂ 62,87	56,5782
P K					
S K*2.307	1,68	0,26	3,55 SO ₃	4,18	3,6308
K K 3,312	1,97	0,14	1,71 K ₂ O	2,37	5,0528
Ca K 3,690	1,39	0,19	2,35 CaO	1,94	3,7918
Ti K*4.508	0,63	0,26	0,90 TiO ₂	1,06	1,4876
Fe K*6.398	2,63	0,34	3,19 FeO	3,38	6,3777
Total		100,00	100,00	100,00	

При производстве экстракционной фосфорной кислоты на 1 т готовой продукции образуется около 6 т промытого фосфогипса, с удельной поверхностью от 0,18 до 0,25 м²/т, влажность которого составляет около 40 %. В пересчете на сухое вещество фосфогипс в среднем содержит (в %): SO₃-36,2; CaO-39,8; серасодержащего остатка около 7; P₂O₅-около 1; Fe₂O₃-0,1; MgO₃-0,03; K-0,03 и Na-0,1.

Усредненный химический состав фосфогипса, получаемого на ТОО «Каз фосфат» в Таразском филиале «Завод минеральных удобрений» содержат (%%): P₂O₅общ-0,74; P₂O₅ вод =0,21; MgO – следы; N₂O - 0,3789; Al₂O₃ - 0,087; F - 0,081; нерастворимый остаток (НО) -19,67; Fe₂O₃- 0,093; CaO - 31,80; SO₄²⁻ - 54,5.

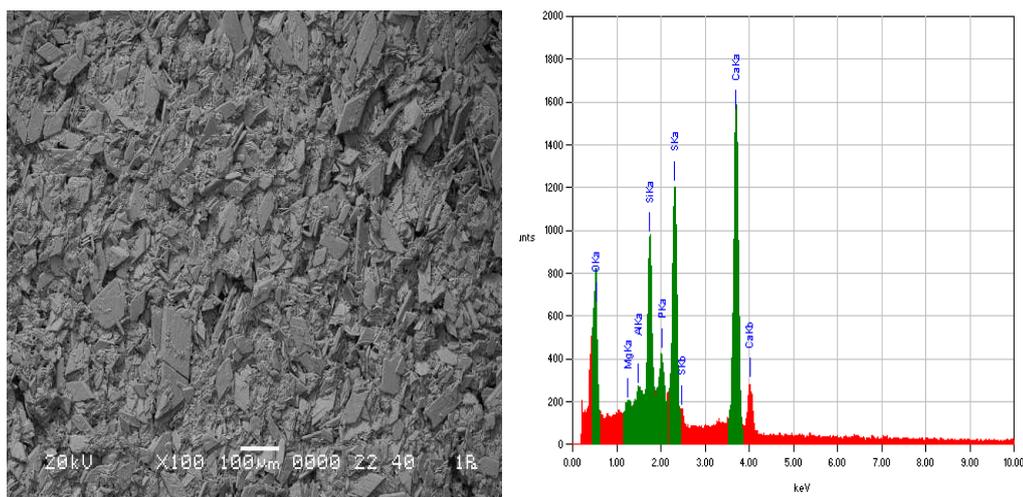


Рисунок 2 – Укрупненный вид фосфогипса

Таблица 3 – Химический состав фосфогипса

Element	(keV) mass%	Error%	At%	Compound mass%	К
O K *	0,525	46,53	0,59	65,20	28,8456
Mg K *	1,253	0,72	0,13	0,66	0,5028
Al K *	1,486	0,59	0,11	0,49	0,5135
Si K	1,739	8,08	0,10	6,45	8,6563
P K	2,013	3,49	0,12	2,53	4,7441
S K	2,307	14,09	0,09	9,85	19,0820
Ca K	3,690	26,49	0,15	14,82	37,6557
Total		100,00		100,00	

Таблица 4 – Содержания оксидов в фосфогипсе

Element	(keV) mass%	Error%	At%	Compoundmass%	К
O *0,000	46,45	0,00	0,00	0,00	0,0000
Mg K *1,253	0,72	0,21	1,99MgO	1,19	0,7066
Al K *1,486	0,59	0,21	0,74Al ₂ O ₃	1,12	0,7217
Si K 1,739	8,09	0,21	19,38SiO ₂	17,31	12,1655
P K 2,013	3,50	0,28	3,80P ₂ O ₅	8,02	6,6674
S K 2,307	14,11	0,23	29,59SO ₃	35,24	26,8177
Ca K 3,690	26,53	0,20	44,51CaO	37,12	52,9212
Total	100,00	100,00	100,00		

Увеличенный вид гранулированного электротермофосфорного шлака и его химический состав приведен на рисунке 3.

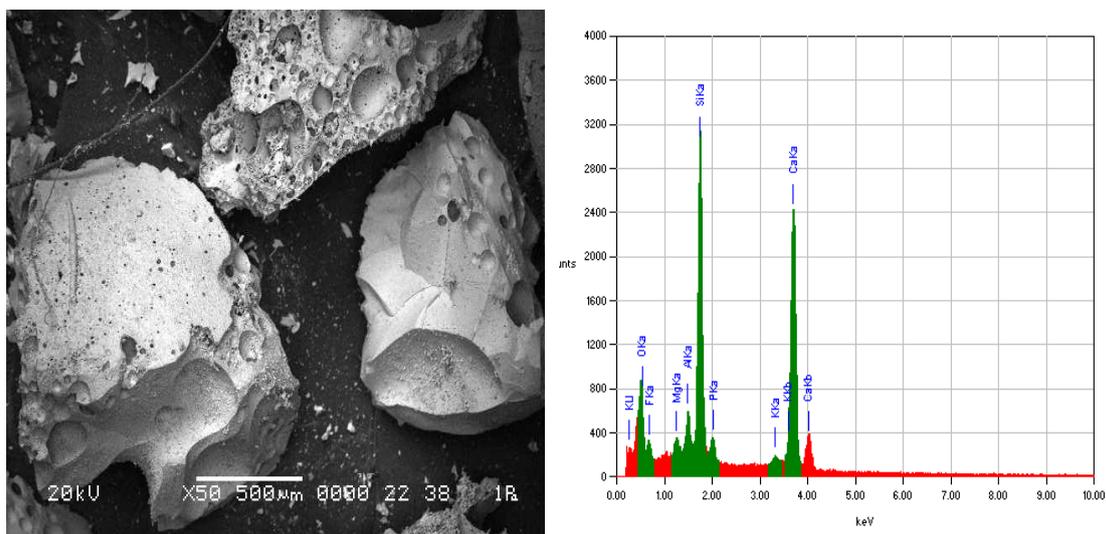


Рисунок 3 – Укрепленный вид гранулированного электротермофосфорного шлака

Таблица 5 – Химический состав гранулированного электротермофосфорного шлака

Element	(keV) mass%	Error%	At%	Compound mass%	K
O K *	0,525	34,40	0,53	49,45	23,6736
F K *	0,677	9,65	0,46	11,68	1,9675
Mg K	1,253	1,39	0,12	1,31	1,0601
Al K	1,486	2,65	0,10	2,26	2,4796
Si K	1,739	20,68	0,10	16,93	23,0456
P K *	2,013	2,63	0,13	1,95	3,2191
K K *	3,312	0,67	0,11	0,40	1,0252
Ca K	3,690	27,91	0,13	16,01	43,5294
Total		100,00	100,00		

Таблица 6 – Содержания оксидов в гранулированном электротермофосфорном шлаке

Element	(keV) mass%	Error%	At%	Compound mass%	K
O *0.000	37,12	0,00	0,00	0,00	0,0000
F K *0,677	12,96	0,62	14,45 F	12,96	2,5777
Mg K 1,253	1,26	0,18	3,13 MgO	2,10	1,3888
Al K 1,486	2,40	0,18	2,68 Al ₂ O ₃	4,54	3,2487
Si K 1,739	18,58	0,18	39,83 SiO ₂	39,75	30,1935
P K *2,013	2,31	0,27	2,24 P ₂ O ₅	5,28	4,2176
K K *3,312	0,60	0,12	0,46 K ₂ O	0,72	1,3431
Ca K 3,690	24,76	0,17	37,20 CaO	34,65	57,0306
Total	100,00		100,00	100,00	

Были определены также литологический и химический состав литого электротермофосфорного шлака.

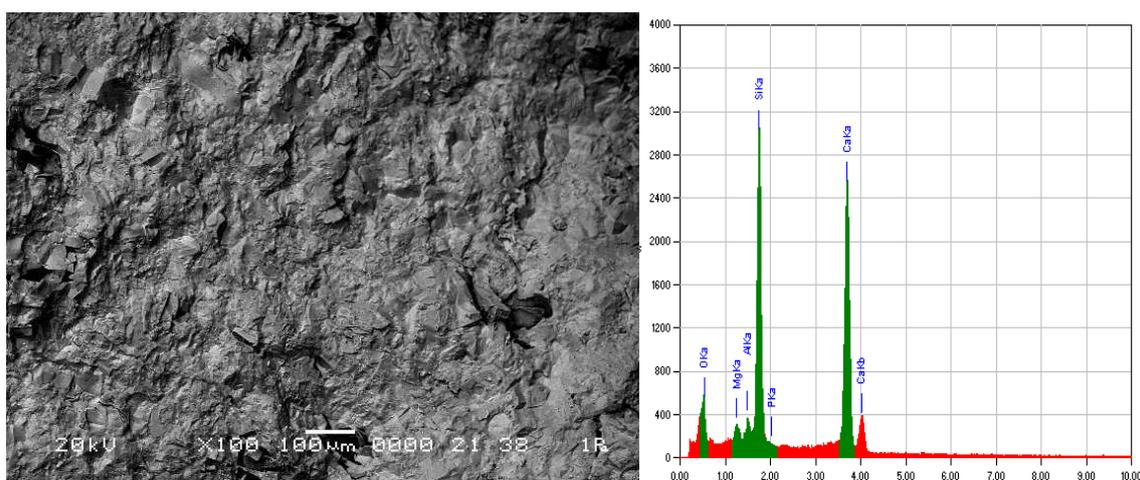


Рисунок 4 – Укрупненный вид литого электротермофосфорного шлака

Таблица 7 – Химический состав литого электротермофосфорного шлака

Element	(keV) mass%	Error%	At%	Compound mass%	K
O K *	0,525	34,65	0,82	52,68	17,6645
Mg K	1,253	1,49	0,14	1,50	1,0847
Al K	1,486	1,52	0,13	1,37	1,3363
Si K	1,739	25,40	0,12	22,00	26,8601
P K *	2,013	0,18	0,17	0,14	0,1950
Ca K	3,690	36,76	0,17	22,31	52,8595
Total	100,00	100,00			

Таблица 8 – Содержание оксидов в литом электротермофосфорном шлаке

Element	(keV) mass%	Error%	At%	Compound mass%	K
O *0,000	41,49	0,00	0,00	0,00	0,0000
Mg K 1,253	1,37	0,22	3,28MgO	2,27	1,3174
Al K 1,486	1,38	0,22	1,49Al ₂ O ₃	2,61	1,6229
Si K 1,739	22,91	0,22	47,54SiO ₂	49,02	32,6227
P K *2,013	0,16	0,35	0,15P ₂ O ₅	0,36	0,2368
Ca K 3.690	32,70	0,21	47,55CaO	45,75	64,2001
Total	100,00		100,00	100,00	

Проведены физико-химические исследования исходных шихтовых материалов внутренних вскрышных пород угледобычи Ленгерского месторождения бурых углей, фосфогипса завода минеральных удобрений ТОО «Казфосфат», литой электротермофосфорный шлак заскладированные до 1993г. бывшего Жамбылского завода «Химпром», гранулированный электротермофосфорный шлак Жамбылского завода «НДФЗ» для дорожной одежды коробчатого типа с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-5610 LVc системой химического анализа EDXJED-2201 (JEOL, Япония). По определенным литологическим и химическим составом будут подобраны состав тощего бетона и земляного полотна автомобильной дороги.

ЛИТЕРАТУРА

1. Змагинский А.Э. «Композиционные материалы на основе полимерных вяжущих и отходов производств» В кн «Строительные композиционные материалы на основе отходов отраслей промышленности и энергосберегающей технологии» Липецк, 1986, стр 140.
2. Копылев Б.А. Технология экстракционной фосфорной кислоты. - Л.: химия, 1972. – 312с.
3. Алтеев Т. Влияние различных факторов на экстракцию фосфорной кислоты из агломерированного фосфатно-кремнистого сырья / Тр. МНПК Проблемы химической технологии неорганических и орга-

нических, силикатных и строительных материалов и подготовки инженерных кадров. – Шымкент, 2002. – Т. 1. – С. 38-40.

4. Жантасов К.Т., Айбалаева К.Д., Франгулиди Л.Х., Барлыбаев М.Р., Бержанов Д.С., Юрченко Б.Н., Жантасов М.К. Технологическое оснащение производства желтого фосфора. – Алматы: Изд-во «Эверо», 2014. – 444с.

5. Методические рекомендации по устройству основания дорожных одежд из «тощего» бетона. Москва 2003.

6. Починков. В.А., Мясков А.В. Анализ существующих методов использования и переработки отходов угледобычи. Сборник трудов XIII международной научно-практической конференции «Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности». Кемеров, 2011.

УДК 550.34

Э.М. Юнусалиев, доц., канд. техн. наук;

И.Н. Абдуллаев, проф., канд. техн. наук
(Ферганский политехнический институт, Узбекистан);

К.С. Досалиев, доц., канд. техн. наук
(Южно-Казахстанский университет им. М.Ауэзова, Казахстан)

ОБСЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЗДАНИЙ НА СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ С ПОМОЩЬЮ ДЕТОНАЦИОННОЙ ВОЛНЫ

Влияние детонационной волны на конструкции зданий и сооружений на протяжении многих лет изучается с помощью разработанного газодетонационного агрегата, дающего возможность вызывать искусственные колебания грунта. Представлены основы методики и схема проведения экспериментов. Описан принцип действия газодетонационного агрегата, вызывающего детонационную волну и даны схемы воздействия этих волн на конструкции отобранных зданий. Освещён способ регулирования частоты и силы вызываемых колебаний путём выбора состава и количества горючей смеси для газодетонационного агрегата. С применением современной электронной аппаратуры, а также выбранной методики и схем проведения экспериментов осуществляется наблюдение за группой объектов, отличающихся по конструктивным признакам и по материалу. Даны предварительные результаты по полученным данным.

В соответствии с [1, 2, 3], в качестве предварительного метода подхода к определению парасейсмических воздействий, можно при-

менять их характеристики аналогичные характеристикам реальных землетрясений, вызываемые различными видами деятельности человека.

Источники парасейсмических воздействий классифицируются следующим образом:

- подземные и надземные взрывы;
- подземные толчки от действующих (также недействующих) шахт;
- надземные взрывы (например, карьерные разработки);
- надземные толчки и удары (например, при забивании свай);
- вибрации, вызываемые движением транспорта и передаваемые через землю к зданиям (от шоссежных и железных дорог, метро);
- другие источники, такие как работа промышленных предприятий, механизмов, оборудования и т.п.

В связи с этим, к парасейсмическим силам нами предлагается отнести и энергию детонационной волны, способную оказывать воздействие на конструкции зданий и сооружений (КЗиС). Влияние детонационной волны на КЗиС на протяжении многих лет изучалось нами с помощью разработанного газодетонационного агрегата, дающего возможность вызывать искусственные колебания грунта [8].

В продолжение **рабочей гипотезы**, изложенной в [4], о том, что детонационная волна, вызываемая газодетонационным агрегатом, описанном в [5], создаёт искусственные колебания грунта, которые можно приравнять к парасейсмическим воздействиям. Исходя из выдвинутой гипотезы поставлена цель: с помощью искусственных колебаний грунта исследовать несущие конструкции зданий на сейсмостойкость и разработать повседневно доступную научно-практическую методику целесообразного и экономичного проведения технического обследования конструкций, эксплуатируемых зданий для проектировщиков, строителей и коммунальных служб, что чрезвычайно актуально в период реновационных процессов, протекающих в Узбекистане. Для достижения поставленной цели намечены следующие задачи:

- выбрать методику проведения исследований;
- выбрать и сгруппировать объекты исследования по сейсмическому районированию, грунтовым условиям, конструктивным решениям, применённым материалам;
- произвести привязку разработанного ранее в ФерПИ газодинамического аппарата к проводимым исследованиям с выбором наиболее оптимального состава горючего (или смеси), дающего возможность регулирования частоты и силы колебаний;

- разработать схему проведения экспериментов;
 - разработать методику и средства, дающие возможность экспресс изучения технического состояния несущих конструкций зданий;
- С учётом изложенного для экспериментов выбраны 3 типа зданий, отличающиеся между собой конструктивно (Рисунок 6) :
- а) – 2х, 3х и 4х этажные кирпичные жилые дома;
 - б) – 4х, 5ти и 9ти этажные крупнопанельные жилые дома;
 - в) – 5ти этажное каркасное учебное здание с сеткой колонн 6х6 м.

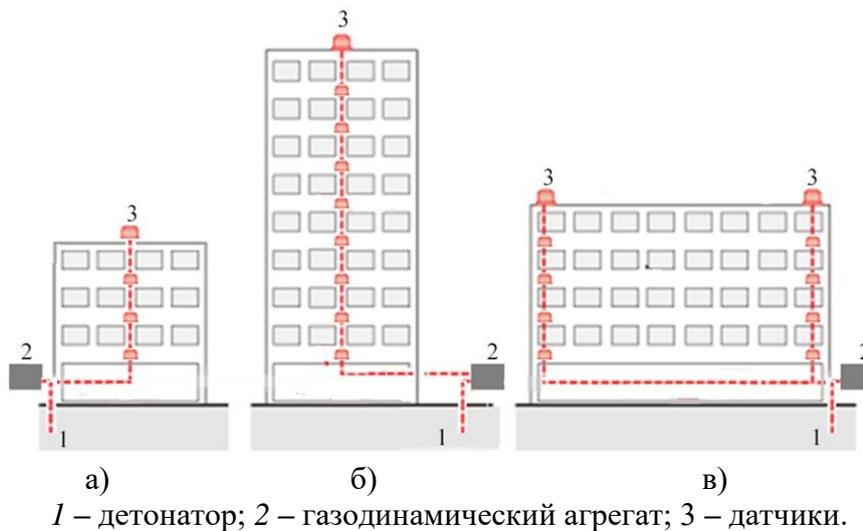
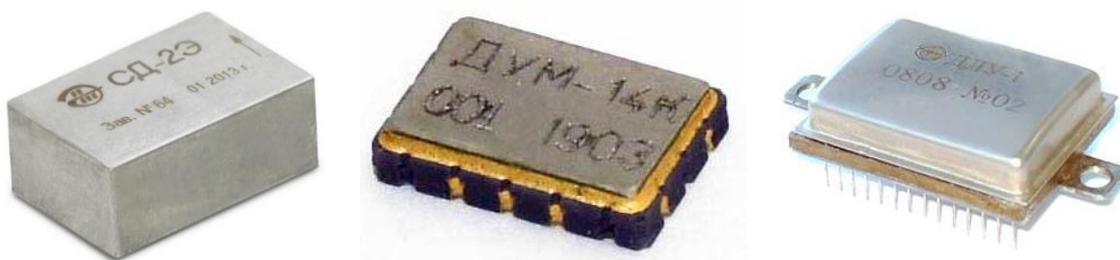


Рисунок 6 – Схемы расположения газодинамического агрегата и датчиков сейсмометрического контроля

На рисунке 7 представлены сверхчувствительные датчики сейсмометрического контроля, использованные для наблюдений [4].



- а) – пьезокерамический малогабаритный сейсмодатчик СД-2Э;
- б) – датчик удара малогабаритный ДУМ-14К;
- в) – датчик линейного ускорения ДЛУ-1Э

Рисунок 7 – Датчики сейсмометрического контроля

а) пьезокерамический малогабаритный сейсмодатчик СД-2Э. Представляет собой пылевлагозащитный корпус, в котором находятся

чувствительные пьезокерамические датчики и электронные системы предварительной обработки сигнала. Выходной сигнал – аналоговый, допускающий как обычную нагрузку, так и витую пару по каждой координате. Устанавливается на несущих конструкциях зданий при системах мониторинга;

б) датчик удара малогабаритный ДУМ-14К применяется: – в качестве первичных преобразователей в сейсмо- и виброизмерительных системах и комплексах; – в качестве датчика порогового уровня колебаний основания здания;

в) датчик линейного ускорения ДЛУ-1Э – предназначен для преобразования ускорений, действующих вдоль измерительной оси в пропорциональный электрический сигнал; для наблюдений за детонациями и вибрациями [7]. Предлагаемый метод – это есть специализированный сейсмический мониторинг, в рамках которого выполняются непрерывные наблюдения за конструкциями зданий и сооружений, в целях обеспечения безопасности и предупреждения возможных негативных последствий.

Методы проверки и средства обеспечения сейсмостойкости строительных конструкций опираются на накопленный многовековой фактический материал по последствиям сильных землетрясений и опыт их предотвращения или хотя бы минимизации, максимального снижения угрозы сейсмических потрясений для жизни людей, продуктов их деятельности и окружающей среды.

Расчетное определение сейсмостойкости конструкций зданий и сооружений является обязательным этапом при проектировании новых видов или модификаций существующих конструкций оборудования в сейсмостойком строительстве.

Действующими строительными нормами и правилами определяется подход по обеспечению сейсмостойкого исполнения конструкций по уровню ответственности. Так к нормальным и ответственным объектам предъявляются следующие требования: конструкция должна выдержать сейсмические нагрузки одного максимального землетрясения и нескольких проектных землетрясений, при этом жизнедеятельность конструкции не должна быть нарушена.

Непрерывный сейсмометрический контроль зданий и сооружений призван определять текущие сейсмические нагрузки на конструкции и сравнивать их со значениями, заложенными при проектировании. Даже при относительно слабых сейсмических воздействиях могут появляться визуально неидентифицируемые дефекты, которые могут привести к разрушению конструкции.

Наличие таких дефектов приводит к изменению формы спектра реакции сооружения, что позволяет обнаружить их на ранних стадиях развития.

Для выполнения работ на объектах предполагается развёртывание современной системы сейсмометрического контроля, обеспечивающая безопасность объектам жизнедеятельности, экономическую целесообразность и полное соответствие строительным нормам и правилам Республики Узбекистан.

Настоящая работа обеспечивает: защиту жизни и здоровья населения и сведение к минимуму последствий от сейсмических воздействий на здания; учет сейсмогеологической обстановки; защиту населения при чрезвычайных ситуациях, связанных с сейсмической и техногенной активностью; эксплуатацию зданий и сооружений в сейсмически активных регионах; развитие технологий сейсмостойкого строительства.

ЛИТЕРАТУРА

1. ИСО 3010, Основы расчета конструкций – Сейсмические воздействия на конструкции. Издание второе – 01.12.2001г.

2. ИСО 3898, Основы расчета конструкций - Системы обозначений - Общие обозначения.

3. ИСО 8930, Общие принципы обеспечения надежности конструкций - Перечень эквивалентных терминов.

4. Tojiev R.Zh., Yunusaliev E.M., Abdullaev I.N. The Amerikan Ways To Study The Impact Of Ground Vibrations From Exhlosions On The Stability Of Buildings And Struktures. The Amerikan Journal Of Interdisciplinary Innovations And Research. Vol.2 Issue 11, 2020.

5. Tojiev R., Yunusaliev E., Abdullaev I. Comparability of estimates of the impact of gunpowder and gas – dynamic explosions on the stability of buildings and structures. E3S Web of Conferences 264, 02044 (2021)/ CONMECHYDRO-2021

6. Sagdiev Kh., Yunusaliev E.M. Investigation of the impact of seismic explosive waves on structures and soil environments in mountainous areas. "Machinalar mekanikasining khozirgi zamon muammolari" khorizhlik olimlar ishtirokidagi republic ilmiy-technician conference maruzalari teplami, Toshkent-2004, 7-8 October, 280-283 st.

7. Аппаратура и методика сейсмометрических наблюдений в СССР. М.: Наука, 1974, 242с.

8. Сагдиев Х., Юнусалиев Э. Оценка сейсмического эффекта промышленных взрывов, производимых в сложных горно-геологических условиях. Узбекский журнал «Проблемы механики», 2006г., №3, с.29-34.

С.Н. Гладких, доц., канд. техн. наук
(НовГУ, Великий Новгород, РФ);

Н.Н. Семчук, проф., д-р с-х. наук
(НовНИИСХ, Великий Новгород, РФ)

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ПЕРЕВОЗКИ

Транспорт является одной из основных отраслей народного хозяйства любой страны. Ежедневно в мире перевозятся миллионы тонн грузов различными видами транспорта. Грузоперевозки в наши дни являются неотъемлемой частью нашей жизни.

Существуют разные виды грузоперевозок, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. Наиболее распространенный вид перевозки грузов – автомобильный. Это один из самых популярных видов доставки грузов. Как любой вид грузовых перевозок, он обладает своими «плюсами» и «минусами».

Преимущества железнодорожных перевозок, в отличие от автомобильных, их надежность и экономичность. Кроме того, данным видом транспорта возможна транспортировка крупногабаритных и негабаритных грузов.

Не менее важен и тот факт, что перевозка железнодорожным транспортом доступна в самые отдаленные регионы страны, где по некоторым причинам автомобиль использовать невозможно.

Важно также, что в отличие от автомобильных перевозок, транспортировка грузов по железной дороге может осуществляться в любых климатических и погодных условиях.

По данным Министерства транспорта, в 2022 г. грузооборот в России составил 5555,5 млрд. т-км. Наибольший объем перевозок приходится на автомобильный транспорт 50-55%. Далее с большим отрывом следуют железнодорожный транспорт общего и промышленного назначения.

Проанализировав эти данные, можно сделать вывод, что грузооборот с каждым годом только растет. А, следовательно, и растет количество автомобилей для перевозки.

Цель нашей работы – перенести существенную транспортную нагрузку с автомобильных дорог на железнодорожную сеть, улучшить экологическую обстановку, повысить безопасность на дорогах.

В настоящее время огромная часть грузов перевозится автотранспортом, и это обуславливается непревзойденными преимуществами автомобилей: маневренность, мобильность и т.д. Однако, как только автомобиль начинает движение, появляется вероятность ава-

рии, а это может стать причиной повреждения или потери груза. Кроме того, наличие большого количества автомобилей - это ощутимые экологические последствия, существенные трудовые и экономические затраты.

Цель настоящего изобретения оставить автомобилю все его преимущества в населенных пунктах, а магистральную часть его работы перенести на железнодорожный транспорт. В настоящий момент — это невозможно по ряду технических причин. Погрузить автомобиль, а особенно тягач с груженым полуприцепом, 24-х метровый автопоезд на существующие железнодорожные вагоны потребует существенных затрат времени.

Попытки решить эту задачу зарубежными инженерами были, но данных о внедрении подобных систем нет.

Проанализировав все недостатки предыдущих идей, нами предложен специализированный железнодорожный вагон с поворотной платформой вокруг своего геометрического центра в горизонтальной плоскости до 15° от продольной оси направления движения (Рисунок1, Рисунок2). Грузоподъемность стандартная до 60 000 кг. Длина поворотной грузовой платформы ≈ 26 метров (длина автопоезда до 24м.).

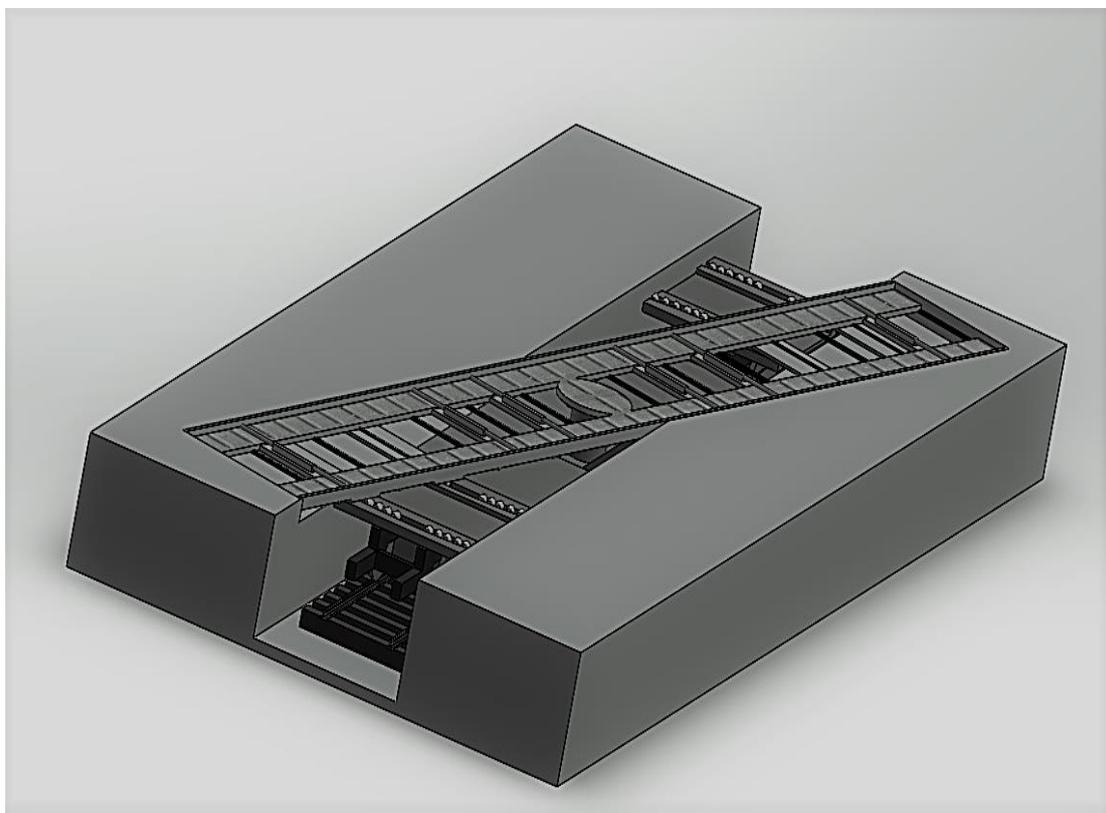


Рисунок 1 – 3D эскиз специализированной железнодорожной платформы во время разгрузки/погрузки

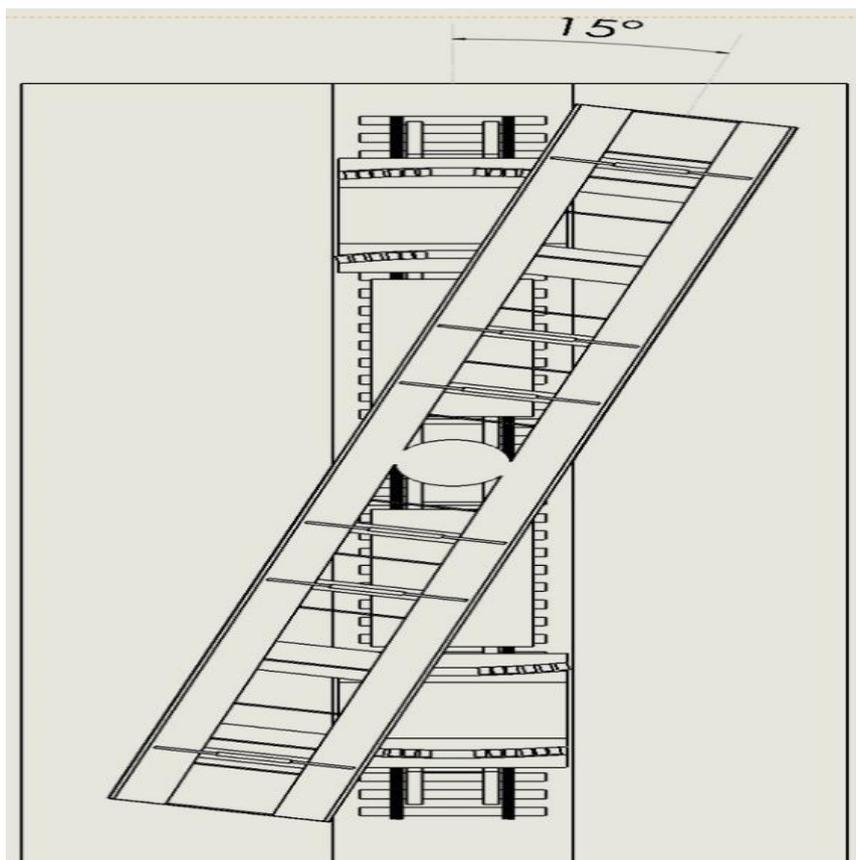


Рисунок 2 – Чертеж специализированной железнодорожной платформы во время погрузки-разгрузки

Непосредственно вагон состоит из двух колесных тележек, соединенных рамой между собой, в центре которой расположен поворотный узел и оборудованный сцепными устройствами. Колесные тележки имеют верхние площадки, на которых размещены направляющие для движения роликовых опор грузовой платформы.

Кроме того, на раме вагона размещены энергоустановка, призванная обеспечить, энергопотребители вагона и автомобиля, подзарядка аккумуляторной батареи, предпусковой подогрев двигателя и перрона, работы опорных домкратов, перемещения направляющих отбойников, раздвижных блокирующих башмаков, быстрое разблокирование тормозной системы автомобиля перед съездом с грузовой платформы и другое необходимое оборудование.

Платформа оснащена сервисной колонкой для подключения автомобиля к питанию, пневмосистеме и др., а также системами управления движением, сигнализацией, устройствами пожаротушения и видео мониторинга.

Перрон оборудован неподвижными направляющими отбойниками для принудительного придания погружаемому автомобилю пра-

вильного положения при заезде и съезде автомобиля, светофорами, регулирующими движение по перрону и разметкой.

Кроме того, в районе железнодорожного полотна расположена опорная плита, обеспечивающая упор опорным домкратам, удерживающим грузовую платформу в средней ее части в положении погрузки/разгрузки.

Поверхность перрона имеет одну высоту с поверхностью грузовой платформы вагона и имеет, соответствующих размеров и формы выборки (ниши) и конструктивные элементы для обеспечения поворота платформы, направления ее движения, отпирания ее выступающих краев и осуществления жесткой фиксации платформы к перрону.

Учитывая недопустимость нахождения водителей и пассажиров в автомобилях во время движения состава, состав имеет пассажирскую часть со всей необходимой инфраструктурой.

При должном оснащении перрона и вагона (автоматизация процессов) и достойной организации, возможно, обеспечить получасовой интервал движения поездов.

Выводы. Предлагаемый нами специализированный погрузочно-разгрузочный железнодорожный вагон с поворотной платформой, позволит перенести существенную транспортную (магистральную) нагрузку с автомобильных дорог на железнодорожную сеть, повысить безопасность на дорогах, улучшить экологическую обстановку.

ЛИТЕРАТУРА

1. Омеляненко И.А., Прохоров В.М., Приходько В.И. и др. Грузопассажирский вагон для перевозки колесной техники. Патент RU No2273573 С2 МПК: В61D 1/00, В61D 3/18, В60Р 3/075, В60Р 7/08. Оpubл. 10.04.2006 Бюл. No10.

2. Андре Жан-Люк. Железнодорожная платформа с грузовой поворотной конструкцией для комбинированной железнодорожно-автомобильной перевозки либо одного полуприцепа, либо двух автотранспортных средств. Патент RU No2282547 С2 МПК: В61D 3/18. Оpubл. 27.08.2006. Бюл. No24.

3. Ковалев, А.П., Ожерельев, В.Н., Ожерельева, М.В. Железнодорожное транспортное средство. Патент RU No2440262 С2 МПК: В61D 3/18. Оpubл.20.01.2012 Бюл. N°2.

УДК 674:658.512.4

В.В. Громов, асп.;
С.П. Трофимов, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

ОСОБЕННОСТИ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА В ТЕХНОЛОГИИ РАСКРОЯ ПЛИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ КОНЦЕВЫМИ ФРЕЗАМИ

На современных мебельных предприятиях практически все этапы конструирования и технологической подготовки производства изделий автоматизированы на основе средств сквозных компьютерных технологий.

Внедрение комплекса программ автоматизации CAD/CAE/CAM значительно повышает качество выполняемых работ с сокращением затрат различных ресурсов и времени на конструирование и освоение в производстве новых изделий, [2, 4].

Технология нестинга (англ. *to nest* – вкладывать) – это способ раскроя плит (облицованных и необлицованных) режущим инструментом с получением деталей разных и сложных форм, расположенных на карте раскроя с максимальной плотностью. Раскрой выполняется, как правило, специальными концевыми цилиндрическими фрезами диаметром 10–25 мм или профильными (например, при обработке деталей мебельных фасадов).

Практическая реализация технологии нестинга основана на использовании обрабатывающего центра для раскроя плит полного формата на детали различной, непрямоугольной формы с последующей обработкой каждой из них на том же обрабатывающем центре до максимальной готовности элементов, из которых собирается изделие [3]. Она позволяет повысить концентрацию выполнения технологических операций – на одном станке может быть осуществлено выкраивание деталей сложной формы из листа, сверление сквозных и глухих отверстий, а также выборка пазов. Применение этой технологии позволяет уменьшить количество станков, рабочих мест, занимаемую производственную площадь, повысить точность изготовления деталей при обработке от одной технологической базы в условиях гибкого автоматизированного производства [1].

Для эффективного использования станков, работающих по технологии нестинг, необходима автоматизированная подготовка исходных данных и передача их в систему управления станка.

В настоящее время существует ряд программ, формирующих карты фигурного раскроя листовых материалов. Однако они не учитывают целый ряд особенностей работы с основным мебельным материалом – древесностружечной или другой плитой, также высокий уровень автоматизации конструкторско-технологических работ на большинстве предприятий. Применение в мебельной промышленности программ фигурного раскроя, разработанных для других отраслей, не позволяет добиться заметного эффекта и порождает серьезные проблемы для их практического использования.

Таким образом, в производстве мебели в настоящее время сложилось противоречие. С одной стороны, широкое распространение получают новые обрабатывающие центры, работающие по технологии нестинга, а с другой стороны – в существующих САПР отсутствуют решения по формированию оптимальных карт фигурного раскроя и создания управляющих программ, в полной мере учитывающих специфику современного высокоавтоматизированного мебельного производства. [1]. Исходя из этого, актуальной является задача создания программного решения для формирования карт оптимального фигурного раскроя, отражающих следующие технологические особенности производства мебели в условиях комплексной автоматизации:

- Расположение контуров деталей на плите без пересечений. Детали не только не должны пересекаться, но между ними должно быть обеспечено определенное расстояние, необходимое для прохода фрезы.

- Направление текстуры на деталях мебельного изделия исключительно важно в плане реализации дизайнерского замысла в проекте. Информацию о направлении текстуры материала необходимо учитывать при формировании карт раскроя облицованных, ламинированных и плит из массивной древесины. В случае, если у детали отсутствует направление текстуры, то угол расположения детали может быть произвольным.

- Расположение деталей с учетом оптимизации хода инструмента при обработке отверстий и пазов.

- Уменьшение количества входов фрезы в материал позволяет значительно увеличить ее срок службы. При формировании карт раскроя необходимо учитывать эту особенность, и располагать детали таким образом, чтобы уменьшить количество входов фрезы.

- При завершении фрезерования детали небольшого размера, фреза может сдвинуть деталь со своего места и испортить ее. Для решения этой проблемы применяют два метода: формирование перемычек для обеспечения надежной фиксации детали; фрезерование в два

прохода (при первом проходе снимается большая часть толщины материала, а при втором – оставшаяся часть, что обеспечивает меньший сдвиг детали).

– При формировании карт раскроя детали небольшого размера необходимо размещать ближе к середине исходного листа, т.к. в середине листа вакуум имеет наиболее низкое давление, из-за чего деталь меньше подвержена сдвигам.

– В случае двухсторонней обработки детали, технология нестинга позволяет обработать только одну сторону. После этого деталь необходимо отправить для доработки на фрезерно-сверлильный станок.

– Если деталь имеет глухие отверстия и пазы с обеих сторон, то ее необходимо укладывать той стороной, с которой можно выполнить большее количество технологических операций. Отметим, что при наличии отверстий и криволинейных пазов, приоритет целесообразно отдать пазам.

Решение задачи создания управляющих программ и формирования оптимальных карт раскроя для технологии нестинга, учитывая технологические особенности и ограничения, рассмотренные выше, позволит создать эффективное программное обеспечение, которое повысит технологичность карт фигурного раскроя и выведет применение этой технологии на более качественный уровень [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. Киллинг, К. В. К вопросу об автоматизации технологии нестинг в мебельном производстве / К. В. Киллинг, П. Ю. Бунаков // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). – М.: 2015. – № 3 (12) 2015 год. – С. 78–80.
2. Бунаков, П. Ю. Автоматизация проектирования корпусной мебели: основы, инструменты, практика / П. Ю. Бунаков, А. В. Стариков. – 2-е изд., эл. М.: ДМК пресс, 2023. – 852 с.
3. Падерин, В. А. Некоторые аспекты нестинга / В. А. Падерин // Леспроминформ. – СПб.:– № 2 (92) 2013. – С. 140–142.
4. Барташевич, А. А. Конструирование мебели / А. А. Барташевич, В. И. Онегин, С. П. Трофимов, С. С. Гайдук. – М.: ИНФРА-М, 2023. – 334 с.

А.Н. Жигалов, директор, д-р техн. наук;
В.М. Головков, вед. инженер;
А.Д. Мешков, инж.-прог.; И.О. Сазоненко, ст. науч. сотр.
(ИТМ НАН Беларуси, г. Могилев)

ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РУБИЛЬНЫХ НОЖЕЙ

На предприятиях концерна «БЕЛЛЕСБУМПРОМ» и Министерства лесного хозяйства используется в основном импортное оборудование для работ по рубке древесины. Инструмент, применяемый в таком оборудовании, поставлялся из Чехии, Финляндии, Австрии, Японии, Ирана, России. Каждая из этих стран, кроме Российской Федерации использует свои марки инструментальных сталей, специально разработанных для деревообработки. Российская Федерация изготавливает инструмент из инструментальных сталей, ближайших аналогов импортным сталям.

По представленной информации концерна «БЕЛЛЕСБУМПРОМ» и Министерства лесного хозяйства следует, что номенклатура применяемых ножей составляет более 32 наименований, годовая потребность - 2025 шт., годовая потребность в высоколегированной стали для изготовления рубильных ножей составляет около 35 тонн.

В связи со сложившейся конъюнктурой внешнего рынка ремонтных позиций технологического оборудования, в нашей стране наблюдается тенденция к приобретению технологической независимости в сфере производственной деятельности. Соответственно, в данном случае, актуальным становится поиск технических решений, обеспечивающих изготовления рубильных ножей на территории РБ.

Традиционно рубильные ножи изготавливают из листового материала производство которого предполагает двух-стадийный процесс, заключающийся в первоначальном получении литой заготовки с последующим технологическим циклом обработки давлением. Даже на уровне получения литой заготовки технологический процесс ее производства является многостадийным [1]. Соответственно производство листовых материалов в малотоннажном формате не является рентабельным процессом.

В этой связи, одним из перспективных направлений получения литых заготовок рубильных ножей является развитие процессов с использованием электрошлаковых технологий. Относясь к одной из разновидностей спецэлектрометаллургии, электрошлаковые технологии обеспечивают получение литых материалов с физико-механическими

характеристиками сопоставимыми с таковыми, но полученными по двух-стадийному процессу, предусматривающему применение к литому материалу последующей обработки давлением [2].

В настоящее время ИТМ НАН Беларуси разрабатывает технологию рециклинга имеющихся в стране отработанных рубильных ножей, изготовленных из импортных высококачественных высоколегированных сталей, методом электрошлакового переплава, который позволяет не только сохранить необходимый химический состав, но и обеспечить необходимую структуру изделия. Данная технология снижает материальные затраты на 25–30 %.

Электрошлаковая тигельная технология (далее ЭШТП) основывается на переплаве расходуемых электродов в электрошлаковой печи и сопутствующему ему процессу капельного переноса расплавленного металла через слой жидкого шлака. При прохождении тока через расплавленный шлак, обладающий высоким электрическим сопротивлением, он интенсивно нагревается и погруженный в него конец металлического электрода плавится, в результате переплавки металл очищается от серы и неметаллических включений. ЭШТП стали является отличным способом переработки разнообразного металлического лома и изношенных деталей. При этом эффективно решается проблема экономии ресурсов и энергии. Технология обеспечивает получение высококачественной стали благодаря высокой эффективности сопутствующих процессов раскисления и рафинирования расплава.

Схематически процесс ЭШТП и процесс последующей заливки двухфазным потоком металлической формы представлен на Рисунок 1. В результате реализации данной схемы на поверхности слитка формируется гарнисаж, который изолирует слиток от металлической формы формируя ровную и гладкую поверхность слитка.

Возможна так же реализация процесса последующей заливки металлической формы посредством поворота плавильного тигля относительно горизонтальной оси вращения для заполнения двухфазным потоком металлической формы.

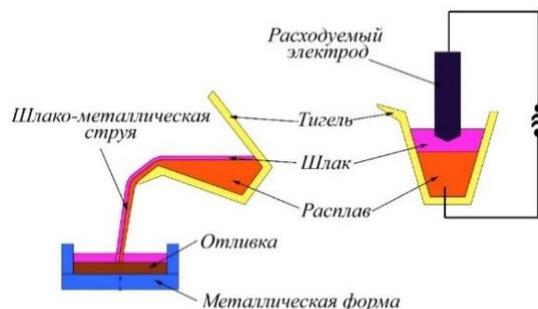


Рисунок 1 – Схема проведения процесса ЭШТП

Данная схема обеспечивает заливку жидкого металла в металлическую форму непосредственно из плавильного тигля минуя раздаточный ковш. Заполнение формы расплавом металла проходит при плавном повороте плавильного тигля с установленной на ней металлической формой на угол 180° вокруг горизонтальной оси (Рисунок 2). Плавная регулировка частоты вращения призвана обеспечить стабилизацию двухфазного потока при заливке.

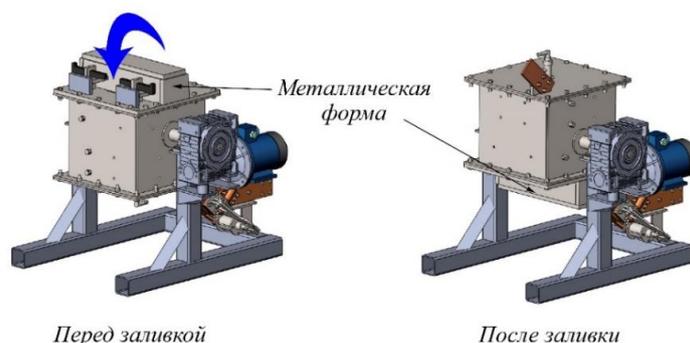


Рисунок 2 – Расположение металлической формы перед и после заливки

Предлагаемый технологический цикл имеет ряд преимуществ перед классической схемой заливки жидкого металла в литейные формы через промежуточный ковш. В первую очередь сокращается путь жидкого металла из плавильного тигля до литейной формы. Сокращение времени операции заливки жидкого металла в металлическую форму позволяет работать с минимально возможным его перегревом. В ИТМ НАН Беларуси, с использованием данной схемы проведения процесса, были получены литые заготовки для рубильных ножей. В качестве расходоуемого электрода использовались пришедшие в негодность ножи производства Чехии. Процесс ЭШТП осуществляли при подводе к шлаковой ванне электрической мощности 58 ± 3 кВА. В результате были получены литые заготовки размерами $565 \times 133 \times 35$ мм массой 21,5 кг (Рисунок 3).



Рисунок 3 – Отливка с элементами гарнисажа

Из литых заготовок посредством механической обработки и последующей термической обработки были изготовлены рубильные но-

жи с размерами 550x120x20 мм. На рисунке 4 представлен нож, изготовленный из отливки полученной методом ЭШТП.

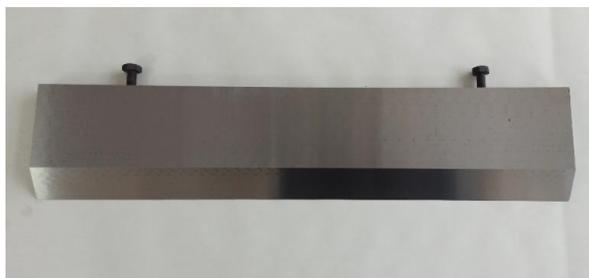


Рисунок 4 – Рубильный нож

В настоящее время литые ножи, изготовленные по технологии ЭШТП проходят ресурсные испытания на одном из предприятий концерна «БЕЛЛЕСБУМПРОМ».

ЛИТЕРАТУРА

1. Многомодульная печная и внепечная доводка и обработка стали перед непрерывной разливкой В.А. Ульянов, В.Н. Гуцин. //Вести высших учебных заведений Черноземья Том 17, №4 (66) 2021.
2. Олейник А.В. Свойства литой стали 5ХНМ, полученной электрошлаковым переплавом на твердом старте //Студенческий вестник. ДГМА Раздел 2. Металлургия. – 2004.

УДК 796.022-035.31:630*812.79

Н.Ю. Шелемет, асп.;
А.С. Чуйков, зав. кафедрой, канд. техн. наук;
А.Л. Наркевич, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ПРОИЗВОДСТВЕ СПОРТИВНОГО ИНВЕНТАРЯ

Спортивный инвентарь, который во время его эксплуатации спортсменом в большей степени работает на жесткость (спортивно-беговые лыжи, клюшки и др.), зачастую имеет примерно одинаковое внутреннее строение – сердечник из древесины, который укреплен различными армирующими материалами на основе волокон, такими как стекловолокно, углеволокно или кевлар [1].

Для обеспечения достаточной жесткости конечного составного материала необходимо исследовать изменения физико-механических характеристик при формировании армирующих слоев из угле- и стекловолокон на поверхности древесины. В связи с этим возникает необходимость проведения исследований, позволяющих определить соответствующую зависимость.

Для проведения эксперимента, были подготовлены образцы составного материала, представляющие собой древесину лиственных пород (осина, береза и дуб), на которых пошагово формировали армирующие слои из стекловолокна (линейная плотность 2400 ТЭКС) и углеволокна (линейная плотность 200 ТЭКС) при помощи связующего (эпоксидный клей марки ЭДП). Всего было изготовлено 3 партии образцов, имеющих линейные размеры 300×20×20 мм, по 5 штук в каждой из вышеперечисленных пород древесины. Для исследования влияния количества армирующих слоев на жесткость конечного составного материалы, замеры производились на каждом этапе армирования. Вначале была определена жесткость образцов из древесины. На следующем этапе на поверхности образца формировали армирующий слой, состоящий из четырех нитей стеклоровинга и связующего эпоксидного клея. После отверждения и выдержки производили измерение жесткости полученной структуры. Последующий слой формировали аналогично предыдущему с повторным определением требуемого физико-механического показателя.

В качестве армирующего элемента в третьем и четвертом слое использовали углеродное волокно. Измерение жесткости производили после полного отверждения каждого слоя [2]. Результаты исследования представлены в таблице 1 и на рисунке 1.

Таблица 1 – Жесткость составного материала в зависимости от количества армирующих нитей

Наименование показателя	Среднее значение до армирования	Среднее значение с 4 СВ	Среднее значение с 8 СВ	Среднее значение с 8 СВ и 4 УВ	Среднее значение с 8 СВ и 8 УВ
Общее количество армирующих нитей, шт	0	4	8	12	16
Жесткость материала на основе осины, Н/мм	392	482	710	742	810
Жесткость материала на основе березы, Н/мм	476	609	762	801	863
Жесткость материала на основе дуба, Н/мм	502	585	804	820	875
Масса образцов из осины, г	52,4	62,5	70,0	71,5	73,1
Масса образцов из березы, г	81,3	91,4	98,5	99,7	101,5
Масса образцов из дуба, г	85,9	96,0	103,5	105,0	106,8

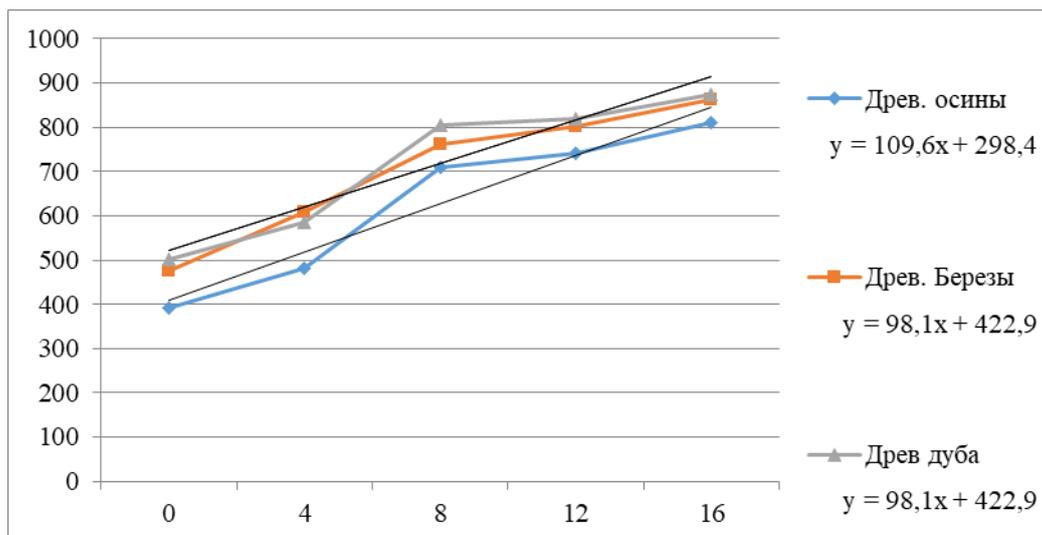


Рисунок 1 – График влияния количества армирующих волокон на жесткость составного материала на основе различных пород древесины

В ходе проведения эксперимента были получены уравнения регрессии, отражающие зависимость между количеством используемых армирующих нитей различной структуры и жесткостью конечного составного материала.

Анализ полученных данных показал, что жесткость составного материала осины при полном армировании приблизительно на 7 % ниже материалов на основе березы и дуба, при этом сформированная структура обладает массой приблизительно на 45 % меньшей и прочностью сопоставимой с прочностью дуба до армирования.

Таким образом, для изготовления спортивного инвентаря, работающего на жесткость, лучше использовать в качестве сердцевины древесины более легких пород, например, осину, так как она позволяет значительно уменьшить массу конечного продукта, а армирующие слои при этом вносят наибольший вклад в жесткость и прочность конструкции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шелемет Н.Ю., Чуйков А.С. Современные технологии и материалы, применяемые в производстве клюшек для хоккея на траве. Леса России: политика, промышленность, наука, образование. – Санкт-Петербург, 2022. – С. 292–295.
2. Наркевич А.Л. Исследование особенностей формообразования изделий из полимерных и композиционных материалов, физико-механических, технологических характеристик материалов. Отчет по БП 30–23 (заключительный). – Минск, 2023. – С. 6–14.

А.В. Мялицин, доц., канд. техн. наук;
 О.В. Кузнецова, ст. преп.;
 И.А. Потапов, учебный мастер
 (УГЛТУ, кафедра УТСиИТ, г. Екатеринбург, РФ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГЛОЩЕНИЯ ВОСКА И ПАРАФИНА ДЛЯ ЗАЩИТЫ ДРЕВЕСИНЫ МЕТОДОМ «ПРОГРЕВ-ХОЛОДНЫЕ ВАННЫ»

Древесина является одним из самых популярных материалов для строительства малых архитектурных форм.

Гидрофобизирующие составы позволяют защитить элементы деревянных конструкций детских игровых площадок без изменения цвета, препятствуют проникновению влаги внутрь древесины, создают условия, препятствующие развитию грибов и возникновению гнилей [1]. Целью эксперимента являлось изучение влияния основных параметров стадии нагрева: продолжительности нагрева (X1) и температуры раствора защитного средства (X2) на величину поглощения воска ЗВ-П, парафина Т2. Технические характеристики составов приведены в Таблице 1 [2, 3].

Таблица 1 – Технические характеристики составов

Состав	Технические характеристики
Воск ЗВП	-внешний вид и цвет - твердое желто-коричневое вещество с блестящей, жирной на ощупь поверхностью; -температура плавления - от 40 до 90 °С; -хорошо растворим в органических растворителях
Парафин нефтяной технический Т-2 (ГОСТ 23683-89)	-внешний вид и цвет - кристаллическая масса желтого/серого цвета; -температура плавления - 52-56 °С; -массовая доля масла - не более 2,3 %; -поставка по России возможна в брикетах по 25-28 кг в полиэтиленовых пакетах, поддон 800 кг; брикетах по 5 кг. 5шт. в полипропиленовый пакет и в жидком виде

Для эксперимента были взяты образцы из сосны и лиственницы влажностью 8 – 12 %. Непосредственно перед началом эксперимента образцы были промаркированы и взвешены на электронных весах ВЛК-500 с точностью 0,001 г. Линейные размеры измеряли штангенциркулем с точностью 0,01 мм.

Защитные средства (воск ЗВ-П, парафин Т4) помещали в пропиточную емкость (горячую ванну) на электрической плите и разогревали до перехода их в состояние жидкости и достижения требуемой

температуры. Температуру жидкостей и образцов определяли с помощью бесконтактного инфракрасного термометра DT- 8863. После чего образцы вынимали из пропиточной емкости и помещали на воздух до остывания.

Затем у образцов измеряли глубину проникновения защитного средства в древесину. Для этого образцы раскалывали вдоль волокон в тангентальной плоскости по середине толщины, где измеряли ширину пропитанной зоны в направлении поперек волокон с каждой из сторон образца. Матрица планирования эксперимента приведена в Таблице 2. Количество повторений каждого опыта – 5 раз.

Таблица 2 – Матрица полного факторного эксперимента для двух переменных

№ опыта	X1, мин	X2, °C
1	+/60	+/100
2	-/30	+/100
3	+/60	-/80
4	-/30	-/80

Примечание. В числителе дано нормированное, а в знаменателе – натуральное значение переменного фактора.

Результаты проведения эксперимента для воска ЗВ-II приведены в Таблице 3, а для парафина Т2 – в Таблице 4.

Таблица 3 – Результаты эксперимента для воска ЗВ-II

№ эксперимента	Порода	Расход, кг/м ³
1	сосна	21,02
	лиственница	8,91
2	сосна	18,23
	лиственница	23,86
3	сосна	22,95
	лиственница	5,25
4	сосна	135,41
	лиственница	4,79

Таблица 4 – Результаты эксперимента для парафина Т2

№ эксперимента	Порода	Расход, кг/м ³
1	сосна	16,42
	лиственница	11,46
2	сосна	19,33
	лиственница	10,31
3	сосна	18,9
	лиственница	9,23
4	сосна	22,81
	лиственница	10,28

По результатам эксперимента видно, что раствор парафина легче проникает в древесину лиственницы, обеспечивая неплохое поглощение уже при 80°C, и дальнейшее изменение параметров процесса существенно не влияет его значения. Повышение температуры более значимо влияет на поглощение лиственницы. Повышение температуры до 100 °С не дает увеличения общего поглощения.

Раствор воска легче проникает в древесину сосны, обеспечивая неплохое поглощение уже при 80 °С и дальнейшее изменение параметров процесса существенно не влияет на его значения. Повышение температуры отрицательно влияет на поглощение.

Оптимальная продолжительность стадии нагрева для сосны и лиственницы – 30 мин, а оптимальная температура стадии нагрева – 80 °С. Для увеличения глубины проникновения защитного средства в древесину возможно использование внешнего вакуума.

Глубина проникновения парафина и воска во всех экспериментах оказалась незначительная (около 0,2 мм).

ЛИТЕРАТУРА

1. Выбор водоотталкивающей пропитки для дерева // Теплоизоляция, шумоизоляция, гидроизоляция: [сайт]. – URL: <https://teplota.guru/gidroizolyatsiya/vybor-vodoottalkivayushhej-propitki-dlya-dereva.html> (дата обращения: 23.12.2023).

2. Парафин Т-2 технический // НПП КРАСКУ.РУ: [сайт]. – URL: <https://parafina.ru/parafin-tehnicheskij/parafin-t-2-teh/parafin-t-2-tehnicheskij> (дата обращения: 23.12.2023).

3. Воск ЗВП // ООО НПО "Химпрогресс": [сайт]. – URL: https://www.himprogres.ru/goods/126040385-vosk_zvp (дата обращения: 23.12.2023).

УДК 712.256-035.3

В.А. Останин, маг.;
А.С. Чуйков, зав. кафедрой, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАЛЫХ АРХИТЕКТУРНЫХ ФОРМ НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Малые архитектурные формы (МАФ) – вспомогательные архитектурные сооружения, оборудование и художественно-декоративные элементы, обладающие собственными простыми функциями и дополняющие общую композицию архитектурного ансамбля застройки [1].

При проектировании малых архитектурных форм, древесные материалы становятся важным инструментом, позволяющим соединить природу и искусство, функциональность и эстетику. Однако, проектирование требует глубокого понимания и осознанности, ведь оно несет в себе особые сложности и требует специального подхода.

Рассмотрим особенности проектирования малых архитектурных форм (детских площадок) на основе древесных материалов, которые регламентированы соответствующим нормативным документом СТБ ЕН 1176-1-2006 «Оборудование детских игровых площадок»: Часть 1. Общие требования безопасности и методы испытаний [2]. Стандарт устанавливает общие требования безопасности оборудования детских игровых площадок, учитывающие современный опыт расчета факторов риска.

Следует отметить, что детская площадка – это место, предназначенное для игры детей, преимущественно дошкольного возраста [3]. В связи с этим процесс проектирования имеет ряд факторов, которые необходимо учитывать при разработке: безопасность, возрастные группы, социальное взаимодействие, физическая активность.

Во избежание возникновения пожара и связанных с ним опасностей не допускается использовать вещества, способствующие поверхностному возгоранию. Особое внимание следует уделять новым материалам.

Детали из древесины должны быть изготовлены таким образом, чтобы выпадающие осадки могли свободно стекать без скапливания воды. При контакте с землей необходимо соблюдать следующие рекомендации (по отдельности или в совокупности):

– при наличии определенных дефектов (например, механическое повреждение, поражение микроорганизмами) древесина не может быть использована для изготовления игрового оборудования.

Все элементы конструкции, обеспечивающие надежность, изготавливаемые из древесины и древесных материалов, и находящиеся в постоянном контакте с землей, должны быть обработаны защитными средствами.

При выборе металлических крепежных изделий следует учитывать опасность появления коррозии металлических частей при контакте с определенными породами древесины и средствами ее защиты.

Металлические части должны быть изолированы от атмосферных воздействий.

Металлы, образующие токсичные слои окиси, которые могут осыпаться или отслаиваться, должны иметь нетоксичное защитно-декоративное покрытие.

Размеры и степень сложности оборудования должны соответствовать установленной возрастной группе пользователей. Элементы площадки следует конструировать таким образом, чтобы возможный риск при игре был очевиден и легко распознаваем ребенком, а взрослые имели возможность доступа внутрь оборудования для оказания помощи детям.

Замкнутое оборудование, такое как тоннели и игровые домики, с внутренним расстоянием, превышающим 2000 мм от входа, допустимы только при условии наличия не менее двух независимых друг от друга и расположенных по разные стороны оборудования проемов для доступа, которые не должны запираяться и должны быть доступны без применения вспомогательных средств (например, лестницы, которые не являются одним целым с оборудованием). Такие проемы должны быть не менее 500 мм.

В чрезвычайных ситуациях проемы для доступа должны обеспечить пользователю возможность покинуть оборудование и различными способами оказаться на земле.

Перила должны быть не ниже 600 мм и не выше 850 мм от уровня, где расположена площадка для стояния.

Оборудование, являющееся труднодоступным для маленьких детей (младше трех лет), должно иметь поручни, если уровень площадки для стояния располагается на высоте от 1000 мм до 2000 мм над игровой поверхностью. Высота расположения поручней должна составлять не менее 600 мм и не более 850 мм при проведении измерения от поверхности платформы, лестничного марша или ramпы до верхнего края поручней.

Не допускается наличие промежуточных горизонтальных или имеющих небольшой уклон элементов, которые могут использоваться детьми в качестве ступеней для лазания. Конструкция верхних элементов ограждений не должна позволять детям стоять или сидеть на них. В конструкции ограждения не должно быть элементов, позволяющих детям взбираться по ним.

Деревянное оборудование должно быть изготовлено из древесины, не склонной к растрескиванию. Поверхности готового оборудования из другого материала (например, из стекловолокна) не должны иметь трещин.

Не допускается наличие выступающих гвоздей, незащищенных выступающих концов проволочных канатов или острых частей.

Выступающие концы резьбовых соединений доступных частей оборудования должны быть защищены, например, колпачковыми гай-

ками. Гайки и головки болтов, выступающие не более чем на 8 мм, не должны иметь заусенцев. Сварные швы должны быть зачищены.

Доступные углы, края, а также выступающие более чем на 8 мм части, которые не могут быть защищены ближайшей поверхностью, расстояние от которой до конца выступающей детали составляет не более 25 мм, должны быть скруглены. Радиус скругления должен быть не менее 3 мм.

МАФ следует конструировать таким образом, чтобы избегать опасных ситуаций, особенно удушения вследствие защемления одежды. У доступных частей оборудования не допускается наличие твердых и острых деталей [2].

Исходя из вышеперечисленного, можно сделать вывод о том, что процесс проектирования МАФ, в частности детских площадок, сложен и требует особого подхода. Дальнейшее исследование данного вопроса позволит разработать надежную конструкцию игровой площадки и подобрать материалы, обеспечивающие долговечность изделия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малые архитектурные формы [Электронный ресурс]. – режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Малыеархитектурныеформы> – Дата доступа: 14.01.2024.

2. Оборудование детских игровых площадок: Часть 1. общие требования безопасности и методы испытаний СТБ ЕН 1176-1-2006. – Введ. 25.05.2006. – Минск: НП РУП «Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации (БелГИСС)», 2006. – 50 с

3. Детская площадка [Электронный ресурс]. – режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Детская_площадка – Дата доступа: 14.01.2024

РАЗРАБОТКА ОРИГИНАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ РАЗВИВАЮЩИХ ИГР-ТРЕНАЖЁРОВ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ

Древесина – экологически чистый материал, известный миру с давних времен. Стимулирование производства современной и инновационной продукции из древесины с высокой долей добавленной стоимости можно отнести к числу наиболее важных, но в настоящее время не решённых задач [1]. Примером такого вида продукции из древесины и древесных материалов являются детские игрушки.

Одной из разновидностей детских игрушек являются развивающие игры-тренажёры. В настоящее время развивающие игры-тренажёры нашли широкое применение в работе воспитателей, логопедов, психологов, дефектологов и являются отличным инструментом для эстетического, умственного и физического развития обучающихся [2]. Нами были разработаны игры-тренажёры вида «Кантеле-сортер», «Кантеле-конструктор» и «Кантеле-геоконт» [3].

В качестве контура для тренажёров выбран шаблон действительных размеров музыкального инструмента Кантеле, изготовление которого практикуется уже более 20 лет в Институте педагогики и психологии Петрозаводского государственного университета в рамках учебного процесса [4]. Оригинальный подход в создании тренажёров выражается в этно-компоненте: кантеле является национальным карельским струнным музыкальным инструментом.

Проектирование и изготовление тренажёров проводилось в несколько этапов; 1). Разработка эскизов, 3-d моделей и чертежей опытно-экспериментальных образцов тренажёров; 2). Изготовление опытно-экспериментальных образцов; 3). Апробация образцов в образовательных и лечебно-профилактических учреждениях; 4). Доработка (внесение некоторых изменений) в конструкции с учётом замечаний и рекомендаций специалистов; 5). Разработка эскизов, 3-d моделей и чертежей серийных образцов тренажёров; 6). Изготовление серийных образцов; 7). Внедрение игр-тренажёров в практику работы учреждений.

Для изготовления тренажёров используется берёзовая фанера различной толщины (6-10 мм), массив сосны и древесноволокнистая плита (ДВП). Также необходимы шканты и круглый погонаж из древесины сосны, из которых изготавливаются колки и крепёжные элементы. Особое внимание следует уделять отделке тренажёров. Окон-

чательная отделка: тщательное шлифование и покрытие безопасным защитно-декоративным составом. Защитное покрытие должно удовлетворять следующим требованиям [5]:

- Экологичность. Все факторы, которые могут оказать токсическое воздействие на обучающихся должны быть исключены. Химическая защита древесины от микроорганизмов может оказать негативное воздействие на детский организм, вызывать раздражение, аллергию или даже отравление.

- Безопасность. Нанесенное на игрушку покрытие не должно отслаиваться, крошиться и трескаться. Это отражается как на внешнем виде, так и на безопасности.

- Отсутствие запаха. Допускается лишь лёгкий натуральный аромат без синтетических отдушек. Это позволяет избежать аллергических реакций.

- Стойкость к влажной обработке. В связи с необходимостью влажной обработки игрушек водно-мыльным раствором важно, чтобы защитно-декоративное покрытие было влагостойким.

- Устойчивость к воздействию слюны и пота.

Данным условиям удовлетворяют масла на натуральной основе: тунговое масло, масло на льняной основе, масло-воск для дерева.

Рассмотрим особенности конструкций разработанных тренажёров. Конструкция игры-тренажёра «Кантеле-сортер» (рис.) состоит из основания (берёзовая фанера толщиной 6 мм) и подкладки из ДВП, соединённых между собой клеем ПВА (поливинилацетатный).

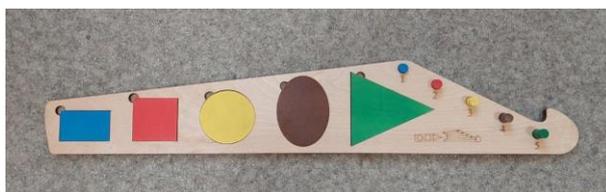


Рисунок – Игра-тренажёр «Кантеле-сортер»

В основании тренажёра сделаны вырезы в виде прямоугольника, квадрата, круга, овала и треугольника. Также в основании просверлены 5 отверстий для установки колков. Тренажёр оригинален тем, что предназначен для развития межполушарных зон головного мозга - работать можно двумя руками: одной рукой устанавливать вкладыши в ячейки-формы в основание тренажёра, другой - ставить колки. Колки разные по высоте.

Игра-тренажёр «Кантеле-конструктор» состоит из следующих составных частей: корпус из массива сосны толщиной 15 мм; струнодержатель из сосны, в который устанавливается стальной палец; колки в виде шкантов; резинки, имитирующие струны музыкального ин-

струмента. Струнодержатель соединяется с корпусом с помощью двух шкантов. Оригинальность данного тренажёра в возможности собирать и разбирать конструктор без использования клея, проводить экспериментальную работу по подбору материалов для струн. Вместо обычных резинок использовать силиконовые резинки, проволоку, витую верёвку, леску, другой подходящий материал. Конструкция лёгкая по весу, для удобства хранения может подвешиваться на стене.

Третий тренажёр «Кантеле-геоконт» включает основание (корпус) из берёзовой фанеры толщиной 10 мм и шкантов, установленных на основании. В комплект тренажёра входят канцелярские резинки. Оригинальность конструктивного решения тренажёра «Кантеле-геоконт» заключается в размещении на корпусе сразу трёх геоконтов, которые позволяют работать обучающимся над дизайном музыкального инструмента. Геоконт в центре: разрабатывать с помощью установки резинок форму звукового отверстия, геоконт в левой части: форму струнодержателя. Также с помощью резинок можно имитировать струны.

Описанные тренажёры способствуют ознакомлению обучающихся с карельским народным инструментом, его формой и размерами; знакомят детей с геометрическими формами и цветами, счётом до 5; развивают мелкую моторику, межполушарное взаимодействие головного мозга, мышление и речь. Внедрение оригинальных комплектов игр-тренажёров проводилось в 11 учреждениях Республики Карелия.

Таким образом, можно сделать следующие заключения:

- представленные в исследовании конструкции развивающих игр-тренажёров из древесины показали свою востребованность и эффективность в работе специалистов образовательных и лечебно-профилактических учреждений;
- основная идея разработанных конструкций заключается, с одной стороны, в популяризации карельских народных музыкальных инструментов среди педагогов, обучающихся и их родителей, с другой стороны – в компенсировании недостатка развивающих игр-тренажёров в образовательных и лечебно-профилактических учреждениях;
- при изготовлении тренажёров необходимо обращать внимание на необходимость выполнения требований экологичности и безопасности их дальнейшего использования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Секушина, И.А. Основные направления инновационного развития лесопромышленного комплекса России / И.А. Секушина //

Вектор экономики. - Вологда, 2018. - №11. - С.58.

2. Возрастная психология: учебно-методический комплекс / сост.: Л.А. Семчук, А.И. Янчий. – Гродно: ГрГУ, 2006. – 226 с.

3. Талых, А.А. Разработка оригинальных комплектов развивающих игр-тренажеров и специфика их использования в дошкольных образовательных учреждениях / А.А. Талых, К.Д. Кемпи, К.Ю. Терентьев // Актуальные проблемы педагогики и психологии: вызовы XXI века: сборник научных трудов. - Москва: Перспектива, 2023. - Вып.7. - С.449-454.

4. Талых, А.А. Из опыта проектирования и изготовления народных музыкальных инструментов-кантеле в вузе / А.А. Талых // Проблемы современного педагогического образования. - Ялта, 2017. - № 54-3. - С.198-205.

5. ГОСТ Р 53906-2010 Игрушки. Общие требования безопасности и методы испытаний. Механические и физические свойства.

УДК 339.138

Н.Л. Вишневская, маг. ;
А.С. Чуйков, зав. кафедрой, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СРЕДОВОГО ПРОСТРАНСТВА ВЫСТАВОЧНОЙ ЗОНЫ

Дизайн средового пространства выставочной зоны – один из наиболее эффективных инструментов, используемых в проведении рекламных мероприятиях по реализации производственной продукции. Грамотное проектирование средового пространства выставочной зоны способствует повышению продаж или совершению любых других необходимых действий со стороны целевой аудитории.

В связи с этим разработка дизайна средового пространства выставочной зоны производственной продукции является актуальным направлением, позволяющим решить не только маркетинговые вопросы, связанные с популяризацией и продвижением выпускаемых изделий, но и сформировать положительный образ отечественных производителей.

Создавая средовое пространство выставочной зоны, дизайнер должен проанализировать среду обитания потребителя, где будет ему комфортно – и это позволит привлечь его внимание к производственной продукции.

Прежде началом проектирования необходимо ответить на сле-

дующий вопрос – какой ценностью или оригинальностью обладает идея? Ни одна вещь не имеет право на существование, если она не делает этот мир лучше, определяет свои принципы К. Рашид. Его «поэтический дизайн» основан на множестве сложных критериев: социальный опыт и поведение; глобальные, экономические и политические проблемы; физическое и эмоциональное взаимодействие; форма, ее видение и строгое понимание; тенденции современной культуры [1]. Современное наполнение средового пространства выставочной зоны играет самостоятельную «пространственную» роль, разделяя функциональные зоны, образуя место для тех или иных форм деятельности.

Основные требования к формированию средового пространства выставочной зоны:

- архитектурно-дизайнерские – художественная выразительность создаваемой выставочной зоны;
- этнографические – выявление традиционных для данной местности или группы людей формы декорирования и организации среды;
- социокультурные – учитывают состав и специфику группы или нескольких групп, посещающих данную среду (возраст, род занятий, профессию, влечения, время) и возможную перспективу их изменения;
- экономические – создаваемый выставочный объект должен иметь реальную материальную базу с возможным использованием современных методов и технологий;
- номенклатурные – содержат необходимый перечень обязательных элементов (нормативные габариты и размеры, инженерно-технические помещения) и зависят от нормативных требований;
- обеспечение пожарной безопасности (своевременная эвакуация, исключение возможностей взрывов, особенно в выставочных объектах), конструктивной, экологической;
- физико-технические – определяют светотехнику, акустику, санитарно-технические параметры [2].

Современная экспозиция выставочной зоны оснащена не только выставочными экспонатами, мебелью, но и в первую очередь выставочными стендами, которые содержат информацию. Дизайн средового пространства выставочной зоны и принцип построения экспозиционного пространства стендов унифицированы.

Не всегда пространство, где организовывается выставочная зона, соответствует идеальному – неэстетичные места, переходы, вспомогательные помещения. Для улучшения пространства используют информационные доски и стенды, декоративные панно с элементами

фирменного стиля и др.

Дизайн средового пространства направлен на создание выставочной зоны с логически выстроенной концепцией повествования, нового формообразования, художественных и технологических приемов за счет многоплановости решения зон, комбинированного стенда, использования модульных систем в составе функционального мобильного трансформера. Под выставочной модульной системой понимается комплекс стандартных элементов, позволяющий составить из них индивидуальный выставочный стенд. Модульность предполагает многовариантность, и потому актуальным является исследование проблем формообразующего планирования выставочного стенда, собранного на основе модулей. Выставочные стенды собираются из модульных систем за несколько дней или часов.

Оборудование средового пространства выставочной зоны – это не просто прагматическая деталь, улучшающая практические качества пространственной ситуации, а принципиальная художественная характеристика, вполне сопоставимая по силе эстетического воздействия с традиционными слагаемыми композиции: обликом конструкций, фактурой материалов, пластикой декора.

Мебель занимает важное место в процессе дизайн-проектирования средового пространства выставочной зоны, поскольку от ее эстетического вида, функциональности, эргономичности и удачного расположения в выставочной зоне будет зависеть отношение конечного потребителя к экспонируемой производственной продукции. При оформлении средового пространства выставочной зоны часто применяются нестандартные решения и материалы.

Современным инструментом организации пространства является также использование проекторов, систем с большими дисплеями отображения информации, плазменных панелей. Они служат изящным имиджевым элементом и несут информационную нагрузку. Иногда они становятся основными инструментами организации пространства. Выставочная зона организуется совокупностью стендов, занятых производственной продукцией. Ее органичность и эстетичность достигаются во многом благодаря дизайну выставочного пространства.

При наличии масштабной экспозиции, а также при многоотраслевом или универсальном характере выставочного мероприятия очень важно тематическое деление экспозиционной части выставки. Например, необходимо разделить экспозицию на отраслевые зоны и дублирующую систему навигации. При выделении функциональных зон выставки интересные решения можно найти с помощью профессионального использования света. Подсветка необходима и при выделении значимых информационных и навигационных элементов (свето-

вые информационные короба), делений пространства экспозиции. Для выделения функциональных зон используется и сугубо архитектурный прием: разноуровневое расположение.

Визуальный комфорт во многом определяется цветосветовым решением: распределением цвета, световым климатом помещения и размещением осветительного оборудования.

Для достижения ожидаемого светового комфорта (по естественному и искусственному освещению среды) необходимо обеспечить:

- оптимальный уровень и интенсивность освещения;
- равномерное распределение интенсивности, либо выявление светом композиционного решения;
- оптимальное соотношение естественного и искусственного освещения;
- рациональную спектральную характеристику светового потока.
- оптимальные условия тенеобразования;

Цвет – один из основных элементов визуализации среды. Особенность цветовой композиции выставочной зоны состоит в том, что носителями цвета являются поверхности архитектурных элементов, ограничивающих пространство помещения, наполнение.

Цветовые схемы зависят от назначения и визуализации помещения. Обеспечение звукового комфорта зависит от использования архитектурно-конструктивных приемов и методов организации среды. При решении этой задачи необходимо учесть, что шумы бывают ударные (передаваемые по конструкциям и инженерным коммуникациям) и воздушные (распространяемые по воздуху). В проектируемой среде, в зависимости от ожидаемого звукового комфорта, можно использовать методы звукопоглощения, диффузии звука (зеленые насаждения, использование свойств строительных материалов, туман, дым и т.п.); либо организовывать звук с учетом оптимального эффекта звукоотражения – акустики (форма помещения, его размеры, строительное решение, размещение источников и отражателей звука, время реверберации).

Создание дизайна средового пространства выставочной зоны – сложный творческий процесс, который должен учитывать все требования к формированию выставочной зоны, ее наполнения, целостности восприятия и функциональности, а также являться комфортной средой для потребителя и привлечь его внимание к производственной продукции.

Правильно разработанная концепция дизайна средового пространства выставочной среды способствует решению поставленных маркетинговых вопросов, связанных с популяризацией, привлечением

потребителей, продвижением выпускаемой продукции и формированием положительного имиджа отечественных производителей во внешней среде, повышения уровня конкурентоспособности продукции и увеличения объема продаж.

ЛИТЕРАТУРА

1. Панкина М. В. Основы методологии дизайн – проектирования / Екатеринбург: Изд-во Урал. Ун-та, 2020, 150 с.

2. Сидоренко М. Ю. Оборудование и благоустройство средовых объектов / Челябинск: Изд-во центр ЮУрГУ, 2017, 32с.

УДК 622.647: 661.182

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

ГРАВИТАЦИОННАЯ СЕГРЕГАЦИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭТОГО ЯВЛЕНИЯ

Сегрегация сыпучего материала (лат. *segregatio* – разделение) – процесс перераспределением не однородных частиц материала по высоте. Результатом этого явления является образование слоев разной крупности неоднородности внутри слоя. Процесс сегрегации зависит от физико-механических свойств, гранулометрического состава, формы, шероховатости поверхности, проницаемости, ориентации в пространстве, упругости отдельных частиц и ряда других параметров. Наиболее заметно проявляется разделение крупной и мелкой фракций смеси с отсутствием четких границ между слоями. При гравитационном расслаивании высыпаемого материала более крупные и менее плотные частицы обычно размещаются над более мелкими и плотными. В условиях гравитационного скатывания смеси частиц по поверхности скольжения и образования угла откоса послойное распределение разных фракций может быть другим.

Сегрегация наблюдается даже при небольшом различии частиц по размеру, плотности, шероховатости, упругости, форме и т.д.) в процессах перемещения взаимодействующих твердых частиц (гравитационные спуски, течи, бункера, вращающиеся сушильные барабаны и другие виды оборудования). Она может оказывать значительное влияние на технологию, динамику течения сыпучих материалов, иногда качество продукции, использоваться для осуществления сепарации, калибровки, очистки и классификации компонентов смесей.

При проведении экспериментальных работ с сыпучим материалами, используются весьма разнообразные, не стандартизированные методы и лабораторное оборудование, сведения о них приведены в многочисленных источниках научно-технической информации [1–5 и др.]. Так для исследования свойств измельченной древесины (ИД) материалов в СПбГЛТУ разработана и используется модель бункера призматической формы с двумя прозрачными стенками (рис. 1), позволяющая визуализировать и определять параметры сыпучих материалов: форму потока истечения, высоту свободно стоящей стенки, ширину сводаобразующей щели и угол естественного откоса, [1].



Рисунок 1 – Схема модели бункера с картиной сегрегации и сводообразованием зависших опилок

Параметры быстрого сдвигового потока можно принять, как условно однородную среду, исходя из представления о сыпучем материале. Для проведения экспериментов была сконструирована лабораторная установка с оседанием измельченного материала разных фракций в отсеках кюветы, Рисунок 2.

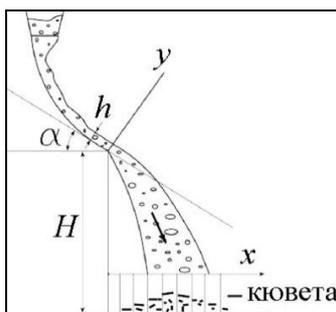


Рисунок 2 – Схема работы лабораторной установки и сегрегации сдвига в потоке [2]

В процессе исследований [2] фиксировались: плотность материала частиц; порозность неподвижного слоя; угол естественного откоса; время процесса; ширина и толщина слоя; ширина ячейки; высота порога и угол ската. Установлены причины неоднородности сыпучего материала: физико-механические свойства, размеры и форма частиц; примесь одного компонента к другому; свойств среды по ее объему

из-за различного пространственного распределения компонентов и концентрации твердой фазы.

ОАО «НПО Центр» разработаны, используются в лаборатории и на предприятиях разных отраслей каскадно-гравитационные классификаторы для разделения крупнодисперсных материалов на заданные фракции в диапазоне крупности 0,1–5,0 мм за счет взаимодействия гравитационных сил и воздушного потока. В конструкции оборудования (Рисунок 4) предусмотрена каскадная сепарация с высокой точностью разделения. Классификаторы этого типа используются автономно или в составе дробильно-сортировочных линий.

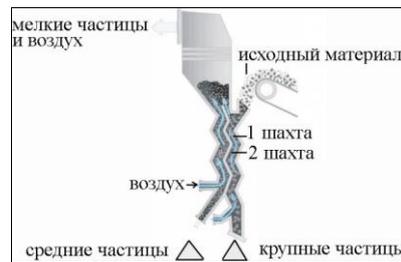
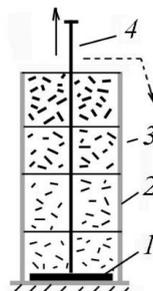


Рисунок 3 – Схема работы каскадно-гравитационного классификатора

В порядке отработки методики и средств технического обеспечения опытных работ в БГТУ изготовлена и используется простая лабораторная установка (рис. 4) в виде вертикального стального цилиндра (высота 800, диаметр 220 мм) с поршнем для пошагового подъема и съема слоя ИД, [1].



1 – поршень; 2 – цилиндр; 3 – слой материала; 4 – шток

Рисунок 4 – Схема лабораторной установки для формирования слоя ИД

Опытные работы на выше указанной установке предусматривали медленное заполнение цилиндра без уплотнения сыпучего материала и вибрационных воздействий с формированием слоя ИД практически только при наличии сил гравитации. После заполнения цилиндра испытуемый материал поднимался поршнем с последующим съемом порций с четырех уровней слоя.

Результаты опытных работ визуальными и численными методами подтвердили наличие явления сегрегации ИД, даже в отсутствие динамических воздействий встряхивания. Их следует рассматривать в качестве пред-

варительных на стадии отработки методики и технических средств экспериментов.

Актуальность исследования сегрегации различного вида сыпучих материалов подтверждается системностью, периодичностью выполнения работ и появления многочисленных публикаций в разных странах применительно к различным видам производств, к которым причастны специализированные научные [1–7] организации и высшие учебные заведения. Явление сегрегации в процессах перемещения, бункеровки, образования потока и формирования слоя ИД изучено недостаточно. Необходимы исследования с увеличением объема опытного материала, более детальным учетом его характеристик и факторов воздействия на процесс сегрегации в целях получения рекомендаций для практического использования в проектной, конструкторской деятельности и на производстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бачериков, И.В. Совершенствование функционирования закрытых складов древесных сыпучих материалов. Диссертация Спец. 05.21.01 – Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – 138 с.

2. Кадильникова, Т.М. Исследование механизма сегрегации потока сыпучего материала / Т.М. Кадильникова, В.А. Криворучко. – Днепропетровск: Национальная металлургическая академия Украины. 01.01.2012 Збагачення корисних копалин, 2012. Вип. 51(92).

3. Оборудование для переработки минерального сырья НПО «Центр» [Электронный ресурс – [https:// pro-center.com](https://pro-center.com)].

4. Трофимов, С.П. Сегрегация измельченной древесины при формировании слоя в отсутствие вибрационного воздействия / С.П.Трофимов. – Материалы 87-й научно-технич. конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов. – Минск, 13 февраля 2023 г. [Электронный ресурс – <https://elib.belstu.by/>] / УО БГТУ. – Минск: БГТУ, 2023. – С. 203–206.

5. Куди, А.Н. Сегрегация и миграция в гравитационных потоках зернистых материалов: механизмы, интенсификация и технологии / А.Н. Куди, В.Н. Долгунин. – Тамбов: ТГТУ, 2019. – 136 с.

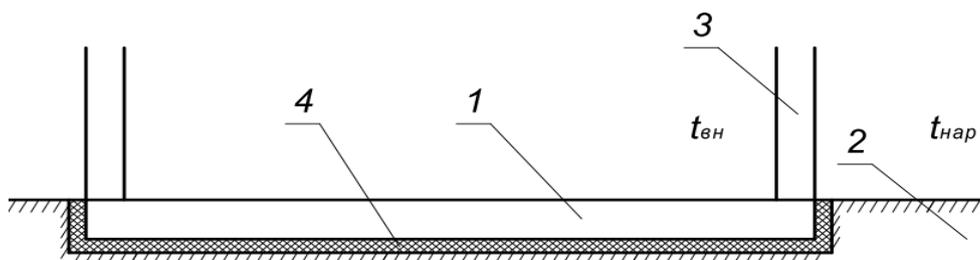
6. Захаров, А.Ю. Метод экспериментального исследования сегрегации сыпучих грузов на ленточном конвейере / А.Ю. Захаров, Н.В. Ерофеева // Вестник КузГТУ. – 2012. – №5. – С. 51–53.

7. Лозовецкий, В.В. Закономерности распределения структурных и физико-механических характеристик засыпок измельченной древесины в бункерах при гравитационном движении / В.В. Лозовецкий, А.А. Шадрин, В.В. Лебедев. – Лесотехнический журнал, Том 6, № 3 (23). – Воронеж: ВГЛТУ, 2016. – С. 100–108.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ УТЕПЛЕНИЯ ФУНДАМЕНТА КОНВЕКТИВНЫХ СУШИЛЬНЫХ КАМЕР ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

Ограждение сушильных камер состоит из следующих частей: стены, перекрытие, ворота, фундамент. В общем балансе тепловых потерь через ограждения зданий, потери через фундамент (пол) здания по данным интернет-источников составляют 5-15%. Данных для сушильных камер в научной литературе мы не смогли обнаружить. Поэтому у нас и возникла идея попытаться оценить потери тепла через фундамент (пол) сушильной камеры во время сушки пиломатериалов, а также оценить эффективность и необходимость утепления этой части ограждения сушильной камеры.

Большинство производителей сушильных камер рекомендуют в качестве основания камеры использовать монолитную железобетонную плиту или ленточный фундамент и обустройством бетонных полов по грунту. Утепление таких фундаментов обычно производят при помощи экструдированного пенополистирола. Схема утепленного фундамента представлена на рисунке 1. Отметим, что толщина плит пенополистирола может быть различной и определяется при помощи теплотехнического расчета фундамента.



1 – плитный фундамент; 2 – грунт; 3 – стена камеры;
4 – плиты экструдированного пенополистирола

Рисунок 1 – Схема плитного фундамента с утеплением

Для оценки эффективности утепления фундамента сушильных камер проведем расчет потерь тепла через неутепленный фундамент и через фундамент, утепленный плитами пенополистирола разной толщины. При этом будем использовать аналитическую методику расчета теплопотерь и приведенного сопротивления теплопередаче в грунто-вое основание [1, с. 13-23].

Опишем исходные данные для проведения расчета. Технические характеристики материалов фундамента представим в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики материалов фундамента

Тип материала	Толщина слоя материала δ , м	Коэффициент теплопроводности материала λ , Вт/(м·°С)
Железобетонная плита	0,2	2,04*
Плиты экструдированного пенополистирола ТЕХНОНИКОЛЬ CarbonЕсо	от 0,02 до 0,15 с шагом 0,01	0,034**

Примечания: * – данные из таблицы Д.1 [2];

** – данные из [3]

Расчет будем проводить для камер фирмы Incorplan модельной линейки CM3000 ClassicLine. В таблице 2 представлены размеры и площади фундамента этих камер.

Таблица 2 – Размеры фундамента камер IncorplanCM3000

Марка камеры	Ширина фундамента b_{ϕ} , м	Длина фундамента l_{ϕ} , м	Площадь фундамента S_{ϕ} , м ²
CM3000 20	4,44	4,80	21,3
CM3000 30	5,04	5,40	27,2
CM3000 35	5,64	6,00	33,8
CM3000 40	5,64	7,20	40,6
CM3000 50	5,64	8,40	47,4
CM3000 60	6,84	8,40	57,5
CM3000 70	7,44	9,00	67,0
CM3000 80	8,64	9,00	77,8
CM3000 90	8,64	9,60	82,9
CM3000 100	8,64	10,80	93,3
CM3000 130	9,84	11,40	112,2
CM3000 150	9,84	13,80	135,8

Расчет будем проводить для условий минской области, среднегодовая температура воздуха в которой за 2022 год составляла 7,3°С [4]. За температуру воздуха в камере примем средневзвешенную температуру режима сушки для условного материала (Inc 22), которая составляет 57,2°С. Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности фундамента примем равной $\alpha_{в}=8,7$ Вт/(м²·°С) [2, табл. 6.4], коэффициент теплоотдачи наружной поверхности фундамента примем равной $\alpha_{н}=23,0$ Вт/(м²·°С) [2, табл. А.1].

Коэффициент теплопроводности грунта принимаем равным $\lambda_{гр}=1,8$ Вт/(м·°С) [5, пункт 10.13.2].

Результаты расчета потерь тепла через фундамент сушильных камер представим в виде графика зависимости потерь тепла от толщины слоя утепления (рис. 2). Для лучшей наглядности приведем данные для четырех камер.

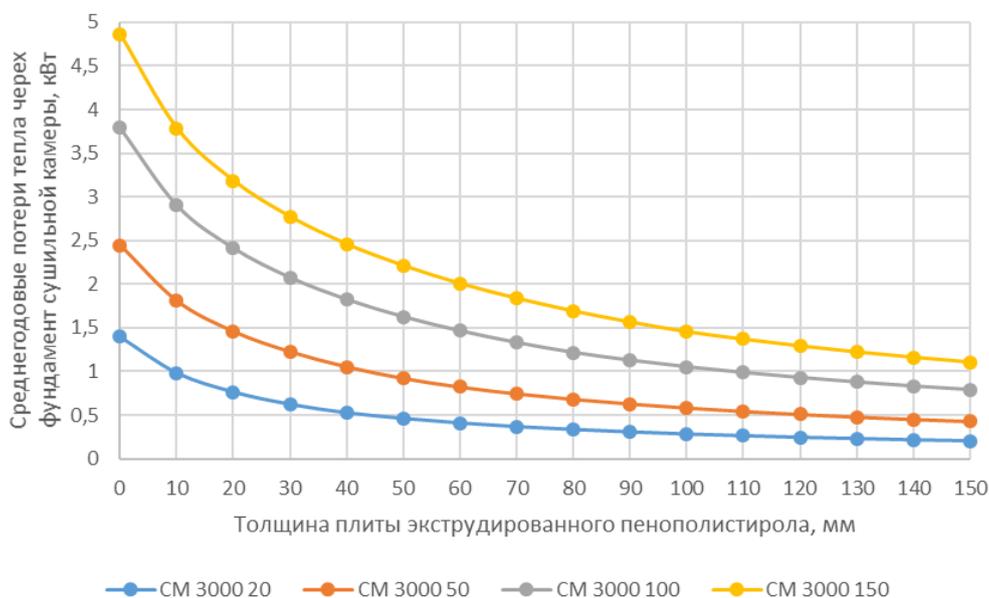


Рисунок 2 – Зависимость среднегодовых потерь тепла через фундамент сушильной камеры от толщины плит экструдированного пенополистирола

Из графика видно, что с увеличением толщины слоя теплоизоляции потери тепла уменьшаются, при этом зависимость между толщиной слоя утепления и потерями тепла носит нелинейный убывающий характер.

Также очевидным является то, что с увеличением площади фундамента увеличивается и абсолютное значение потерь тепла. При этом интересным является то, что с увеличением площади фундамента уменьшается относительная эффективность утепления.

Для доказательства этого утверждения проведем небольшой расчет: определим во сколько раз уменьшаются потери тепла через фундамент при увеличении толщины слоя ЭППС от 0 до 150 мм для разных камер. Результат расчета сведем в таблицу 3.

Из таблицы видно, что с увеличением площади фундамента отношение потерь тепла через фундамент уменьшается с 6,9 раза до 4,4 раза. При этом нельзя не заметить, что в абсолютных величинах наблюдается обратная картина: для камеры SM 3000 150 уменьшение тепловых потерь составляет 3,759 кВт, а для камеры SM 3000 20 – 1,197 кВт.

Таблица 3 – Относительная эффективность утепления фундаментов сушильных камер

Марка камеры	Площадь фундамента камеры S_{ϕ} , м ²	Среднегодовые потери тепла через фундамент сушильной камеры Q, кВт, при толщине слоя ЭПС, мм		Отношение потерь тепла через фундамент
		0	150	
СМ3000 20	21,3	1,399	0,202	6,9
СМ3000 50	47,4	2,443	0,428	5,7
СМ3000 100	93,3	3,794	0,791	4,8
СМ3000 150	135,8	4,865	1,106	4,4

Подводя итог проведенной работы, можно сделать следующие выводы. Утепление фундаментов сушильных камер позволяет значительно снизить потери тепла через фундамент. Однако эти потери в общем балансе тепловых затрат на процесс сушки невелики. Решение о проведении утепления фундамента сушильной камеры требуется принимать на основании технико-экономического расчета для каждого конкретного случая.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методические рекомендации по расчету теплопотерь и приведенного сопротивления теплопередаче элементов здания, контактирующего с его основанием / НИИСФ РААСН // Москва, 2019 – 84 с.
2. Строительная теплотехника = Будаўнічая цеплатэхніка : СП2.04.01-2020. – Введ. 18.11.2020 (с отменой на территории ТКП45-2.04-43-2006 (02250)). – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2020. – 77 с.
3. Технический лист № 4.01. Версия от 12.2017. Экструзионный пенополистирол ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON ECO [Электронный ресурс]– Режим доступа: https://tstn.by/upload/iblock/215/tekhlist-4_01_carbon_eco_rus.pdf – Дата доступа:30.01.2024.
4. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. В.1. Температура воздуха [Электронный ресурс]– Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayuschaya-sreda/sovmestnaya-sistema-ekologicheskoi-infor-matsii2/b-izmenenie-klimata/v-1-temperatura-vozduha/>– Дата доступа:30.01.2024.
5. Расчет и устройство тепловой изоляции оборудования и трубопроводов = Разлік і прыладацеплавайізаляцыіабсталявання і трубаправодаў : СП 4.02.04-2023. – Введ. 20.01.2024 (с отменой П1-2018 к ТКП 45-4.02-323-2018 (02250)). – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2024. – 106 с.

Е.А. Лосик, асп.;
Е.И. Гордиевич, ассист.;
Л.В. Игнатович, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ ИННОВАЦИОННЫХ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ МЕБЕЛИ И СТОЛЯРНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

С каждым годом инновационные и информационные технологии все больше интегрируются в технологические процессы деревообрабатывающего производства, заменяя частично или полностью традиционные. В результате чего ни один процесс проектирования и производства мебели и столярно-строительных изделий не обходится без применения современных технологий.

При внедрении инновационных технологий заинтересованность в научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработках возрастает что содействует формированию нового уровня взаимоотношений научно-технического сектора и промышленных, в частности деревообрабатывающих производств, в плане единой стратегии – создания высокотехнологического производства мебели и столярно-строительных изделий.

Инновационные технологии способствуют формированию экономики современного типа и достижению целей: по разработке и созданию оборудования и прогрессивных технологий, развитию информационно-коммуникационных технологий, производству систем контроля и технического обеспечения, созданию и реализации проектов технологического и технического перевооружения производств с применением конкурентоспособного оборудования и др.

Таким образом, можно отметить, что инновационные технологии представляют собой комплекс методов и средств, используемых в области техники, технологии, организации труда или управления, основанные на использовании достижений науки и практического опыта, конечным результатом которых являются новые и усовершенствованные технологические процессы, которые способствуют внедрению компьютерных технологий, направленных на повышение качества продукции и эффективности работы предприятия [1–2].

Компьютерные технологии представляют собой информационные технологии (совокупность методов, программно-технических и технологических средств), обеспечивающих сбор, накопление, обработку и хранение информации, а также автоматизацию производства мебели и столярно-строительных изделий [3].

Применение информационных технологий в деревообрабатывающей промышленности осуществляется на их интеграции в производственные процессы и базируется на следующих принципах:

Оперативного управления – возможность управления и мониторинга технологического процесса в реальном времени, что позволяет неотлагательно вносить правки в программу оборудования.

Сквозного управления – осуществление управления и контроля производственным циклом, анализа и сбора информации руководителем напрямую на всех уровнях.

Адаптивного управление – обеспечение управления производственными циклами с учётом изменения требований к конечному продукту (при аварийном снижении производительности одного участка дает возможность принудительного снижения производительности всей линии производства для ее полного функционирования).

Применение указанных принципов обеспечивает целостность и согласованность между производственными участками, что способствует постоянному и оптимальному функционированию технологического процесса. Так же используемые информационные технологии в производстве должны выполнять требования: по автоматизации процессов и соответствовать целям и задачам предприятия, его параметрам качества, надежности и безопасности, иметь простой и понятный интерфейс, возможность сопровождения документов, модификации и высокой адаптации к изменениям в условиях работы предприятия и др. Требования, предъявляемые к информационным технологиям, зависят от особенностей производства, уровня его развития и используемого оборудования, в зависимости от конкретных условий и потребностей предприятия [4].

Для обеспечения целостности и согласованности работы производственных участков по изготовлению изделий из древесины могут использоваться разнообразные программы, такие как:

ERP-системы, которые объединяют в себе различные аспекты бизнеса, включая производство, управление запасами, финансы и др. (SAP, Oracle ERP, Microsoft Dynamics и др.).

PLM-системы помогающие управлять жизненным циклом продукта, включая проектирование, разработку, производство и обслуживание (Siemens Teamcenter, PTC Windchill и др.).

MES-системы, обеспечивающие управление и контроль за производственными процессами в реальном времени (Siemens SIMATIC IT, Wonderware MES и др.).

CAD/CAM-системы, применяемые для проектирования и управления производственными процессами (AutoCAD, SolidWorks, Inventor и др.).

SCM-системы, обеспечивающие управление цепочкой поставок и логистикой, что важно для согласованности в производстве и своевременной поставки ресурсов (Oracle SCM, SAP Integrated Business Planning и др.).

От степени инновационности, то есть способности использовать те или иные технические новинки и новые методы проектирования и производства изделий из древесины, зависит экономическая эффективность и конкурентоспособность предприятий и отраслей экономики в целом. Инновационной новинкой в деревообрабатывающей отрасли и является внедрение информационных технологий с целью улучшения показателей качества производимой продукции.

Внедрение систем автоматизированного проектирования позволит более глубоко исследовать данную предметную область, что является основным шагом на пути к получению эффективных проектных решений, определяющих необходимость использования информационных систем, которые могут состоять из следующих этапов:

1. Проектирование. Для разработки мебельных проектов используются САД программы, модели которых содержат точные спецификации, размеры и параметры материалов.

2. Интеграция с ERP-системой. Данные из САД-моделей автоматически интегрируются с системой управления ресурсами (ERP), ERP обрабатывает информацию о необходимых материалах, стоимости, сроках выполнения и др. аспектах производства.

3. Управление производственным процессом с MES. Управляет производственным процессом в реальном времени (следит за запасами, состоянием оборудования и обеспечивает связь между различными зонами производства).

4. Оптимизация с использованием PLM-систем. Следящих за жизненным циклом продукта, координирующих изменения в дизайне и производственных процессах.

5. Роботизирование системы и автоматизирование производственных линии. Позволяет выполнять точные операции по обработке и сборке деталей, обеспечивают непрерывный процесс, минимизируя человеческую интервенцию.

6. Оптимизация цепочки поставок с SCM-системой. Управляющей запасами материалов, снабжением и логистикой, обеспечивая непрерывное поступление необходимых компонентов.

7. Мониторинг и аналитика данных, собранных на различных этапах производства. Осуществление мониторинга производственной эффективности и анализа производственных трендов, что помогает выявлять узкие места, оптимизировать процессы и принимать стратегические решения.

Современное производство неспособно эффективно функционировать и конкурировать без осуществления информатизации предприятия. Используемые информационных технологий в деревообработке должна интегрироваться в производство начиная с самых первых этапов: от поступления сырья и далее проходя по всему технологическому процессу.

Таким образом, обобщая вышесказанное, можно отметить следующее: использование информационных и инновационных технологий позволяет оперативно получать и оценивать проектные и технологические решения; применение программного решения в совокупности обеспечивает автоматизированный и согласованный процесс производства мебели и столярно-строительных материалов, что позволяет повысить эффективность, точность и непрерывность производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федотова Е. Л. «Инновационные образовательные методы и технологии в условиях информатизации университета» // ЭСГИ. 2014. №3-4 (3-4).
2. Определение инновационных технологий // http://belisa.org.by/ru/print/?brief=art5_18_2011 (дата обращения: 08.01.2024).
3. Определение информационных технологий // <https://bigenc.ru/c/informatsionnye> (дата обращения: 08.01.2024).
4. Информационные технологии в охране окружающей среды: Учебное пособие / И. О. Кирильчук, В. М. Попов, В. В. Юшин, В.В. Протасов. – Курск: Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2015. – 219 с. – ISBN 978-5-9907009-7-0. – EDN UIKXLR.

УДК 684.722

Е.И. Гордиевич, ассист.;
Л.В. Игнатович, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

НЕЗАВИСИМЫЕ ПРУЖИНЫ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА АНАТОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ПРУЖИННОГО БЛОКА, ВХОДЯЩЕГО В СОСТАВ МЯГКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Пружинная система блоков, входящих в состав мягких элементов (матрасов) должна создавать упругую основу и обеспечивать расслабление всех мышечных групп человека во время отдыха и сна. Наряду с этим она должна сохранять форму и размеры мягкого элемента [1].

Существует несколько видов пружинных блоков, которые устанавливают в мягкую мебель. Они различаются по способу формирования и характеристикам. В данной работе был рассмотрен один из наиболее распространённых вариантов пружинных блоков, используемых для производства матрасов – независимый пружинный блок.

Независимый пружинный блок, состоит из пружин, не связанных между собой, но расположенных в блоке максимально тесно в несколько рядов. Каждая пружина находится в отдельном тканевом чехле (кармане). Пружины сжимаются, повторяя форму человеческого тела, независимо друг от друга, продавливаются только те, на которые идет непосредственная нагрузка, а соседние остаются в разжатом состоянии. Поэтому матрас реагирует на нагрузку точечно. Это свойство получило название точечной эластичности. От точечной эластичности зависит ортопедический и анатомический эффекты [2,3].



Рисунок 1 – Схема независимого пружинного блока

На рисунке 1 показана схема независимого пружинного блока.

Вес человека является основным параметром для расчета нагрузки на пружинный блок, но, кроме этого, распределение массы тела имеет важное значение. Так как мягкая мебель обычно проектируется для взрослого населения, вся работа велась в расчете на взрослого «среднего» мужчину, рост которого 170см и вес 75 кг.

Чтобы оценить, насколько удобна та или иная конструкция пружинного блока необходимо было рассчитать прогибы пружин под телом человека, так как путем сравнения их с графиком оптимальных прогибов (требуемых с анатомо-физиологической точки зрения) можно оценить, насколько удобна та или иная конструкция пружинного блока [4]. После произведенных расчетов были построены графики прогибов пружинных блоков в зависимости от диаметра пружин D и проволоки d , из которых они изготовлены. На основании этого определены наиболее оптимальные варианты, подходящие для человека весом 75 кг и ростом 170см. Полученные кривые влияния диаметров проволоки пружины ($D = 60$ мм, 45 мм, 40 мм и 28 мм) на прогиб пружинного блока отображены на рисунках 2–5. Кривая оптимальных прогибов (требуемых с анатомо-физиологической точки зрения) построена на основании литературных данных [4].



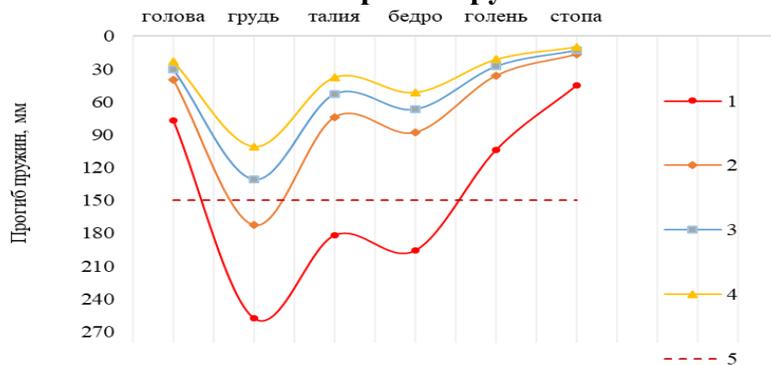
1 – оптимальные прогибы; 2 – прогибы при $d=2,1$ мм; 3 – прогибы при $d=2,2$ мм; 4 – прогибы при $d=2,3$ мм; 5 – граница высоты пружинного блок

Рисунок 2 – Влияние диаметра проволоки пружины $D = 60$ мм на прогиб пружинного блока



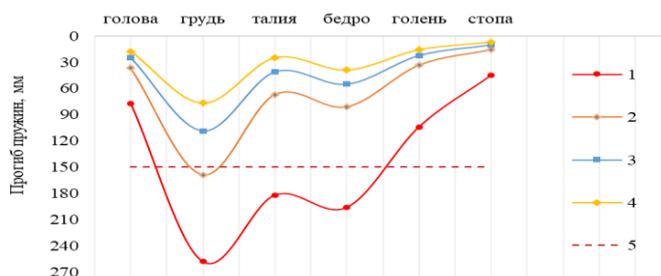
1 – оптимальные прогибы; 2 – прогибы при $d=1,6$ мм; 3 – прогибы при $d=1,7$ мм; 4 – прогибы при $d=1,8$ мм; 5 – граница высоты пружинного блока

Рисунок 3 – Влияние диаметра проволоки пружины $D = 45$ мм на прогиб пружинного блока



1 – оптимальные прогибы; 2 – прогибы при $d = 1,4$ мм; 3 – прогибы при $d=1,5$ мм; 4 – прогибы при $d=1,6$ мм; 5 – граница высоты пружинного блока

Рисунок 4 – Влияние диаметра проволоки пружины $D = 40$ мм на прогиб пружинного блока



1 – оптимальные прогибы; 2 – прогибы при $d = 1$ мм; 3 – прогибы при $d = 1,1$ мм; 4 – прогибы при $d = 1,2$ мм; 5 – граница высоты пружинного блока

Рисунок 5 – Влияние диаметра проволоки пружины $D = 28$ мм на прогиб пружинного блока

Таким образом, исходя из графиков, для человека весом 75 кг и ростом 170 см более оптимально использовать матрасы с независимыми пружинными блоками, диаметр пружин (D) и диаметр проволоки (d) которых равны: $D=60$ мм и $d=2,2-2,3$ мм; $D=45$ мм и $d=1,7-1,8$ мм; $D=40$ мм и $d=1,5-1,6$ мм; $D=28$ мм и $d=1,1-1,2$ мм. Полученные данные являются оптимальными для человека, относящегося по антропометрическим признакам к среднестатистическому, но они не могут удовлетворять анатомо-физиологическим требованиям людей, имеющих отклонения от средних размеров. Анализ результатов расчета свидетельствует, что упругость отдельных пружин может быть адаптирована путем изменения толщины проволоки. Конструкция пружин, особенно толщина проволоки, в основном определяет упругие свойства пружинных блоков.

Также стоит отметить, что распределение нагрузки на пружинный блок может варьироваться в зависимости от физических характеристик каждого человека, поэтому для достижения наилучшего результата необходимо провести индивидуальный подбор пружин, учитывая особенности конкретного человека. При этом необходимо учитывать индекс массы тела, то есть соотношение роста и веса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блок независимых пружин что это такое // Vmeste-masterim.ru. URL: <https://vmeste-masterim.ru/blok-nezavisimyh-pruzhin-что-jeto-takoe.html> (дата обращения: 12.12.2023).
2. Jiayu Wu, Hong Yuan, Xin Li. A novel method for comfort assessment in a supine sleep position using three-dimensional scanning technology // Sensor products. URL: https://www.sensorprod.com/research-articles/2018/2018a_novel_method_for_comfort_assessment_in_a_supine_sleep_position_using_three-dimensional_scanning_technology__ (дата обращения: 12.12.2023).

3. Игнатович Л. В., Гордиевич Е. И. Анализ комплексных оценок качества, влияющих на анатомический и ортопедический эффекты при проектировании мягкой мебели // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2022. № 2 (58). С.

4. Сухова А. В. Удобство мягкой мебели. М.: ЦНИИТЭИ леспрома, 1967. 26 с.

УДК 684.732

Е.И. Гордиевич, ассист.
(БГТУ, г. Минск)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ МЯГКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КАТЕГОРИИ МЯГКОСТИ И СОСТАВА

Основной характеристикой изделий мебели для сидения и лежания с мягкими настилами и основаниями с точки зрения прочностных характеристик конструкции, а также эргономики и физиологии, создания максимальных удобств для человека в процессе их эксплуатации является показатель мягкости. Под мягкостью следует понимать способность мягкого элемента мебели деформироваться под действием нагрузок, выраженную податливостью и общей деформацией [1].

Податливость – способность мягкого элемента мебели для сидения и лежания сопротивляться воздействию нагрузок на начальных этапах нагружения (5 даН; 15 даН). Общая деформация – деформация мягкого элемента мебели для сидения и лежания под действием функциональной нагрузки (70 даН) [1]. Показатель мягкости позволяет определять функциональную рациональность конструкции, оценивать пригодность материалов для функциональных элементов, устанавливать их расход. Поэтому важно оценить критерии мягкости: податливость и величину общей деформации под воздействием тела человека или имитирующего его предмета. Возникновение значительных остаточных деформаций в большинстве случаев приводит к нарушению нормальной работы конструкции изделия и поэтому считается нарушением прочности и может вызвать разрушение изделия.

На показатель мягкости также влияет конструкция основания мягкого элемента. С целью определения функционального назначения мягких элементов в испытательной лаборатории ПКТБМ ОАО «Минскпроектмебель» были произведены испытания на определение мягкости трех образцов пружинных матрасов. Испытания проводились согласно ГОСТ 21640-91 «Мебель для сидения и лежания».

Мягкие элементы. Метод определения мягкости.» [3]. Сущность метода заключалась в определении деформации мягких элементов мебели под нагрузкой 3 даН, 5 даН, 15 даН, 70 даН и вычисления податливости и общей деформации.

Характеристика образцов мягких элементов:

Образец № 1. Матрас пружинный, размером (800×1900×200 мм) мм, двусторонней мягкости, состоит из блока независимых пружин и настилов с двух сторон. Настилы выполнены из эластичного пенополиуретана толщиной 30 мм и войлока. По периметру матраса сформирован блок из пенополиуретана. Чехол матраса выполнен из синтетического жаккарда, стеганого на синтепоне.

Образец № 2. Матрас пружинный, размером (800×1900×240) мм, двусторонней мягкости, сформирован на основе блока независимых пружин и состоит из покровной ткани и настилочных слоев. В качестве настилочных слоев использован спандбонд, кокосовая койра толщиной 1 см, пенополиуретан - 2 см. Матрас упакован в чехол из жаккардовой ткани.

Образец № 3. Матрас пружинный, размером (800×1900×250) мм, двусторонней мягкости, сформирован на основе блока независимых пружин и состоит из покровной ткани и настилочных слоев. В качестве настилочных слоев использован спандбонд, кокосовая койра толщиной 1 см, латекс – 3 см. Матрас упакован в чехол из жаккардовой ткани. Испытания проводились на испытательном стенде, изображенном на рисунок 1.



Рисунок 1 – Испытательный стенд с образцом в лаборатории ПКТБМ ОАО «Минскпроектмебель».

На рабочей поверхности каждого образца с помощью универсального измерительного инструмента были определены контрольные точки нагружения (1 и 2). Схема распределения точек представлена на рисунке 2, так как длина образцов свыше 1000 мм [2].

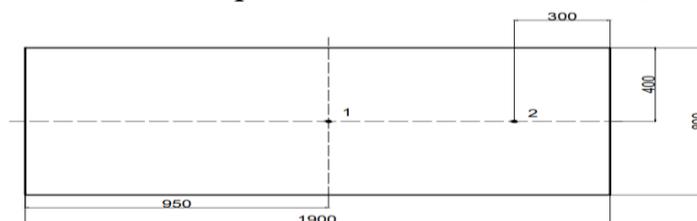


Рисунок 2 – Разметка образца для испытаний

Результаты измерений всех трех образцов представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты измерений образцов матрасов

Номер образца	Нагрузка, даН	Высота мягкого элемента, мм	
		точка 1	точка 2
1	3	191	189
	5	174	171
	15	157	152
	70	95	89
2	3	233	227
	5	214	210
	15	199	193
	70	145	140
3	3	244	238
	5	227	220
	15	215	208
	70	159	151

Податливость (Π), мм·даН⁻¹ каждого мягкого образца рассчитывалась по формуле:

$$\Pi = \frac{H_5 - H_{15}}{10}, \quad (1)$$

где H_5 и H_{15} – соответствующие высоты образца под нагрузкой 5 даН и 15 даН, мм.

Показатели податливости (Π) для точки 2 не определяются. Общую деформацию элемента (D) в миллиметрах для каждого образца, определяемую под нагрузкой 70 даН, вычислили с округлением до целого числа по формуле:

$$D = H_3 - H_{70}, \quad (2)$$

где H_3 – начальная высота образца под нагрузкой 3 даН, мм; H_{70} – высота образца под нагрузкой 70 даН, мм.

Результаты расчетов сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Деформация и податливость образцов

Номер образца	Деформация D , мм·Н		Податливость, мм·даН ⁻¹
	точка 1	точка 2	точка 1
1	96	100	1,8
2	88	87	1,6
3	85	87	1,3

Категория мягкости мягких элементов была определена в соответствии с ГОСТ 19917 для каждого испытанного образца по показателям, полученным в точке 1 при этом отклонения показателей, общей деформации в точке 2 не превысило $\pm 10\%$ показателей в точке 1. По

итогах испытаний можно сказать, что пружинные мягкие элементы, состоящие из блока независимых пружин и эластичного пенополиуретана толщиной 30 мм относятся к 1 категории мягкости, так как общая деформация составила 96мм, что входит в диапазон от 95 мм до 115 мм согласно ГОСТ 19917 и податливость $1,8 \text{ мм} \cdot \text{даН}^{-1}$. Следовательно, их можно использовать для длительного отдыха в положении лежа на любом виде основания.

Матрасы пружинные, сформированные на основе блока независимых пружин и кокосовой койры толщиной 1 см, пенополиуретана – 2 см и матрасы пружинные, сформированные на основе блока независимых пружин и кокосовой койры толщиной 1 см, латекса – 3 см относятся ко 2 категории мягкости, так как их общая деформация составила 88мм и 85мм, что входит в диапазон от 70 мм до 90 мм согласно ГОСТ 19917 и податливость $1,6 \text{ мм} \cdot \text{даН}^{-1}$ и $1,3 \text{ мм} \cdot \text{даН}^{-1}$.

Данные виды мягких элементов также могут использоваться для длительного отдыха в положении лежа, но только на гибком или эластичном основании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мебель для сидения и лежания. Общие технические условия: ГОСТ 19917 – 2014. М.: Стандартинформ, 2015, 2020. 28 с.

2. Мебель для сидения и лежания. Метод определения мягкости: ГОСТ 21640 – 91. М.: Изд-во стандартов, 1991. 9 с.

УДК 674.031.1:674.049.2

Е.А. Лосик, асп.;
Л.В. Игнатович, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

ОСОБЕННОСТЬ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРЫ ДРЕВЕСИНЫ МЯГКОЛИСТВЕННЫХ ПОРОД НА СТЕПЕНЬ УПЛОТНЕНИЯ ПРИ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОМ МОДИФИЦИРОВАНИИ

Древесина – это возобновляемый ценный природный материал, применяющийся в разнообразных областях: строительстве, мебельном производстве, для изготовления бумаги, в качестве топлива и отделочного материала. При использовании изделий из древесины в определенной области необходимо учитывать эксплуатационные характеристики: твердость, стабильность и уровень усадки, выразительность текстуры и стойкость к нагрузкам. У разных пород эти свойства выражены по-разному. Например, прочность и вес линейно зависят от размера волокон: чем они толще, тем прочнее материал [1].

Разрабатывая новые строительные и конструкционные материалы, главное внимание необходимо уделять их эксплуатационным свойствам. Такие критерии как экологичность или расход сырьевых и энергоресурсов отходят поначалу на второй план. Но, в конечном счете, они играют весьма заметную роль потому, что в значительной мере диктуют рыночную цену изделия и сырья. Именно поэтому интерес к материалам на основе возобновляемых видов сырья стремительно растёт. Типичным примером является и древесина. Благодаря новым технологиям она может сегодня во многих областях успешно конкурировать с металлами, полимерами и даже керамикой.

Одним из актуальных направлений улучшения эксплуатационных свойств изделий из древесины – термомеханическое модифицирование или уплотнение. Известно, что уплотненная древесина имеет в несколько раз большую прочность, твердость, ударную вязкость и износостойкость по сравнению с натуральной.

Древесина – композитный материал решетчатой структуры, составляющими элементами стенок клеток которого являются тончайшие волокна, мицеллы целлюлозы, лигнин и гемицеллюлозы. Можно предположить, что структура данного композитного материала оказывает большое влияние на степень уплотнения. По физическим свойствам целлюлоза и лигнин различаются. Целлюлоза эластичная и имеет высокую прочность на разрыв, а лигнин хрупкий и имеет высокую прочность при сжатии. Процентное содержание тех или иных компонентов зависит от породы древесины (береза состоит из целлюлозы на 43% и лигнина на 21%). На основе этих данных [2], древесину можно представить в виде композиции, состоящей из лигнина и гемицеллюлозы.

Таким образом, можно сказать, что свойства древесины и ее поведение при термомеханическом модифицировании (уплотнении) будет зависеть в основном от строения клеточной стенки, структуры химических изменений древесины и условий, при которых может протекать процесс ее уплотнения. Что позволяет рассматривать процесс уплотнения древесины с позиций теории динамики полимеров.

Однако не маловажными при термомеханическом модифицировании (уплотнении), являются и размерные характеристики составляющих анатомических элементов древесины – длина, диаметр волокон, толщина клеточной стенки, так как все это определяет качество получаемого материала (лиственные породы древесины отличаются сложной структурой, обусловленной большим разнообразием ее анатомических элементов). Либриформ основной механический элемент в лиственной древесине, его древесные волокна короткие, имеют утол-

ценные клеточные стенки [2].

Кроме анатомических особенностей и размерных характеристик анатомических элементов, необходимо учитывать основные физико-механические свойства. Плотность древесины является важным показателем ее качества, поскольку тесно связана со структурой древесины и относительной толщиной стенок волокон и это основная физико-механическая характеристика древесины, которая определяет степень ее уплотнения в процессе прессования [3]. Плотность термомеханически модифицированной древесины может быть в пределах от 800 до 1350 кг/м³, в зависимости от начальной плотности и анатомического строения уплотняемой древесины.

Изучение процессов уплотнения древесины является предметом исследований многих ученых. Проведенные научные исследования выявили важные взаимосвязи, особенно в контексте различных пород древесины. В частности, установлена тесная связь между плотностью и прочностью материала.

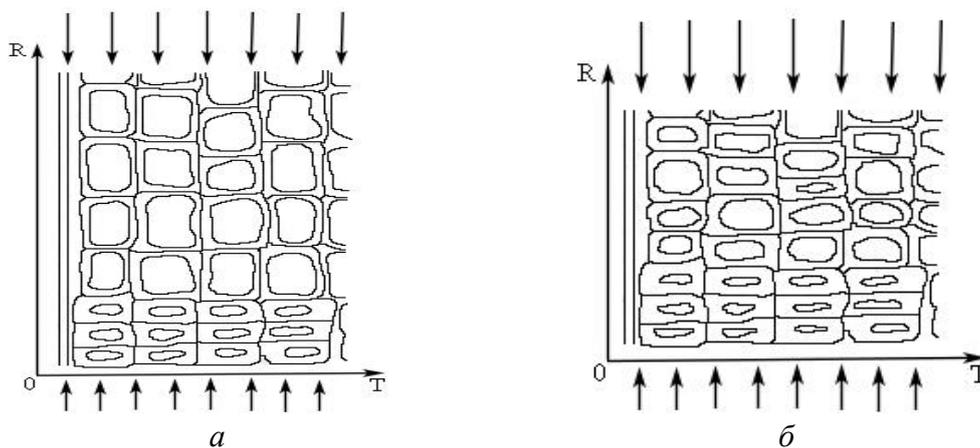
Многие исследователи также уделяют особое внимание условиям и режимам уплотнения, чтобы определить оптимальные параметры для достижения желаемой степени уплотнения древесины. Эти параметры могут включать параметры давления, температуры и влажности во время процесса уплотнения

Понимание этих взаимосвязей и оптимальных условий уплотнения древесины не только способствует более эффективному использованию материала, но также важно для разработки технологий, позволяющих улучшить качество и эксплуатационные характеристики древесных материалов.

Можно отметить, что повышение прочности и улучшение физико-механических свойств древесины и материалов производящихся из ее возможно путем ее уплотнения, то есть за счет увеличения количества древесного вещества в единице объема, если это уплотнение не будет связано с разрушением клеток древесины.

Древесина любой породы способна деформироваться, то есть может изменять свои размеры, форму и свойства под действием внешних нагрузок, так как она является вязко-упругим материалом. Материал клеточных стенок в основном представляет собой комплекс природных полимеров, имеющих длинные гибкие цепные молекулы. Эта особенность строения древесины определяет характер ее поведения под нагрузкой.

На Рисунке 1 показана схема деформации клеточных стенок под действием внешних нагрузок (при уплотнении древесины).



a - до уплотнения, *б* - после уплотнения

Рисунок 1 – Схема деформации клеток древесины при уплотнении

Из рисунка видно, что в результате термомеханического модифицирования древесины происходит уменьшение объема клеточных полостей, в большей степени за счет клеток сосудов и сердцевинных лучей. Древесина любой породы будет деформироваться под действием сил. Прежде всего, в процессе термомеханической модификации деформироваться будет лигнин. [3].

В результате ранее проведенных исследований было установлено, что наибольшая податливость (деформативность) древесины, например, ольхи и березы за счет перехода лигнина в термостабильное состояние происходит при влажности древесины 6–8 %, температуре плит пресса 80-90 °С, усилию прессования – 17-19 МПа, времени выдержки в прессе – 1 мин. При данных технологических параметрах происходит сжатие микроструктуры древесины, в результате чего параметры плотности и уплотнения увеличиваются примерно на 20%.

На основании всего вышесказанного мы можем констатировать, что при разработке технологических и конструктивных решений в производстве композиционных материалов, столярно-строительных и мебельных изделий с применением уплотненной древесины, в частности шпона, необходимо учитывать особенности анатомического строения и физических свойств каждой древесной породы, а также структуру основных ее элементов [4].

Древесина, как полимерный материал обладает специфическими свойствами, среди которых деформируемость является основной технологической характеристикой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Определение древесины // <https://puuinfo.fi/puutieto> (дата обращения: 05.01.2022).
2. Свойства древесины // <https://les.novosibdom.ru/book/export> (дата обращения: 05.01.2022).

3. Игнатович, Л. В. Особенности структурных изменений при термомеханическом модифицировании древесины сосны и ольхи / Л. В. Игнатович, С. С. Утгоф // Труды БГТУ. №2. Лесная и деревообрабатывающая промышленность, 2016. - С. 192-195.

4. Утгоф, С. С. Влияние технологических факторов на физико-механические характеристики уплотненной древесины мягких лиственных пород / С. С. Утгоф // Наука и технология строительных материалов: состояние и перспективы их развития : материалы Международной научно-технической конференции, Минск, 27-29 ноября 2013. - Минск: БГТУ, 2013. - С. 173-176

УДК 008 (476)

Л.Ю. Дубовская, проф., канд. техн. наук (БГАИ, г. Минск);

Л.В. Игнатович, доц., канд. техн. наук;

Е.В. Дубоделова, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск);

Л.Г. Билаш, преп., маг. техн. наук (Гомельский ГПК, г. Гомель)

ТРАДИЦИОННЫЕ ЦЕННОСТИ БЕЛОРУССКОГО НАРОДА

Белорусская национальная история, ее события и факты, современная культура Беларуси и ее развитие напрямую связаны со становлением белорусского народа. Культурный прогресс нашей нации связан с утверждением духовных, нравственных начал в жизни общества. Белорусский народ вправе гордиться богатейшими истоками своей культуры, фольклором, обрядностью, красотой национального костюма, народными промыслами. Посредниками между современностью и прошлым, выступают традиции, которые представляет собой генетическую память культуры.

Традиции могут выглядеть как символ неизменности и «отсталости», но именно они выступают как необходимое условие сохранения, преемственности и устойчивости сознания. Белорусская культура – одна из древнейших европейских культур, которая сочетает в себе наследие западноевропейских и восточнославянских традиций зодчества. Настоящей гордостью белорусского народа является деревянное зодчество – уникальный культурный феномен со своими историческими сложностями.

Это памятники деревянного храмостроительства разных христианских конфессий со своей архитектурной и концепцией формирования. Белорусское деревянное зодчество имеет две основные конструктивные системы: бревенчатую и каркасную. В его основе сруб или амбар с двускатной или четырехскатной крышей соответственно.

Деревянное сакральное зодчество Беларуси берет начало от конструктивных форм деревянной архитектуры восточных славян IX-XII вв. Сруб как архитектурный модуль оказался неисчерпаемым источником архитектурно-конструктивного решения террас, башен и ворот, теремов, жилых и хозяйственных построек.

В деревянной архитектуре образ церкви ассоциативно связан с образами, построек, которые строились путем разнообразного сочетания срубов. Двух, пятисрубные осевые и крестово-осевые композиции деревянных церквей исторически стали типичными для южных регионов Беларуси, крестово-центрические для северных.

Сакральное строительство пришло с определенными, специфическими архитектурными канонами и способствовало развитию профессионального зодчества на землях Беларуси.

Таким образом, можно отметить, что духовные ценности и традиции выступают в роли культурного наследия народа, они воплощают в себе опыт прошлых поколений, особенности принадлежности к определенной цивилизации.

Духовные ценности и традиции белорусов формировались во взаимосвязи с восточнославянским менталитетом, испытывая определенные сложности нахождения между Востоком и Западом и совершая поиск собственного пути развития.

Многие исследователи отмечают, что белорусы миролюбивы, для них нехарактерно чувство национального превосходства над другими национальностями [1, 2]. Говоря об идентичности белорусской нации, обычно выделяют такие черты, как рассудительность, терпимость, стремление к взаимному компромиссу, уважение к людям с иным восприятием мира и стилем мышления.

Исключительная любовь к родной земле, привязанность к родным местам, хозяйственность, бережливость, трудолюбие, преданность семье и семейно-родовая солидарность - характерные черты белорусов [1, 2]. Одной из самых отличительных черт национальной ментальности белорусов является глубокая приверженность солидарности, социального равенства и справедливости.

Еще белорусские историки В.М. Игнатовский и М. В. Довнар-Запольский считали, что в культуре белорусского народа, не знавшего татаро-монгольского ига, в большей степени, чем у многих других славянских народов, сохранялись общинно-коллективистские стереотипы массового сознания, сформировавшихся в условиях длительного исторического сохранения коллективных форм социальной организации [3].

Основная система ценностей белорусов, как отмечалось выше, формировалась под влиянием западной и восточнославянской культур из-за особенности ее геополитического положения, а также между двумя версиями христианства: православно-византийской и римско-католической.

Наибольшее влияние на формирование духовных ценностей белорусского народа оказало православно-византийское религиозное наследие. В духовной культуре человек получает наибольшую свободу творчества. Это связано с тем, что в этом случае разум человека не связан никакими практическими соображениями. Это важная черта, отличающая духовную культуру от других областей, но, из-за такой «непрактичности», в трудных жизненных обстоятельствах люди начинают видеть в духовной культуре ненужную обузу, и именно поэтому она больше всего страдает при социальных потрясениях [4].

Таким образом, можно сказать, что Белорусская культура на протяжении всего своего развития всегда чувствовала влияние других культур, и сама значительно на них влияла. Этому способствовал постоянный тесный контакт с другими культурно-историческими общностями людей, особое положение белорусских земель, которые находились на перекрестке торговых путей водоразделов Черного и Балтийского морей, в географическом центре Европы, наличие воинственных соседей и сильных военных государств, которые окружали белорусские границы по всему периметру. Все это способствовало развитию коммуникативной культуры. Коммуникативная культура – это то, что связывает, объединяет людей, результат их общения. Она дает и развивает такие формы и средства общения, как языки и знаковые системы [5].

С полным основанием можно утверждать, что национальная белорусская культура оказалась, с одной стороны, весьма устойчивой, а, с другой, – способной объединить положительные достижения различных наследий на основе собственных традиций.

В истории белорусского народа имели место факты угнетения и ущемления национального достоинства. Отсюда отчетливо проявилось в сознании стремление следовать голосу совести, уверенность в возможности справедливого устройства жизни, болезненное чувство справедливости.

К другим нашим ценностям относятся потребность в высоких целях, взаимопомощь, коллективизм в отличие от западного индивидуализма, социальная помощь и уважительные отношения государства и народа. Благодаря своим национальным качествам, таким как толерантность, «памяркоўнасць», осторожность, а также историче-

скому опыту Белорусский народ уходит от многих ошибок на своем пути и развитии [4].

Духовно-культурные ценности белорусского народа, являющиеся своеобразной духовной основой сознания каждого гражданина и общественного сознания страны, в нынешних непростых условиях подвергаются проверке на прочность.

Белорусский народ способен преодолеть те сложности, которые возникли на его пути. В этом помогут терпеливость, трудолюбие, уважительное отношение к представителям других культур.

Определяющим моментом белорусского общества – формирование национального самосознания народа, традиционных понятий, таких как семья, народ, вера, история, которые определяют духовную жизнь. Наше будущее может быть обеспечено миллионами талантливых, уникальных, творческих людей, для которых своеобразным оберегом, центростремительным фактором, который скрепляет идентичность белорусского народа, является малая родина.

На протяжении всех этапов своего исторического развития белорусы неизменно проявляли патриотизм и свободолюбие.

Важнейшей детерминантой становления этих традиционных ценностей культуры белорусского народа являются особенности его социальной жизни, особая любовь и уважение к родной земле.

ЛИТЕРАТУРА

1. Культурология // Под ред. Радугина А.А. - М.: «Центр», 1996 – 396 с.
2. Пиголев А.И. Культурология. - Волгоград: Изд. Волгоградского государственного университета, 1998 – 420 с.
3. Национальная ментальность белорусов // <https://archives.gov.by> (дата обращения: 05.01.2023).
4. Юхвидин П.А. Мировая художественная культура - М.: «Новая школа», 1996. – 288с.
5. БелТА <https://www.belta.by> › infographica › view › national (дата обращения: 05.01.2023).
6. Панарин, А. С. Стиль «ретро» в идеологии и политике. (Критические очерки французского неоконсерватизма) // М.: Мысль, 1989. – 220 с.

ВОЗМОЖНОСТЬ ВОВЛЕЧЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВО ТОПЛИВНЫХ ГРАНУЛ ДРЕВЕСИНЫ, ЗАГРЯЗНЕННОЙ ИНОРОДНЫМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ И КОРОЙ

Особенностью механической обработки древесины является снятие слоя материала с готовой продукции, что неизбежно приводит к образованию отходов, количество которых может достигать 70% объема сырья.

Эффективное использование отходов деревообработки и неликвидного древесного сырья в энергетических целях, как биомассы, является приоритетным направлением уже в нескольких пятилетках. К основным отходам лесопиления относятся кусковые отходы (22–32%) и опилки (22–24%) [1]. Промежуточным продуктом можно считать технологическую щепу, качество которой позволяет ее широко использовать по многим направлениям. Популярными направлениями использования отходов деревообработки являются: целлюлозно-бумажное и плитное производство, производство топлива и, в частности, древесных гранул.

В настоящее время сложилась ситуация, в которой топливные гранулы производят из технологической щепы или чистой измельченной древесины в виде щепы или дробленки, а то и стружки. При этом топливная щепа, которая используется в том виде, в котором получена, содержит много примесей как органической, так и минеральной природы. Кроме того, недостаточно внимания уделяется измельченной древесине как сырью для получения прессованного топлива.

Наиболее перспективным является использование топливной щепы в энергетических целях как экологически нейтрального топлива. Топливная щепа представляет собой низкокачественные измельченные кусковые отходы, которые образуются в результате лесозаготовок, в процессе механической обработки древесины, а также путем измельчения низкотоварной древесины [2].

Топливная щепа может содержать значительный объем коры – 55–60%. Однако этот факт при подборе технологических режимов производства и необходимого количества вспомогательных добавок не может препятствовать получению гранул высоких классов – А1 и А2 согласно европейскому стандарту ISO 17225–2:2021 [3].

Основной задачей исследования стало получение гранул класса

по ISO 17225–2:2021 не ниже А2 из низкокачественной измельченной древесины (топливной щепы). Для проведения эксперимента использовалась щепа топливная, порода древесины – сосна. Влажность щепы составила от 35 до 45%.

Главным отличием гранул класса А2 от гранул класса А1 является такой показатель, как зольность. Для гранул класса А1 согласно ISO 17225–2:2021 показатель зольности не должен превышать 0,7%, для гранул класса А2 – не более 1,2%. Высокое содержание коры и присутствие инородных примесей в объеме топливной щепы существенно влияет на качество пеллет в целом и на зольность в частности.

Подготовка сырья подразумевает очистку щепы от инородных включений и первичное дробление до более мелкой фракции. Дробление проводилось на речипере мелкого дробления Bruks BK-DG 600×1200, который оборудован магнитом для улавливания металлических включений [4].

Следующим технологическим этапом получения гранул является термическая обработка на сушильном барабане. Учитывая тот факт, что эксперимент проводился на работающей технологической площадке ООО «СВУДС экспорт», которая специализируется на производстве гранул класса А1 из технологической щепы, одной из основных задач стала разработка режимов работы сушильного барабана, которые смогут безопасно высушить материал с содержанием коры 55–60%.

Производство топливных гранул ООО «СВУДС экспорт» работает на щепе собственного производства, которая образуется после пиления круглого лесоматериала (естественная влажность 50–55%). Поэтому имеющиеся температурные режимы разработаны под указанную естественную влажность исходного сырья.

Следующим этапом проводится доизмельчение высушенной древесины до фракции, подходящей для прессования. Доизмельчение выполняется на молотковой дробилке СРМ Champion с размером ячейки сит 5–7 мм.

Важную роль играет норма расхода вспомогательных добавок. Для проведения эксперимента в качестве вспомогательной добавки было выбрано природное вяжущее, традиционно присутствующее в растениях, – крахмал, в частности, кукурузный [5]. Согласно ISO 17225–2:2021 количество вводимых добавок не должно превышать 2% от массы. В ходе эксперимента была выбрана оптимальная норма расхода кукурузного крахмала. За оптимальную норму расхода была взята утвержденная норма расхода вспомогательных добавок на ООО «СВУДС экспорт» – 5 кг/т.

Основой процесса гранулирования древесины являются процессы плавления лигнина – одного из основных веществ, входящих в состав древесины, и его отвердевания. Применяемое оборудование – пресс-гранулятор СРМ 7932–5, оборудованный двумя роликами и кольцевой матрицей. Производительность данного оборудования составляет 4,5 т готовой продукции в час.

Завершающим этапом эксперимента стало охлаждение гранул в холодильных установках Champion в течение 45 мин при постоянном перемешивании для равномерного остывания. Для упаковки готовой продукции температура гранул не должна превышать 20–22°C согласно ISO 17225–2:2021.

В ходе эксперимента были подобраны технологические параметры работы оборудования, на основании которых была произведена партия топливных гранул класса А2 из низкосортной измельченной древесины (топливная щепа). Общий объем партии составил 54,5 т. В таблице указаны технологические параметры работы производственного оборудования.

Таблица

Параметры	Единица измерения	Количественный показатель
Температура ГТО	°С	950
Количество подаваемого материала	м ³ /т	10-12
Конечная влажность опилок	%	10-12
Загруженность пресса	%	90–95
Давление прессования	МПа	25-30
Температура перед прессом	°С	55
Норма расхода крахмала	кг/т	5,0

ЛИТЕРАТУРА

1. Древесина и древесные материалы: сб. ст. / Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР. Красноярск, 1974; 238 с.
2. Коробов В. В., Рушнов Н. П. Переработка низкокачественного сырья / М.: Экология, 1991. 288 с.
3. Solid biofuels – Fuel specifications – Part 2: Graded wood pellets: ISO 17225–2:2021. Geneva, ISO copyright office, 2021; 16 p.
4. Попов А. Н. Исследование процесса производства древесных гранул с целью повышения их энергетического использования: дис. ... канд. техн. наук. М., 2016. 151 с.
5. Скоринова Л. А. Обоснование состава топливных гранул и технологии подготовки древесных опилок для их производства: дис. ... канд. техн. наук. Йошкар-Ола, 2012. 152 с.

Е.В. Ручкина, ст. преп. (БГТУ, г. Минск);
Р.И. Кармишин, нач. техн. отдела индустр. технологий
(ООО «Колорфэктори, г. Минск»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦВЕТА ПИГМЕНТИРОВАННЫХ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ В ЦВЕТОВЫХ ПРОСТРАНСТВАХ Lab, RGB В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА ОСВЕЩЕНИЯ

Для деревообрабатывающих предприятий, изготавливающих крашеные фасады и дверные полотна из МДФ, точное измерение цвета и проверка его соответствия образцам-эталонам становится приоритетным в оценке качества работы по отделке. В настоящее время существуют современные методы и оборудование, которые позволяют достичь высокой точности контроля цвета.

Цвет – это трехмерная величина, определяемая координатами в колориметрических системах. Координаты цвета представляют собой количества основных цветов, необходимые для получения равенства цвета с измеряемым образцом.

Для удобства восприятия, оценки и сравнения результатов измерений цвета, Международной комиссией по освещению (МКО) было разработано несколько математических моделей цветовых пространств, описывающих весь видимый человеческим глазом диапазон цветов с различной насыщенностью и яркостью.

Наибольшее распространение получило цветовое пространство L^*a^*b и его модификации, представляющее все видимые цвета и оттенки в виде шара с осями L , a и b . При этом по оси L измеряется светлота (в диапазоне от 0 до 100%), отображая коэффициент спектрального отражения, по оси a измеряется красный-зеленый оттенок, по оси b оттенок желтый-синий (в диапазонах от -100 до +100). Цветовое пространство и результаты измерений может отображаться как в виде объемной фигуры, так и в 2-х мерном виде [1].

Любому видимому цвету в цветовом пространстве L^*a^*b будет соответствовать определенная точка с уникальными координатами (колориметрическими значениями). Полученные колориметрические значения удобны, как для визуальной оценки положения цвета в пространстве, светлоты и насыщенности цвета, так и для численного сравнения различных цветов и определения цветоразличия.

Для оценки цветового отклонения ΔE используют следующую формулу [2]:

$$\Delta E = \sqrt{(L_2 - L_1)^2 + (a_2 - a_1)^2 + (b_2 - b_1)^2},$$

где $L_1, a_1, b_1; L_2, a_2, b_2$ – координаты цвета образца-эталоны и сравниваемого образца соответственно в цветовом пространстве $L^*a^*b^*$.

В нормативных документах на производство мебели предельно допустимая ошибка цветоподбора не указывается, разные производители мебели устанавливают внутренние ограничения исходя из своих возможностей контролировать цвет.

В системе цветовых координат диапазон неразличимости цвета стандартным наблюдателем определяется уравнением $\Delta E=1$. Следовательно при $\Delta E < 1$ совпадение цвета образца в большинстве случаев считается допустимым, а при $\Delta E \leq 0,5$ совпадение считается отличным и это та граница, до которой цветовое отличие практически не заметно невооруженным глазом.

Поскольку восприятие цвета зависит от условий освещения и наблюдения, для визуальной спецификации совершенно необходимым является применение стандартных источников освещения. Чаще всего такие источники используют в составе так называемых цветых камер.

Цветовые камеры представляют собой набор стандартных источников освещения смонтированных в корпусе, обеспечивающим стандартный серый фон наблюдения образца и предотвращающий попадание в поле зрения постороннего «окрашенного» света. Как правило в цветых камерах установлены следующие источники освещения: имитация дневного света 5000K (D50) или 6500K (D65); флуоресцентный белый холодный 4150K (CWF); лампа накаливания тип А (2856K); флуоресцентное освещение торговых залов TL84; источник ультрафиолета (УФ), который может использоваться как отдельно, так и в комбинации с любым другим источником света для выявления и оценки оптических отбеливателей, флуоресцентных красителей или пигментов. Выбор между одним из источников нормального освещения или флуоресцентного должен быть основан на требованиях той или иной международной нормы.

В соответствии с классификацией, установленной изготовителями приборов цветоизмерительные приборы различаются по оптической геометрии измерения и способу определения координат цвета [1]. В данной работе изучается работа портативного прибора COLORPIN II, который предоставляет возможность сравнения цветов заготовок с эталонными материалами. Калибровка прибора и последующие измерения позволяют определить дельту цвета и предложить коррективы для достижения требуемой цветовой гаммы.

Первым шагом является калибровка портативного колориметра. Для этого прибор закрывается специальной крышкой для обеспечения

абсолютной темноты. После этого прибор автоматически производит калибровку при помощи белой калибровочной пластины и готов к измерениям. Затем осуществляется установка связи с колориметром через смартфон посредством Bluetooth. Далее выбирается эталонная заготовка, к которой плотно прислоняется прибор, обеспечивая отсутствие внешнего освещения. Через несколько секунд прибор сканирует ее цвет. Используя внутренний источник света, колориметр освещает поверхность образца под фиксированным углом 0° и тем самым исключают блеск для наиболее точного воспроизведения того, как видит цвет человеческий глаз.

Когда свет отражается (под углом 45°), он проходит через три фильтра: красный, зеленый и синий. Эти фильтры выделяют трехцветные колориметрические значения, соответствующие тому, как видят цвет наши глаза. Далее программа предлагает соответствующие координаты цвета в зависимости от их характеристик, и определяет наиболее близкий образец по RAL, NCS, либо иному каталогу цветов.

Для сравнения эталона с окрашенными заготовками производится их сканирование. Прибор позволяет быстро определить цветовую дельту между образцами и эталоном, и может определить насколько равномерно нанесена эмаль на поверхность. Программа имеет цветовую индикацию «критичности» ΔE : красным отмечается разница, которая хорошо видна глазом и покрытие требует колеровки; желтым – на усмотрение заказчика ($\Delta E \leq 1$); а зеленым цветом характеризуется разница, которой можно пренебречь, т.е. глазом она не должна быть заметна ($\Delta E \leq 0,5$).

Для проведения исследований использовали полиуретановые эмали, в качестве эталонов – международную цветовую картотеку RAL Classic. Выбор полиуретановых материалов для исследований основывается на том, что они пользуются наибольшей популярностью для отделки изделий из МДФ, так как обладают высокими эксплуатационными и технологическими показателями.

К основным достоинствам полиуретановых материалов относятся высокие твердость, химстойкость, водостойкость, хорошая адгезия к различным материалам и адгезия, декоративность, а также хорошая совместимость с различными лакокрасочными материалами. Испытания по определению цвета лакокрасочных покрытий проводились на стеклянных образцах. Подготовка образцов к нанесению лакокрасочных покрытий и проведению испытаний осуществлялась в соответствии с требованиями ГОСТ 8832. Результаты измерений представлены в таблице.

Таблица – Сравнение результатов определения цвета пигментированных полиуретановых покрытий при помощи колориметра

Сравниваемые ЛКП	Координаты цвета в цветовом пространстве L^*a^*b			Цветовое отклонение ΔE	Разница цветовых координат		
	L	a	b		ΔL	Δa	Δb
Эталон RAL 2004 Pure orange	237,59	83,97	0,00	1,25	6,00	-2,01	0,00
Образец 1	243,59	81,96	0,00				
Эталон RAL 5014 Sku blue	12,41	132,51	197,11	0,67	-12,41	-1,58	-1,03
Образец 2	0,00	130,93	196,08				
Эталон RAL 5018 Turquoise blue	31,5	140,00	156,16	1,22	-23,73	0,95	-0,64
Образец 3	7,77	140,95	155,53				

Исследование показало, что спектрофотометрический анализ с использованием портативного колориметра COLORPIN II является эффективным инструментом для сравнения цветовых характеристик материалов.

Калибровка прибора и последующие измерения позволяют определить дельту цвета и предложить корректировки для достижения желаемой цветовой гаммы. Дальнейшие исследования могут быть направлены на расширение диапазона материалов и определение оптимальных параметров корректировки цвета для различных приложений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Значение цвета LAB [Электронный ресурс] / pantone.ru. – URL: <https://pantone.ru/articles/lab-color-space> (дата обращения: 10.01.2024).
2. Формула цветового отличия [Электронный ресурс] / wikipedia.ru. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Формула_цветового_отличия (дата обращения: 10.01.2024).

С.А. Прохорчик, доц., канд. техн. наук;
Е.В. Ручкина, ст. преп.;
С.С. Гайдук, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

ОСОБЕННОСТИ ОТДЕЛКИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ПОВЕРХНОСТИ

Невозможно заниматься отделкой древесины и древесных материалов, не учитывая некоторые особенности их строения.

Древесина имеет слоистое строение. Заболонь и ядро основные зоны древесного ствола, из которых изготавливается мебель и ССИ. Заболонь и ядро схожи по своему строению, но некоторые отличия все же имеются. Обычно на торцевом срезе ядро выглядит как более темный участок, который имеет более высокую механическую прочность, вследствие того, что в ядре запасается меньше питательных веществ, чем в заболони. Следовательно, заболонь более подвержена заражению грибками и микроорганизмами.

Все древесные породы делятся на ядровые и заболонные. Заболонные породы, например, бук и клен, не образует ядро вообще, поэтому они имеют меньшую стойкость к биологическим поражениям. Ядровые породы (дуб, ясень, лиственница и др.) состоят одновременно из ядра и заболони. Ядро у таких пород значительно больше по размеру, чем заболонь (заболонь имеет размер от одного до десяти сантиметров). Соответственно, если стоит выбор отделки конструкций, эксплуатируемых снаружи помещения (домостроение, окна), то предпочтительно выбирать более стойкие ядровые породы.

Также при выборе древесной породы необходимо учитывать различную стойкость ее ядровой и заболонной зон к гниению. Согласно данным, указанным в таблице [1], можно увидеть, что для лиственницы коэффициент стойкости ядровой части составляет 9,1. В тоже время стойкость ее заболонной части равна 3,1. Как видим разница в значениях очень существенная. Для ясеня стойкость ядровой части составляет 4,9, а стойкость заболонной зоны – 4,6. Здесь различия имеются, но они не настолько выражены. Для древесины дуба, очень популярной и широко используемой породы, коэффициент стойкости к гниению ядровой части равен 5,2, заболонной – 2,2. Таким образом стойкость к биологическим поражениям ядровой и заболонной зон древесины одной породы может значительно различаться и это необходимо учитывать при изготовлении того или иного изделия. Рассматривая отделку заготовок из сосны необходимо отметить,

что древесина ее ранних и поздних зон отличается по своей твердости. В случае бука эта разница не очень велика [1].

Этим свойством можно воспользоваться для получения декоративного эффекта. Например, производя операцию браширования сосновых деталей при помощи стальных щеток с металлическим ворсом, выбирается мягкая древесина ранних слоев, а поздняя древесина остается практически без изменений. При этом на поверхности создается рельеф, которого изначально не было. Далее этот эффект можно подчеркнуть, используя отделку патиной.

Ствол древесины имеет коническую форму и в зависимости от вида ее распила можно получить следующие виды среза: торцевой (редко используемый), радиальный, полурadiальный и тангенциальный. Сравнивая тангенциальный и радиальный срез необходимо указать на преимущество того или иного вида. С эстетической стороны рисунок волокон на заготовках с тангенциальным срезом получается более красивым. Однако стойкость к растрескиванию и короблению у них ниже. Происходит это потому, что древесина является неоднородным материалом и в зависимости от влажности воздуха ее линейные размеры изменяются по-разному в разных направлениях. В радиальном направлении это изменение составляет 5%, а в тангенциальном – 10%. Следовательно, если использовать заготовку радиального распила, то она будет изменяться в размере при поглощении влаги равномерно, и коробление и изгиб при этом не будет происходить. А на деталях, изготовленных с тангенциальным срезом происходит неравномерное изменение размеров, что приводит к их короблению и деформации. Это необходимо учитывать при эксплуатации изделий с большим перепадом изменения влажности, например, в ванных комнатах.

Помимо влаги в древесине содержатся различные вещества, такие как смолы, масла, камеди, танины и др. Эти вещества так или иначе препятствуют отделке изделий. Например, в случае отделки мебельных деталей из сосны, необходимо использовать специальные изолирующие грунты, предотвращающие экстракцию смолы из подложки в лакокрасочное покрытие. Камеди – это водорастворимые смолы, содержащиеся в лиственнице. Проблема отделки деталей из лиственницы возникает при использовании водорастворимых лакокрасочных материалов. Камедь, содержащаяся в лиственнице, растворяется в таком лакокрасочном покрытии и образуются характерные дефекты в виде желтых пятен. Одним из распространенных дефектов при отделке древесины дуба водорастворимыми лакокрасочными материалами является проступание сквозь покрытие желтых и коричневатых пятен. **Причина их появления** – танины, вещества класса поли-

фенолов, которые содержатся в древесине дуба, ясеня, бука и некоторых других. Танины водорастворимы, поэтому при использовании водоразбавимых грунтов или эмалей, они легко переходят из древесины в лакокрасочный слой. Результатом выхода танинов могут стать не только пятна, но и потемнение на месте пор, разные оттенки на участках заготовки, особенно если она облицована полосами строганого шпона с разным содержанием танинов. Для решения этой проблемы некоторые компании предлагают использовать специальные добавки в грунтах и эмалях, препятствующие всплыванию танинов в лакокрасочное покрытие [2].

Экзотические сорта древесины такие как палисандр содержат большое количество масел. При отделке полиэфирными материалами масла экстрагируются в лакокрасочное покрытие и препятствуют его полимеризации. В результате отверждение лакокрасочного покрытия по толщине слоя будет не одинаковым. Сверху пленка высыхает, а внутри процесс полимеризации замедляется или совсем останавливается. Этого избежать можно, предварительно нанося специальные барьерные грунты. К тому же все экстрактивные вещества, содержащиеся в древесине способны эмигрировать на ее поверхность со временем, поэтому после шлифования поверхности заготовок время от шлифования до нанесения последующего слоя лакокрасочного материала не должно превышать четырех часов.

Шпон – тонкий слой древесины толщиной от 0,4 до 10 мм, получаемый двумя способами: лущения и строгания. Для производства мебели и ССИ наиболее часто используют строганный шпон. Лущеный шпон применяется в основном для производства фанеры и восстановленного шпона. Если сравнивать отделку шпона и массива одной породы, необходимо учитывать разную способность материалов впитывать ЛКМ. Установлено, что массив древесины впитывает лакокрасочные материалы меньше чем шпон. Это связано с тем, что при строгании шпон получается более рыхлым, и, например, при нанесении красителя одновременно на массив бука и заготовку, облицованную строганным шпоном бука, может появиться такой дефект как разнооттеночность. Поскольку масса массива древесины значительно больше, чем у шпона, следовательно, ее внутренняя часть является некоторым аккумулятором влаги. При изменении влажности внутри помещения, деталь из массива способна выровнять свою влажность по толщине без изменения размеров и коробления. Шпон при этом будет реагировать более чутко. Разные породы изменяют свою влажность по-разному. Это связано со скоростью впитывания влаги. Например, такие породы как бук и клен являются сильно гигроскопичными, а дуб,

наоборот, очень стабилен во влажных условиях и его линейные размеры изменяются очень незначительно.

При отделке деталей из МДФ следует учитывать особенности его строения. Волокна, из которых состоит МДФ имеют определенную ориентацию и разную плотность. Наружные слои имеют более высокую плотность, чем внутренний средний слой. Это приводит к тому, что при нанесении лакокрасочных материалов торцы и фрезерованные части, где обнажен рыхлый внутренний слой, сильно сорбируют ЛКМ. Это приводит к увеличению расхода ЛКМ и повышенной просадки материала с образованием неровностей. Из-за расположения волокон вдоль плоскости плиты разбухание МДФ при поглощении ЛКМ происходит не одинаково. В продольном направлении оно незначительное, а в поперечном (по толщине) – наоборот. Поэтому для получения покрытия высокого качества на деталях из МДФ необходимо в качестве первого слоя использовать изоляционный грунт. Качественный грунт-изолятор обеспечит надежную влагоизоляцию деталей из МДФ, высокую плотность поверхности под покрытием и адгезию между лакокрасочными слоями и плитой.

Дополняя тему подложек из шпона и массива необходимо упомянуть восстановленный или так называемый шпон Fine-Line. Этот шпон производится из мягких сортов древесины тополя или осины. Сложности, возникающие при отделке такого шпона, связаны с технологией его производства. На первом этапе производства из заготовки получают лущеный шпон. Затем листы полученного шпона подвергают сквозному крашению, склеивают в многослойные блоки, и далее строгают под разными углами. При этом получается натуральный восстановленный шпон яркой расцветки или со сложным геометрическим рисунком. Основные задачи при отделке изделия с восстановленным шпоном – обеспечить хорошую смачиваемость пористой поверхности лаком, надежно защитить шпон от обесцвечивающего действия ультрафиолета. С этими задачами хорошо справляются специальные акриловые лакокрасочные материалы с хорошей смачивающей способностью и невысоким сухим остатком (30-35%).

ЛИТЕРАТУРА

1. Пособие технолога по лаковой отделке. М.: ООО «Лига», 2016. 124 с.

2. Побеждаем танины [Электронный ресурс] / sayerlack.by. – URL: <https://sayerlack.by/919.html> (дата обращения: 10.01.2024).

3. Что изменится, если при отделке МДФ не использовать грунт-изолят [Электронный ресурс] / sayerlack.by. – URL: <https://sayerlack.by/1011.html> (дата обращения: 10.01.2024).

И.Г. Федосенко, доц., канд. техн. наук;
Я.П. Жарская, соискатель, маг. техн. наук;
Е.В. Дубоделова, доц., канд. техн. наук;
И.И. Веретиков, ст. преп.
(БГТУ, г. Минск)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ЛЬНА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТОПЛИВНЫХ ГРАНУЛ

В качестве сырья была выбрана стружка от хвойной древесины после строгальных станков и костра льна (рисунок 1). Особенностью такой стружки является малый размер по толщине и значительно большие размеры по длине и ширине. Насыпная плотность древесных частиц составила лишь 71 кг/м³. Костра льна имела также невысокую насыпную плотность до 105 кг/м³. Все это делает эффективным сжатие объема подобного вида отходов в процессе прессования в топливо и дает ощутимое преимущество в транспортировке.



**Рисунок 1 – Внешний вид сырьевой массы древесной стружки (а)
и костры льна (б)**

Стружка с производства имела долю влаги 12,5 %, а костра льна – 9,2 %. После отсева, выделяли фракцию с размерами частиц до 4 мм, которая и использовалась для изготовления гранул.

Прессование производили на прессе-грануляторе SKJ-200 с плоской матрицей, имеющейся в лаборатории кафедры технологии деревообрабатывающих производств. Пресс оснащен матрицей с отверстиями 6 мм и двумя рифлеными катками, установленными на крестовине. Прижим катков осуществляется при помощи затягивания гайки, притягивающей крестовину к поверхности матрицы.

Было получено примерно по 2 дм³ гранул с чистым содержи-

ем древесины и в соотношении 1:1 древесина-лен. Были сделаны попытки получить чисто льняные гранулы, но ввиду особенности сырья их спрессовать за один проход не удалось. При добавлении крахмала в пресс-массу во время прессования, равномерно распределяя по всему объему прессуемого материала, также гранулы не прессовались. Они получились лишь за несколько проходов через пресс, что не является экономически-эффективным процессом.

Фотографии с гранулами из чистой древесины, равной смеси со льном и чистым льном представлены на рисунке 2.

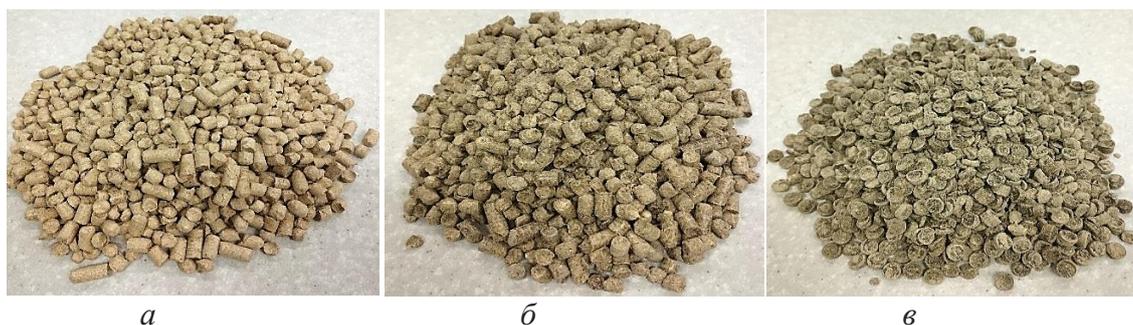


Рисунок 2 – Внешний вид гранул из: древесной стружки (а), льняной костры (в) и их равной смеси (б)

Результаты оценки качества гранул показаны в таблице.

Таблица – Результаты испытаний

Показатель	Величина показателя			
	единица измерения	состав		
		стружка хв. пород	стружка + ко-стра (равной массой)	костра льна
Влажность исходного сырья	%	12,5	12,1	9,15
Фракция, использованная для получения гранул	мм	3,25	4	5
Температура гранул	°С	18	18	18
Влажность гранул	%	3,8	6,3	4,8
Насыпная плотность сырья	кг/м ³	71	–	105
Насыпная плотность гранул	кг/м ³	712	705	744
Содержание мелочи	%	7,6	10	10,2
Диаметр гранул	мм	6	6	8
Длина гранул	мм	13	13	5
Механическая прочность	%	84,6	90	89,8
Содержание вспомогательных связующих веществ или примесей	%	–	–	20 (крахмал)

Влажность оценивалась по ГОСТ 32975.2 (EN 14774-2) [1] и ISO 18134-2 [2]. Насыпная плотность – по ГОСТ 32987 (EN 15103) [3] и

ISO 17828 [4]. Содержание мелочи – по ISO 5370 [5]. Диаметр и длина гранул – по ГОСТ 34089 [6] и ISO 17829 [7]. Механическая прочность – по ГОСТ 34090.1 [8] и ISO 17831-1 [9].

Результаты испытаний гранул на механическую прочность не показали особого преимущества чистых гранул над комбинацией с кострой льна. Изменение влажности после прессования также показывает, что костра является менее пористым материалом по сравнению с древесиной и обладает меньшей эластичностью.

Добавление в качестве связующего кукурузного крахмала не решает проблему прессования гранул из чистой костры льна. Для эффективного прессования следует искать другие типы органического связующего, которое, при этом, не ухудшит экологический статус гранул.

ЛИТЕРАТУРА

1. Биотопливо твердое. Определение содержания влаги высушиванием. Часть 2. Общая влага. Ускоренный метод : ГОСТ 32975.2-2014. (EN 14774-2:2009). – Введ. 21.04.2015. – Москва : Росстандарт, 2015. – 7 с.

2. Solid biofuels. Determination of moisture content. Oven dry method. Part 2: Total moisture. Simplified method : ISO 18134-2:2017. – Введ. 11.01.2017. – Технический комитет ISO/TC 238, 2017. – 5 с.

3. Биотопливо твердое. Определение насыпной плотности : ГОСТ 32987-2014 (EN 15103:2009). – Введ. 01.04.2016. – Москва : Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 2017. – 11 с.

4. Solid biofuels. Determination of bulk density : ISO 17828:2015 – Введ. 12.01.2016. – Технический комитет ISO/TC 238, 2017. – 8 с.

5. Solid biofuels. Determination of fines content in pellets : ISO 5370:2023 – Введ. 31.01.2023. – Технический комитет ISO/TC 238, 2023. – 26 с.

6. Биотопливо твердое. Определение длины и диаметра пеллет : ГОСТ 34089-2017 – Введ. 11.08.2017. – Москва : Росстандарт, 2017. – 11 с.

7. Solid Biofuels. Determination of length and diameter of pellets : ISO 17829:2015 – Введ. 15.10.2015. – Технический комитет ISO/TC 238, 2015. – 12 с.

8. Биотопливо твердое. Определение механической прочности пеллет и брикетов. Часть 1. Пеллеты : ГОСТ 34090.1-2017 – Введ. 11.08.2017. – Москва : Росстандарт, 2017. – 12 с.с– Технический комитет ISO/TC 238, 2015. – 7 с.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ВЕЛИЧИНЫ РАСХОДА
ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ
ПРИ ПРОГРЕВЕ ДРЕВЕСИНЫ В НЕНАСЫЩЕННОЙ СРЕДЕ**

Деревообрабатывающая промышленность является одной из традиционных отраслей экономики Республики Беларусь. Пути повышения эффективности использования древесины неразрывно связаны с многочисленными исследованиями, необходимыми для разработки и внедрения прогрессивных инновационных технологий, позволяющих сокращать энергетические затраты, снижать образование значительного количества отходов и повышать качественные характеристики готовой продукции, что в конечном итоге позволяет получать конкурентоспособную продукцию с высокой добавленной стоимостью. Одним из наиболее энергозатратных этапов деревообработки является сушка пиломатериалов. При этом существенная часть энергии расходуется не на саму сушку, а на проведение обязательной операции начального прогрева. Доля энергозатрат на начальный прогрев материала варьирует в диапазоне 9–16%, существенно возрастая в зимний период.

Известно, что при прогреве древесины в ненасыщенной среде имеет место испарение влаги с поверхности пиломатериалов. Данный факт свидетельствует о том, что тепловая энергия тратится не только на прогрев, но и на испарение влаги.

С целью повышения технико-экономической эффективности процесса начального прогрева древесины в ненасыщенной среде следует установить зависимость величины расхода тепловой энергии от технологических факторов.

Технологические факторы, оказывающие прямое влияние на механизм начального прогрева, были распределены на переменные и постоянные.

В качестве *постоянных факторов* выступали:

- толщина S , мм экспериментальных образцов;
- начальная влажность образцов из древесины сосны $W_{\text{нач}}$, %;
- начальная температура образцов из древесины сосны t_0 , °С.

Переменными факторами являлись основные параметры режима прогрева – это температура $T_{\text{ср}}$, °С и степень насыщенности обрабатываемой среды φ . Кроме этого, взаимосвязь между параметрами агента обработки ($T_{\text{ср}}$ и φ) в современных системах контроля сушить-

ных камер отображена как значение равновесной влажности W_p , % (или ЕМС).

Расчетная формула для определения расхода тепловой энергии при прогреве древесины в среде с $\varphi < 1$ для среднегодовых условий имеет следующий вид:

$$q_{\text{пр}} = c' \cdot D \cdot (t_{\text{нп}} - t_{0\text{возд}}) + i \cdot D + \rho_d \cdot c_d \cdot (t_{\text{нп}} - t_{0\text{др}}) \cdot E_{\text{шт}}, \text{кДж} \quad (1)$$

где ρ_d – плотность древесины расчетного материала, кг/м³; c' – удельная теплоемкость воды, кДж/(кг·°С); c_d – удельная теплоемкость древесины в диапазоне температур от t_0 до $t_{\text{нп}}$, кДж/(кг·°С); D – масса влаги, испаряемой за время начального прогрева, кг; $E_{\text{шт}}$ – вместимость камеры в пиломатериалах, м³; t_0 – начальная температура древесины, °С; $t_{\text{нп}}$ – температура начального прогрева, °С.

При прогреве замороженной древесины количество теплоты q складывается из ее затрат на нагревание замороженной древесины от начальной отрицательной температуры до 0°С, плавление содержащегося в древесине льда и нагревание древесины до температуры начального прогрева и рассчитывается по следующей формуле:

$$q_{\text{пр}} = \rho_d \cdot c_{(-)} \cdot (-t_0) + \rho_b \cdot \frac{W_n - W_{\text{сж}}}{100} \cdot \gamma + c' \cdot D \cdot (t_{\text{нп}} - t_{0\text{возд}}) + i \cdot D + \rho_d \cdot c_d \cdot (t_{\text{нп}} - t_{0\text{др}}) \cdot E_{\text{шт}}, \text{кДж} \quad (2)$$

где $W_{\text{сж}}$ – содержание воды, оставшейся в замороженной древесине в жидком состоянии, %; γ – скрытая теплота плавления льда, 335 кДж/кг.

Результаты исследований представлены в виде диаграмм на рисунках 1-4, отражающих влияние технологических факторов на расход тепловой энергии при прогреве древесины в ненасыщенной среде.

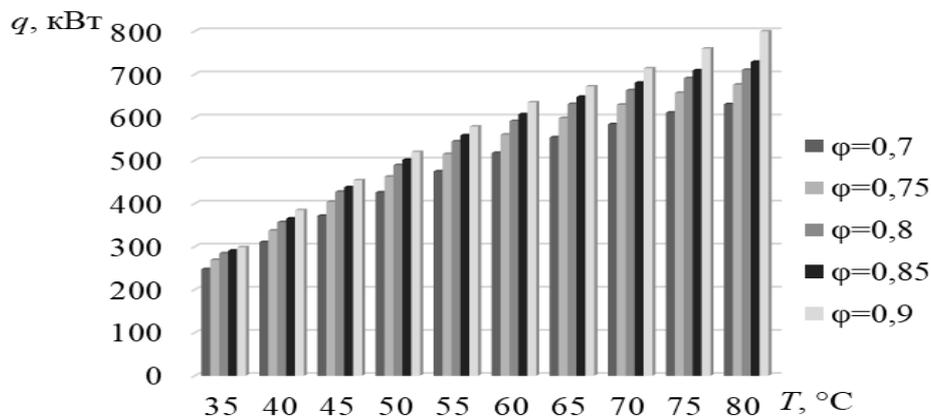


Рисунок 1 – Зависимость величины расхода тепловой энергии от параметров обрабатываемой среды: температуры прогрева T , °С и степени насыщенности φ

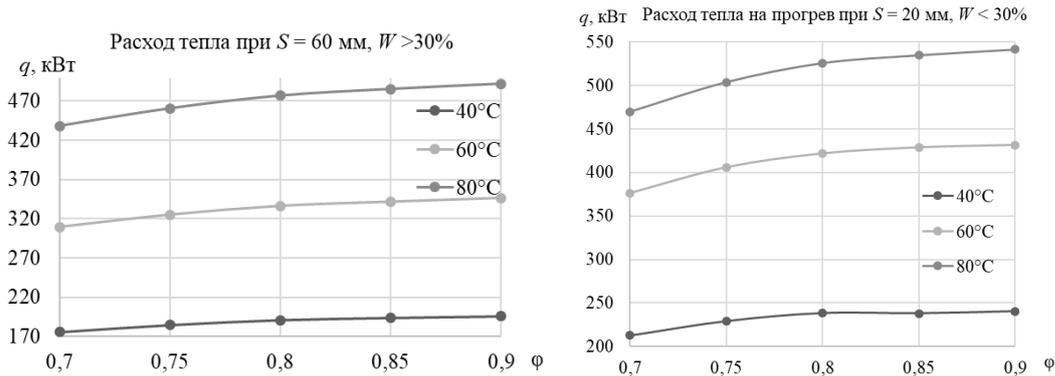


Рисунок 2 – Зависимость величины расхода тепловой энергии от толщины пиломатериала S , мм и начальной влажности $W_{нач}$, %

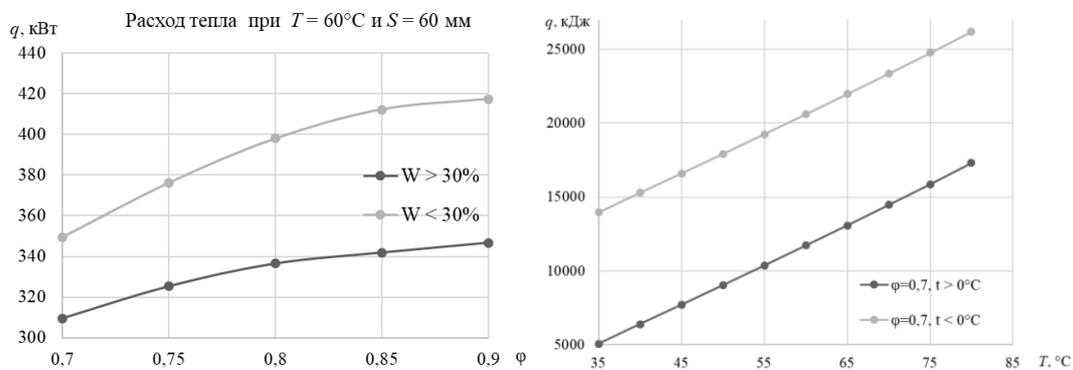


Рисунок 3 – Зависимость величины расхода тепловой энергии от начальной влажности $W_{нач}$, % и начальной температуры пиломатериалов t_0 , °C

Анализ результатов исследований свидетельствует, что наибольшее влияние на величину расхода тепловой энергии оказывает температура прогрева $T_{прог}$, °C; толщина S , мм, начальная влажность W , % и начальная температура t_0 , °C пиломатериалов. Изменение величины расхода тепловой энергии при увеличении степени насыщенности обрабатываемой среды оказалось незначительным.

Следует отметить, что при начальной влажности $W < 30\%$ расход тепловой энергии при прогреве больше на 17%, чем для пиломатериалов с начальной влажностью $W > 30\%$. Полученный результат можно объяснить тем, что в период прогрева в ненасыщенной среде значительная часть энергии тратится на испарение влаги из поверхностных слоев древесины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рудак О. Г. Исследование параметров технологии начального прогрева древесины в ненасыщенной среде // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 268–276.

**ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ АГЕНТА ОБРАБОТКИ НА
ВЕЛИЧИНУ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ
В ПЕРИОД ПРОГРЕВА ДРЕВЕСИНЫ
В НЕНАСЫЩЕННОЙ СРЕДЕ**

Технологический процесс сушки древесины состоит из нескольких операций, первой из которых является начальный прогрев. Начальный прогрев проводится с целью доведения температуры высушиваемого материала до уровня температуры сушильного агента.

В Республике Беларусь эксплуатируются сушильные камеры отечественного и зарубежного производства, теплоносителем и увлажнителем в которых является вода. В таких камерах степень насыщенности среды φ поддерживается на уровне 0,8–0,85 ($\Delta t = 2,5–3,5$).

Для создания требуемых параметров режима прогрева в сушильную камеру через увлажнительную систему подается распыленная вода достаточно высокой степени диспергирования. Испаряясь, эта вода доводит степень насыщенности воздуха в камере до требуемого значения. Заданная температура обеспечивается работой калориферов.

Следует принимать во внимание и тот факт, что при прогреве древесины в ненасыщенной среде возникает испарение влаги с поверхностных слоев. Возникающий при этом перепад влажности по толщине пиломатериалов приведет к появлению внутренних напряжений в древесине и даже может вызвать их растрескивание.

Целью данной работы было установление характера и величины внутренних напряжений в древесине в период прогрева в ненасыщенной среде и оценка безопасности данного процесса с точки зрения обеспечения целостности прогреваемой древесины.

Для проведения аналитических исследований были приняты следующие исходные данные. Сушильная камера – LAUBER, которая имеет внутренний объем $V = 477 \text{ м}^3$ и вместимость $E = 100–155 \text{ м}^3$. В качестве прогреваемого материала рассматривали сосновые пиломатериалы толщиной 20, 40 и 60 мм, имеющие начальную влажность $W_n > 30\%$ и $W_n < 30\%$.

Расчет количества влаги D , кг испарившейся из древесины, и глубины испарения x , мм производили для степени насыщенности обрабатываемой среды 0,70; 0,75; 0,80; 0,85; 0,9 и при возрастающей

температуре от 35°C до 80°C. Результаты исследований представлены в виде групповых диаграмм на рисунках 1 и 2.

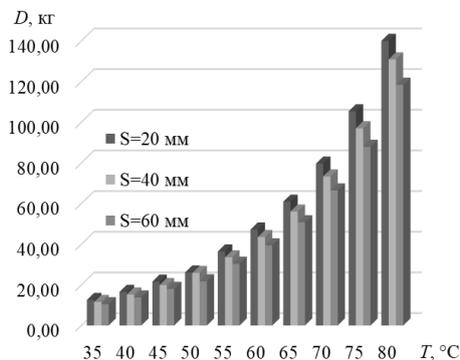


Рисунок 1 – Влияние температуры прогрева T , °C и толщины пиломатериала $S=40$ мм на количество испарившейся влаги D , кг

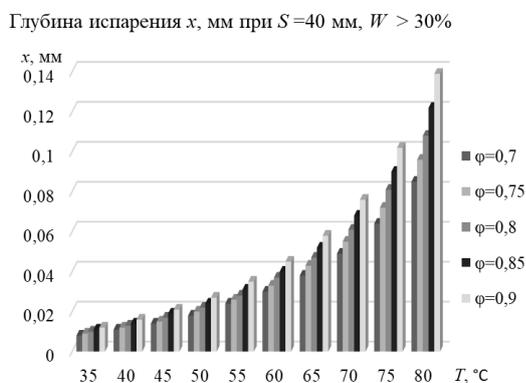


Рисунок 2 – Влияние температуры прогрева T , °C и степени насыщенности обрабатывающей среды ϕ на глубину испарения x , мм

Анализ полученных диаграмм показывает, что количество влаги, которое должно испариться из древесины для того, чтобы обеспечить нужную степень насыщенности, быстро увеличивается с ростом температуры обрабатывающей среды. Это объясняется тем, что с повышением температуры увеличивается влагоемкость воздуха и, соответственно, скорость испарения влаги с поверхностных слоев древесины. Следует отметить, что с ростом температуры увеличивается глубина испарения влаги из древесины (увеличивается зона испарения). Также на диаграммах видно, что чем больше степень насыщенности среды, тем больше влаги должно быть камере и тем большее значение имеет глубина испарения. Аналогичные зависимости были получены для других условий данного исследования.

Известно, что древесина подвергается усушке, если ее влажность меньше влажности предела насыщения клеточных стенок. При прогреве в ненасыщенной среде происходит сушка поверхностных слоев древесины. Соответственно, если влажность поверхностных

слоев меньше влажности предела насыщения клеточных стенок, то они испытывают деформации растяжения. Для вышеописанного напряженно-деформированного состояния древесины Уголевым Б. Н. была предложена формула (1) для расчета величины влажностных напряжений [1]:

$$\sigma = \alpha \cdot \dot{A}_0 \cdot (1 + \beta \cdot \Delta W) \times \left[\Delta W - \frac{\Delta W_{\max} \cdot x \cdot (1 + \frac{2}{3} \cdot \beta \cdot \Delta W_{\max})}{2R + \beta \cdot \Delta W_{\max} \cdot x} \right], \text{ МПа} \quad (1)$$

где α – коэффициент усушки, β – коэффициент, учитывающий зависимость модуля упругости E от перепада влажности; ΔW – перепад влажности, %; ΔW_{\max} – максимальный перепад влажности, %; x – глубина испарения, мм; R – половина толщины доски, мм.

Результаты расчетов величины внутренних напряжений, возникающих в древесине в процессе прогрева в ненасыщенной среде по вышеприведенной формуле отражены в виде диаграммы на рисунке 3.

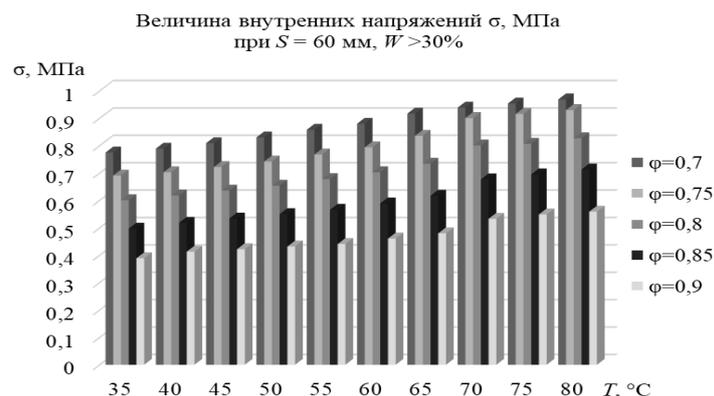


Рисунок 3 – Влияние температуры прогрева T , °C и степени насыщенности обрабатывающей среды ϕ на величину внутренних напряжений σ , МПа

Анализ вышеприведенной диаграммы показывает, что с увеличением температуры обрабатывающей среды внутренние напряжения в древесине возрастают. Однако они не превышают допустимого значения $\sigma = 5,4$ МПа и, более того, меньше его в 8–10 раз. Возрастание степени насыщенности обрабатывающей среды при одинаковой температуре позволяет уменьшить величину внутренних напряжений в древесине, а значит, делает процесс начального прогрева более безопасным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Уголев, Б. Н. Деформативность древесины и напряжения при сушке. М.: Лесная пром-сть, 1971. 264 с.

Т.А. Машорипова, ассист.;
С.А. Гриневич, доц., канд. техн. наук;
А.Ф. Аникеев, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКОЙ СЕТКИ ОПЫТОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПРОЦЕСС СВЕРЛЕНИЯ ЛАМИНИРОВАННЫХ ДСтП

Механическая обработка древесных материалов, особенно ламинированных ДСтП, связана с фундаментальной проблемой поддержания качества продукции. Неоднородная структура материала, разная его плотность и различное количество клея на вертикальном поперечном сечении говорит о том, что качество поверхности должно быть очень точным и его необходимо контролировать. На практике этот процесс должен происходить в режиме реального времени. Возможность для контроля этого процесса в режиме онлайн может дать визуальная система контроля качества.

Все возникающие при сверлении усилия могут быть разложены по направлению оси сверла и направлению, касательному к окружности резания (вращения). Первые составляющие создадут осевое усилие $F_{ос}$, а вторые – крутящий момент $M_{кр}$. Этими двумя величинами принято характеризовать силовые показатели процесса сверления [1].

Качество сверления характеризуется величиной неровностей на стенках отверстия, величиной сколов и вырывов на поверхностях входа и выхода сверла и степенью подгорания стенок отверстия. Наиболее сложно выбрать технологические режимы для обработки хрупкого и очень твердого ламината с двух сторон рассматриваемого материала. На процесс резания древесины и древесных материалов оказывает влияние много факторов, среди которых можно выделить три основные группы [1, 2]:

1) факторы, относящиеся к исследуемому материалу (физико-механические свойства Л-ДСтП);

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). Обработка древесины и древесных материалов методом сверления остается значимым технологическим процессом в столярно-строительном и мебельном производствах.

Для фундаментальных исследований обычно используется однофакторное планирование, а для прикладных и промышленных исследований рекомендуется математическое планирование эксперимента.

Планы экспериментов для исследования процессов резания древесины и древесных материалов описаны в работе А. А. Пижурин и М. С. Розенблита [2].

Планируется провести ряд экспериментов используя метод математического планирования, который позволит получить достоверные модели процесса сверления с учетом качества и мощности [2].

Переменные факторы, относящиеся к обрабатываемому материалу, по своим разнообразным сочетаниям требуют значительных затрат. Например, при изготовлении древесно-стружечных плит возможен процент связующего от 4 до 12 %. Изучение влияния такого фактора требует создания специальной лабораторной установки на изготовление образцов древесно-стружечных плит, что практически не осуществимо вследствие сложности выполнения технологических требований получения данного древесного материала

В качестве переменных факторов будут выбраны скорость подачи, частота вращения инструмента, диаметр инструмента и толщина плиты. Выходной параметр – мощность резания $P_{рез}$, кВт и качество обрабатываемого отверстия (отсутствие сколов на входе и выходе сверла). В качестве постоянного фактора принята острота режущей кромки, несмотря на то, что этот показатель оказывает влияние на рост силы резания по задней поверхности режущего элемента и образование дефектов обработки. В данном случае, учитывая значительные отличия в характере затуплений, использован прием регистрации выходных показателей процесса резания в момент образования дефектов на обработанной поверхности.

Факторы проведения эксперимента и методическая сетка экспериментальных данных с указанием переменных факторов в кодированном и явном выражении представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1 – Факторы проведения эксперимента

Переменный фактор	Уровни варьирования		
	Верхний (+1)	Основной (0)	Нижний (-1)
Толщина плиты, мм, [X ₁]	26	18	10
Диаметр сверла, мм, [X ₂]	12	10	8
Скорость подачи м/мин, [X ₃]	7	5	3
Частота вращения инструмента, мин ⁻¹ , [X ₄]	8000	6000	4000

Таблица 2 – Методическая сетка экспериментальных данных

№ опыта	Переменные факторы в кодированном выражении				Переменные факторы в явном выражении			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	h, мм, [X ₁]	d, мм, [X ₂]	V _s , м/мин, [X ₃]	n, мин ⁻¹ , [X ₄]
1	–	–	–	–	10	8	3	4000
2	+	–	–	–	26	8	3	4000
3	–	+	–	–	10	12	3	4000
4	+	+	–	–	26	12	3	4000
5	–	–	+	–	10	8	7	4000
6	+	–	+	–	26	8	7	4000
7	–	+	+	–	10	12	7	4000
8	+	+	+	–	26	12	7	4000
9	–	–	–	+	10	8	3	8000
10	+	–	–	+	26	8	3	8000
11	–	+	–	+	10	12	3	8000
12	+	+	–	+	26	12	3	8000
13	–	–	+	+	10	8	7	8000
14	+	–	+	+	26	8	7	8000
15	–	+	+	+	10	12	7	8000
16	+	+	+	+	26	12	7	8000
17	–	0	0	0	10	10	5	6000
18	+	0	0	0	26	10	5	6000
19	0	–	0	0	18	8	5	6000
20	0	+	0	0	18	12	5	6000
21	0	0	–	0	18	10	3	6000
22	0	0	+	0	18	10	7	6000
23	0	0	0	–	18	10	5	4000
24	0	0	0	+	18	10	5	8000

В результате эксперимента планируется разработать технологические режимы, позволяющие получить требуемое качество продукции с минимальными энергозатратами и максимальной производительности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цуканов Ю.А., Амалицкий В.В. Обработка резанием древесно-стружечных плит. М.: Лесная промышленность, 1966. 94 с
2. Любченко, В.И. Резание древесины и древесных материалов: Учебное пособие для вузов / В.И. Любченко. – М.: Лесная промышленность, 1986. – 296 с.
3. Пижурин А.А. Роземблит М.С. Исследования процессов деревообработки. М.: Лесн. пром-сть, 1984. – 232 с.

ЭКОЛОГИЧНОЕ ОТБЕЛИВАНИЕ ДРЕВЕСИНЫ

В настоящее время на рынке Беларуси представлено большое количество средств для отбеливания древесины. Наиболее широко используемыми составами являются: отбеливатель для дерева Сенеж ЭФФО (производство – ООО «Сенеж-Препараты»), отбеливатель для древесины Белмастер Нео (производство – ООО «Сталькон групп»), отбеливающий и защитный комплекс для древесины «Иней» (производство – ООО «НПП Рогнеда»), отбеливатель древесины NEOMID 500 (производство – ООО «ЭКСПЕРТЭКОЛОГИЯ») и др. Основными компонентами всех вышеперечисленных составов являются хлорсодержащие соединения. Для отбеливания древесины чаще всего используется гипохлорит натрия, который разводится в различных соотношениях с водой для получения отбеливающего раствора. Дополнительно могут вводиться стабилизаторы, активаторы, поверхностно-активные вещества и другие вспомогательные компоненты.

Отбеливающие составы на основе хлора удаляя синеву с поверхности древесины разрушают ее структуру и приводят к удалению из древесины смолистых и дубильных веществ. В результате обработки древесины такими составами происходит изменение ее естественного цвета на серо-белый. Несмотря на то, что на сегодняшний день хлорсодержащие составы наиболее широко используются для отбеливания древесины, одним из основных негативных факторов их использования является то, что они очень вредны для здоровья.

Токсикологические и физико-химические свойства хлора являются основными поражающими факторами при его выбросах [1]. Хлор оказывает раздражающее воздействие на глаза и органы дыхания. При вдыхании может вызывать судорожный кашель, а в тяжелых случаях спазм голосовых связок и отек легких. Также при попадании в организм концентрированных испарений хлора, могут развиваться различные заболевания дыхательных путей и внутренних органов. Хлор может оказывать сковывающее воздействие на центральную нервную систему. В газообразном состоянии он может оказывать раздражающее действие на влажную кожу, вызывая ее покраснение [2]. В связи с этим сложно заранее предугадать какое негативное воздействие могут оказать те или иные хлорсодержащие составы на организм человека при регулярном и длительном использовании их в технологическом процессе отбеливания древесины, так как характер их воздействия будет напрямую зависеть от используемых концентраций

составов и количественного содержания хлора в воздухе рабочей зоны. В основном в хлорсодержащих составах в качестве основного компонента применяется гипохлорит натрия или гипохлорит калия, которые являются сильными окислителями и содержат более 95% активного хлора [3].

Гипохлорит натрия (калия) достаточно неустойчивое соединение и процесс его самопроизвольного разложения медленно происходит даже при комнатной температуре, в результате чего он теряет свои активные свойства и как следствие снижается отбеливающая способность составов на его основе. Разложение гипохлорита натрия увеличивается за счет: воздействия света, повышения температуры (удваивается при подъеме температуры на каждые 5 °С), снижения водородного показателя ниже 11, наличия тяжелых металлов (марганец, железо, никель, кобальт). При нагревании выше 35°С гипохлорит натрия разлагается с образованием хлоратов и выделением кислорода. Нагревание до 70°С приводит к разложению со взрывом. Разложение разбавленных растворов гипохлорита натрия происходит медленнее при наличии в растворах гидроксида натрия. При работе с гипохлоритом натрия необходимо использовать специальную одежду и индивидуальные средства защиты: защитные очки, резиновые сапоги и перчатки, фартуки из прорезиненной ткани и противогазы. Помимо использования готовых составов, представленных на рынке, не редко используются и народные методы отбеливания древесины, которые заключаются в приготовлении отбеливающих составов или последовательном нанесении на пораженную древесину различных веществ, способствующих удалению синевы и плесени. В основном в таких методах обработки используются такие вещества как аммиак в соединении с перекисью водорода, гипохлорит натрия или калия, известь хлорная или диоксид хлора. При нанесении данных веществ на древесину происходит либо окислительный процесс (если используются хлорсодержащие соединения), либо процесс выделения активного кислорода (например: при обработке древесины аммиаком с перекисью водорода).

В настоящий момент на рынке кроме хлорсодержащих составов можно увидеть такие составы без хлора как: отбеливатель для дерева Сигма Охуген (производство – ООО «Сигма Колор», Россия), отбеливатель для древесины MAZ-SLO (производство – ИП Новиков А.С., Россия) и отбеливатель для древесины Norma WHITENING 2K SUPER CLEANER (производство – Norma Wachs, Италия). Данные составы представляют собой двухкомпонентные кислородные отбеливатели для древесины. Рабочие растворы данных составов получают путем смешивания двух компонентов в соотношениях, рекомендованных

производителями. Данные составы хорошо применимы в производстве и реставрации мебели, а также отбеливании древесины в небольших объемах, так как обработка пораженных участков древесины производится путем нанесения на них рабочих растворов кистью, валиком или губкой.

На деревообрабатывающих предприятиях образуется значительное количество пораженной пилопродукции, которую во избежание потерь необходимо отбелить в кратчайшие сроки. Поэтому отбеливание путем нанесения состава кистью, валиком или губкой в промышленных объемах являются неэффективными. Более целесообразным будет применение методов окунания или вымачивания. Многие деревообрабатывающие предприятия оснащены пропиточными ваннами для обработки древесины транспортными антисептиками и могут использовать их. Однако ванны изготавливаются из металла и применение хлорных составов для отбеливания приведет к быстрой коррозии оборудования, которая. Скорость коррозии для стали может составлять более 10 мм/год, что обусловлена высокими окислительными свойствами гипохлорита натрия.

Применение отбеливателей без хлора в деревообрабатывающей промышленности имеет свои достоинства. К основным преимуществам стоит отнести отсутствие едкого запаха и выделения токсичных паров вредных для здоровья человека в результате окислительных реакций, в ходе которых и осуществляется процесс отбеливания древесины. Кроме того, отбеливатели без содержания хлора изготавливаются из более устойчивых соединений и как следствие имеют более длительный срок годности.

В последние годы в мире и в Республике Беларусь все более актуальнее становятся вопросы экологии и использования экологических продуктов и технологий в различных отраслях промышленности. Поэтому разработка экологических составов и способов отбеливания древесины имеет не только научный интерес, но несет и большую практическую значимость.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тимофеева С.С., Хамидуллина Е.А., Давыдкина О.А. Оценка аварийных рисков опасных объектов, использующих хлор в технологических процессах // Вестник ИрГТУ. 2014. № 6 (89).
2. Шлегель К.Д., Верхотуров С.С. Токсикологические свойства газообразных загрязнений и их влияние на организм человека // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2016. №12.
3. Фурман А.А. Хлорсодержащие окислительно-отбеливающие и дезинфицирующие вещества. – М.: Химия, 1976. – 88 с.

Б.В. Войтеховский, ст. преп.;
С.А. Гриневич, доц., канд. техн. наук;
А.Ф. Аникеенко, зав. кафедрой, канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

РЕЗУЛЬТАТЫ ВНЕДРЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ФРЕЗЕРОВАНИЯ КРОМОК ЛДСП НАКЛОННЫМИ НОЖАМИ

В настоящее время энерго- и ресурсосбережение является одной из наиболее актуальных задач для производства. Одним из направлений решения данной задачи может быть установление рациональных режимов механической обработки древесины и древесных материалов, обеспечивающих требуемое качество обработки при минимальных энергетических затратах.

В мебельной промышленности широкое применение находят ламинированные древесно-стружечные плиты. Фрезерование кромок этого материала является довольно энергоемким процессом, и снижение энергетических затрат представляет собой важную задачу как с научной, так и с практической точки зрения. Одним из способов снижения энергопотребления и повышения качества обработки является создание угла наклона режущих элементов.

На базе кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов в рамках диссертационной работы Войтеховского Б.В. «Разработка режимов резания и режущего инструмента для фрезерования кромок облицованных древесно-стружечных плит» были проведены экспериментальные исследования влияния основных технологических факторов на качество обрабатываемой поверхности, энергопотребление и технологическую стойкость режущего инструмента.

Отличительной особенностью данного исследования является то, что рассмотрены не только общепринятые технологические факторы, такие как угол резания, скорость резания, высота снимаемого слоя, толщина стружки, но и угол наклона режущей кромки ножей. Установлено, что создание угла наклона режущей кромки в диапазоне от 0 до 30° позволяет уменьшить затрачиваемую мощность до 20% при фрезеровании кромок деталей и увеличить технологическую стойкость до 30%. Экономический эффект от внедрения результатов диссертационной работы составил 9600 рублей по состоянию на декабрь 2023 года. Внедрение результатов диссертационной работы в производство происходило на ООО «Хольцгрупп». Копия акта внедрения прилагается (рисунок).

СОГЛАСОВАНО

Проректор
учреждения образования «Белорусский
государственный технологический университет»

Б.В. Шалимо
(инициалы, фамилия)

«22» декабря 2023 г.

М. П.

УТВЕРЖДАЮ

Директор
ООО «Хольцгрупп»

С. Ф. Курс
(инициалы, фамилия)

г.

АКТ

внедрения результатов диссертационной работы в производство

в области технологии и оборудования деревообработки

(сфера, в которой возможно практическое применение результатов исследования)

Комиссия в составе представителей «Хольцгрупп» ведущего инженера-конструктора Якубович И.В., представителей учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» заведующего кафедрой деревообрабатывающих станков и инструментов (ДОСИИ), доцента Аникеенко А.Ф., доцента кафедры ДОСИИ Гриневича С.А. и старшего преподавателя кафедры ДОСИИ Войтеховского Б.В., настоящим подтверждают, что на ООО «Хольцгрупп»

(название структурного подразделения организации)

внедрены технологические режимы фрезерования кромок ламинированных ДСтП инструментом с наклонными режущими кромками

(указываются конкретные научные результаты, которые нашли применение)

Результаты работ получены старшим преподавателем кафедры ДОСИИ Войтеховским Б.В.

(фамилия, имя, отчество автора работ)

при выполнении диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему «Разработка режимов резания и режущего инструмента для фрезерования кромок облицованных древесно-стружечных плит»

(название программы, проекта, темы НИР)

Практическое использование результатов НИР позволило: оценить эффективность эксплуатации новой конструкции фрезерного инструмента с изменяемыми углами наклона режущей кромки на производстве ООО «Хольцгрупп» и уменьшить энергоемкость процесса фрезерования путем изменения наклона режущей кромки при фрезеровании кромок облицованных древесно-стружечных плит.

(указываются решаемые практические задачи)

В результате внедрения установлено, что предлагаемые технологические режимы эксплуатации нового фрезерного инструмента позволяют уменьшить затрачиваемую мощность до 20% при фрезеровании кромок деталей и увеличить технологическую стойкость до 30%. Экономический эффект от внедрения результатов диссертационной работы составил 9600 (девять тысяч шестьсот) руб. по состоянию на декабрь 2023 года.

(приводятся конкретные результаты практического использования)

Члены комиссии:

Представитель ООО
«Хольцгрупп»
ведущий инженер-конструктор
заведующий кафедрой ДОСИИ, доцент
доцент кафедры ДОСИИ
старший преподаватель кафедры ДОСИИ

« 22 » декабря 2023 г.

И.В. Якубович
А.Ф. Аникеенко
С.А. Гриневич
Б.В. Войтеховский

Рисунок – Копия акта внедрения

КВАРЦ-ВИНИЛОВЫЙ ЛАМИНАТ: ОСОБЕННОСТИ, ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ

Кварц-виниловый ламинат (КВЛ) представляет собой сборное напольное покрытие, состоящее из квадратных или прямоугольных модулей. КВЛ является универсальным материалом, так как данное покрытие может быть уложено в любой комнате от кухонной зоны до спальни и прихожей. Производство кварц-виниловых покрытий регламентируется ГОСТами 11529-2016 и 58899-2020. Технология производства предусматривает использование прессовочного оборудования и контроль за температурой (спекание/охлаждение). Выпускается ламинат разного формата: треугольный, квадратный и в форме доски [1–4].

Основным компонентом данного полимерного покрытия является минеральный наполнитель, в качестве которого может быть использован мелкофракционный и молотый корунд, карбид кремния и кварцевый песок, доля которого составляет от 60 до 80 %. Остальная часть – это поливинилхлорид (ПВХ), как первичный, так и переработанный и функциональные добавки, придающие плитке высокие эксплуатационные характеристики и презентабельный внешний вид [1–3].

Название кварц-винил, кварц-виниловая плитка, кварц-виниловый ламинат, виниловый ламинат, кварцевый ламинат и т. д. распространено в основном в России, в мире этот продукт известен под названием «luxury vinyl tiles» или LVT. Толщина КВЛ может составлять от 2,5 до 4,5 мм, а структура выглядит следующим образом [1]:

1. Защитный слой. Сочетание полиуретанового и винилового покрытия защищает от механических повреждений и появления пятен. Прозрачный слой создает эффект лакированной поверхности с тиснением под фактуры дерева, камня, ткани и т. д.

2. Декоративный слой. Виниловый слой с напечатанной текстурой подходящего материала или изображения в HD качестве.

3. Кварц-виниловый слой. Смесь кварца и винила, армированная разнонаправленным стекловолокном. Слой отвечает за устойчивость к перепадам температуры и сохранение изначальной формы.

4. Стеклохолст. Слой придает материалу гибкость и препятствует деформации при растяжении.

5. Базовый слой из ПВХ, поглощает вибрацию и ударную нагрузку, влагостойкий.



Рисунок 1 – Структура кварц-виниловой плитки

Существует несколько разновидностей КВЛ в зависимости от способа укладки [4]: клеевой, замковый и самоклеящийся.

Клеевой. Укладывается на предварительно подготовленную выровненную поверхность. Для укладки используют клей, который наносят на пол и сами плитки. К преимуществам можно отнести: прочность соединения, тонкие швы, устойчивость к деформации.

Замковый. При таком способе укладки детали соединяют между собой с помощью системы замков без сложных манипуляций по предварительной подготовке пола. Это значительно упрощает и ускоряет монтаж покрытия. Преимуществами являются: простота укладки, прочность соединения, аккуратные швы, устойчивость к деформации.

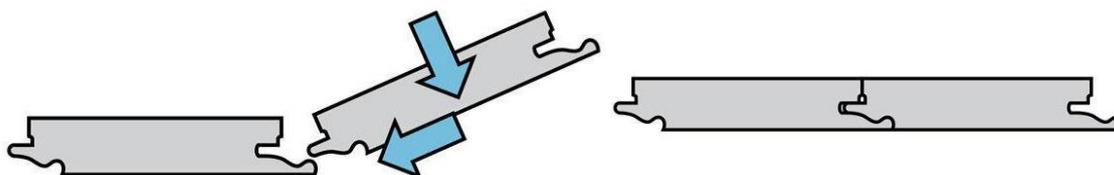


Рисунок 2 – Замковое соединение

Самоклеящийся – материал, на котором уже нанесено клеящее вещество. Для монтажа необходимо только убрать защитную плёнку и можно крепить к любой поверхности

КВЛ имеет большой ассортимент декоративных оформлений LVT полов с разными рисунками. Они имеют высокую прочность и устойчивость к истиранию. Такие полы сохраняют свой вид и свойства на протяжении 20-40 лет в зависимости от класса материала.

Толщина и износостойкость КВЛ зависит от класса. Покрытия 31–34 классов подходят для помещений с нормальной и средней проходимостью; с 41 по 43 – для любой проходимости, в том числе очень высокой.

К основным преимуществам КВЛ относятся [1–4]:

- Влагостойкость – КВЛ не боится воды и влаги, поэтому его можно использовать в помещениях с высокой влажностью. К тому же он не становится скользким при намокании, поэтому идеально подходит для ванной.

- Износостойкость – виниловый ламинат очень прочный и износостойкий. Подходит для комнат с большой проходимостью.

- Устойчивость к царапинам – благодаря защитному полиуретановому слою на КВЛ практически не образуются царапины, и он долго сохраняет презентабельный вид.

- Высокие звукоизоляционные свойства – не отражает звуки (чего не скажешь об обычном ламинате). Снижает громкость ударов об пол и шумов работающей техники.

- Термостойкость – не деформируется при нагревании и перепадах температур, благодаря чему отлично подходит для установки «теплого пола».

- Антистатичность – покрытие не накапливает статическое электричество, а значит, не притягивает пыль.

- Экологичность – КВЛ не содержит токсичных веществ и абсолютно безопасен для здоровья человека.

- Простота установки.

- Эстетические возможности – широкий выбор дизайна и цветовых решений позволяет выбирать наиболее подходящий вариант для любого интерьера.

Помимо преимуществ выделяют некоторые недостатки [1–4]:

- Довольно высокая стоимость по сравнению с другими типами напольных покрытий, почти в 2 раза дороже ламината.

- Обувь с черной подошвой оставляет полу из КВЛ следы резины, которые плохо оттираются.

- Под воздействием высоких температур материал выделяет вредные испарения.

Инновационность LVT покрытия заключается и в том, что процесс соединения всех слоёв происходит только за счёт температуры и давления. То есть, получается абсолютно безопасный материал без выделений вредных для здоровья человека веществ [5].

Сегодня кварц-винилом, помимо LVT называют несколько различных по стоимости и характеристикам покрытий, например, плитку

ПВХ и SPC. ПВХ-плитка, как и линолеум, состоит из поливинилхлорида, но в отличие от линолеума – это уже не рулонный материал, а модульный, состоящий из плашек, которые приклеиваются к основанию пола на клей, так как материал слишком мягкий для наличия замка. SPC (Stone Plastic Composite – каменно-полимерный композит) – инновационная разработка, появившаяся менее 10 лет назад. Он на 75% состоит из карбоната кальция, а на 25% – из связующего полимера. Основной слой определяет толщину плитки и обеспечивает ее жесткость. Далее идет декоративная пленка и защитное покрытие [6].

Таким образом КВЛ – это прочный, универсальный и легко устанавливаемый вариант напольного покрытия. У него ряд преимуществ по сравнению с обычным ламинатом. Уникальная структура и компоненты материала делают его идеальным выбором для помещений с высокой нагрузкой и комнат с высокой влажностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кварц-виниловый ламинат, плюсы и минусы, как выбрать. – URL: <https://media.halvacard.ru/construction-and-repair/kvarts-vinilovyy-laminat-plyusy-i-minusy-kak-vybrat-kachestvennyu> (дата обращения 02.02.2024).

2. Два вида «кварц-винилового» ламината: базовые отличия и классификация с достоинствами и недостатками. – URL: <https://m-strana.ru/articles/kvarts-vinilovyy-laminat-cto-eto/> (дата обращения 02.02.2024).

3. Кварц-виниловая плитка для пола. – URL: <https://doctorfloor.ru/kvarczvinilovaya-plitka/> (дата обращения 02.02.2024).

4. Плюсы и минусы кварц-винилового ламината. – URL: <https://floorstudio.by/plyusyi-i-minusyi-kvarcz-vinilovogo-laminata.html> (дата обращения 02.02.2024).

5. LVT полы сегодня. Состав и виды LVT. – URL: <https://lvt.by/cto-takoe-lvt> (дата обращения 02.02.2024).

6. Что такое SPC ламинат: описание и свойства. – URL: <https://spb.polstrany.ru/articles/108619/#:~:text=Аббревиатура%20SPC%20расшифровывается%2C%20как%20Stone,и%20на%2025%25%20из%20поливинилхлорида> (дата обращения 02.02.2024).

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОРЕНОГО ДУБА ПО ПОПЕРЕЧНОМУ СРЕЗУ СТВОЛА

В предыдущей работе авторов установлено, что в зависимости от возрастных групп предел прочности при статическом изгибе археологической древесины натурального мореного дуба изменялся незначительно и составил в среднем 91,8 МПа, что на 2% выше средних статических показателей натурального дуба. Усредненный показатель предела прочности разных возрастных групп натурального мореного дуба при сжатии вдоль волокон составили 52,4 МПа, что на 2, 5% выше показателей древесины натурального дуба [1,2].

Исследования продолжены в направлении исследований реологических свойств натуральной мореной древесины, добытой из водной и пойменной зоны залегания на образцах по поперечному срезу ствола. Учитывая дефицит натуральной мореной древесины и необходимость получить статистически обработанный материал исследования реологических свойств вели на малых образцах поперечным разрезом 10x10 мм и 150 мм вдоль ствола. Если в предыдущей работе [1] исследования велись на высококачественной древесине натурального мореного дуба, полученного из средней зоны центральных досок натурального мореного дуба, то в настоящих исследованиях показатели прочности измерялись по поперечному срезу от центра к периферийной зоне среза натуральной мореной древесины. Древесина, находящаяся в водной среде на отдельных образцах добытой натуральной мореной древесины на периферийной зоне, имела мягкий волокнистый слой со значительной степенью разрушения. Плотность и прочность таких образцов по 4 участкам среза изменяется от периферии до сердцевины до 60%. Предложено классифицировать свойства мореной древесины степенью деградации в зависимости от процентного показателя прочности I – 0-20%, II – 21-40 %, III – 41-60 %, IV – ниже 61%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Леонович О.К. Дупанов С. А. Особенности защиты археологических изделий из мореного дуба и сосны/ тезисы 87-й науч.-технич. Конференции с международным участием, Минск, 01–13 февраля 2023 г. [Электронный ресурс] / отв. за издание И.В. Войтов; УО БГТУ. – Минск: БГТУ, 2023. – С. 168-172.
2. Уголев Б. Н. Древесиноведение и лесное товароведение : Учебник. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2007. – 351 с.

ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ МАСШТАБНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ДЕРЕВЯННЫХ ДОМОВ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Древесина – возобновляемый природный ресурс, который является экологически чистым и современным для модификации, для получения более высокой прочности и долговечности. При этом производство высокотехнологические стройматериалы, такие как клееные панели и брус, могут использоваться низкосортная древесина, щепа и отходы.

Такие аспекты строительства как производство и обработка строительных конструкций из древесины, транспортировка, монтаж конструкций обходятся дешевле по сравнению с стальными и железобетонными аналогами. Что касается энерго- и трудоемкости работы с древесиной, она существенно ниже за счет использования простых инструментов и оборудования, использования строительной техники меньшей мощности. Монтаж деревянных конструкций отличаются высокой технологичностью и скоростью, из-за использования блоков и модулей заводской сборки.

Так же здания из дерева являются эталоном “зеленого” строительства энергоэффективного строительства, так как обеспечивают лучшие показатели теплоизоляции. Здания из дерева могут строиться на территориях со сложными инженерно-геологическими условиями, в том числе – территориях с просадочностью почвы, горных выработок и сейсмической активностью. Испытания пожаробезопасности подтверждают, что дерево показывает лучшие результаты по сравнению с стальными конструкциями, устойчивость и прочностные характеристики еще сохраняются в течении 45 минут после начала пожара, огнестойкости металлических конструкций составляет 15 минут. За счет того, что внешние слои древесины обугливаются, внутренние слои продолжают держать конструкцию, сохраняя свои технические характеристики. Обработка древесных строй материалов антипиренами, в условиях заводской сборки, повышает показатели пожаробезопасности, что понижает показатели горючести древесных конструкций к минимуму.

Облицовка и конструкции домов сделаны из CLT панелей, либо с имитацией на дерево, что выглядит однотипно и скучно. Хотя дерево одно из уникальнейших материалов, которая прекрасно сочетается

с такими простыми строительными материалами как бетон, камень или стекло.



Рисунок 1 – Пример дизайна деревянных зданий в странах СНГ

В странах запада уже давно практикуют схему дизайна деревянных домов, где сочетаются вышеперечисленные материалы, сочетание этих простых материалов выглядит просто, стильно и эстетично.

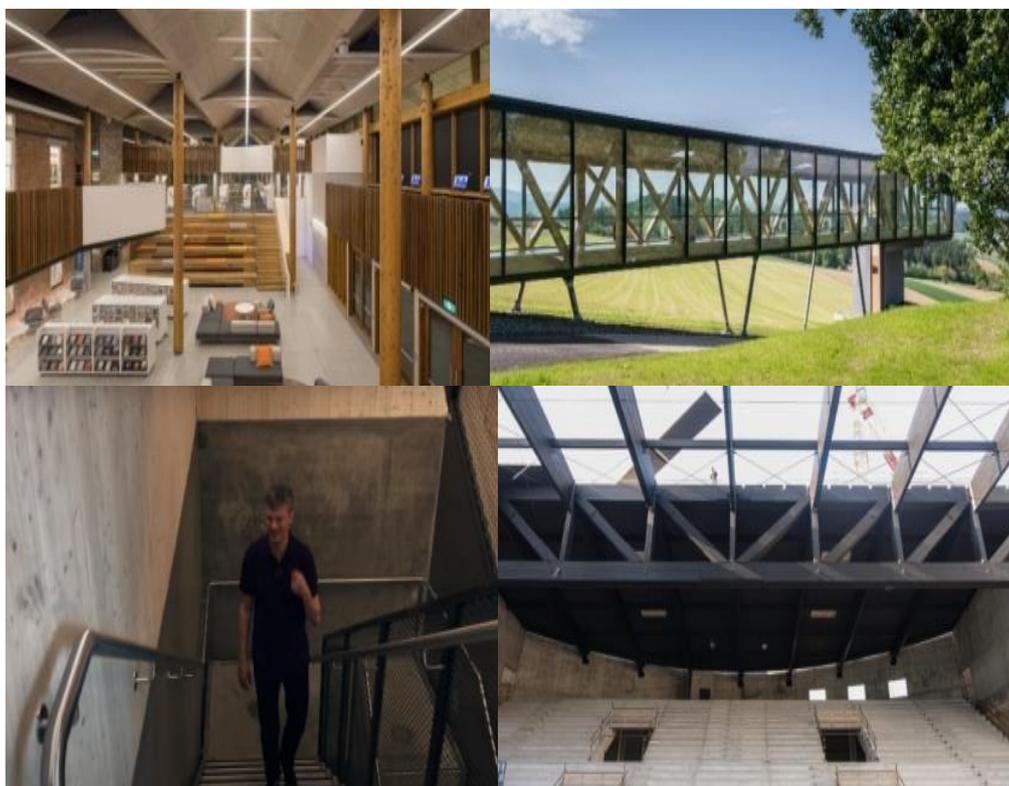


Рисунок 2 – Зарубежный опыт совмещения древесины с простыми строительными материалами (бетон, железо, стекло)

Что касается балконных выносок, во всем мире переходят на схему утепленных балконов и лестничных пролетов. Такая схема позволяет сделать навес крыши более продолжительным, что обеспечивает лучшую сохранность и эксплуатацию фасада, чем у домов “коробок”.



Рисунок 3 – Зарубежный опыт многоэтажных деревянных зданий с утепленной схемой балконов и продолжительным навесом

Ускоренное развитие деревянного домостроения может быть достигнуто при решении неотложных задач по расчетам и нормативно-правовой базе при строительстве деревянных домов. Основные моменты, которых рассмотрены в комплексном плане по использованию клееных деревянных конструкций в промышленном и гражданском строительстве:

1. Изучить возможность и разработать предложения по организации производства перекрестно клееной древесины (CLT), МНМ на одном из предприятий Минлесхоза РБ, концерна «Беллесбумпром» или ЗАО «Солигорский институт проблем ресурсосбережения с опытным производством».
2. Разработать технологию по производству перекрестно клееной древесины (CLT), МНМ и выполнить предпроектные работы по технологическому разделу.
3. Разработка СПБ «Деревянные конструкции. Правила проектирования малоэтажных каркасно-панельных зданий»
4. Разработать СТБ «Методы определения прочностных и упругих характеристик древесины перекрёстно клееной (CLT), МНМ»
5. Провести исследования параметров огнестойкости и биостойкости деревянных конструкций с учётом узловых соединений

6. Провести исследования композитных конструкций из клееной древесины и бетона для перекрытий зданий, и пролетных строений, пешеходных и автодорожных мостов

7. Разработка СПБ «Деревянные конструкции. Правила проектирования зданий с использованием древесины перекрёстно клееной (CLT), МНМ»

В заключение хочется отметить, что странам СНГ необходимо догонять страны запада и Европы в деревянном домостроении. С разработанными правилами строительства мы сможем развить дизайн деревянного домостроения до мирового уровня. Такие современные аспекты деревянного домостроения, о которых говорилось выше, станут доступны для стран СНГ, что позволит сделать скачок в развитии дизайна деревянных домов и домов повышенной этажности.

Необходимо решить поставленные задачи комплексным планом по использованию клееных деревянных конструкций в промышленном и гражданском строительстве который ускорит проектирование и строительство деревянных сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Юдина А.Ф. Технологические процессы в строительстве / А.Ф. Юдина, В. В. Верстов, Г.М. Бадьин. – М.: Издательский центр «Академия», 2-е изд., стер. 2014. – 304 с.

2. Юдина А.Ф. Строительство жилых и общественных зданий и сооружений / А. Ф. Юдина. – 5-е изд., испр., – М.: Издательский центр «Академия», 2019. – 384 с.

3. А.Г. Черных, П.С. Коваль, Е.В. Данилов, Ш. М. Мамедов. Обзор исследований, нормирования и применения LVL бруса в отечественной и зарубежной строительной практике // Вестник гражданских инженеров. 2020. № 1(78). С. 100–106.

4. Возведение многоэтажных зданий
<https://maistro.ru/articles/building/mногоetazhное-derevyannое-stroitelstvo>

5. Бардин И.Н. Конструктивные системы многоэтажных деревянных зданий. В сборнике: Ломоносовские научные чтения студентов, аспирантов и молодых учёных – 2017 сборник материалов конференции. – М., 2017. – С. 179-184.

6. Бойтемирова И.Н., Любакова Д.А. Многоэтажные деревянные здания // Вестник научных конференций. – 2016. – № 2-1(6). – С. 19-20.

Д.В. Божко, асп.;
О.К. Леонович, доц., канд. тех. наук;
И.К. Божелко, доц., зав. кафедрой ТДП
(БГТУ, г. Минск)

НОРМИРОВАНИЕ РАСХОДА ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ ПРИ ВЫПУСКЕ РЕЗНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Нормирование расхода сырья от круглых лесоматериалов до выработки необрезных пиломатериалов их сушки и изготовления художественных изделий является важнейшей задачей для эффективного использования древесного сырья в народном хозяйстве. Нормирование выхода сырья при распиловке и сушке рассматриваются в отдельных работах и нормативных актах [1,2], то расход сырья при изготовлении художественных изделий необходимы рекомендации по определению норм расхода сырья.

Нормирование расхода древесины при выпуск художественных изделий сложной формы – трудная задача, требующая решения. На сегодняшний день нету методики расчета художественных изделий сложной формы из древесины, поэтому был разработан план в расчете нормирования расходов древесины при выпуске резных изделий.

План расчета нормирования древесины при выпуске резных изделий:

1. Изучения технологического процесса
 - Изучение станков и материалов
 - Особенности технологического процесса
 - Другие особенности
2. Создание общей модели высокохудожественного изделия
 - Панорамная съемка модели
 - Обработка 3d панорамы
 - Создание общей 3d модели панорамы с помощью искусственного интеллекта
 - Обрезка общей модели
3. Обработка общей модели
 - Редактирования общей модели
 - Упрощение общей модели
 - Общие исправления
4. Создания форм
 - Настройка общей модели
 - Построение полигонов
 - Remesh модели (придание формы)

Полученная модель (Рисунок 1) представляет собой черновой вариант отсканированного изделия. Полученную модель следует отмасштабировать к исходным размерам изделия.

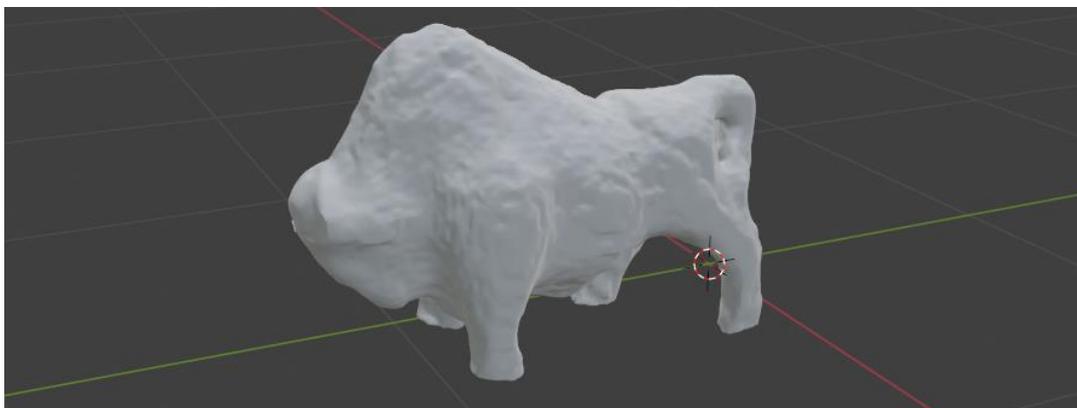


Рисунок 1 – Черновой вид модели

5. Программно-технический расчет показателей

- Перестройка модели
- Масштабирование модели
- Расчет параметров 3d модели

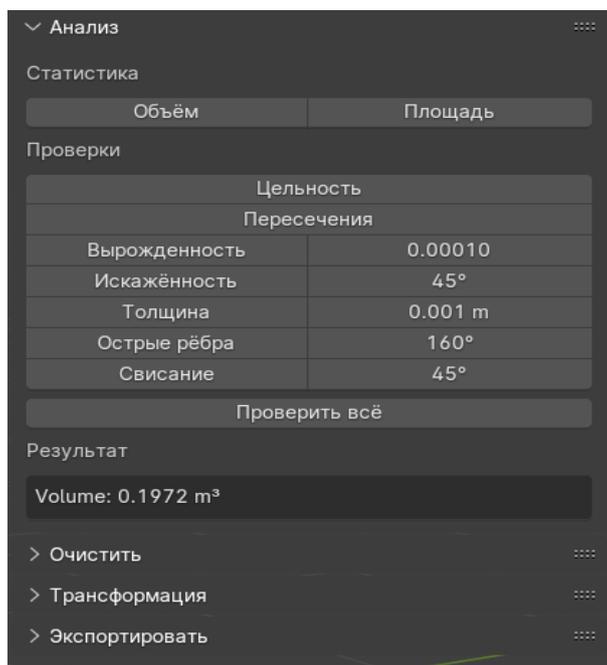


Рисунок 2 – Программно-технологический расчет модели

6. Расчет расхода лесоматериалов

- Создание вспомогательных форм на каждый этап обработки
- Расчет размерных характеристик моделей
- Расчет нормирования изделий

Для расчета нормирования расхода древесины при выпуске художественной продукции необходимо создать модели всех этапов ее обработки (Рисунок 3). Это необходимо чтобы понимать на каких этапах производства изделия получается отходов.

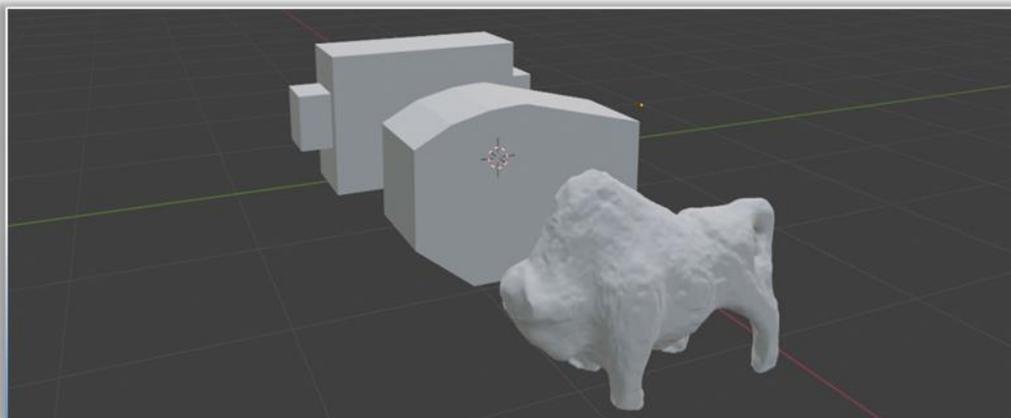


Рисунок 3 – Вспомогательные модели на каждый этап обработки

В ходе расчета нормирования художественных изделий при фрезеровании использовались формулы (1-4), а $V_{всп.}$, $V_{обр.}$, $V_{изд.}$ – получили с помощью программно-технологического метода.

$$V_{ст.заг.} = \frac{L_{ст}}{Z_d} \frac{B_{ст}}{Z_{ш}} \frac{H_{ст}}{Z_t} \cdot n \cdot 10^{-9} \quad 1)$$

$$V_{ст.всп.} = V_{всп.} \cdot n \cdot 10^{-9} \quad 2)$$

$$V_{то} = V_{ст.заг.} \cdot K_{то} \quad 3)$$

$$N = \sum N_i \quad 4)$$

Среднее отклонение в нахождении объема художественно изделия данным методом составляет 2.8%, что является хорошим результатом и расчет нормирования художественных изделий может считаться верным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Янушкевич А. А. Технология лесопильного производства: уч. пособие – Минск, БГТУ.2010. – 230 с.
2. Снопков В. Б. Гидротермическая обработка и защита древесины. Примеры и задачи: – Минск, БГТУ, 2005. – 240 с.

МЕТОДОЛОГИЯ БЕЗДЕФОРМАТИВНОЙ СУШКИ И КОНСЕРВАЦИИ АРХЕОЛОГИЧЕСКОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Археологическая древесина натурального мореного дуба и сосны имеют ряд существенных отличий в силу своего строения и устойчивости при различных условиях хранения в природной среде. Важным является устойчивость дуба и сосны до их попадания в среду, закрытую от попадания кислорода и изменений температурно-влажностных параметров среды, влияющих на повреждение плесневыми, деревоокрашивающими, дереворазрушающими грибами и техническими вредителями [1,2]. Мореная древесина в процессе длительного залегания в безвоздушной влажной среде подвержена различным процессам, скорость и интенсивность которых зависят от конкретных размеров, а также от физико-механических характеристик самого исходного материала [3]. Основная задача сохранения археологической древесины – это не допустить быстрой скорости сушки при попадании ее в открытую воздушную среду. Первоначальная влажность мореной древесины зависит от изначальной плотности и может достигать 1530 кг/м³. Обычная древесина (при плотности дуба в абсолютно сухом состоянии 640 кг/м³ и максимальном увлажнении 80% равна 822 кг/м³) не может иметь массу древесинного вещества, так как она включает пустоты (полости клеток и межклеточные пространства, заполненные воздухом). Но в древесине мореного дуба эти пустоты заполнены водой и другими включениями.

При таком повышении влажности существенно увеличивается деформативность древесины. Например, линейные размеры увеличиваются до 40%. Древесина дуба, попадая в водную среду, увеличивает свои линейные размеры в зависимости от состава сухого древесного вещества и структурных изменений. Увеличение размеров и деформаций в мореной древесине происходит по не линейной зависимости.

Предел насыщения достигает 40–50% в зависимости от времени залегания древесины. В процессе сушки мореной древесины линейные размеры уменьшаются, напряжения, накопленные в материале, увеличивают риск коробления и появления дефектов в виде трещин, расколов и т.д. Мореная древесина, находящаяся в безвоздушной влажной среде, законсервирована и поэтому, несмотря на повышенную деформативность, внутренние напряжения и реактивные силы практически равны нулю. При осушении такой древесины удаление свободной вла-

ги увеличивается в десятки раз в сравнении со свежеспиленной древесиной дуба. Катализатором процесса сушки мореной древесины является: интенсивность УФ-излучения; температура воздуха; влажность окружающей среды. Также мореная древесина во влажном состоянии является биологически неустойчивой, что приводит к быстрому появлению плесени и грибов поражающих древесные ткани, приводящие их к разрушению. Поэтапная сушка мореной древесины и археологических находок из нее выполняется одинаково, если их возрастные характеристики и места залегания совпадают.

Сушка мореной древесины включает следующие этапы.

Понижение влажности с 200 до 100% путем:

- Изоляции ствола дерева пропиленовой пленкой;
- Очищения от остатков водных отложений для предотвращения влагоконцентрирующих мест и биоразрушающих очагов;
- Создания условий пропаривания мореной древесины при относительной влажности воздуха, равной 97 – 98%, и температуре от 5 до 80°C;
- Обеспечения защиты от УФ- излучения.

Продолжительность в зависимости от первоначальной влажности и габаритных размеров древесины – от 30 до 180 дней.

Второй этап является самым важным и длительным этапом в сушке мореной древесины. В данный период происходит накопление самых больших напряжений в материале ввиду его усушки и рост реактивных сил. Самый выгодный источник тепла для данного метода – тепло земли. На глубине приблизительно 5 м температура земли постоянна и равна 10 °C;

Понижение влажности со 100 до 50% за счет:

- Создание условий постоянной вентиляции без температурного изменения;
- Поддержание температуры в пределах 10 – 15°C;
- Соблюдения влажности воздуха в пределах 80 – 98%;
- Соблюдения постоянной перекладки, переворота находок для сохранения геометрии и сброса напряжений в материале. Продолжительность второго периода составляет от 180 до 360 дней.

Третий этап требует покрытия мореной древесины биостойким составом, водная основа которого снизит напряжения внутри материала, позволив сохранить геометрию, а также обеспечит максимальную биозащиту в самом ответственном температурно-влажностном диапазоне. Понижение влажности с 50 до 30%, путем:

- создания условий постоянной вентиляции;
- обеспечения температуры в пределах 10 – 20°C;
- обеспечения влажности воздуха в пределах 60 – 70%;

– обеспечение постоянной перекладки и переворота находок из мореной древесины для сохранения геометрии и сброса напряжений в материале.

– обеспечения покрытия биостойким составом на водной основе, содержащим железомедные соединения.

Продолжительность третьего этапа от 120 до 360 дней.

Изменения линейных размеров и дефектов в процессе поэтапной сушки мореной древесины не наблюдаются на первом и втором этапах сушки, так как в этих периодах сушки удаляется свободная влага из полостей клеток мореной древесины.

На третьем этапе сушки влажность снижается от 50 до 30%.

В процессе сушки замечено уменьшение объемных размеров на 5 – 7%, означающее что, предел насыщения клеточных стенок у мореной древесины выше чем 30%. На четвертом этапе изменения объемных показателей составили 20%, что также превышает показатели объемной усушки для натуральной древесины дуба.

Вывод: Впервые предложена методика поэтапной сушки мореной древесины, предусматривающая на первом этапе изоляцию мореной древесины от окружающей среды и сушку от 200 до 100%. На последующих двух этапах сушка происходит при максимальной влажности и низких температурах. На четвертом этапе обеспечивается медленная досушка до влажности, в зависимости от условий дальнейшей эксплуатации мореной древесины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дупанов С. А., Леонович О. К. Исследование физико-химических и прочностных свойств мореного дуба различных возрастных групп для изготовления изделий // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: тез. докл. 85-й науч.-техн. конф. (с междунар. участием), Минск, 1–13 февр. 2021 г. Минск, 2021. С. 144–147.

2. Леонович О. К., Дупанов С. А. Исследование химических и структурных свойств натурального мореного дуба методом сканирующей микроскопии // Труды БГТУ. Сер. 1. Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021, № 2 (240). С. 150–155. DOI: 10.52065/2519-402X-2021-240-20-150-155.

3. Леонович О. К., Дупанов С. А. Консервация археологических находок из мореного дуба // Материалы Междунар. Конф. Реставрация, консервация и музеефикация археологического дерева и органических материалов, Казань, 1–5 нояб. 2022 г. URL: <http://archtat.ru/events/mezhdunarodnaya-konferentsiya-restavratsiya-konservatsiya-i-muzeefikatsiya-arheologicheskogo-dereva-i-organicheskikh-materialov/> (дата обращения 28.12.2023).

**ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА ЭКОЛОГИЧЕСКИ
БЕЗОПАСНЫХ И СПЕЦИАЛЬНЫХ ВИДОВ ФАНЕРЫ
В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

В Республике Беларусь выпускают фанеру водостойкую ФК – Борисовдрев, Речицадрев, Пинскдрев. Гомельдрев, фанеру повышенной водостойкости ФСФ в том числе и большеформатную Мостовдрев и Ультрадекор (бывший Кроноспан). Мощности предприятий Республики Беларусь по производству фанеры составляют около 400 тыс. м³ в год. Учитывая изменения логистики поставок и конъюнктуры рынка объемы производства фанеры в среднем снизились на 30%. В Белорусском государственном технологическом университете проведены ряд исследований по модификации клеевых композиций карбомидоформальдегидных смол и фенолформальдегидных смол с использованием деполимеризованных гидролизных лигнинов производства СООО «СинерджиКом» соответственно деполимеризованным гидролизным лигнином S-Drill™BND 40 и «S-Drill™ BND 95» [1, 2].

Таблица 1 – Рецептуры исследуемых клеевых композиций

№ п/п	Наименование смолы	Масса смолы, г	Наименование добавки	Масса добавки, г	Масса воды, г
1	2	3	4	5	6
1	Primere 14F211	62,3	Карбамид Сульфат аммония Каолин Лигносульфонат мел	0,38 0,45 5,3 3,2 0,23	3,15
2	Primere 14F211	74,1	Хлористый аммоний	0,9	–
3	Primere 14F211	72,6	S-Drill™ BND 40	2,4	-
4	Primere 14F211	71	S-Drill™ BND 40	4,0	-
5	Primere 14F211	62,3	Карбамид Сульфат аммония	0,38 0,45	
5	Primere 14F211	62,3	Каолин S-Drill™ BND 40 мел	5,3 3,2 0,23	3,15

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6
6	Primere 14F211	70,1	S-Drill™ BND 40 Хлористый аммоний	4,0 0,9	–
7	СФЖ 3014	75	-		-
8	СФЖ 3014	50	S-Drill™ BND 95	25	-
9	СФЖ 3014	50	S-Drill™ BND 01	25	-

Так в сравнении с аналогом (состав 1) с составом 4, содержащим добавку «S-Drill™ BND 40» в объем 4% к карбамидоформальдегидной смоле эмиссия формальдегида снизилась в 3 раза прочность при скалывании значительно увеличилась и составила 3,8 МПа.

При добавке к фенолформальдегидной смоле СФЖ 3014 (состав 7) лигнинового реагента «S-Drill™ BND 95» в количестве 33,3% эмиссии формальдегида не наблюдалось вообще.

Фанера соответствует требованиям международных стандартов для низкоэмиссионной фанеры – E0 – E0,5, что позволяет расширять рынок сбыта.

Однако применение деполимеризованных лигнинов в отрасли сдерживается по причине незначительного удорожания клеевой композиции. Проанализировано применение бесформальдегидных смол природного происхождения и проведены ряд исследований по применению пленочных связующих для склеивания фанеры. Результаты приведены в таблице 2 [3].

Таблица 2 – Прочностные физико-механические показатели на скалывание клеевых композиций по ГОСТ 3916.1-2018

Клеевые соединения	Показатель прочности, МПа
Глютиновый клей	0,9
Костный клей	0,75
Мездровый клей	0,9
Альбуминоказеиновый клей	0,6
Этиленовые соединения	0,85

Решение проблемы их производства позволит использовать фанеру в производстве детских игрушек, мебели на объектах, где требуется высокая степень экологичности. В Республике Беларусь практически на производятся фанеры специализированные, такие как бакелитизированная, декоративная, трудногорючая, вибропоглощающая, авиационная и др.

Основная проблема отсутствие пропиточных ёмкостей для пропитки шпона и сушилок СТШ для его сушки. Особый интерес пред-

ставляет собой фанера Plywood, которая используется для производства объемных хранилищ сжиженного газа на танкерах, такая фанера достигает толщины 100 мм и требует прочность при изгибе до 60 МПа и должна выдерживать минусовые температуры до 160 °С. Потребности в такой фанере составляют более 1 млн. м³ в год. Основной потребитель Китай. Такое производство решит проблему сбыта фанерной продукции в РБ.

Закключение. Основной проблемой фанерной отрасли является отсутствие расширенного сортимента выпускаемой продукции. Для обеспечения устойчивой работы фанерной промышленности Республики Беларусь рекомендуем:

– продолжить исследования по разработке технологий по производству специальных видов фанеры для вагоностроения, судостроения, самолетостроения, строительной и других отраслей.

– исследовать экологически безопасные пропиточные составы для формирования пленочных клеевых композиций, обеспечивающих прочность на скалывание и устойчивость к водопоглощению клееной фанеры.

– продолжить исследования по созданию бесформальдегидных связующих для плитных материалов.

– исследовать и разработать технологию производства огнестойкой фанеры для вагоностроения и других отраслей промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Леонович О. К., Коняхина О. В. Новый отвердитель и акцептор формальдегида карбаминоформальдегидных смол из древесных отходов гидролизного производства / тезисы докладов «Лес-Наука-Инновации-2022» и МНТК «Состояние и перспективы развития лесного комплекса в странах СНГ» 6-9 декабря 2022 года, Минск [Интернетресурс].

2. Леонович О. К., Божелко И. К., Коняхина О. В. Снижение эмиссии формальдегида водостойкой фанеры. // Труды БГТУ. Сер. 11, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2022. № 2 (240). С.

3. Леонович О.К., Хвостова В. П. Формирование плитных материалов на безформальмадегидных связующих/ Тезисы доклада на XXIII-ой международной научно-технической Интернет- конференции «Лесной комплекс: состояние и перспективы развития», 1– 30 ноября 2023 г. в г. Брянске (РФ) [Интернетресурс] <http://science-bsea.bgita.ru>. Время доступа 14.12.2023г.

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСОНАЛОМ НА ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

В настоящее время существует недостаток высококвалифицированных кадров на деревообрабатывающих и мебельных предприятиях. Для того, чтобы разобраться в вопросе, нужно понять объемы работ и развития данного направления.

Начнем с результатов 2023 года и статистических данных. Отмечается, что по итогам 2023 года лесохозяйственными учреждениями было реализовано на экспорт более 955 тыс. куб. м пилопродукции. Это на 37,8% больше, чем в 2022 году. Минлесхозу удалось переориентировать торговые потоки с западноевропейских рынков на рынки дружественных стран. Сегодня продукция белорусских лесхозов поставляется в 9 стран мира. Сейчас в отрасли осуществляют деревообрабатывающую деятельность 100 производств, в том числе 88 цехов деревообработки и 12 мастерских участков. В системе Минлесхоза сохранены деревообрабатывающие цеха, где работают более 4,5 тыс. человек, проживающих в основном в малых городах и сельской местности.

Представлены немаленькие цифры, которые дают понять, что в данной отрасли идет рост как продукции, так и других ресурсов.

Теперь узнаем, какие же планы поставлены на предстоящие несколько лет. Из предложения к проекту концепции Национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2040 года, мы можем узнать, что в планах предусматривается использование новых технологий по глубокой переработке отечественного сырья: древесины, силвинитовых руд, базальта, кварцевых песков, торфа, сельскохозяйственного сырья, льна. Также по планам предстоит освоить производства новых видов экспортной продукции (деревянного домостроения, HPL – пластика и SPL – пластика, продукции из талловой канифоли, бумажной продукции, гильзового картона, мебели). Намечены меры по созданию гидролизного производства по переработке щепы, максимальному вовлечению в хозяйственный оборот всех ежегодно заготавливаемых лесных ресурсов.

По предстоящим планам, можно сказать, что в стране идет нацеленность на дальнейшее развитие деревообрабатывающей дея-

тельности и внедрение новых современных технологий в производство.

На сегодня в деревообработке, как и в других производственных отраслях, особенно остро стоит вопрос с персоналом как управленческим, так и рабочим, именно он решает все, ведь даже самое современное оборудование не будет работать эффективно при его неправильной эксплуатации, а затем и вовсе может выйти из строя.

Внедрение современных методик в практику и тесное взаимодействие с персоналом позволит «прокачать» навыки, адаптировать и обучить новых сотрудников и предоставить ведущим специалистам возможность развития и роста по карьерной лестнице.

Современные подходы в управлении основываются на необходимости максимального раскрытия потенциала человеческих ресурсов. Как показывает опыт, инвестиции в персонал, создание условий для профессионального роста работников и повышение уровня их самостоятельности дают высокую и быструю отдачу вложенных средств. Новая модель управления не отвергает полностью рационалистические подходы: менеджмент характеризуется сочетанием "строгого" административного руководства и "гибкого" управления.

В настоящее время раскрываются и применяются на практике три группы управления: административные (организационно - распорядительные), экономические и социально-психологические.

1. Организационно-распорядительные методы – являются обязательными методами прямого воздействия, основанные на дисциплине, ответственности, власти и принуждении. Практическая реализация организационно-распорядительного метода определяется желанием персонала работать по правилам, предписанным руководством.

2. Экономические методы – это методы воздействия на сотрудников путем особого сравнения затрат и результатов (санкции, финансирование и кредитование и т.д). Наиболее распространенными формами экономического метода на работников являются:

- хозяйственные расчеты;
- стимулирование в денежном выражении;
- участие в прибылях через приобретения акций, облигаций.

3. Социально-психологические методы – мотивация, моральное поощрение, социальное планирование и другое. Данный метод основан на закономерностях социологии и психологии. По способам воздействия они разделяются на:

- социологические – направлены на группу рабочих в процессе их промышленного взаимодействия;

– психологические – воздействуют на внутренний мир конкретного человека.

Эти группы методов управления чаще всего рассматриваются как дополняющие друг друга.

Доктор экономических наук, профессор Р.А. Фатхутдинов предлагает иной подход к классификации современных методов управления. Рассмотрим их с иного признака - степени свободы объекта управления в связи с воздействием на него субъекта. Человеческий ресурс как объект управления может иметь следующие степени свободы:

1. ограниченную свободу, при которой субъект управления принуждает зависимый объект выполнять планы или задания;

2. мотивационную свободу, при которой субъект управления должен найти обоснованные мотивы, побуждающие объект управления к выполнению планов или заданий;

3. высокую степень свободы, при которой субъект управления должен с использованием психотехнологий формировать метод воздействия на относительно независимый объект управления, ставя во главу угла изучение психологического портрета управляемой личности и тенденции ее развития.

Исходя из рассмотренных степеней свободы объекта, методы управления целесообразно подразделять на следующие три группы: методы принуждения, методы побуждения, методы убеждения.

В таблице вынесены основные характеристики сравнения методов управления.

Таблица – Основные характеристики сравнения методов управления

Признаки методов управления	Группы методов управления		
	Методы принуждения	Методы побуждения	Методы убеждения
1	2	3	4
Общепринятое название группы методов	Административные	Экономические	Социально - психологические
Цель управления	Выполнение законов, директив, планов	Достижение конкурентоспособности товара	Достижение взаимопонимания
Структура управления	Жесткая	Адаптивная к ситуации	Адаптивная к личности

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
Форма воздействия	При помощи нормативно - методических документов	Мотивация	Управление социально-психологическими процессами
Основные требования к субъекту при применении методов	Исполнительность, организованность	Профессионализм в данной области	Психологическая устойчивость личности
Стиль руководства, характерный данной группе методов	Авторитарный	Демократический	Либеральный
Тип темперамента субъекта управления (руководителя)	Флегматик	Сангвиник	Сангвиник
То же объекта управления (исполнителя)	Сангвиник	Флегматик, холерик	Меланхолик

В практике можно сказать, что методы принуждения и убеждения наиболее часто используются при управлении персоналом на деревообрабатывающих предприятиях.

Таким образом, можно сделать вывод, что наиболее эффективные изменения в системы управления на деревообрабатывающих предприятиях могут быть достигнуты в случае применения методов управления в комплексе, сочетая их различные комбинации. И для повышения эффективности управления персоналом необходимо изучать другие стили и методы управления и научиться их правильно применять.

ЛИТЕРАТУРА

1. Предложения к проекту концепции Национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2040 года [Электронный ресурс] - Республика Беларусь, 2024 - <https://economy.gov.by/uploads/files/Kontseptsija-NSUR-2040.pdf>
2. Одегов Ю.Г. Управление персоналом. М.: Финансы и статистика, 2006
3. Бакиров М.Р., Анисимов А.Ю. Система менеджмента как фактор развития предприятия” [Электронный ресурс], 2024 - <https://1economic.ru/lib/120438>
4. Фатхутдинов Р.А. Производственный менеджмент [Электронный ресурс], 2003

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШУМА ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ЕГО ИНДИВИДУАЛЬНОЙ РАБОТЫ

В современном мире деревообрабатывающая промышленность играет одну из ключевых ролей в обеспечении потребностей населения, однако она же оказывает негативное влияние на работников данной отрасли. Одним из аспектов данной проблематики является шум, создаваемый деревообрабатывающим оборудованием во время работы. Исследование параметров шума в этой области представляет собой актуальную задачу с точки зрения улучшения условий труда, снижения воздействия на работающих и соблюдения гигиенических нормативов.

Негативное воздействие шума на здоровье работников проявляется в различных аспектах, оказывая влияние на физическое и психическое состояние человека. Длительное воздействие высокого уровня шума приводит к постепенной потере слуха. Это особенно актуально для работников, занятых в деревообрабатывающей отрасли, где шум является постоянным производственным фактором. Постоянный шум вызывает хронический стресс, повышенную утомляемость, что приводит к снижению концентрации и внимания, что в итоге является факторов увеличения вероятности травматизма. Длительное воздействие шума связывают с повышением риска сердечно-сосудистых заболеваний, таких как гипертония и ишемическая болезнь сердца [1].

В работе рассмотрены различные типы деревообрабатывающего оборудования, метод измерения параметров шума, а также оценка воздействия на операторов. Полученные результаты имеют важное практическое применение для разработки эффективных мер по снижению уровня шума в данной отрасли, способствуя тем самым созданию безопасной промышленной среды.

Согласно гигиенического норматива «Шум на рабочих местах, в транспортных средствах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» нормируемыми параметрами постоянного шума на рабочих местах являются: уровни звукового давления L , дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц, и уровни звука L_A , дБА. [2]. При этом оценка постоянного шума на рабочих местах на соответствие ПДУ проводится как по уровням звукового давления,

так и по уровню звука. Превышение хотя бы одного из показателей квалифицируется как несоответствие санитарным правилам. Предельно допустимые уровни данных параметров приведены в таблице.

Измерения параметров шума проводились согласно требованиям, изложенным в ГОСТ 12.0.003 и ГОСТ 12.1.028 [1, 3].

Измерения осуществлялись в учебной лаборатории кафедры ДОСиИ УО БГТУ. Определялись параметры шума следующего деревообрабатывающего оборудования: фуговальный станок СФА4, рейсмусовый станок СР6-9, форматно-раскроечный станок altendorf F45, фрезерный станок КАМИ Т120М.

В качестве измерительной аппаратуры применялся шумомер-анализатор спектра, виброметр портативный ОКТАВА-110А совместно с предусилителем КММ400 и микрофонным капсюлем ВМК-205.

Кроме параметров шума контролировались следующие параметры: температура воздуха внутри помещения – 19° С, влажность воздуха – 50 %, скорость движения воздуха – 0,3 м/с.

Измерения проводились на измерительной поверхности с величиной измерительного расстояния $d = 1$ м.

При измерении параметров шума во время рабочего хода в качестве обрабатываемой заготовки использовался сосновый брусок, влажностью 12%, сечением 50x50 мм, припуск на обработку составлял 1,5 мм, для случая форматно-раскроечного станка заготовка распиливалась пополам, при этом ширина пропила составляла 3,2 мм.

Результаты измерений приведены в таблице.

Таблица – Параметры шума деревообрабатывающего оборудования

Станок	Режим работы	Уровни звукового давления L , Дб в октавных полосах со с среднегеометрическими частотами, Гц						Уровень звука L_A , ДБА	
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
		Нормативные значения по СанПиН № 115							
		87	82	78	75	73	71	69	80
СФА4	Холостой	89	91	90	94	92	94	90	92
	Рабочий	95	97	97	103	102	99	98	101
	Превышение	2/8	9/15	12/19	19/28	19/29	23/28	21/29	12/21
СР6-9	Холостой	94	95	98	89	88	89	83	94
	Рабочий	96	102	103	105	103	104	99	99
	Превышение	7/9	13/20	20/25	14/30	15/30	18/33	14/30	14/19
Altendorf F45	Холостой	87	83	83	86	89	87	90	83
	Рабочий	88	93	97	97	98	100	99	102
	Превышение	-/1	1/11	5/19	11/22	16/25	16/29	21/30	3/22
КАМИ Т120М	Холостой	88	83	91	89	92	91	89	87
	Рабочий	95	93	98	97	97	98	97	99
	Превышение	1/8	1/11	13/20	14/22	19/24	20/27	20/28	7/19

Как видно из результатов измерения, что для всех видов деревообрабатывающего оборудования уровни звукового давления и уровень звука превышают гигиенические нормы даже на холостом режиме работы практически на всем частотном диапазоне 125–8000 Гц.

Распределение интенсивности звукового излучения в слышимом диапазоне с одной стороны имеет достаточно равномерный характер, разница в уровнях звукового давления не превышает 10 дБ, с другой стороны носит выраженный высокочастотный характер.

Несмотря на то, что превышение нормативных значений наблюдается уже в режиме холостого хода основной вклад в превышение вносит непосредственное взаимодействие режущего инструмента с обрабатываемым материалом.

Данный факт позволяет утверждать, что наиболее перспективными методами снижения шума являются те, которые влияют на область генерации шума. Новые конструкции инструмента, режимы обработки, конструктивные особенности узлов резания, все эти требуют дальнейшего дополнительного исследования.

Также остаются актуальными ставшие классическими способы борьбы с шумом – использование средств индивидуальной защиты органов слуха рабочих, применение специальных звукоизоляционных материалов в корпусе оборудования, установка звукопоглощающих или звукоизолирующих барьеров вокруг рабочих зон или в непосредственной близости от источника шума.

ЛИТЕРАТУРА

1. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности: ГОСТ 12.1.003-83. – Введ. 01.07.84. – М.: Гос. комитет по стандартам, 1977. – 12 с.

2. Шум на рабочих местах, в транспортных средствах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки: СанПиН от 16.11.2011 № 115 – Введ. 01.01.12. – Минск; М-во здравоохранения Республики Беларусь, 2011. – 22 с.

3. Шум машин. Определение уровней звуковой мощности источников шума по звуковому давлению. Ориентировочный метод с использованием измерительной поверхности над звукоотражающей плоскостью: ГОСТ 31277-2002 (ИСО 3746:1995). – Введ. 01.01.2005. – Минск: Гос. комитет по стандартизации Респ. Беларусь, 2005. – 20 с.

В.В. Раповец, доц., канд. техн. наук;

В.Т. Лукаш, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск);

С.В. Медведев, зав. лабораторией, д-р техн. наук
(ОИПИ НАН Беларуси, г. Минск)

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СУПЕРКОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ В ДЕРЕВООБРАБОТКЕ

Современные процессы деревообработки носят ярко выраженный динамический нелинейный характер и исследование их традиционными инструментальными средствами вызывает серьезные, в том числе принципиальные, трудности.

В результате успешного выполнения научно-технических суперкомпьютерных программ СКИФ Союзного государства [1] созданы предпосылки для успешного преодоления выявленных выше трудностей. За последние годы на кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов БГТУ выполнены совместно с представителями Объединенного института проблем информатики НАН Беларуси работы [2], позволяющие обоснованно подойти к определению основных направлений эффективного суперкомпьютерного моделирования процессов и явлений в деревообрабатывающих отраслях

Рассмотрим основные направления суперкомпьютерного моделирования процессов и явлений в деревообработке, включая моделирование самого процесса механической обработки, свойств древесины, условий взаимодействия инструмента с обрабатываемой древесиной, а также перспективы дальнейших исследовательских и прикладных работ.

1. Моделирование процессов обработки древесины. Одним из направлений суперкомпьютерного моделирования в деревообработке является моделирование различных процессов обработки древесины: фрезерования, пиления, шлифования и других методов обработки. Моделирование позволяет исследовать и оптимизировать технологические параметры процесса обработки, такие как скорость резания, частоту вращения, глубину резания и другие факторы, чтобы достичь оптимальных результатов обработки древесины (Рисунок 1).

2. Моделирование механических анизотропных/изотропных свойств древесины и инструмента. Моделирование различных физических и механических характеристик древесины, таких как твердость, прочность, упругость, плотность и другие свойства.

Моделирование механических свойств древесины позволяет предсказывать ее поведение при обработке и определять оптимальные параметры обработки для предотвращения повреждений и повышения производительности.

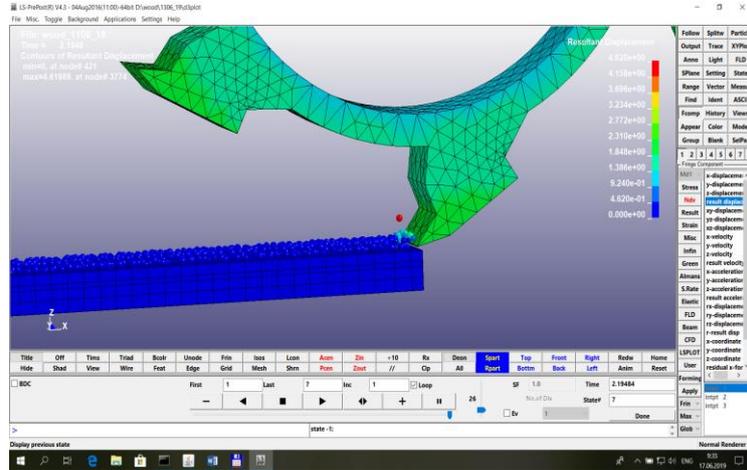


Рисунок 1 – Динамическое взаимодействие фрезы с моделью древесного материала, представленного набором дискретных частиц

3. Моделирование взаимодействия инструмента с обрабатываемой древесиной. Взаимодействие инструмента с древесиной является существенным аспектом, создающим максимальные сложности при моделировании. Суперкомпьютерное моделирование позволяет исследовать и предсказывать взаимодействие древесины и инструмента, включая силы резания, вибрации, тепловые эффекты и другие параметры. Моделирование позволяет определить оптимальную конструкцию инструмента, оптимизировать параметры режима работы и улучшить качество обработки (рис. 2).

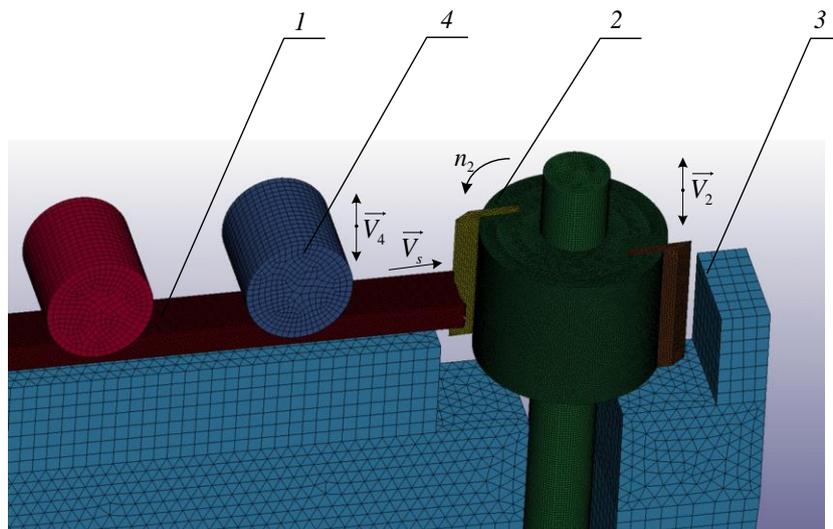


Рисунок 2 – Элемент динамического взаимодействия древесного материала с осциллирующим ножом

4. Моделирование эффективности процесса и поиск оптимальных решений по некоторым критериям. Моделирование позволяет исследовать эффективность и процессов в деревообработке, например, по критериям энергопотребления, производительности, себестоимости продукции и, направленные на снижение затрат и повышение эффективности использования ресурсов.

По направлениям 1-4 получены обнадеживающие и верифицированные на практических данных результаты суперкомпьютерных вычислительных экспериментов.

В качестве перспективных направлений рассматриваются:

– моделирование акустических явлений при высокоскоростном резании и пилении с целью повышения стойкости рабочих инструментов и улучшения санитарных условий работы операторов деревообрабатывающего оборудования;

– моделирование аддитивных сварочных (т.н. “проволочных”) роботизированных технологий производства современного инструмента деревообрабатывающего оборудования и оценка его эффективности в детальных вычислительных экспериментах.

Заключение. Представлены результаты эффективного суперкомпьютерного моделирования процессов деревообработки получены в среде коммерческой версии пакета нелинейного конечно-элементного анализа LS-DYNA, развернутого на кластерах семейства СКИФ в грид-среде. Кластер СКИФ-ГЕО-ОФИС последней модели размещен на кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов БГТУ, используется для проведения исследовательских и прикладных работ. Прорабатываются вопросы использования программного обеспечения конечно-элементного анализа в свободных кодах, а также российской среды LOGOS от корпорации РОСАТОМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Информационные технологии программы Союзного государства «Триада». Основные результаты и перспективы: сб. научн. тр. Научные редакторы С.В.Медведев, Г.М. Левин, Б.М.Розин. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2010. – 304 с.

2. Раповец В.В. Методика моделирования процесса механической обработки древесных материалов фрезерованием в пакете LS-DYNA / В.В. Раповец, А.А. Гришкевич, С.В. Медведев, Г.Г. Иванец. Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды X Междунар. евраз. симпоз., Екатеринбург / Урал. гос. лесотехн. ун-т; под ред. В.Г. Новоселова. – Екатеринбург, Россия, 2015. – С. 170-176.

В.В. Раповец, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск);

В.В. Ткаченко, зав. лабораторией, канд. техн. наук
(ОИПИ НАН Беларуси)

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ ФРЕЗЕРОВАНИЕМ

Технологические и эксплуатационные свойства изделий из древесины в существенной мере зависят от шероховатости поверхности полуфабрикатов и заготовок после деревообработки, в т. ч. фрезерованием. Согласно [1] при фрезеровании натуральной древесины в зависимости от качества инструмента и режимов резания получают поверхности в широком диапазоне классов шероховатости от 3 до 10, которая характеризуется волнообразным профилем с амплитудой выступов и впадин от 16 до 500 мкм. В поточном производстве автоматический контроль качества поверхности непосредственно в процессе обработки материала становится важным и необходимым средством повышения производительности при сохранении требуемого качества продукции.

В деревообработке для объективного контроля качества поверхности применяются приборные измерители ее шероховатости, условно разделяемые по принципу действия на контактные и бесконтактные [2]. К первой группе (Рисунок 1) относятся профилометры и профилографы, результат измерения в которых представляет линейные перемещения или угловые отклонения измерительного щупа, приводимого автоматически или вручную в контакт с контролируемой поверхностью. Эти же соображения относятся и к пневматическим устройствам [2], результат измерения с помощью которых определяется по давлению воздуха, подаваемого через полый измерительный щуп в тонкий зазор между его торцом и контролируемой поверхностью.

Использование для контроля электростатических свойств шероховатой поверхности позволяет обойтись без дополнительных материалов [3].

Ко второй группе относятся приборы бесконтактных измерений шероховатости на основе оптических и акустических методов (Рисунок 1). Их общей особенностью является использование волновых свойств оптических и акустических полей и физ. эффектов, наблюдаемых при отражении этих волн от рельефных (шероховатых)

поверхностей. Применительно к деревообработке предпочтительно использование акустических полей ультразвукового диапазона, для которого длина волны сопоставима с глубиной рельефа (амплитудой его профиля). В работе [4] экспериментально проверены возможности использования ультразвука (62 МГц) для контроля шероховатости древесины от 3 до 9 классов.

Визуальный контроль с применением приборов типа двойной микроскоп дает надежный результат для поверхностей до 10-го класса. Метод рассеяния света и эффекты интерференции света на длинах волн микро- и субмикрометрового диапазона подходят для контроля даже гладких поверхностей – лакокрасочных и полированных. Что касается деревообработки, то здесь может использоваться более простая оптика [5].

Особо необходимо отметить виброакустические методы контроля шероховатости, так как в отличие от упомянутых выше методов с их помощью фиксируются не собственно геометрические или пространственно-частотные характеристики неровностей поверхности, а вибрации, сопровождающие процесс фрезерования и меняющие свой частотно-временной спектр одновременно с формированием структуры поверхности в процессе реза.

В частности, в ряде университетов Республики Беларусь и в ОИПИ НАН Беларуси [6] и выполнены разработки экспериментальных образцов программно-аппаратных комплексов, функционалом которых поддерживается сбор данных и спектральный анализ вибросигналов, формирование базы эталонных спектров и последующего автоматического распознавания на их основе тех или иных дефектов диагностируемой техники.

Опираясь на обзор, представленный в [7], можно констатировать то, что прикладные исследования за рубежом в метрологических вопросах контроля качества деревообработки сконцентрированы на проблеме устранения ошибок при оценке шероховатости, которые связаны с неоднородностью строения древесины, а подходы, применяемые для ее решения, промотивированы эффектами, которые сулят использование искусственных нейронных сетей при обработке сигналов и распознавания изображений. В то же время автоматическое слежение за шероховатостью обрабатываемой поверхности и состоянием инструмента не реализовано.

Заключение. В решении задачи повышения производительности процесса деревообработки и качества выпускаемой продукции определены пути для создания системы автоматического слежения за качеством обрабатываемой поверхности древесины в процессе ее фрезе-

рования. Выполнено сопоставительное сравнение методов и средств измерения шероховатости древесных материалов, подходящих для решения этой задачи, и сделан выбор в пользу известных методов бесконтактного контроля шероховатости, потенциальные возможности которых в отношении требуемых метрологических характеристик позволяют получить необходимый результат автоматизации для практического воплощения в условиях реального производства на любом деревообрабатывающем предприятии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бершадский А. Л. Резание древесины / А. Л. Бершадский, Н. И. Цветкова - Минск : «Вышэйш. школа», 1975. – 304 с.
2. Ползик, П. В. Автоматика и автоматизация производственных процессов деревообрабатывающих предприятий : учебник для вузов / П.В. Ползик, Л.Г. Молчанов, В.К. Вороницын. – М. : Лесная пром-сть, 1987 – 440 с.
3. Романов С.И. Универсальный емкостный метод и компактный прибор для автоматического контроля плотности и шероховатости асфальтобетонных дорожных покрытий /С. И. Романов, А. Ю.Стадник // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2013. Вып. 2(27). - [Электронный ресурс] - <http://vestnik.vgasu.ru/?source=4&articleno=1281> – (дата доступа 10.01.2024).
4. Вороницын В.К. Исследование и разработка ультразвукового метода контроля шероховатости поверхности изделий из древесины и древесных материалов : Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук - М. : Моск. лесотехн. ин-т. – 1973. – 22 с.
5. ГОСТ 9847-79 Приборы оптические для измерения шероховатости поверхности. М. : Изд-во стандартов, 1993. – 7 с.
6. Система виброакустической диагностики технического состояния производственного оборудования / Н. В. Грунтович [и др.] // Принттехнологии и медиакоммуникации : материалы 87-й науч.-техн. конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 3-14 февр. 2020 г. / отв. за издание И. В. Войтов; УО БГТУ. – Минск : БГТУ, 2023. – С. 20-21.
7. Gurau, L., & Irle, M. (2017). Surface Roughness Evaluation Methods for Wood Products: a Review. *Current Forestry Reports*, 3(2), Springer International Publishing AG, 2017. – P. 119–131.

Е.В. Дубоделова, доц.; И.Г. Федосенко, доц.;
Я.П. Жарская, асп.; Д.П. Бабич, ст. преп.;
В.Э. Расолько, асп.
(БГТУ, г. Минск)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕВЕСНОЙ ЩЕПЫ, ПОЛУЧЕННОЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ, БЫВШЕЙ В УПОТРЕБЛЕНИИ В ВИДЕ ТРАНСПОРТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ, ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПРЕССОВАННОГО БИОТОПЛИВА

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 древесных отходов. Минерально-сырьевая база Республики Беларусь не в состоянии удовлетворить текущие и перспективные потребности народного хозяйства в топливно-энергетических ресурсах. Добываемые в настоящее время 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 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. Себестоимость единицы энергии, полученной от альтернативных источников, сегодня несколько выше по сравнению с тра-

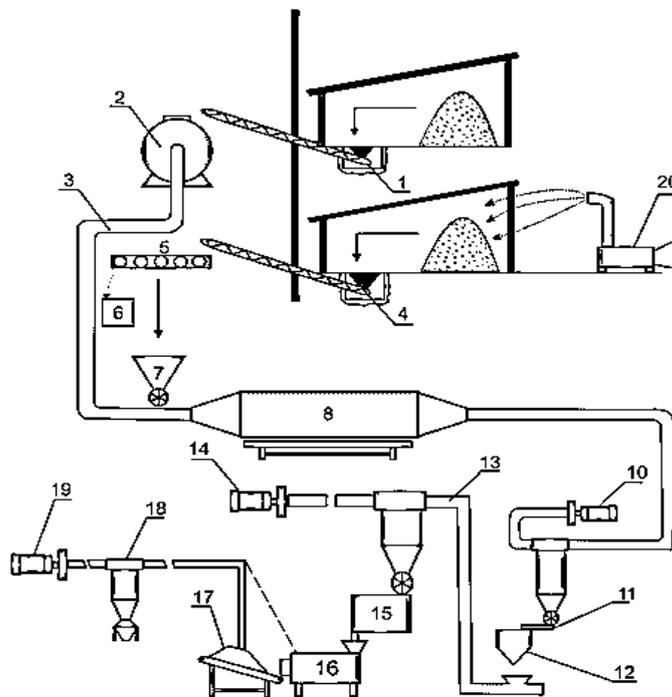
диционными энергоносителями. Тем не менее, зарубежный опыт подтверждает, что с развитием и совершенствованием производственных технологий себестоимость альтернативного топлива неуклонно снижается при постоянном возрастании цены традиционных источников. Очевидно, что разработка и внедрение технологий производства возобновляемой энергии в Республики Беларусь является актуальным направлением.

Брикеты – это спрессованные изделия цилиндрической, прямоугольной или любой другой формы. Их длина (обычно 100–300 мм) не должна пятикратно превышать их диаметра, который всегда больше 25 мм (обычно 60–75 мм).

Достоинствами древесных топливных брикетов в сравнении с другими видами твердого топлива являются: теплотворная способность брикетов не менее 4,5–5,0 кВт•ч/кг (4000 – 4400 Ккал/кг), т. е. выше, чем у дров, и сопоставима с пеллетами и отдельными видами угля; в отличие от дров, брикеты не нуждаются в сушке перед сжиганием; топливные брикеты горят с минимальным количеством дыма, не «стреляют» и не искрят; длительная продолжительность горения брикетов: по сравнению с обычными дровами закладку в печь можно производить в несколько раз реже; постоянная температура на всем протяжении горения древесных брикетов (при большой продолжительности горения); низкая зольность (0,5–1,0%). После сгорания топливных брикетов остается пепел, а не угли, как при сжигании других твердых видов топлива; брикеты требуют меньше места для складирования и перевозки: одна европалета брикетов весом 1 т (около 1 м³) эквивалентна 3–4 м³ дров. Соответственно существенно снижаются затраты на транспортировку и хранение топлива; удобная расфасовка (в основном по 10 кг) позволяет выгружать и складывать их вручную в гараже, подвале и даже в кладовке или на балконе квартиры; стоимость брикетов ниже стоимости пеллет. К сырью для производства брикетов нет таких жестких требований, как к пеллетному (в частности, по содержанию коры), брикетирующие линии дешевле, и, соответственно, ниже себестоимость производства; котлы и камины для брикетов просты в обслуживании, не требуют специально оборудованных мест для складирования и автоматической подачи топлива, а потому дешевле пеллетных; брикетами, в отличие от пеллет, можно заменять другие виды твердого топлива (уголь, дрова) без соответствующей модернизации котлов и печей; выброс оксида углерода в атмосферу при сгорании топливных брикетов минимален; возможность длительного хранения брикетов без ухудшения их качественных характеристик, отрицательного влияния на окружающую среду и по-

жаровзрывобезопасность; улучшение условий труда обслуживающего персонала котельных.

Технология производства брикетов достаточно проста (Рисунок 1) и включает следующее оборудование:



- 1 – Скреповый транспортер, 2 – Теплогенератор, 3 – Воздуховод,
 4 – Скреповый транспортер, 5 – Дисковый сепаратор, 6 – Емкость крупных отходов, 7 – Загрузочный бункер, 8 – Сушилка барабанная, 9 – Циклон,
 10 – Вентилятор, 11 – Магнитная лента, 12 – Дробилка,
 13 – Система пневмотранспорта, 14 – Вентилятор пневмотранспорта,
 15 – Емкость с мешалкой, 16 – Пресс, 17 – Охладитель, 18 – Циклон аспирации,
 19 – Вентилятор аспирации, 20 – Рубильная машина

Рисунок 1 – Вариант организации линии производства топливных брикетов

В рамках проведения исследований изучали возможность применения в составе топливных брикетов, бывших в употреблении деревянных шпал, брусьев мостовых и для стрелочных переводов, не пригодные к повторной укладке в путь, в том числе прошедших химическую обработку путем пропитки средством защитным СМПС или раствором биозащитным на основе антисептика Tanalith E, подвергнутых измельчению в целях последующего брикетирования. Установлено, что они представляют собой древесные отходы, не вошедшие в группу 2 (код 1729902 по [9], 3 класс опасности, горючий отход производства. Исследования проводили для брикетов топливных, которые предназначены для использования в качестве топлива для тепловых установок производительностью до 1,0 МВт включительно в целях

выработки тепловой энергии для промышленных нужд, а также в топках паровозных котлов при фактической теплопроизводительности не более 1,1 МВт.

Для определения номенклатуры вредных факторов оказывающих воздействие на атмосферный воздух были использованы требования ЭкоНиП 17.01.06-001 (в том числе Таблица Е.1 –Нормы выбросов при сжигании газо-образных, жидких, твердых топлив в котлах номинальной мощностью менее 0,1 МВт), анализ результатов инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в 2016 и 2020 г. на УП «Витебское отделение Белорусской железной дороги», включающих в том числе максимальные (г/с) и валовые (т/год) выбросы по каждому ингредиенту, а также количество загрязняющих веществ, улавливаемых на газоочистных установках, значения фоновых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе согласно официальных данных Белгидромет; ТУ ВУ 600012389.028, СТБ 1867. На основании указанных документов количественную оценку состава выбросов в атмосферный воздух при сжигании топливных брикетов проводили путем определения средней и максимальной концентрации загрязняющих веществ при нормальных условиях и определению фактических выбросов по углерода оксиду (окись углерода, угарный газ); азота оксидов в пересчете на азота диоксид, твердым частицам (пыли), а также дополнительно исходя из состава загрязняющих веществ древесной щепы, выпускаемой по ТУ ВУ 600012389.028 по серы диоксиду и углеводородам предельным С1–С10. В рамках проведения исследований было установлено соответствие ст. 30 и 31 Закона Республики Беларусь 16 декабря 2008 г. № 2-3 «Об охране атмосферного воздуха», ЭкоНиП 17.01.06-001 для котлов номинальной мощностью менее 0,1 МВт. При разработке технических условий использованы технические требования, рекомендуемые СТБ 2055-2010, который был разработан в соответствии с поддерживаемыми РБ ГОСТ 33103.1-2017 (ISO 17225-1:2014, ГОСТ 33103.3-2017 (ISO 17225-3:2014), ГОСТ 33103.7-2017 (ISO 17225-7:2014) для топливных брикетов.

Соответствие технических требований установлено лабораторией топлив, масел и кормов Учреждения Белорусского государственного университета «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем». При этом было выявлено, что величины показателей влажности, зольности сухого топлива и низшей теплота сгорания рабочего топлива в виде топливных брикетов, а также массовая доля серы соответствовали требованиям СТБ 2055-2010.

Результаты исследований изложены в ТУ ВУ 300080882.005-2022 «Брикеты древесные топливные. Технические условия».

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО МЕБЕЛИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Увеличение темпов строительства жилья влечет за собой увеличение темпов производства мебели. На сегодняшний день в Республике Беларусь насчитывается более 1 300 мебельных предприятий, появление которых связано с запуском целого ряда заводов по производству древесных плит и фанеры в Республике Беларусь. Большое количество предприятий в отрасли влечет за собой повышение конкуренции, что в конечном итоге стимулирует производителей мебели к поиску новых материалов и неординарных решений в дизайне. Наиболее интересными новыми материалами в производстве мебели являются: изделия из полимерной смолы, древесный текстиль, прошитая древесина, Replex, Lisocore, прозрачная древесина и т.д. [1, 2].

Значительным спросом на сегодняшний день пользуются изделия, изготовленные из ценных пород древесины с заливкой полимерной смолой. Для их производства в качестве основы применяются спилы (рис. 1) или слэбы (Рис. 2), в качестве заливочного материала – полимерная смола. Применение различного рода колеров позволяет получать достаточно разнообразные рисунки. Такая технология чаще всего применяется для изготовления столешниц.



Рисунок 1 – Стол из спила



Рисунок 2 – Стол из слэба

Древесный текстиль представляет собой сочетание шпона и текстиля. Благодаря геометрической отделке поверхности древесины, материал становится гибким. При чем степень гибкости зависит от геометрической формы и размера профильного древесного материала. А различные сочетания древесины и текстиля позволяют оптимально соединить жесткость и гибкость.

Этот материал был специально изобретен для дизайна, автомобилестроения, интерьеров и в качестве обивочной ткани (рРис. 3).



Рисунок 3 – Древесный текстиль

Прошита́я древеси́на (рис. 4) это инновационный материал, в основе которого шпон. Он обладает особыми характеристиками и широким потенциалом применения.

В результате исследований и испытаний, поверхность материала была усовершенствована в направлении экологичности (без использования клеев) и может использоваться как самостоятельно, так и в сочетании с фанерой [2].

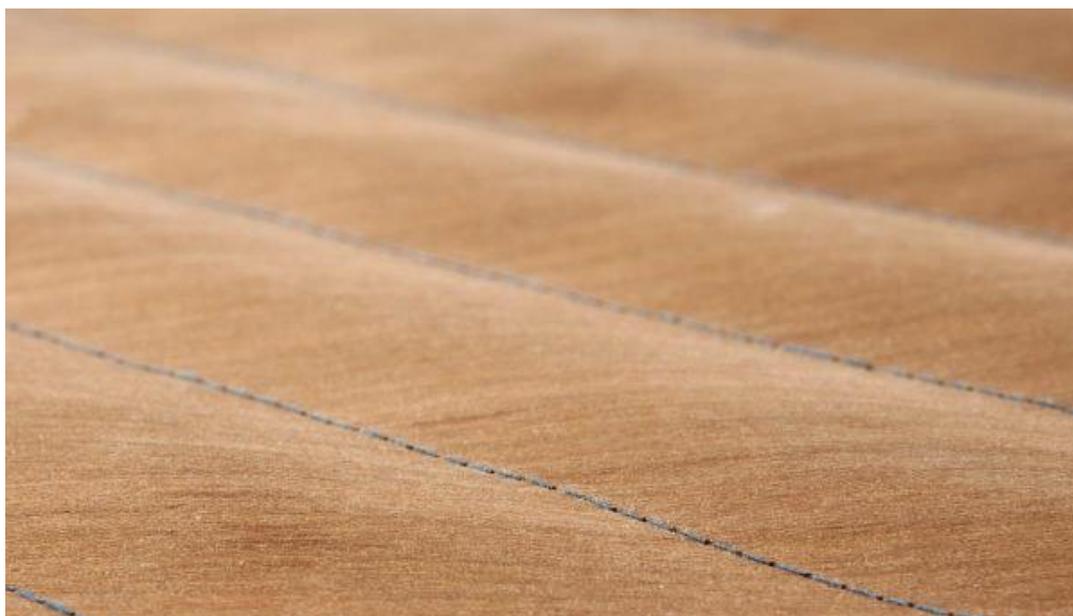


Рисунок 4 – Прошита́я древеси́на

Благодаря особенностям материал обладает такими характеристиками, как гибкость и высокая прочность. Поэтому прошитая древесина может применяться не только в мебельной промышленности, но и в архитектуре, на транспорте или в строительстве сооружений легкого типа. Материал может производиться в разных цветовых исполнениях, сочетаниях и рисунках, также может быть обрезан под размер, быть плоским или определенной формы.

Одним из способов повторного использования изделий из древесины является производство деталей по технологии Replex.

Суть заключается в том, что новое изделие получается из кусков расчепленной старой мебели, которые соединены между собой смолой (Рис. 5).



Рисунок 5 – Изделие по технологии Replex

Относительно новым материалом для производства можно считать Lisocore – это строительный материал с высокими характеристиками, состоит из по меньшей мере двух тонких внешних слоев, которые скреплены рельефным средним слоем. Выборочные пропилы во внешних слоях материала создают углубления, которые идеально стыкуются с рельефом внутреннего слоя (Рисунок 6).

Дополнительную прочность материалу добавляет клеевое соединение слоев. Благодаря плотному смыканию слоев и дополнительной проклейке, слои не разъезжаются относительно друг друга при изгибающем усилии. Бескаркасная конструкция поглощает внешнее силовое воздействие, а минимальное использование клеев, тонкий внешний слой и ячеистый внутренний делают материал ресурсосберегающим.



Рисунок 6 – Щит по технологии Lisocore

Существует десять различных внутренних слоев по высоте, что позволяет производить материал толщиной до 120 мм. В качестве внешних слоев можно использовать ДВП, ДСП, облицованную фанеру, как с покрытием, так и без него. Материал можно ламинировать, покрывать пленкой, лаком и однослойным шпоном [2, 3].

В некоторых странах можно наблюдать интерес ученых и производителей к возрождению технологии производства прозрачной древесины для строительства и производства мебели. Древесина состоит из бесчисленных маленьких вертикальных каналов, похожих на тугий пучок соломинок, скрепленных между собой клеем. Эти трубчатые клетки транспортируют воду и питательные вещества по всему дереву, а когда дерево срубают, и влага испаряется, в этих местах остаются воздушные карманы.

Суть технологии заключается в удалении или замещении из древесины лигнина, который придает древесине землисто-коричневый оттенок. Оставшийся каркас остается непрозрачным, потому что стенки клеток преломляют свет не так, как это делает воздух в карманах клеток – у них разный коэффициент преломления.

Если заполнить воздушные карманы веществом вроде эпоксидной смолы со схожим со стенками клеток коэффициентом преломления, древесина станет прозрачной [3]. Толщина получаемого материала может достигать до 1 см (Рисунок 7).

Данный материал на сегодняшний день находится в активной разработке и его планируют применять в архитектурном оформлении помещений и мебели.

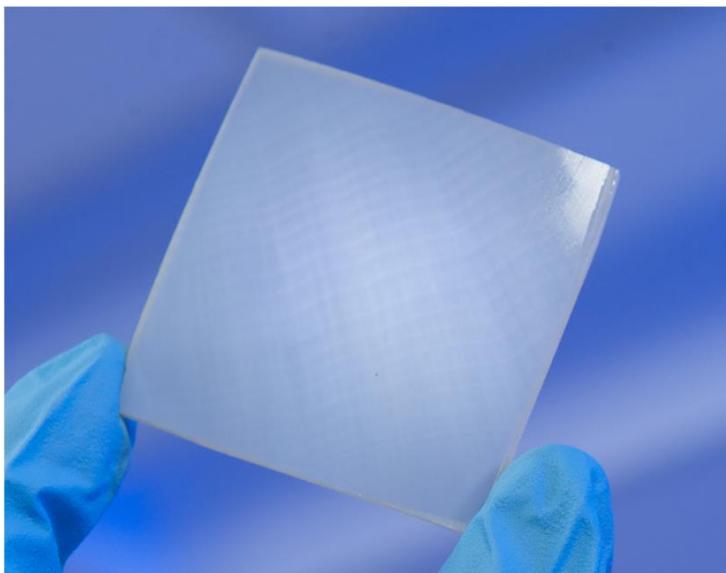


Рисунок 7 – Прозрачная древесина [4]

С точки зрения технологии обработки все большую популярность приобретает лазерная поклейка кромки, особенностью которой является обработка кромок деталей с помощью лазерной установки без применения клея. Для этого используется двойная кромка, нижний слой состоит из полимера, который плавится под воздействием лазера и припаивает кромку, проникая в основу и застывая (рис 8).

Сравнительная характеристика внешнего вида кромок, приклеенных с использованием разных методов, представлена на рисунке 9.

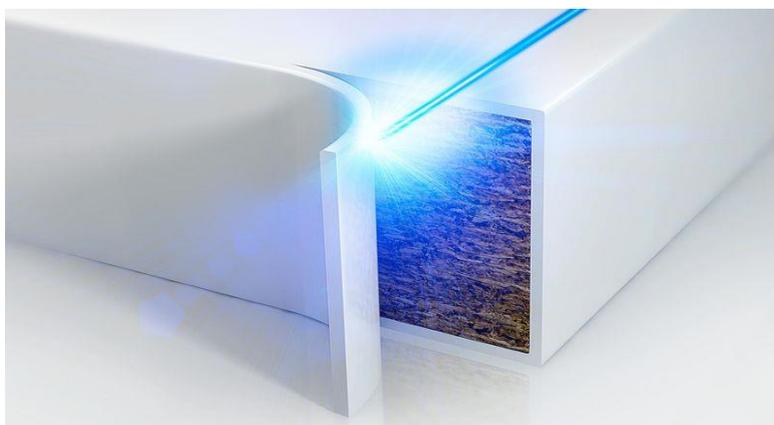


Рисунок 8 – Внешний вид кромок

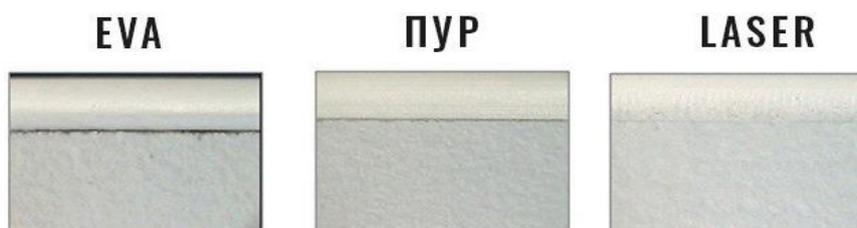


Рисунок 9 – Внешний вид кромок

Данная технология обладает следующими достоинствами: декоративная сторона и торцы выглядят как единое целое, нет клеевых швов; гигиеничность и простота в уходе: клеевые швы отсутствуют, а значит, нет загрязнений между ними, ухаживать за мебелью стало проще; влагостойкость.

Технология Nesting позволяет рационально и экономично раскраивать плиты с помощью обрабатывающих центров. Нестинг делает возможной установку детали в станок один раз и выполнение над ней всех заданных операций, исключая необходимость перемещения, погрузки, складирования и пр. Обработка производится фрезой диаметром до 16 мм. Нестинг значительно сокращает время изготовления деталей, что позволяет выпускать больше продукции высокого качества и наращивать мощности производства [4].

Также следует отметить, что просиходит постепенное внедрение умных технологий и в мебельную промышленность. С развитием интернета вещей (IoT) и умных технологий, производители начинают интегрировать инновационные функции в мебель. Это может включать в себя умные диваны с встроенной зарядкой для гаджетов, системы подогрева или охлаждения, а также возможности автоматического регулирования положения спинки или подставки для ног [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. <https://www.belta.by/economics/view/v-belarusi-za-pjat-let-bolee-chem-v-dva-raza-vyroslo-chislo-proizvoditelej-mebeli-403290-2020/> (Дата обращения: 01.02.2024).
2. <https://proderevo.net/technology/woodworking-tech/obzor-novykh-materialov-dlya-mebelnoj-promyshlennosti-intererov-i-stroitelstva.html> (Дата обращения: 01.02.2024).
3. <https://habr.com/ru/articles/779830/> (Дата обращения: 01.02.2024).
4. <https://qwizz.ru/новые-мебельные-технологии/> (Дата обращения: 01.02.2024)
5. <https://dzen.ru/a/ZakT0hS9THsjDmLs/> (Дата обращения: 01.02.2024)

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ДЕРЕВООБРАБОТКЕ

Республика Беларусь по ряду ключевых показателей, характеризующих лесной фонд (лесистость территории, площадь лесов и запас растущей древесины в пересчете на одного жителя), входит в первую десятку лесных государств Европы. По данным Министерства лесного хозяйства, лесистость республики составляет 40,1%, общий запас древесины – 1 831,8 млн м³, а доля спелых и перестойных лесов – 16,8%. Наличие широкой сырьевой базы способствует развитию деревообрабатывающей промышленности, объем которой во внутреннем валовом продукте составляет порядка 4% [1, 2].

В современных условиях развития промышленности наиболее актуальным становится вопрос максимального внедрения компьютерных технологий в процессы проектирования и производства изделий. Одним из перспективнейших направлений научно-технического прогресса в этой области можно считать разработку, внедрение и совершенствование систем автоматизированного проектирования (САПР). Автоматизированное проектирование обладает рядом достоинств: сокращение сроков и повышение качества проектирования, снижение финансовых затрат и уменьшение влияния человеческого фактора. В конечном итоге это все позволяет значительно повысить эффективность производства, сократить сроки выполнения заказов и повысить их качество [1, 3].

Для реализации поставленных целей на сегодняшний день может использоваться целый ряд программных продуктов, к которым выдвигаются следующие основные требования: простота использования и доступность (САПР), универсальность программного обеспечения, адаптация САПР к условиям проектирования, автоматическое выполнение специфических инженерных расчетов, связь с производством. Так в рамках каждого технологического этапа производства изделий из древесины используются специализированные программные продукты.

В вопросах лесопиления наиболее актуальное значение имеет вопрос рационального использования сырья [4]. Поэтому спросом пользуются программы, позволяющие составить и рассчитать поставку на распиловку сырья, а также составить баланс сырья с целью оценки объема и направлений использования древесных отходов. Чаще всего

данные программные продукты поставляются вместе с оборудованием во время шефмонтажа. Наиболее популярными являются Opti-Sawmill (Opti-soft, РФ), SawsOptimization (Автоматика-Вектор, РФ), веб сервис Pitago Оптимизаторы (Pitago, Литовская Республика), веб-сервис для оптимизации раскроя «MillLab» (Vektorpromsoft, РФ), TLDP (БГТУ), Составление и расчет поставов (БГТУ) и др.

В основу работы большинства программ данного типа заложена теория максимальных поставов с учетом размеров распиливаемого сырья, требуемых типоразмеров пиломатериалов и их стоимости, а также характеристик технологического оборудования. В результате расчетов выдается постав, который обеспечивает максимальный выход или максимальную стоимость пиломатериалов. Результат представляется в виде таблиц или в виде постава (рис. 1).

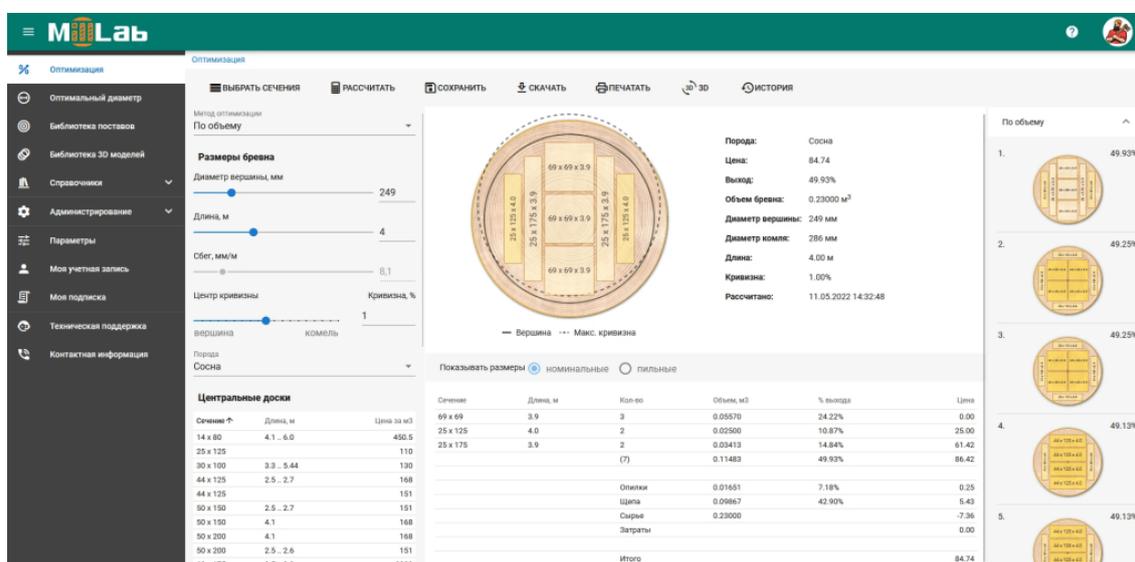


Рисунок 1 – Результат расчета в веб-сервисе оптимизации раскроя «MillLab»

Программы для проектирования мебели можно разделить на две категории: дизайнерские и конструкторские. С помощью дизайнерских можно расставлять готовые мебельные модули в помещении, подсчитывать сумму заказа, быстро визуализировать интерьер помещения, предоставлять графическую информацию клиентам.

Конструкторские программы дают намного больше возможностей. С их помощью можно разрабатывать новые модели мебели, новые прототипы, они обеспечивают большую точность чертежей, позволяют вести учет материалов. Кроме того, дают возможность генерировать файлы для станков с ЧПУ, делать карты раскроя и многое другое.

Наибольшей популярностью у конструкторов на сегодняшний день пользуется комплексная система автоматизации проектирования,

технологической подготовки производства и реализации корпусной мебели БАЗИС. Она основана на математическом ядре С3D компаний АСКОН и считается лидером мебельного софта. Программа состоит из нескольких модулей: Мебельщик, Шкаф, Раскрой, ЧПУ, Упаковка, Смета, Склад, Салон. Результат проектирования представлен на Рисунки 2–4.

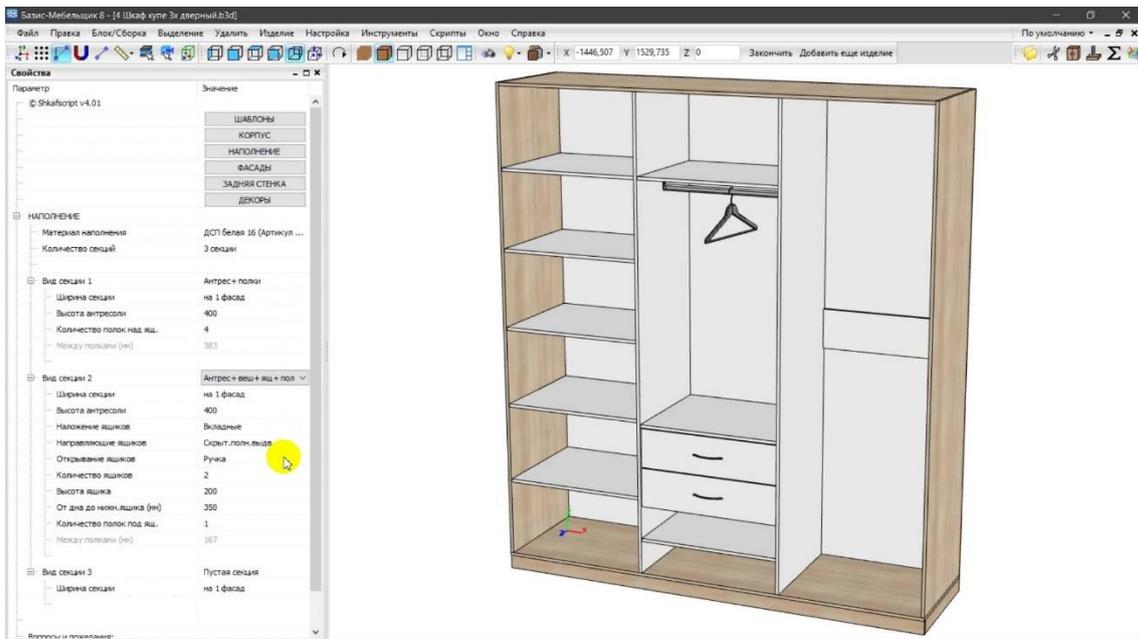


Рисунок 2 – Проект шкафа в Базис-Мебельщик

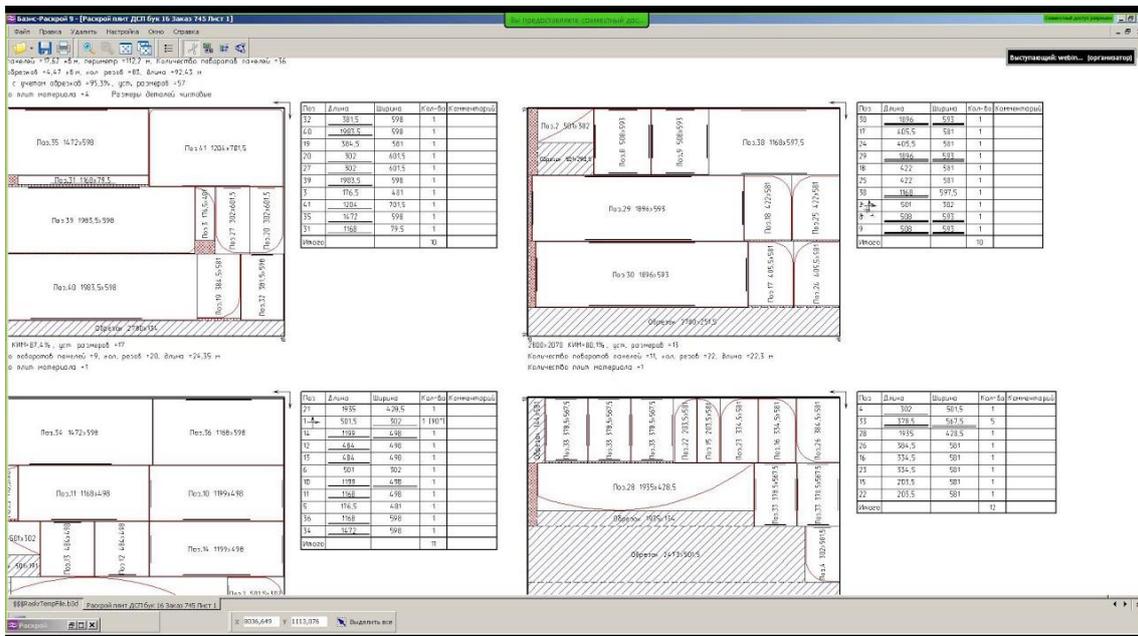


Рисунок 3 – Карта раскроя в Базис-Раскрой

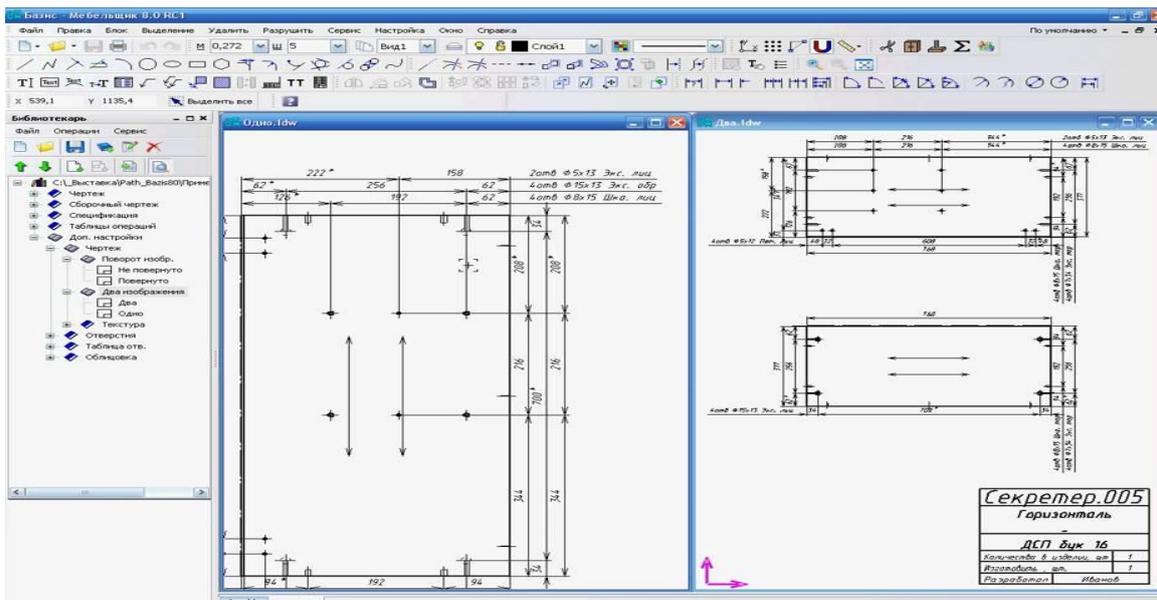


Рисунок 4 – Рабочий чертеж детали

Для быстрого оформления предварительного вида изделия и оформления заказа дизайнеры, менеджеры и конструкторы чаще всего используют программу PRO100. Программа проста в освоении, но она не имеет набора «привязок», с помощью которых можно более точно позиционировать деталь, нет возможности создать карту присадок [2]. Пример проектирования представлен на Рисунок 5.

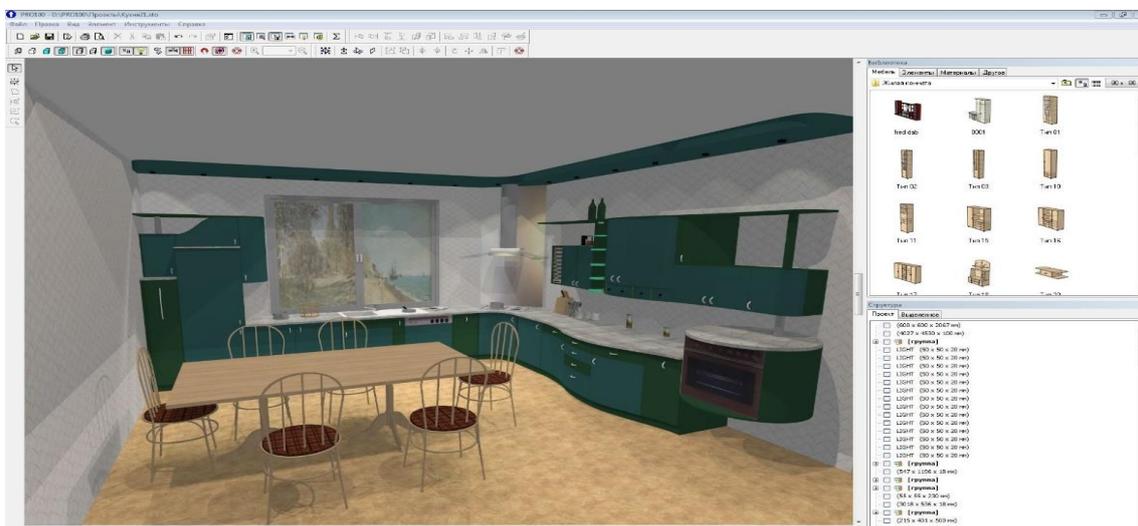


Рисунок 5 – Разработка изделия в Pro100

Кроме вышеназванных также используются Imos, T-FLEX, Solidworks, AutoCAD, Inventor и др. Данные программы также имеют возможность проводить инженерные расчеты, а также разрабатывать карты для станков с ЧПУ.

В области производства окон наблюдается тенденция вытеснения деревянных окон пластиковыми. Однако, проектирование и производство деревянных окон не теряет своей актуальности. Для этих целей также существует ряд специализированных программ, алгоритм расчетов в которых мало чем отличается от расчета пластиковых окон. Широкое применение получила программа OptimaWin, которая позволяет учитывать свойства древесины различных пород, способы крепления и дополнительные виды обработки.

Результат расчета представляется в виде итоговой таблицы, в которой перечислены основные размеры элементов, входящих в изделие (коробка, створки, штапики, шпросы и т. д.), конструктивные особенности, и дополнительно устанавливаемые элементы (ручки, москитные сетки, вентиляционные клапаны и др.) (Рисунок 6).

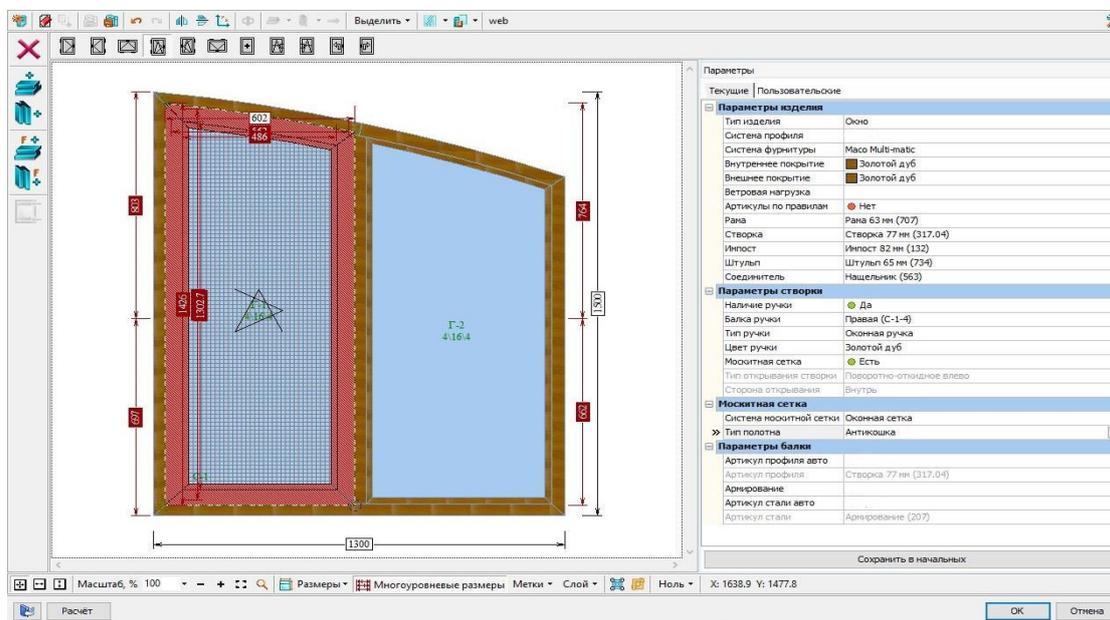


Рисунок 6 – Результат проектирования окон

Для проектирования деревянных дверных блоков и различного рода деревянных элементов интерьера чаще всего используются аналогичные программы, как и для проектирования мебели: AutoCAD, SolidWorks, T-Flex, SketchUp и др.

Для проектирования деревянных домов на сегодняшний день используются программы HouseCreator, КЗ-Коттедж, «АТ Венцы», Dietrich's, Nemetschek, Cadwork, Sema и др. Данные программные продукты позволяют в том или ином виде спроектировать трехмерную модель деревянного дома, спроектировать крышу любой конфигурации, передать информацию на станки с ЧПУ, создавать проекты в среде VRML [4–5]. Результат расчета представлен на Рисунок 7.

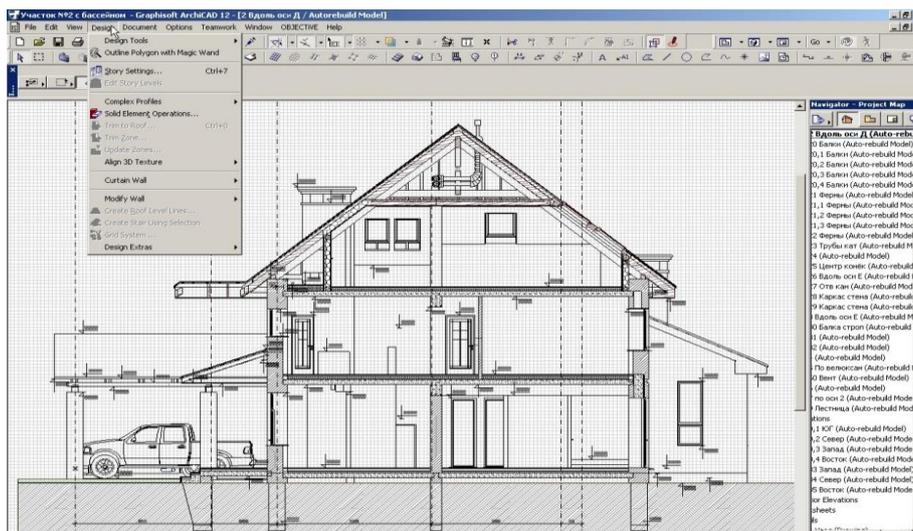


Рисунок 7 – Проект дома

Кроме того, следует отметить, что внедрение систем автоматизированного проектирования связано непосредственно не только с процессом проектирования и производства, но и обеспечением всего процесса производства и реализации продукции.

Как видно из представленного выше материала, можно сказать, внедрение систем автоматизированного проектирования в деревообрабатывающую промышленность идет высокими темпами, что способствует сокращению сроков проектирования и производства, улучшению качества выпускаемой продукции и снижению ее себестоимости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лесной фонд Республики Беларусь. URL: <https://mlh.by/our-main-activites/forestry/forests> (дата обращения: 01.09.2023).
2. Гайдук С.С., Чудук В.М. Автоматизация проектирования изделий из древесины / С.С. Гайдук, В.М. Чудук. – Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2022. №1 (252). С. 181–187.
3. Сапронов В. САПР – критерии оптимального выбора / В. Сапронов. – ЛесПромИнформ. 2008. №7 (56). С. 146–151.
4. Иванкин И.И. Программа для расчета поставов и выходов пилопродукции / И.И. Иванкин. – Лесной журнал. – 2004. №3. С. 73–76.
5. Бударина Р. Деревянное домостроение: способы оптимизации / Р. Бударина. – ЛесПромИнформ. 2008. №7 (56). С. 152–155.

Подсекция «ОБЩЕТЕХНИЧЕСКАЯ»

УДК [574-504] (576)

В.Е. Левкевич, проф., д-р. техн. наук (БНТУ, г.Минск);

Г.И. Касперов, доц., канд. техн. наук;

М.Ю. Курипченко, студ. (БГТУ, г.Минск)

О ТЕХНИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ВОДОХРАНИЛИЩ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ.

В настоящее время в Республике Беларусь построено и эксплуатируется большое количество гидротехнических сооружений различного типа: подпорных и ограждающих (дамб и плотин), шлюзов, водозаборов, а также сооружений берегозащиты наиболее распространенных к которым следует отнести, одежды естественных береговых склонов (каменная наброска, мощение, сборное железобетонное и монолитное бетонное, асфальтобетонное крепление и синтетическое покрытие в виде покрышек) крепление откосов напорных сооружений, волноотбойные стенки и биологическое крепление. На водохранилищах Республики Беларуси для защиты верховых откосов плотин и дамб, а также естественных, подвергаемых разрушению берегов, применяются различные типы креплений, некоторые из которых эксплуатируются более 40 лет [1,2]. Каменная наброска использовалась при креплении берегов и откосов плотин на водохранилищах Заславском, Чижовском (до реконструкции) и Осиповичском. Использовался камень диаметром до 30 см. Каменные покрытия типа мостовой при небольших разгонах волны 0,4 – 0,6 км крепления находятся в хорошем состоянии и являются надежной защитой откосов. Однако в случае разгонов волны более 1,5 – 2,0 км (Заславское водохранилище) откосы ограждающей дамбы закрепленные каменной мостовой были разрушены. В хорошем состоянии находятся крепления, выполненные в виде каменной наброски на размываемых берегах Заславского водохранилища (рис. 1).

Наиболее широко применяются бетонные и железобетонные покрытия в виде как монолитных плит, бетонируемых на месте, так и сборно-монолитных. Монолитные крепления выполняются из плит толщиной до 20 см на слое гравия 10 – 15 см. Плиты разрезаются температурно-осадочными швами по всей высоте откоса. Расстояние между швами 5 – 10 м. Сборно-монолитные крепления выполнены из отделочных плит размерами 4,0 x 1,75 см. Слой гравийной подготовки до 20 см. Каменное мощение устраивается в виде одиночной или двойной мостовой на слое гравия 15–20 см. Обследование объектов с различными типами креплений показало, что бетонные и железобе-

тонные крепления за время эксплуатации зарекомендовали себя как надежное средство защиты откосов.



Рисунок 1 – Крепление откоса камнем

Однако под воздействием внешних воздействий (ветроволновых, ледовых и температурных) происходит разрушение железобетонных креплений и потеря местной и общей устойчивости грунтового откоса. Одной из причин повреждений является, плохое уплотнение швов, некачественное выполнение гравийной подготовки, что в итоге приводит к выносу грунта из-под плит и последующему разрушению (Рис. 2).

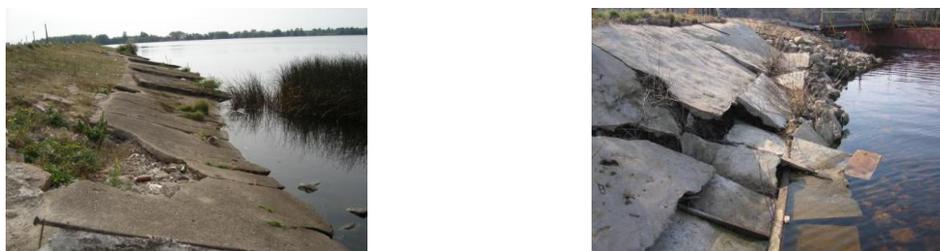


Рисунок 2 – Повреждение ж/б монолитного крепления откосов

Примером разрушения бетонного крепления в процессе эксплуатации может служить берегозащитное сооружение на Лепельском водохранилище. При создании Лепельского водохранилища в первые годы эксплуатации на участках берегов, подверженных переработке, были закреплены откосы железобетонным креплением. В результате раскрытия строительных и температурно-осадочных швов произошло интенсивное вымывание грунта и материала подготовки из-под берегоукрепительных железобетонных плит.

Общая длина укрепленных берегов и берегоукрепительных сооружений на водохранилищах Беларуси составляет около 250 км. Длина поврежденных и разрушенных берегоукрепительных кон-

струкций, и сооружений по данным натурных обследований авторов, проведенных в период 2021–2023 гг., оценена в пределах 110 км.

ЛИТЕРАТУРА

1. Левкевич В.Е. Крепление берегов и верховых откосов подпорных сооружений гидроузлов Беларуси // В.Е. Левкевич: – Минск, БНТУ, 2019. – 172с.

2. Левкевич В.Е. Устойчивость берегозащитных и берегоукрепительных сооружений водохранилищ Беларуси // В.Е. Левкевич – Минск, Право и экономика 2019. – 160с.

УДК (УДК [574-504](576)

В.Е. Левкевич, проф., д-р. техн. наук (БНТУ, г.Минск);

Г.И. Касперов, доц., канд. техн. наук;

М.Ю. Курипченко, студ. (БГТУ, г.Минск)

КЛАССИФИКАЦИЯ ФАКТОРОВ, СПОСОБСТВУЮЩИХ ОБРАЗОВАНИЮ И РАЗВИТИЮ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Размещение водохранилища по территории Республики Беларусь крайне неравномерное, что определяется особенностями рельефа страны. Большинство их сконцентрировано в районе бассейнов рек Припяти и Днепра [1,2]. В Беларуси преобладают малые водохранилища (76,2%), небольшие и средние составляют соответственно 19,2 и 4,6 %. Более половины водохранилищ (53%) имеют объём 1-2 млн. м³. Всего в Республике Беларусь находится около 150 водохранилищ и 1500 прудов.

Одной из причин возникновения чрезвычайных ситуаций на водохозяйственных объектах, к которым относятся водохранилища является процесс разрушения (переработки) берегов, представляющий собой сложное многофакторное явление, протекающим под воздействием ряда берегоформирующих факторов и условий.

К основным берегоформирующим факторам и условиям, определяющим динамику и масштабы абразионных процессов на водохранилищах и нормальную эксплуатацию последних, относят гидрологические факторы: ветровое волнение; режим колебания уровней и течений; ледовые явления и др (Рисунок 1). В условиях водохранилищ Республики Беларусь сочетание факторов иное, чем на крупных водохранилищах других стран. Наряду с «активными» берегообразующими факторами существует ряд «пассивных» с точки зрения берего-

формирования условий, которые оказывают гораздо более слабое влияние на динамику и масштабы процесса переработки, чем «активные» - преимущественно гидрологические факторы.

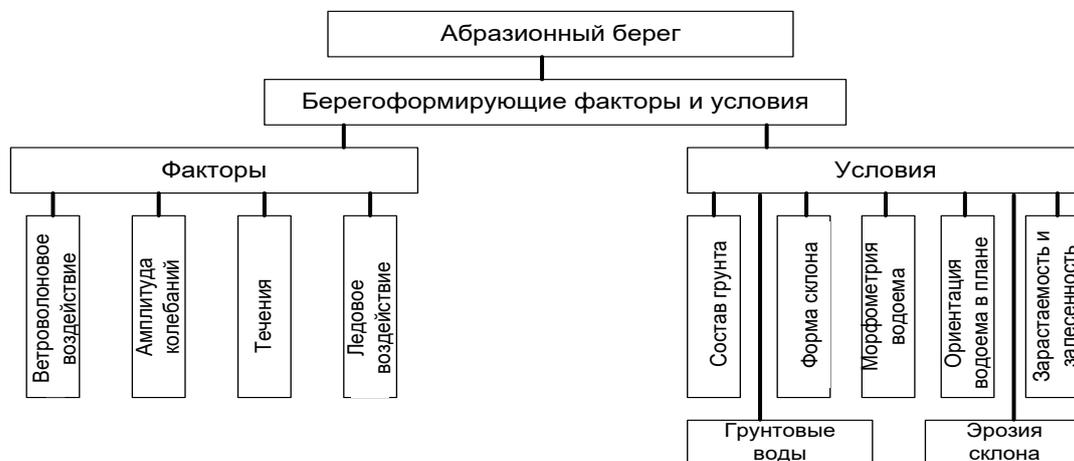


Рисунок 1 – Классификация основных берегоформирующих факторов и условий

Колебание уровней в верхнем бьефе в сочетании с ветровым волнением и течениями определяют интенсивность воздействия водоема на береговой склон и, в конечном итоге, его устойчивость. Режим колебаний уровней в общем случае определяется видом регулирования, осуществляемым данным объектом. В зависимости от полного объема водохранилища, его хозяйственного назначения выделяют многолетнее, сезонное и суточное регулирование, а также смешанное – недельно-суточное. Наибольшее число искусственных водоемов страны осуществляет сезонное регулирование. Из водохранилищ многолетнего регулирования можно отметить лишь Вилейское и Заславское; сезонного – Петровичское, Дубровское, Вяча, Волчковичское; суточного – Чигиринское, Осиповичское, Тетеринское и др.

Уровненный режим характеризуется общим изменением уровней, амплитудой, обеспеченностью (повторяемостью) и длительностью стояния. Независимо от вида регулирования амплитуда колебания уровней (разница между наивысшим и наимысшим положением уровней) в условиях большинства водохранилищ страны не превышает 1,5 м, лишь на Вилейском водохранилище она может достигать 2–3 м.

Стационарные наблюдения за ветровым волнением, проведенные на Заславском водохранилище [2], позволили установить, что характерным для водоемов Беларуси является высокая повторяемость волн высотой 0,1–0,3 м (при длине разгона волны до 2500 м и средней скорости ветра 0,5 м/с). Наиболее интенсивное ветровое волнение развивается в период август-сентябрь. Высота волн $h_{1\%}$, при длине

разгона до 5000 м при этом может достигать 1,2 м

Внутриводоемные течения, выделяемые на водохранилищах [1,2], исследовались на водохранилищах руслового типа: Криницы, Дрозды, Чижовское и на реке Свислочь. В результате построения эпюр и схем распределения скоростей течений стало ясно, что в водохранилищах страны выделяются два вида течений: поверхностное, занимающее по мощности слой от 1 до 2 м, и донное. Скорости зарегистрированных поверхностных течений составили 0,01–0,33 м/с, придонных – 0,025–0,1 м/с

Установлено, что основные разрушения подводной части профиля переработки происходят весной в период наполнения. Всплывший лед, мигрируя по водохранилищу, подходит к берегам и, наползая на них, производит местные локальные деформации склонов. Ширина наползания льда на склон по наблюдениям составляет от 1,0 до 2,5–5,0 м (водохранилища Криницы, Дрозды, Вилейское). При наличии высоких и обрывистых берегов (водохранилища Чижовское, Вяча, Волковичи и др.) в основании склона происходит образование торосов высотой до 1,5 м (водохранилища Вилейское, Заславское, Криницы). Поверхность отмели оттаивает за это время на 0,05–0,15 м. Толщина слоя грунта, перемещаемого надвигающимся на отмель льдом, колеблется от 0,05–0,10 м до 0,1–0,25 м для (водохранилища Криница, Заславское). Объем грунта, вырываемого, всплывающим льдом с поверхности отмели, может составлять в среднем около 0,008 м³/м.

Указанные выше гидрологические факторы и условия являются динамическими активными, меняющими свои масштабы проявления во времени, что является особенно опасным при эксплуатации сооружений на водохозяйственных объектах. Проявление одновременно сочетания нескольких факторов, например, ветрового волнения, течений и колебаний уровней увеличивает риск возникновения чрезвычайных ситуаций и аварий на сооружениях. Учет таких сочетаний факторов позволит при прогнозе чрезвычайных ситуаций уменьшить материальный ущерб и потери.

ЛИТЕРАТУРА

1. Левкевич В.Е. Крепление берегов и верховых откосов подпорных сооружений гидроузлов Беларуси // В.Е. Левкевич: – Минск, БНТУ, 2019. – 172с.
2. Левкевич В.Е. Инженерная защита и мониторинг прибрежной зоны водохранилищ Беларуси // В. Е. Левкевич: – Минск, Право экономика, 2020. – 152с.

В.Е. Левкевич, проф., д-р. техн. наук
(БНТУ, г. Минск);

Г.И. Касперов, доц., канд. техн. наук;

М.Ю. Курипченко, студ.
(БГТУ, г. Минск)

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ ОЦЕНКИ УЩЕРБА ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА КАРЬЕРАХ

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-ситуация и человечески жертвам. В настоящем докладе рассматриваются методические подходы оценке ущерба от подтопления территории, возникающем при условии аварии на карьерном водоеме.

При оценке ущерба от подтопления ОАО «Доломит» базировались на существующей структуре экономических ущербов от негативного влияния хозяйственной деятельности [1].

Важным является целостное представление о воздействии негативного воздействия разного типа на территориальные реципиенты и здоровье населения. Так любая риск-ситуация в той или иной степени предполагает возможность загрязнения водного и воздушного бассейнов, изъятие из пользования либо ухудшение качества сельскохозяйственных угодий и лесохозяйственных участков, воздействие на рекреационные объекты и объекты природоохранного фонда, потери стоимости основных фондов, угрозу для жизни и потери здоровья населения.

Основой предлагаемого методического подхода является универсальный принцип оценивания ущерба от чрезвычайных ситуаций от различных типов и видов негативного воздействия карьерных водоемов ОАО «Доломит» на прилегающие территории через суммирование характерных локальных пофакторных и пореципиентных ущербов. Пофакторные ущербы отражают комплексную экономическую оценку причиненного вреда по основным факторам воздействия. К ним относятся ущербы от:

- загрязнения атмосферного воздуха (A_{ϕ});
- загрязнения поверхностных подземных вод (B_{ϕ});
- загрязнения земной поверхности и почв (Z_{ϕ}).

Пореципиентные ущербы отражают экономическую оценку фактического вреда, причиненного основным реципиентам воздействия чрезвычайных ситуаций. К ним относятся ущербы от:

- потери жизни и здоровья населения (H_p);
- уничтожения и повреждения основных фондов, имущества, продукции (M_p);
- изъятия и ухудшения качества сельскохозяйственных угодий ($P_{c/г}$);
- потерь продуктов и объектов лесного хозяйства ($P_{л/г}$);
- потерь рыбного хозяйства ($P_{p/г}$);
- уничтожения или ухудшения качества рекреационных ресурсов ($P_{рек}$);
- потерь природно-заповедного фонда ($P_{нзф}$).

Расчет ущербов от чрезвычайных ситуаций (3) предлагается осуществлять по общей формуле (1).

$$Z = [A_{\phi} + B_{\phi} + Z_{\phi}] + [H_p + M_p + P_{c/г} + P_{л/г} + P_{p/г} + P_{рек} + P_{нзф}] \quad (1)$$

В зависимости от групп и видов чрезвычайных ситуаций определяются характерные наборы локальных пореципиентных и пофакторных ущербов. Для аварий на водных объектах ущерб рассчитывается по общей стандартной формуле (2), с учетом основных локальных ущербов:

$$Z = B_{\phi} + [H_p + M_p + P_{c/г} + P_{л/г} + P_{p/г} + P_{рек} + P_{нзф}] \quad (2)$$

Расчет ущерба от гидродинамических аварий выполняем по формуле (3).

$$Z = H_p + M_p + P_{c/г} + P_{л/г} + P_{p/г} + P_{рек} + P_{нзф} + B_{\phi} \quad (3)$$

Первые два слагаемых являются основными и, как правило, составляют преимущественную часть общего ущерба. Остальные пореципиентные локальные ущербы рассчитываются, если соответствующие реципиенты оказались в зоне воздействия чрезвычайных ситуаций (зона затопления, зона паводка, зона подтопления). Последний вид ущерба – от загрязнения поверхностных и подземных вод – рассчитывается в случае, если в зоне чрезвычайных ситуаций были разрушены объекты, на которых хранились опасные, ядовитые или загрязняющие вещества и эти вещества попали в водные объекты.

Расчет каждого из локальных ущербов должен проводиться по отдельным методикам, в зависимости от специфики вредных воздействий и реакции соответствующего реципиента. Анализ методик на основе выделенных параметров представлены в [2].

Так, например, параметры для оценки опасности территории рассчитывались на основании рекомендаций «Методических основ оценки ущерба от чрезвычайных ситуаций». При этом применимость

метода для оценки риска возникновения гидродинамических аварий на территории Республики Беларусь определялась по табл. [3].

Таблица – Применимость методов для оценки риска возникновения гидродинамических аварий на территории Республики Беларусь

Методы по оценке риска								
Деревья событий	Деревья отказов	События-последствия	Метод индексов опасности	Метод проверочного листа	Анализ видов и последствий отказов	Метод экспертных оценок	Анализ опасности и работоспособности	Метод Монте-Карло
++	++	+	+	–	+	+	+	+

Примечания:

- 1 (–) – наименее подходящий метод;
- 2 (+) – рекомендуемый метод;
- 3 (++) – наиболее подходящий метод.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методические рекомендации по оценке риска и ущерба при подтоплении территории – М.: ФГУП НИИ ВОДГЕО, 2001. – 38 с.
2. Разработать комплексную оценку влияния карьерных водоемов на безопасность эксплуатации карьеров в местах добычи полезных ископаемых: отчет о НИР (промеж.) /БГТУ; рук. темы Г.И.Касперов. – Минск, 2019. – 92 с. – ГР №20192245.
3. СНИП II 52–74 Сооружения мелиоративных систем – URL: http://www.snip-info.ru/Snip_2_06_03–85.htm/ (дата обращения 23.11.2023).

УДК 621.785.532

С.Е. Бельский, доц., канд. техн. наук;
 М.Н. Пищов, доц., канд. техн. наук;
 А.И. Сурус, доц., канд. техн. наук
 (БГТУ, г. Минск)

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УСТАЛОСТИ ВТОРИЧНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПОСЛЕ ПРОВЕДЕНИЯ ИХ УПРОЧНЕНИЯ

В настоящее время сплавы на основе алюминия благодаря наличию хороших служебных свойств по объему производства занимают в мире второе место после сплавов на основе железа. При этом следует

отметить, что получение тонны первичного алюминия требует на порядок выше энергозатрат по сравнению с получением тонны сплава на основе железа. Поэтому весьма актуальной (особенно при значительном подорожании энергоносителей в сезоне 2023/2024 г.) является задача всемерного увеличения использования вторичного алюминия, получение которого позволяет снизить энергозатраты до 20 раз по сравнению с первичным при существенно меньшей экологической нагрузке на среду обитания.

Известно, что производство вторичных алюминиевых сплавов до последнего времени росло быстрее, чем производство первичных, причем переработкой вторичного сырья занимались порядка двухсот заводов [1].

Однако по комплексу механических свойств алюминиевые сплавы, полученные с использованием металлолома, существенно уступают первичным, что связано с большим количеством вредных примесей, прежде всего железа. Наличие в структуре такого материала крупноигольчатых включений Fe_3Al существенно ухудшает усталостные характеристики сплавов [2].

Для расширения номенклатуры деталей машин, изготавливаемых из таких материалов, целесообразно использовать поверхностное упрочнение, в частности, лазерную обработку. В этом случае существенно повышается твердость материала, а также его сопротивление изнашиванию. Однако влияние лазерной обработки на усталостные характеристики алюминиевых сплавов почти не исследовано.

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%. После проведения обработки вредная в основной массе алюминиевых сплавов примесь – железо оказалось полезной при его содержании до 1%. При этом наблюдается повышение предела выносливости с 67 до 78 МПа при базах испытаний 10^7 , прирост предела выносливости составил в среднем 25-30%.

В результате проведенных экспериментов установлен характер влияния величины процентного содержания железа, кремния и меди в исследуемых вторичных литейных сплавах. Используемые в данной работе установки [1] 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 tribofatigue ISTF 2000 / F. Tsaruck, A. Novitskiy – China; 2000. Hunan University Press. – P. 193 – 195.

2. Рязанов С.Г. Тенденции и проблемы использования вторичных алюминиевых сплавов / С.Г. Рязанов, А.А. Митяев, И.П. Волчок // Nauka i technologia – Труды VI конференции Zakorpane, 2003 г., с. 99-102.

УДК 621.785.532

С. Е. Бельский, доц., канд. техн. наук;
М. Н. Пищов, доц., канд. техн. наук;
Е.Д. Кознина, студ. (БГТУ, г. Минск)

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА НАСЫЩАЮЩЕЙ СМЕСИ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ БОРИРОВАНИИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ

На основании проведенного анализа эксплуатационных повреждений деталей трансмиссий трелевочных тракторов ТТР – 401 и теоретических расчетов математической модели было установлено, что для предотвращения интенсивного изнашивания контактных поверхностей зубьев деталей конических передач переднего ведущего моста необходимо повышение поверхностной твердости до 1100 – 1200 НВ. При этом, как отмечалось, цементация, используемая в настоящее время для упрочнения зубьев данных деталей, не обеспечивает требу-

емую поверхностную твердость. В связи с этим актуально применение других методов ХТО, позволяющих получать заданную поверхностную твердость зубьев деталей и тем самым, увеличивать их износостойкость [1-2].

В настоящее время из рассмотренных методов химико-термического упрочнения наиболее высокой износостойкостью и поверхностной твердостью обладают диффузионные слои, полученные при борировании. Установлено, что при осуществлении данного процесса упрочнения в поверхностных слоях деталей формируются металлоподобные соединения (фазы FeB , Fe_2B) высокой твердости (до 20000 Н μ), что обеспечивает повышенное сопротивление изнашиванию. Рассчитанные остаточные напряжения сжатия, возникающие в поверхностных слоях после борирования, могут обеспечивать возрастание контактной и изгибной прочности упрочненных деталей. Однако борированный слой, как уже отмечалось ранее, обладает высокой хрупкостью, что затрудняет применение данного процесса для упрочнения деталей трансмиссий трелевочных тракторов [3]. Высокая хрупкость борированного слоя в результате циклических нагрузок может привести к его сколу с упрочненной контактной поверхности зубьев и попаданию в масло, в результате чего ускорится абразивное изнашивание деталей трансмиссий, вызывающее снижение их ресурса.

Для исследования структуры упрочненных комплексным борированием слоев на образцах из конструкционной стали 25ХГР использована температура насыщения в порошковых смесях 920–1100 °С, время обработки 3,0–5,0 часов. При содержании в насыщающей смеси около 5 % кремния упрочненный слой, по данным микрорентгено-спектрального анализа, состоит из боридов железа (FeB , Fe_2B) с незначительным количеством фазы Fe_2B (рисунок 1). Фаза $FeSi$ в поверхностном слое не обнаружена.

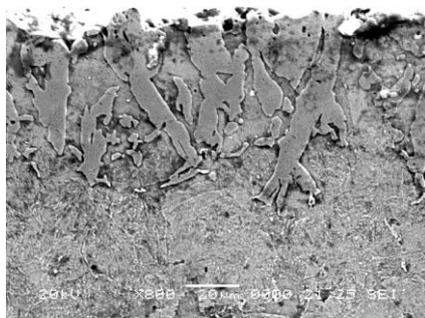


Рисунок 1 – Микроструктура поверхностного борированного слоя стали 25ХГР, полученного при $T = 920$ °С и $\tau = 3$ ч ($\times 800$)

При анализе образцов стали 25ХГР прошедших боросилицирование (состав содержит 85 % B_4C и 15 % Si) в упрочненном слое при-

сутствуют фазы FeB, Fe₂B и FeSi. Толщина упрочненного слоя при времени выдержки 3 часа и температуре 950 °C составляет 130–150 мкм (рис. 2.).

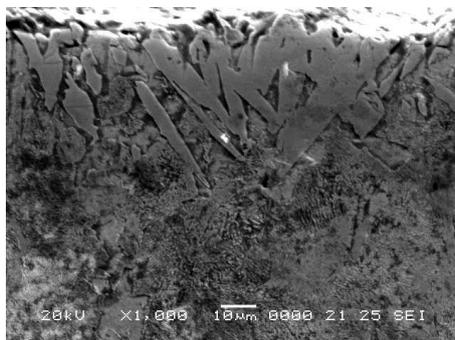


Рисунок 2 – Микроструктура поверхностного боросилицированного слоя стали 25ХГР, полученного при $T = 950\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $\tau = 3\text{ ч}$ ($\times 1000$)

С возрастанием количества кремния в смеси до 20–15 % толщина упрочненного слоя при тех же температурно-временных параметрах процесса несколько снижается, составляя 110–120 мкм. При этом боридные иглы в меньшей степени проникают вглубь образца (рисунок 3). При температуре 1000 °C глубина проникновения вглубь образца фаз FeB и Fe₂B возрастают (рисунок 3), а толщина слоя при времени обработки 3 часа составляет 170–200 мкм. При использовании в насыщающей смеси 20 % кремния фазы FeB присутствует в незначительном количестве (рисунок 4).

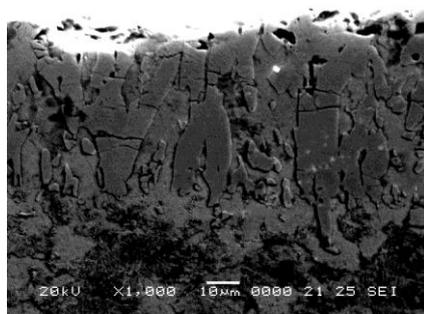


Рисунок 3 – Микроструктура поверхностного боросилицированного слоя стали 25ХГР, полученного при $T = 950\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $\tau = 3\text{ ч}$ ($\times 1000$)

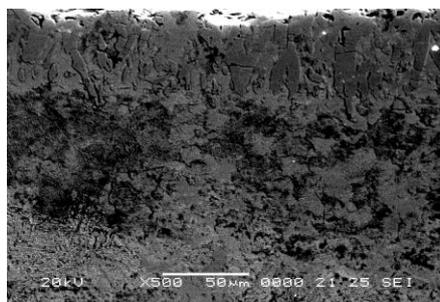


Рисунок 4 – Микроструктура поверхностного боросилицированного слоя стали 20ХГР, полученного при $T = 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $\tau = 3\text{ ч}$ ($\times 500$)

При введении в состав насыщающей смеси алюминия слой при температуре упрочнения 900 °С тонкий и рыхловатый, иглы боридов, а также фаз, содержащих *Al* и *Si* глубже, чем при борировании и боросилицировании проникают внутрь. Толщина слоя примерно, равна 80–100 мкм. Следует отметить, что наличие алюминия в составе, содержащем 90 % B_4C , 5 % *Si* и 5 % *Al*, обеспечивает более интенсивную диффузию кремния по толщине слоя.

При проведении бороалюмосилицирования влияние температуры насыщения наиболее выражено. При температуре 1000 °С слой становится сплошным и плотным, содержит меньшее количество боридов. Толщина слоя примерно равна 120–140 мкм. Также следует отметить, что в слое преобладает фаза Fe_2B , отличающаяся по сравнению с фазой FeB меньшей хрупкостью.

Проведенные выше исследования показали, что наиболее перспективным для упрочнения деталей трансмиссий лесных мобильных машин представляется процесс боросилицирования, проводимый при температуре 950 °С – 1000 °С и времени насыщения 3 – 3,5 часа. При тех же температурно-временных параметрах слой при бороалюмосилицировании в 1,3 – 1,8 раза тоньше, чем при борировании и боросилицировании. Это ограничивает применение данного процесса для деталей трансмиссий трелевочных тракторов, для которых необходима толщина слоя 200-250 мкм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пищов, М.Н. Анализ причин разрушения деталей трансмиссий лесотранспортных машин / М.Н. Пищов // VII Международная межвузовская научно-техническая конференция исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления, г. Гомель, 2007 г. – Гм.: ГГТУ им. Сухого – С. 38 – 41.

2. Бельский, С.Е. Влияние структуры борированного слоя на работоспособность зубчатых передач / С.Е. Бельский, М.Н. Пищов // Международная научно-техническая конференция: материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии, г. Могилев 19 – 20 апреля 2007 г. УО «Белорусско-Российский университет» С. 38 – 39.

3. Ситкевич, М.В. Структура и свойства поверхностных слоев зубчатых передач, упрочненных комплексным борированием / М.В. Ситкевич, М.Н. Пищов, С.Е. Бельский // Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки. Материалы 10 – й международной научно-практической конференции, часть 2, Санкт-Петербург, 15 – 18 апреля 2008. – С. 346 – 353.

М.Н. Пищов, доц., канд. техн. наук;
С.Е. Бельский, доц., канд. техн. наук;
Е.Д. Кознина, студ. (БГТУ, г. Минск)

ИССЛЕДОВАНИЕ В ПОВЕРХНОСТНЫХ УПРОЧНЕННЫХ СЛОЯХ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

С учетом остаточных напряжений сжатия можно оценивать предельные размеры и скорость усталостных трещин, а, следовательно, и долговечность всей детали в целом. Так установлено, что остаточные напряжения сжатия существенно замедляют рост образования усталостных трещин.

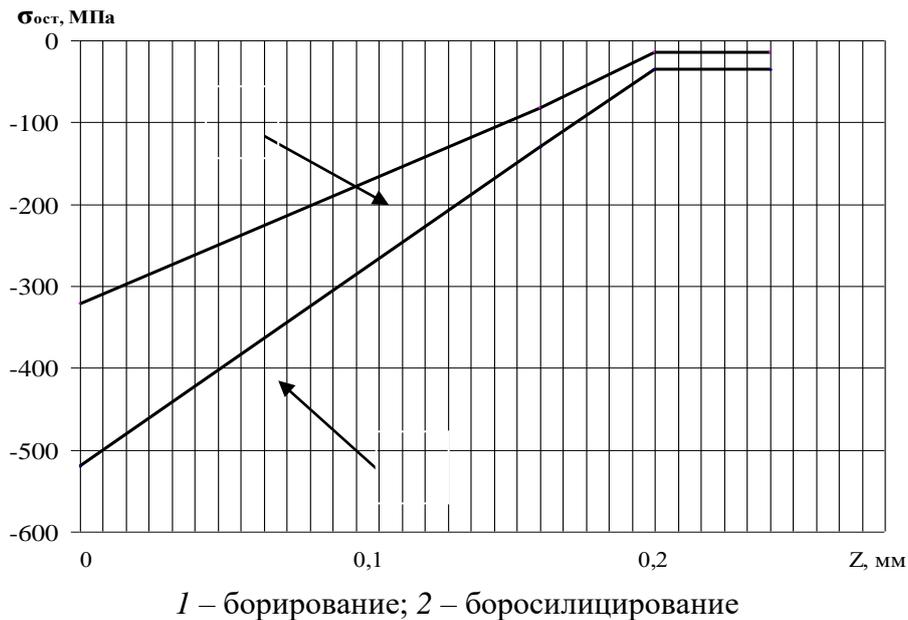
Таким образом, остаточные напряжения сжатия в области локальных пластических деформаций будут замедлять процессы разрушения, протекающие, как правило, с образованием остаточных напряжений растяжения [4].

В ходе проведенных исследований было изучено влияние составов смеси, а также температурно-временных параметров различных процессов упрочнения на распределение остаточных напряжений по глубине поверхностного слоя. Определялся как уровень остаточных напряжений, так и их знак.

На основании теоретической модели напряженного состояния зубьев деталей конической передачи переднего ведущего моста трелевочного трактора [1–3] была получена зависимость остаточных напряжений сжатия по глубине слоя после проведения различной химико-термической обработки деталей (рис. 1).

Установлено, что характер распространения остаточных напряжений по глубине слоя практически одинаковый для разных процессов упрочнения. Максимальных значений остаточные напряжения сжатия достигают на поверхности упрочнения. Установлено, что величина и знак остаточных напряжений в основе металла зависят от термической обработки. Так при закалке образцов остаточные напряжения в основе металла являются сжимающими, что повышает прочность основы.

Для подтверждения теоретических расчетов модели было проведено экспериментальное определение характера распределения остаточных напряжений в упрочненных различными методами диффузионным методом рентгеноструктурного анализа на установке фирмы Bruker по методике.

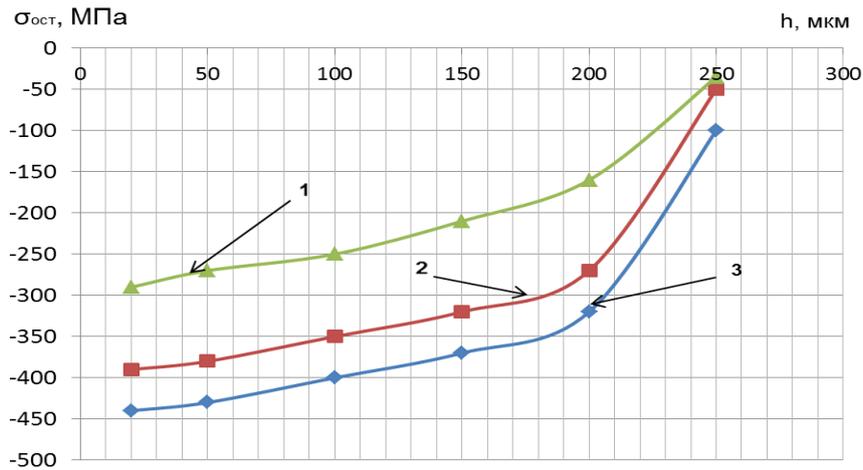


1 – борирование; 2 – боросилицирование
Рисунок 1 – Изменение остаточных напряжений сжатия по глубине упрочненного слоя при борировании и боросилицировании

На рисунках 2–4 представлены графики распределения остаточных напряжений сжатия по глубине упрочненных слоев, полученных с использованием изучаемых составов насыщения при различных температурно-временных параметрах процессов. Из графиков видно, что в результате изменения удельных объемов при фазовых превращениях, различных коэффициентов линейного расширения материалов упрочненного слоя и основы металла возникают остаточные напряжения сжатия с большим градиентом по глубине поверхностного слоя, величина которого зависит от состава смеси и температуры процесса. Наибольших значений остаточные напряжения сжатия достигают при проведении борирования с температурой насыщения 1050 °С.

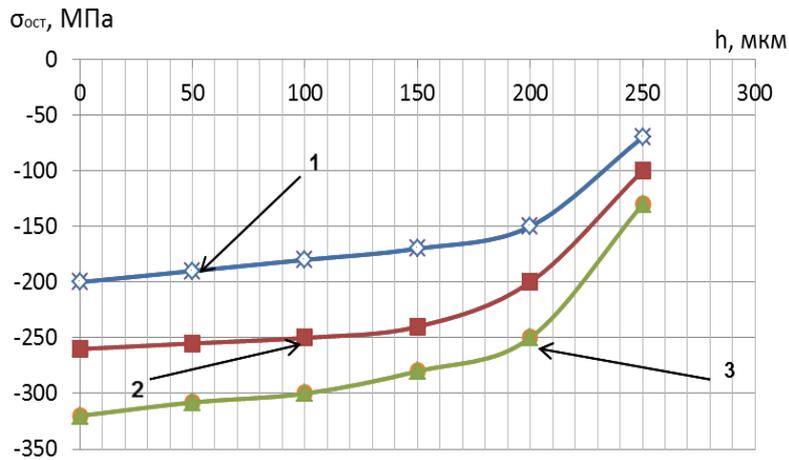
Для всех рассматриваемых составов и температурно-временных параметров поверхностного упрочнения максимальных значений остаточные напряжения достигают на поверхности образцов и уменьшаются при переходе к основе металла. При этом важно, чтобы переход к основе металла осуществлялся без каких-либо скачков уровня остаточных напряжений сжатия.

Было установлено, что с увеличением времени и температуры насыщения при проведении борирования и боросилицирования уровень остаточных напряжений сжатия повышается. При этом с повышением температуры насыщения происходит увеличение уровня остаточных напряжений сжатия как на поверхности, так на глубине 150–200 мкм (рисунки 2, 3), что дополнительно повышает прочность и износостойкость упрочненного слоя.



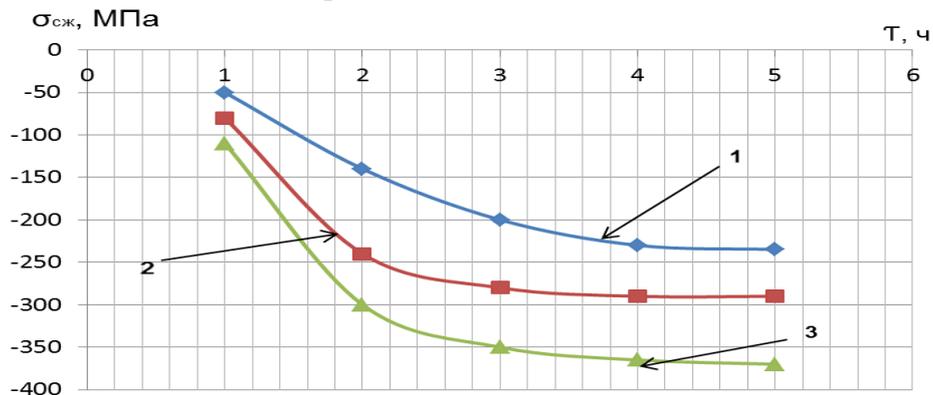
1 – 920 °C; 2 – 970 °C; 3 – 1050 °C

Рисунок 2 – Распределение остаточных напряжений сжатия по глубине упрочненного борированием слоя образцов из стали 25ХГТ



1 – 920 °C; 2 – 970 °C; 3 – 1050 °C

Рисунок 3 – Распределение остаточных напряжений по глубине упрочненного боросилицированием слоя (20 % Si в смеси) образцов из стали 25ХГТ



1 – 920 °C; 2 – 970 °C; 3 – 1050 °C

Рисунок 4 – Влияние времени боросилицирования (содержание в смеси Si – 20 %) на величину остаточных напряжений сжатия на образцах из стали 25ХГТ при разных температурах насыщения

Экспериментальные результаты свидетельствуют о достаточно равномерном распределении остаточных напряжений сжатия по глубине слоя, особенно при упрочнении методом боросилицирования. Можно высказать предположение, что у такого упрочненного слоя должна быть прочная связь с основой металла.

Это важно для работы деталей, работающих при высоких динамических нагрузках.

Полученные экспериментальные значения остаточных напряжений сжатия достаточно хорошо согласуются с теоретическими данными, что подтверждает корректность приведенных расчетов теоретической модели (рисунок 1).

Остаточные напряжения сжатия зависят не только от микротвердости поверхностного слоя, но и от его толщины. Установлено их повышение при увеличении толщины диффузионного слоя, определяемой температурно-временными параметрами процесса.

Учитывая целесообразность сохранения остаточных напряжений сжатия в упрочненном слое на уровне не менее 300–350 МПа целесообразно применять в качестве упрочнения зубчатых передач трансмиссий процесс боросилицирования, который обеспечивает заданные параметры упрочненного слоя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калякин, Л. А. Исследование динамических нагрузок трансмиссии колесного трелевочного трактора: автореф. дис. ... канд. техн. наук: / Л. А. Колякин. – Йошкар-Ола, 1972. – 23 с.
2. Пищов, М.Н. Методика упрочнения тяжело нагруженных деталей трансмиссии трелевочных тракторов / М.Н. Пищов, С.Е. Бельский, А.И. Сурус // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. Мн., 2008. – Вып. XVI. С. 283 – 287.
3. Симанович, В.А. Эксплуатационная оценка работы колесных лесных агрегатных машин / В.А. Симанович, М.Н. Пищов, А.И. Смяян // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. Мн., 2008. – Вып. XVI. С. 92 – 95.
4. Биргер, И.А. Остаточные напряжения / И.А. Биргер // – М.: Машгиз, 1963 – 240 с.

В.А. Симанович, доц., канд. техн. наук, доц;
М.Н. Пищов, доц., канд. техн. наук, доц;
С.Е. Бельский, доц., канд. техн. наук, доц;
Е.Д. Кознина, студ. (БГТУ, г. Минск)

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА УРОВЕНЬ НАПРЯЖЕНИЙ В ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧАХ ТРАНСМИССИЙ ЛЕСНЫХ МАШИН

Условия эксплуатации ряда сложнонагруженных инструментов, а также деталей машин и механизмов характеризуются значительным трением, сопровождаемым интенсивным износом на их рабочих поверхностях. В связи с этим для повышения надежности и срока службы подобных изделий возникает необходимость использования различных способов поверхностного упрочнения. Применяемые для этой цели процессы должны обладать минимальными стоимостью, продолжительностью, трудо- и энергозатратами, не требовать финишной механической обработки изделий.

Для трелевочных тракторов режим работы характеризуется сочетанием высоких динамических нагрузок в деталях трансмиссии при эксплуатации. Установлено, что особенности нагружения ответственных деталей трансмиссий характеризуются колебаниями всей транспортной системы, которые приводят к возникновению наиболее опасных по уровню нагрузок и накоплению усталостных повреждений, а также повышению процесса изнашивания сопряженных поверхностей [1-2].

В настоящее время трелевочные трактора ТТР – 401 создаются преимущественно на базе сельскохозяйственных тракторов производства МТЗ с дополнением их технологическим оборудованием в виде трелевочного щита, отвала и защитного оборудования трактора для трелевки древесины. Установлено, что на долю отказов деталей трансмиссий трелевочных тракторов ТТР – 401 относится 24 % повреждений, в то время как у погрузочно-транспортной машины МЛПТ – 354 до 21 % [1].

На рисунках 1–2 приведены графики изменения эквивалентных контактных напряжений по глубине зубьев конических передач переднего ведущего моста трелевочных тракторов ТТР – 401, действующих по линии АВС при максимальных режимах работы трактора.

Из графиков видно, что при данных максимальных режимах нагружения трелевочного трактора ТТР – 401 контактные эквивалентные напряжения достигают значений 2350–2500 МПа, что приводит к

образованию на контактных поверхностях зубьев, упрочненных цементацией, пластических деформаций в виде полосок. Это приводит к нарушению зацепления контактных поверхностей и повышенному износу зубьев деталей.

Кроме расчетов напряженного состояния зубьев деталей по третьей теории прочности, правильность полученных результатов было принято произвести по четвертой (энергетической) [3].

Согласно четвертой теории прочности:

$$\sigma_{\text{экв.}} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_1\sigma_3}, \quad (2.18)$$

где $\sigma_1 = \sigma_x$, $\sigma_2 = \sigma_y$, $\sigma_3 = \sigma_z$ – напряжения, найденные по формулам. Результаты расчетов приведены на рисунках 1–2. Как видно из рисунка 2 максимальные напряжения возникают в зубчатом колесе на глубине 0,19–0,21 мм и действуют по линии ABC (по третьей теории прочности) и четвертой (энергетической) (линия ABC₁).

На основании приведенных графиков наиболее оптимальная толщина упрочненного слоя для данных зубчатых передач является глубина действия максимальных эквивалентных контактных напряжений 0,19–0,25 мм.

При разработке теоретической модели напряженного состояния зубьев конических передач переднего ведущего моста трелевочных тракторов было установлено, что величина и распределение контактных напряжений зависят не только от геометрических параметров зубчатых колес и момента их нагружения, но и от способа химико-термического упрочнения.

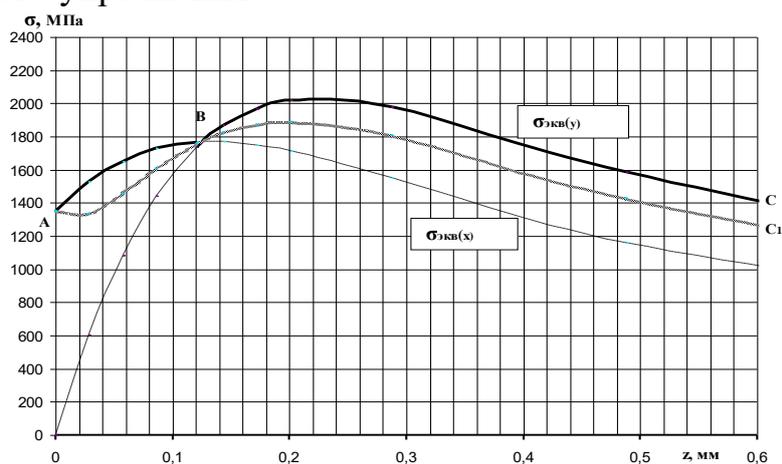


Рисунок 1 – Изменение эквивалентных напряжений по глубине цементированных конических зубчатых колес при максимальных режимах работы трелевочного трактора

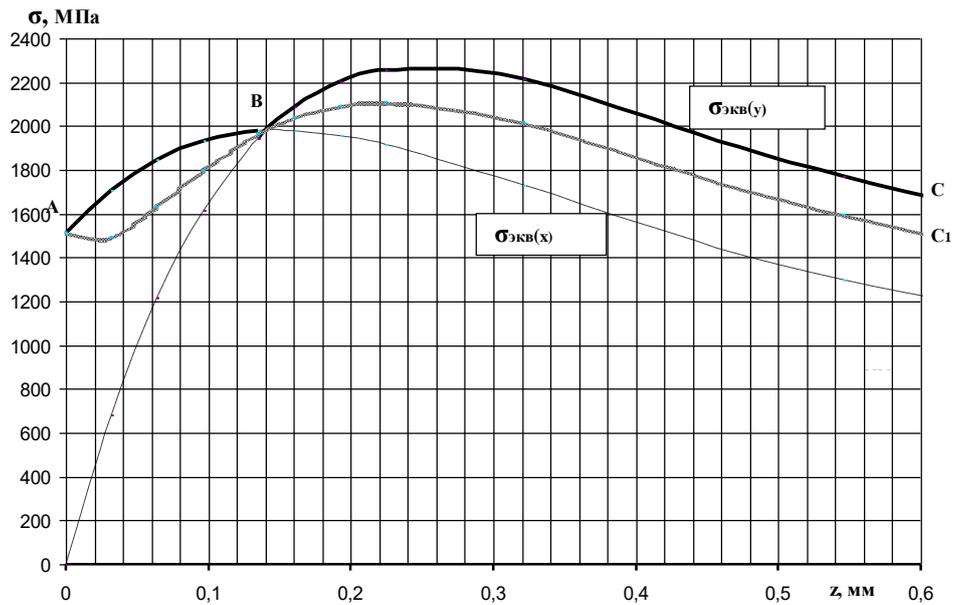


Рисунок 2 – Изменение эквивалентных напряжений по глубине цементированных конических зубчатых колес при максимальных режимах работы трелевочного трактора

В ходе проведения исследований было установлено, что при максимальных пиковых режимах работы трелевочного трактора на поверхности зубьев от контактных напряжений возникают пластические деформации.

Если они достаточно большие, форма зуба существенно искажается и нарушается нормальная работа зубчатой передачи. Чтобы избежать этого применяют поверхностное упрочнение зубьев деталей трансмиссий трелевочных тракторов с использованием различных порошковых материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Симанович, В.А. Особенности эксплуатационных режимов нагружения лесных агрегатных машин / В.А. Симанович, М.Н. Пищов, А.И. Смян // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревооб- раб. пром-сть. Мн., 2007. – Вып. XV. С. 77 – 78.
2. Калякин, Л. А. Исследование динамических нагрузок транс- миссии колесного трелевочного трактора: автореф. дис. ... канд. техн. наук: / Л. А. Колякин. – Йошкар-Ола, 1972. – 23 с.
3. Макаревич, С.С. Модель напряженного состояния зубьев де- талей трансмиссий трелевочных тракторов / С.С. Макаревич, М.Н. Пищов, С.Е. Бельский // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. Мн., 2009. – Вып. XVII. С. 327 – 330.

М.Н. Пищов, доц., канд. техн. наук;
С.Е. Бельский, доц., канд. техн. наук;
Е.Д. Кознина, студ. (БГТУ, г. Минск)

АНАЛИЗ УРОВНЕЙ ВИБРОУСКОРЕНИЙ УПРОЧНЕННЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ТРАНСМИССИЙ ЛЕСНЫХ МОБИЛЬНЫХ МАШИН ПРИ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Исследованиями установлено, что детали трансмиссии трелевочного трактора ТТР-401 при трелевке испытывают повышенные динамические нагрузки на конечные элементы трансмиссии, в частности на конические передачи переднего ведущего моста. Это вызывает необходимость дополнительного упрочнения серийно выпускаемых конических передач переднего ведущего моста трелевочных тракторов ТТР-401 способами, позволяющими получать более высокую микротвердость контактных поверхностей зубьев.

Проведенными практическими исследованиями доказана перспективность использования для упрочнения зубчатых колес трансмиссии трелевочных тракторов процесса боросилицирования с разработанным составом насыщения, при котором наряду с высокой микротвердостью и износостойкостью поверхности образуется упрочненный слой с низкой хрупкостью, что препятствует его выкрашиванию в процессе эксплуатации трелевочного трактора.

В связи с этим организованы сравнительные производственные испытания упрочненных цементацией и боросилицированием конических зубчатых колес переднего ведущего моста трелевочного трактора. Боросилицирование осуществлялось в разработанном составе насыщения (пат. № 11380 Респ. Беларусь) при температуре насыщения 950°C и времени насыщения 3–3,5 часа, что способствует образованию упрочненного слоя толщиной 200–250 мкм с поверхностной микротвердостью 11000–12000 МПа. Ограничение номенклатуры деталей трансмиссии, принятых для исследований объясняется, прежде всего, сложностью испытаний их в реальных условиях, связанной с большой продолжительностью процесса эксплуатации, необходимостью практически полной разборки и сборки сложных механизмов для исследования отдельных деталей и существенным непостоянством реальных условий испытаний во времени.

Производственные испытания упрочненных конических колес трелевочных тракторов ТТР-401 организованы в ОАО «Плещеницлес» и ГЛХУ «Слущкий лесхоз». Основным параметром измерений зубчатых колес являлось виброускорение, которое генерировалось кониче-

скими парами при эксплуатации трелевочного трактора. По изменению уровня виброускорений конических пар можно косвенно судить об износе зубчатых колес. При этом увеличение уровня виброускорений зубчатых колес приводит к повышению интенсивности их изнашивания.

Измерение виброускорений конических передач, упрочненных цементацией и боросилицированием, проводилось при наработке трелевочного трактора ТТР-401 в 50 моточасов, что соответствует новым парам и 2700 моточасов. Испытания трелевочного трактора проводились на первой, второй и третьей передачах КПП.

В ходе испытаний датчик для измерения виброускорений монтировался к переднему ведущему мосту трелевочного трактора ТТР-401 в месте установки подшипников. Посредством шнура сигнал от датчика передавался к измерительному прибору, виброанализатору ВШВ-003-М2.

При измерении виброускорений конической передачи трелевочного трактора при наработке 2700 моточасов отмечается значительное повышение их уровней, особенно на второй и третьей передачах, для упрочненных боросилицированием пар на 2–3 дБ по сравнению с базовым, в то время как для цементированных зубчатых колес на 9,8–10 дБ. Это свидетельствует о повышенной интенсивности изнашивания цементированных конических зубчатых колес уже в период наработки трелевочного трактора ТТР-401 в 1700–1800 моточасов.

Осмотр зубьев конических колес показал наличие на контактной поверхности пластической деформации, задиров и заедания, что подтверждают полученные результаты измерений уровня виброускорений цементированных зубчатых колес, а также результаты исследований упрочненных образцов и стендовых испытаний.

На зубьях колес, упрочненных боросилицированием видимых изменений контактной поверхности не обнаружено, уровни виброускорений возрастают незначительно, что свидетельствует о возможности длительной эксплуатации конической зубчатой пары.

Полученные результаты по состоянию контактных поверхностей зубчатых колес, упрочненных цементацией и боросилицированием подтверждаются опытно-промышленными проверками в ОАО «Плещеницлес».

С.Е. Бельский, доц., канд. техн. наук;
А.В. Блохин, доц., канд. техн. наук;
М.Н. Пищов, доц., канд. техн. наук;
А.И. Сурус, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

ВЛИЯНИЕ ФИНИШНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ОБРАЗЦОВ ИЗ ВТОРИЧНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ НА ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ УСТАЛОСТИ

Некоторые детали машин, работающие в условиях циклического нагружения изготавливаются из алюминиевых сплавов. В настоящее время значительная часть деталей, особенно изготавливаемая методом литья, производится из сплавов, содержащих вторичное сырье (сплавы типа АК9М2, АК8М3 и др.). Такие материалы имеют большое количество интерметаллидных фаз, неметаллических включений, растворимых газов; для них характерна гетерогенность структуры. Усталостные характеристики таких материалов значительно уступают свойствам первичных алюминиевых сплавов, что существенно ограничивает возможность использования вторичных сплавов для изготовления деталей машин, работающих в условиях циклического нагружения.

Проведенные нами исследования и анализ литературы [1–4] показали, что усталостные характеристики многих конструкционных материалов могут быть повышены с помощью термической обработки. Возможность повышения прочностных и усталостных свойств рассмотрена на примере литейного сплава Ал4, взятого в качестве модельного материала, в связи с тем, что для такого материала характерны крупные выделения фаз $CuAl_2$, в результате чего в микрообъемах материала аккумулируется энергия вибрационных нагрузок, образуются микротрещины в межзеренном пространстве, что приводит впоследствии к развитию магистральных трещин и разрушению.

Для повышения прочностных и усталостных характеристик алюминиевых сплавов старение проведено путем термоциклирования в интервале температур -130°C - $+230^{\circ}\text{C}$ со скоростью нагрева $5,0^{\circ}\text{C}/\text{сек}$ и скоростью охлаждения с различным количеством циклов (4-10). Операция нагрева в каждом цикле совмещалась с наложением колебаний частотой 18 кГц и интенсивностью $(0,3-0,4)\sigma_T$ сплава. Совместное воздействие в ходе такой обработки термонаклепа и наклепа под действием колебаний способствовало созданию определенного типа дислокационной структуры, блокирующей рост зародышей вы-

деляющихся при старении фаз и обеспечивающей их равномерное распределение в объеме материала.

Усталостная долговечность образцов (N_u) определялась на стенде при приложении циклической знакопеременной нагрузки величиной $\sigma = 0,6\sigma_T$ материала при частоте испытаний $f = 18\text{кГц}$. Число циклов определялось до разрушения образца.

Проведенные усталостные испытания показали, что обработка образцов по способу термоциклирования существенно повышает усталостную долговечность [5] при сохранении пластичности и прочности материала. Предложенная циклическая обработка при старении способствует образованию большого количества зон Гинье-Престона и выделению мелкодисперсной CuAl_2 - фазы. Количество крупных выделений при этом уменьшается.

Проведение нагрева с использованием высокочастотных знакопеременных колебаний способствует как измельчению выделений, равномерному распределению термических напряжений по сечению, так и фазовому наклепу, что благоприятно влияет на прочность и твердость материала. Использование низкой температуры препятствует коагуляции выделяющихся при старении фаз.

Электронно-микроскопические исследования показали, что предлагаемая обработка препятствует образованию скоплений дислокаций и возникновению полос скольжения, субмикро- и микротрещин на ранних стадиях нагружения в условиях воздействия циклических знакопеременных колебаний. Кроме того, для вторичных литейных алюминиевых сплавов усталостная долговечность может повышаться в результате дробления участков железосодержащих фаз, прежде всего Al_3Fe , что особенно важно при термической обработке сплавов содержащих до 1,5-1,7 % Fe.

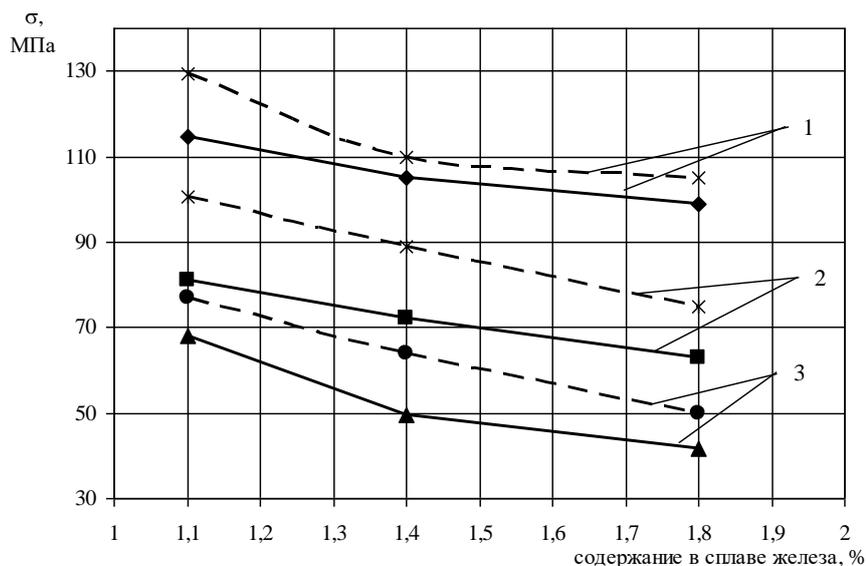
Полученные результаты показали, что уменьшение числа циклов в интервале температур $-130^\circ\text{C} \pm 230^\circ\text{C}$ (менее 4) приводит к недостаточной степени измельчения выделяющихся при старении фаз; повышение числа таких циклов (свыше 10) приводит к образованию повышенных внутренних напряжений в материале, что снижает усталостную долговечность. Проведение операций нагрева и охлаждения с пониженной скоростью приводит к нежелательной коагуляции выделившихся фаз, а также увеличивает общее время обработки. Повышение скоростей как нагрева, так и охлаждения вызывает значительные внутренние напряжения деталей, что снижает их усталостную выносливость, а также приводит к повышенному короблению (поводке).

Температура нагрева (ниже 190°C) приводит к недостаточно полному протеканию процесса старения, в связи с чем снижаются

прочность, твердость и усталостная долговечность. Повышение температуры свыше 230°C приводит к некоторому снижению прочности сплава. Понижение температуры охлаждения затрудняет протекание процесса старения, а ее повышение способствует коагуляции выделяющихся фаз, что также снижает усталостную долговечность.

На приведенный режим ТЦО получен патент Республики Беларусь № 12562 [5].

Применение термоциклической обработки на вторичных сплавах, как и предполагалось, оказалось еще более эффективным чем на первичных (см. рисунки 1–3), поскольку она обеспечивает более равномерное распределение интерметаллидных фаз по объему исследуемого материала. Термоциклическая обработка вторичных сплавов способствует более равномерному распределению термических напряжений и дроблению железосодержащих фаз, прежде всего Al_3Fe (снижение среднего значения параметра формы интерметаллидов λ с 3,94-4,21 до 2,73-3,21). В результате усталостные характеристики сплавов АК9М2 и АК8М3 повышаются в 1,4-1,5 раза.



1 – 1·10⁶ цикл.; 2 – 1·10⁷ цикл.; 3 – 1·10⁸ цикл.

----- термоциклическая обработка; ——— термообработка Т5

Рисунок 1 – Пределы ограниченной выносливости образцов для испытаний из сплава АК5М4 с различным содержанием Fe и термообработкой, частота испытаний – 18 кГц

Проведенные фрактографические исследования образцов сплава АК8М3, содержащего различное количество железа показали, что при использовании РМК в рекомендованных количествах характер изломов при различном содержании железа существенно не изменяется (рис. 4) сопровождалось определенной пластической деформацией,

свидетельствующей о повышении вязкости материала. Отмечается наличие ямочного микрорельефа и большое количество полос скольжения. Первичные поры, связанные с неметаллическими включениями, не провоцируют зарождения трещин и тем самым не способствуют ускоренному разрушению материала.

Таким образом, предлагаемая технология обеспечивает достаточно стабильные усталостные характеристики материала при различном количестве железа, что подтверждается и результатами испытаний сплавов АК5М5, АК9М2 и АК9.

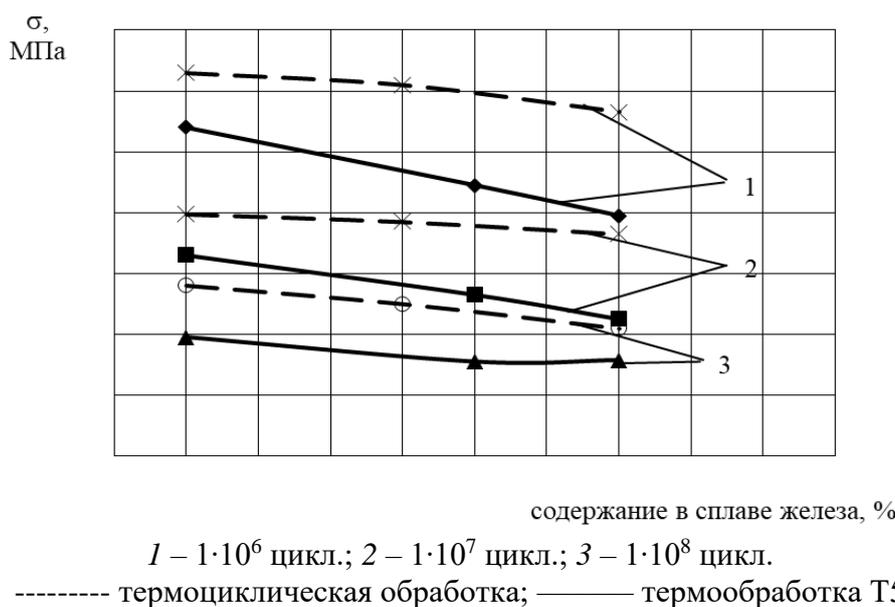


Рисунок 2 – Пределы ограниченной выносливости образцов для испытаний из сплава АК9 с различным содержанием Fe и термообработкой, частота испытаний – 18 кГц

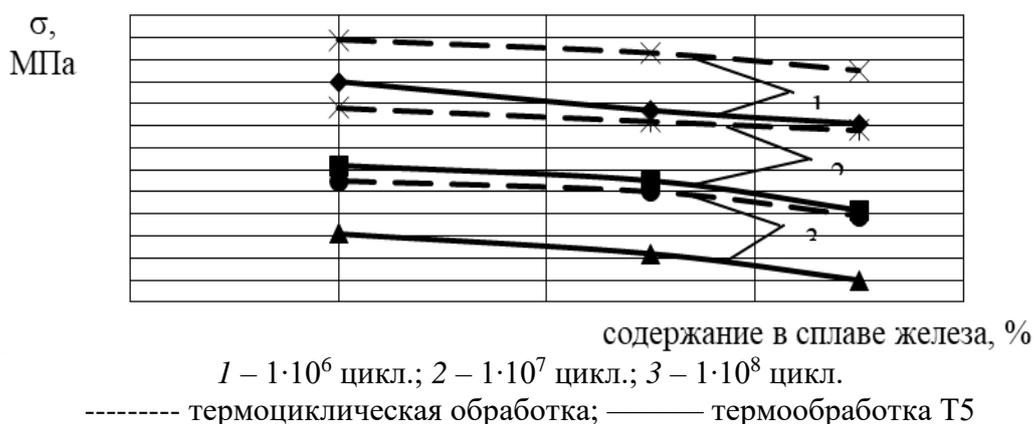
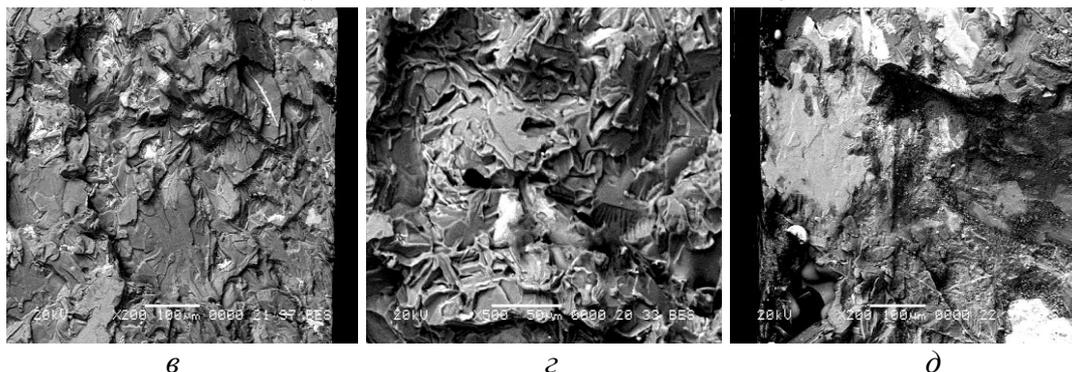
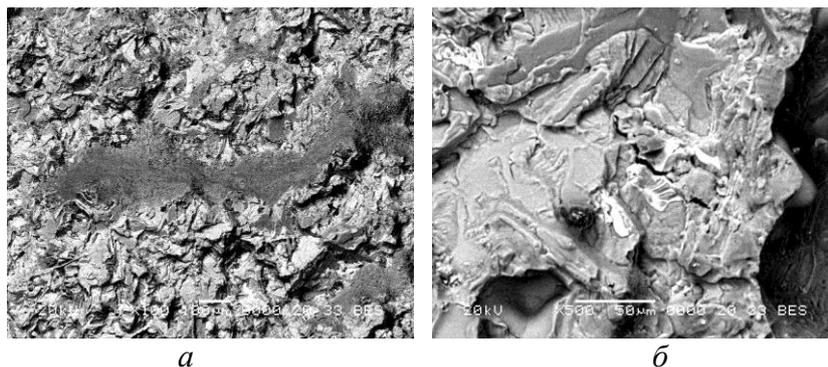


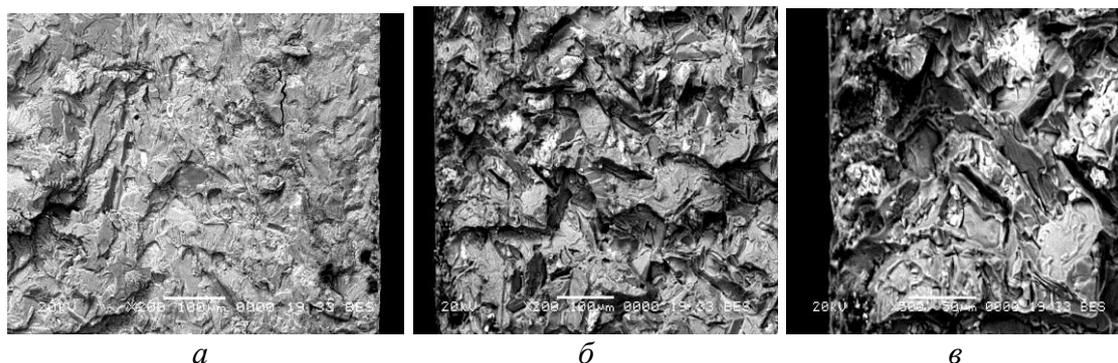
Рисунок 3 – Пределы ограниченной выносливости образцов для испытаний из сплава АК9М2 с различным содержанием Fe и термообработкой, частота испытаний – 18 кГц



a – 0,40 % Fe; *б* – 0,64 % Fe; *в* – 0,92 % Fe; *г* – 1,15 % Fe; *д* – 1,45 % Fe

Рисунок 4 – Усталостные изломы сплава АК8М3, изготовленного с использованием рафинирующее-модифицирующего состава прошедшего ТЦО и содержащего различное количество железа

Стабильность усталостных характеристик полученных материалов подтверждается усталостными испытаниями с различным уровнем напряжений. Как видно из сканограмм с повышением σ от 60,5 до 115 МПа характер разрушения материала не изменяется. Элементов межзеренного хрупкого разрушения и участком циклического скола практически не наблюдалось.



a – $\sigma_N = 60,5$ МПа; *б* – $\sigma_a = 80,5$ МПа; *в* – $\sigma_a = 115$ МПа

Рисунок 5 – Усталостные изломы сплава АК9М2, изготовленного с использованием рафинирующее-модифицирующего состава прошедшего ТЦО и полученные при испытаниях с различным уровнем напряжений

Таким образом, предложенная технология введения РМС (0,06-0,08 %) с ТЦО обеспечивает стабильное повышение усталостных характеристик широкой номенклатуры вторичных литейных алюминиевых сплавов (АК9, АК5М4, АК8М3, АК9М2), содержащих значительное количество железа (в том числе и выплавленных из стружки) при испытаниях с различным уровнем напряжений (Рисунок 5).

Для установления возможности изготовления из таких материалов изделий, работающих при сочетании статических и циклических нагрузок широкого амплитудно-частотного диапазона, необходимо изготовление в условиях действующего производства опытной партии деталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федюкин В.К., Смагоринский М.Е. Термоциклическая обработка металлов и деталей машин. Л.: Машиностроение, 1989. – 255 С.
2. Тофпенец Р.Л., Шиманский И.И., Анисович А.Г., Грешилов А.Д. Физические основы термоциклической обработки стареющих сплавов. – Мн.: Навука і тэхніка, 1992. – 190 С.
3. Васильева Л.А., Малашенко Л.М., Мусохринов Ю.М. и др. Термоциклическая обработка сплава АМг6.//Металловедение и термическая обработка металлов, 1983, – № 12, – С. 19–22.
4. Падзоров Б.Н., Смагоринский М.Е. Термоциклическая обработка алюминиевых сплавов //Новое в металловедении с термической обработкой металлов: тез. докл. всесоюзной научно-технической конференции. – М., 1979, ч.2. – С. 253.
5. Способ термической обработки литейных алюминиевых сплавов из вторичного сырья: пат. 12582 Респ. Беларусь, МПК С 22 F 1 / 04 / А. В. Блохин, С. Е. Бельский; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. – № а 20081099; заявл. 21.08.2008; опубл. 06.08.2009 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуальн. уласнасці. – 2009. – № 5. – С. 93.

А.В. Блохин, доц., канд. техн. наук;
М.Н. Пищов, доц., канд. техн. наук;
А.М. Лось, ст. преп.,
В.А. Шыкер, студ.
(БГТУ, г. Минск)

АЛЮМИНИЕВЫЙ РЕЦЕРКУЛЯТ КАК ИСТОЧНИК СЫРЬЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИТЕЙНЫХ СПЛАВОВ

Сегодня сплавы на основе алюминия являются вторыми по применяемости, уступая только сплавам на основе железа. Динамика роста производства и потребления алюминия впечатляют: если в начале XX века производство алюминия едва достигало 10 тыс. т, то к середине XX века – более 600 тыс. т. По данным Международного института алюминия [1] производство первичного алюминия сегодня достигло свыше 100 млн. т в год и продолжает неуклонно расти. Так, если в 2001 г. в мире было произведено около 24 млн. т первичного алюминия, в 2010 г. – 40 млн. т, а в 2021 – почти 140 млн. т (рис. 1).

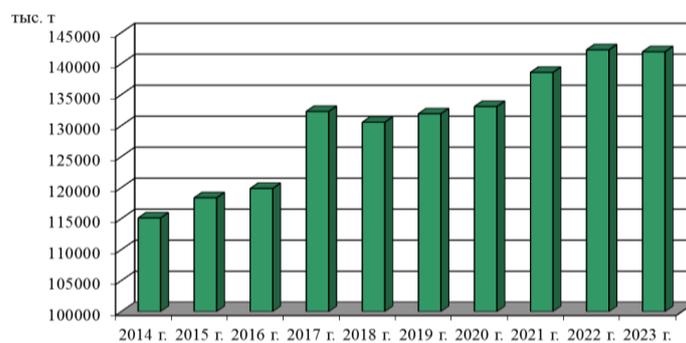


Рисунок 1 – Мировое производство первичного алюминия в 2014-2023 гг.

В мировой практике в настоящее время активно используют два процесса получения алюминия:

- первичного алюминия из глинозема методом электролиза;
- вторичного из лома и отходов производства путем их переплавки. Главным достоинством первого процесса является высокое качество продукции, главным недостатком – высокий расход электроэнергии. Несмотря на то, что в течение 20-го столетия энергозатраты на электролиз снизились в среднем с 50 до 14 кВт·ч/кг алюминия, их доля в себестоимости продукции составляет 25-30%. Кроме того, примерно 15% себестоимости включают затраты на углеродные аноды.

Серьезным недостатком классической технологии получения первичного алюминия является также выделение больших количеств угарного газа и двуокси углерода в результате сгорания углеродного анода. В мире постоянно ведутся работы по устранению отмеченных

недостатков. Так, по данным корпорации «РУСАЛ» [2], наиболее перспективной видится технология, предусматривающая применение инертного анода из алюминиевой бронзы. Применение таких электродов позволит эффективнее использовать электроэнергию и улучшить экологическую обстановку за счет полного исключения выбросов парниковых газов и полиароматических углеводородов (в производстве по классической технологии на одну тонну алюминия расходуется до 500 кг угольных анодов). Ожидается, что применение такого подхода позволят снизить расход энергии до 9-10 кВт·ч/кг.

В мире наиболее крупными потребителями алюминия и, соответственно, поставщиками его скрапа, являются: транспорт, строительная и пищевая промышленность, машиностроение (таблица 1).

Таблица 1 – Образование скрапа при производстве и применении изделий из алюминия [4].

Отрасль	Изделия	Жизненный цикл, лет	Образование скрапа в производстве, %	Коэффициент сбора лома изделий, %	Соотношение деформируемых и литейных сплавов
Транспорт	Пассажирский самолет	25-30	100-122	85-90	90/10
	Автомобиль	12-15	25-43	50-85	20/80
Строительство	Оконная рама	40-50	11-18	85-95	100/0
Пищевая промышленность	Банка для напитков	0,2-0,5	30-33	20-91	100/0
	Фольга	0,2-1,0	10-20	10-30	100/0
Машиностроение	Бытовая техника	7-10	40-70	50-85	50/50

Широкое применение алюминия и сплавов на его основе в транспортном машиностроении определяется высокими показателями удельной прочности, повышенной коррозионной стойкостью, а также способностью к демпфированию колебаний и большому поглощению энергии. Особенно важны эти показатели при производстве легковых автомобилей. В связи с этим темпы использования изделий из алюминиевых сплавов в легковых автомобилях имеют устойчивую тенденцию к росту. Тенденция к увеличению доли цветных, в частности, Al – сплавов, в общем объеме выпуска отливок вызвана, прежде всего, развитием автомобильной и авиационной индустрии. Так, по данным [3] если в 1990 году на один автомобиль расходовалось в среднем 50 кг этого материала, то к 2005 году эта цифра выросла до 130 кг, а в 2020 г. она достигла 205 кг [5].

Результаты исследований компании DuckerFrontier [5] о содержании материалов, используемых при производстве легковых автомо-

билей, однозначно показывают, что удет расти использование алюминия в деталях кузова и шасси в традиционных транспортных средствах, а также в электрифицированных силовых агрегатах и аккумуляторных платформах электромобилей. Автопроизводители будут продолжать увеличивать использование алюминия в новых автомобилях, т.к. тенденция использования широкой номенклатуры материалов, включая сплавы на основе алюминия, при конструировании автотранспорта (легкового, грузового и пассажирского) последние десятилетия остается устойчивым трендом.

Автомобильные фирмы планируют в ближайшее десятилетие довести массу алюминия в автомобиле до 20%. В странах СНГ алюминиевые сплавы применяются недостаточно следствием чего является, что отечественные машины и составляющие их детали тяжелее зарубежных аналогов на 20-25 %. Отсюда удельная мощность снижается, а потребление энергии и топлива увеличиваются, что приводит к ухудшению экологической обстановки в целом.

По данным российской корпорации «РУСАЛ», производство транспортных средств остается наиболее крупным и быстрорастущим рынком сбыта алюминия [6]. Если в 2000 году его потребление в данной отрасли в развитых странах составило 20-25% от общемирового производства, то в 2017 году оно достигло 27 %. В машиностроении в 2016-2017 гг. доля потребленного алюминия составляла 9-9,5%.

Международная конференция Европейского Союза «6-я Рамочная Программа», которая состоялась 25-26 ноября 2002 года в г. Варшава (Польша), определила основные направления развития европейской науки сроком до 2006 года. Согласно этой программе, транспортные средства нового поколения планируется изготавливать более совершенными, надежными и экологически безопасными с использованием при их производстве материалов, способных к 100 % повторной переработке. Большое внимание при этом уделяется использованию алюминия и его сплавов, что нашло отражение в программе «Al-Trans».

По данным фирм, выпускающих большегрузные автомобили Volvo, Scania, Man, Mercedes в грузовом автомобиле можно использовать в среднем до 2000 кг алюминия и его сплавов. Себестоимость таких автомобилей выше, однако эта разница окупается уже после 16 месяцев эксплуатации. Алюминиевые конструкционные материалы все активнее используются при изготовлении подвижного состава железнодорожного транспорта. На сегодняшний день 80 % всех вагонов, эксплуатирующихся в Европе, изготовлены из алюминийсодержащих материалов. Экспериментально установлено, что при замене в вагонах

12 % стальных деталей на алюминиевые, полезная нагрузка увеличивается на 40 %. При широком использовании алюминия в поездах метро и трамваях в 2 раза снижается потребление электрической энергии при разгонах и торможениях. Таким образом, использование алюминиевых сплавов для деталей, работающих в условиях циклического нагружения, постоянно расширяется.

В связи с тем, что новые технологии электролиза требуют значительных средств и времени на их разработку и внедрение, а также в связи с тем, что после их реализации энергозатраты останутся достаточно высокими и будут составлять 17-20 % от себестоимости производства, весьма перспективным является использование вторичного алюминия. Энергозатраты на получение из него сплавов при плавке в электропечах составляют около 0,4 кВт·ч. [7], что в 35 раз ниже, чем при производстве первичного алюминия методом электролиза. Следует отметить, что в развитых странах за период с 1990 по 2000 г. производство первичного алюминия сократилось на 10 % при значительном росте вторичного, обеспечившем рост общего потребления алюминия на 30 %, при этом каждый третий килограмм потребленного металла был получен путем рециклинга [4]. Такая тенденция объясняется высокой стоимостью первичного алюминия. Так, по данным Лондонской биржи металлов (London Metal Exchange) [8], в 1998 г. за одну тонну этого металла просили около 1500 долларов США, то в 2000 г. – стоимость достигала 1600-1700 долларов США за одну тонну. В настоящее время стоимость этого металла остается довольно высокой (рисунок 1.2). В связи с вышесказанным решение проблемы обеспечения возрастающей потребности в алюминии и его сплавах невозможно без рециркуляции алюминийсодержащих материалов, т. е. создания замкнутого цикла использования материалов, который способен неоднократно повторяться.

В настоящее время, скорость рециркуляции стали в мировом масштабе составляет 55 %, а алюминия – 27 %. По мнению многих экспертов, следует стремиться к максимально возможной скорости рециркуляции. Эффективность рециркуляции еще и в том, что она значительно снижает энергетические затраты и позволяет экономно использовать невозобновляемые источники энергии. При общемировом количестве 500 млн. автомобилей и скорости их рециркуляции (замены) 6 % ежегодно образуется более 2,5 млн. тонн вторичного алюминия. Незначительное количество вторичных алюминиевых сплавов поставляют другие отрасли [9]. В настоящее время в Европе около 200 заводов заняты переработкой вторичного алюминия [9]. При этом производство вторичного алюминия по темпам роста опе-

режает получение первичного. Лидерами производства вторичного алюминия являются Германия, Италия, Франция и Австрия, которые перерабатывают до 90 % деталей автотранспорта и до 80 % изделий машиностроения.

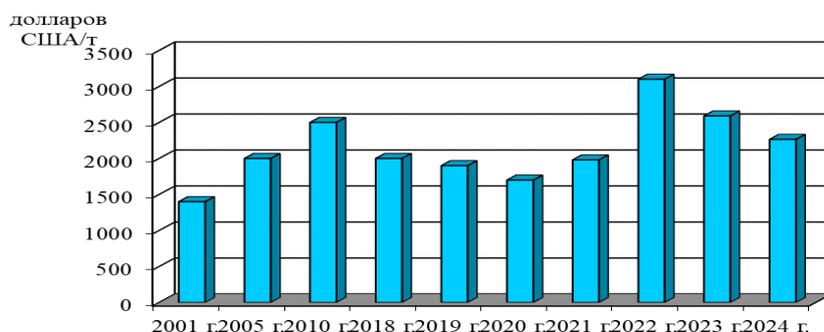


Рисунок 2 – Стоимость алюминия [8] в 2001 -2024 гг.

В настоящее время в Европе около 200 заводов заняты переработкой вторичного алюминия [9]. При этом производство вторичного алюминия по темпам роста опережает получение первичного. Лидерами производства вторичного алюминия являются Германия, Италия, Франция и Австрия, которые перерабатывают до 90 % деталей автотранспорта и до 80 % изделий машиностроения.

Для Республики Беларусь сбор алюминиевого скрапа и эффективная его переработка является актуальной и стратегически важной задачей, т.к. ресурсами, позволяющими получать первичный алюминий, она не обладает. Рост производства, повышение конкурентоспособности изделий вынуждает предприятия наращивать объемы использования сплавов из цветных металлов, в том числе и алюминиевых сплавов. Переработка алюминиевого лома и отходов позволяет частично заменить импорт дорогостоящих первичных алюминиевых сплавов. При этом рынок вторичного сырья в Республике Беларусь за последние 10 лет постоянно развивается. Так, по данным [10], в 2004 г. для переработки на предприятия было поставлено около 3,2 тыс. т отходов алюминия, притом, что среднегодовое количество образования лома алюминия в Республике Беларусь составляло 5-6 тыс. т. Следует отметить, что качественные виды отходов алюминия составляют около 60-70%. По данным РУПП «БелЦветМет» за последние годы заготовка алюминиевого лома и отходов выросла до 10-12 тыс. т. и продолжает расти.

Основной проблемой рециклинга является более низкое качество сплавов по сравнению с полученными из первичного алюминия, а для обеспечения возможности использования вторичных алюминиевых сплавов при изготовлении деталей, работающих в условиях цик-

лического нагружения, необходим большой объем исследований. Поэтому разработка методик ускоренных усталостных испытаний и методов повышения характеристик циклической прочности алюминиевых сплавов являются весьма актуальными. Таким образом, показано, что потребление алюминиевых сплавов неуклонно растет, и существуют объективные предпосылки для его дальнейшего наращивания; в связи с высокой стоимостью первичных сплавов в структуре потребления алюминия весомую долю занимают вторичные сплавы; для более эффективного использования вторичного сырья необходимы исследования влияния различных факторов на характеристики усталости вторичных алюминиевых сплавов.

ЛИТЕРАТУРА

1. International Aluminium Institute [Electronic resource] – Mode of access: https://stats.world-aluminium.org/iai/stats_new/index.asp. – Date of access: 12.02.2011.
2. РУСАЛ [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.rusal.ru/development/innovations/inert_anode.aspx. – Дата доступа 14.05.2011.
3. Металлы и цены. Ценовой каталог металлопродукции и оборудования [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://metal4u.ru/articles/by_id/203. – Дата доступа 14.05.2011.
4. Макаров, Г.С. Российский рынок вторичного алюминия / Г.С. Макаров // Рынок вторичных металлов. – 2004. – № 5/25. – С.70-73.
5. vc.ru [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://vc.ru/money/157659-prognoz-ispolzovaniya-alyuminiya-v-avtomobilnoy-promyshlennosti>. – Дата доступа 31.01.2024.
6. РУСАЛ [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.rusal.ru/development/innovations/inert_anode.aspx. – Дата доступа 14.05.2011.
7. Плавка алюминиевых сплавов в дуговых печах постоянного тока / В.С. Малиновский [и др.] // Рынок вторичных металлов. – 2004. №5/25. – С.53–54.
8. London Metal Exchange [Electronic resource] – Mode of access: http://www.lme.com/aluminium_graphs.asp. – Date of access: 10.05.2011.
9. Рязанов, С.Г. Тенденции и проблемы использования вторичных алюминиевых сплавов / С.Г. Рязанов, А.А. Митяев, И.П. Волчок // Nauka i Technologia: Труды VI конференции. – Zakopane. – 2003. – С. 99–102.
10. Довнар, Г.В. Структура и анализ сырьевой базы цветных металлов Республики Беларусь / Г.В. Довнар, А.А. Андриц, А.Н. Степанюк // Литье и металлургия – 2005. – № 2-1. – С. 124–126.

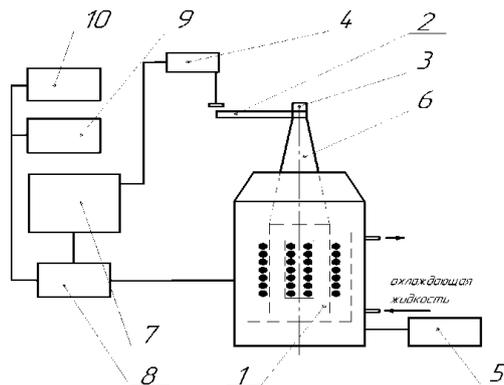
А.В. Блохин, доц., канд. техн. наук;
 А.М. Лось, ст. преп.;
 К.Д. Кучинский
 (БГТУ, г. Минск)

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ КРЕПЛЕНИЯ ОБРАЗЦА ДЛЯ УСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ В УСЛОВИЯХ ЗНАКОПЕРЕМЕННОГО ИЗГИБА

Введение. Определение механических характеристик сплавов на основе металлов характеризуется повышенной трудоемкостью и требует значительных материальных затрат. Одни из самых затратных исследований в этой области – установление характеристик усталости материалов, не имеющих физического предела выносливости.

Решение данной задачи может быть обеспечено большим объемом ускоренных усталостных испытаний, реализуемых с использованием высоких частот нагружения [1-3].

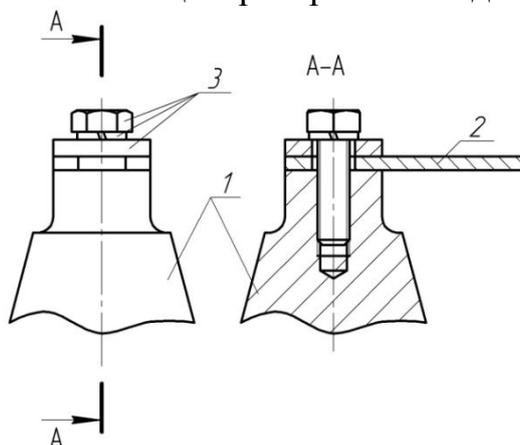
Для испытаний на высоких частотах нагружения часто используют установки, в основу работы которых положены магнитоэлектрические преобразователи [4]. Принципиальная схема оборудования, позволяющего проводить испытания на частоте 18 кГц, приведена на Рисунок 1. Такой комплекс обеспечивает реализацию резонансного режима нагружения знакопеременным изгибом консольно закрепленных образцов, представляющих собой балочки прямоугольного или круглого сечения. При этом испытания проводят как на первой, так и на второй формах собственных колебаний.



1 – магнитоэлектрический преобразователь с катушками возбуждения и подмагничивания; 2 – образец; 3 – устройство крепления; 4 – виброметр МРТИ; 5 – модуль подмагничивания; 6 – концентратор-волновод; 7 – прибор стабилизации амплитуды ПСА; 8 – частотомер; 9 – осциллограф;
 10 – устройство вывода на печать

Рисунок 1 – Принципиальная схема высокочастотного испытательного стенда для возбуждения изгибных колебаний

Практика использования показывает, что наиболее нагруженным элементом испытательной установки является устройство крепления (рис. 1), в качестве которого используют довольно простую конструкцию, с использованием винта, прижимной и стопорной шайбы (позиция 3, Рисунок 2). Винт вкручивается через отверстие образца 2 в его хвостовой части в концентратор-волновод 1 [5].



1 – концентратор; 2 – образец; 3 – элементы устройства крепления

Рисунок 2 – Устройство крепления образца винтом с прижимной планкой

Недостатком крепления такого типа является пониженная жесткость и надежность крепления. Повышение усилия затяжки для обеспечения необходимого усилия прижима повышает вероятность разрушения винта, как при закреплении образца, так и при проведении испытаний.

Известны и более надежные конструкции крепления: с помощью специальных клиновых захватов, устанавливаемых на концентраторе-волноводе 6 (Рисунок 1) или использование образцов с резьбовыми хвостовиками, ввинчиваемые в резьбовое отверстие концентратора-волновода 6 (Рисунок 1). В первом варианте существенно возрастают инерционные массы в месте крепления образцов, что приводит к значительному рассеянию механической энергии, а во втором – усложняет изготовление и подготовку образцов.

Целью данного исследования было предложить конструкцию крепления образцов для проведения механических испытаний на коническом концентраторе-волноводе с возбуждением через заделку.

Основная часть. Для анализа усилий, действующих на элементы крепления, был выполнен расчет методом конечных элементов. Для этого была построена твердотельная модель образца (см. Рисунок 3) и проанализированы силы, действующие на различных участках хвостовика (Рисунок 4, 5). Анализ модели показал, что при амплитуд-

ных напряжениях в опасном сечении 100 МПа необходимо обеспечить усилие прижима не менее 1400 Н.

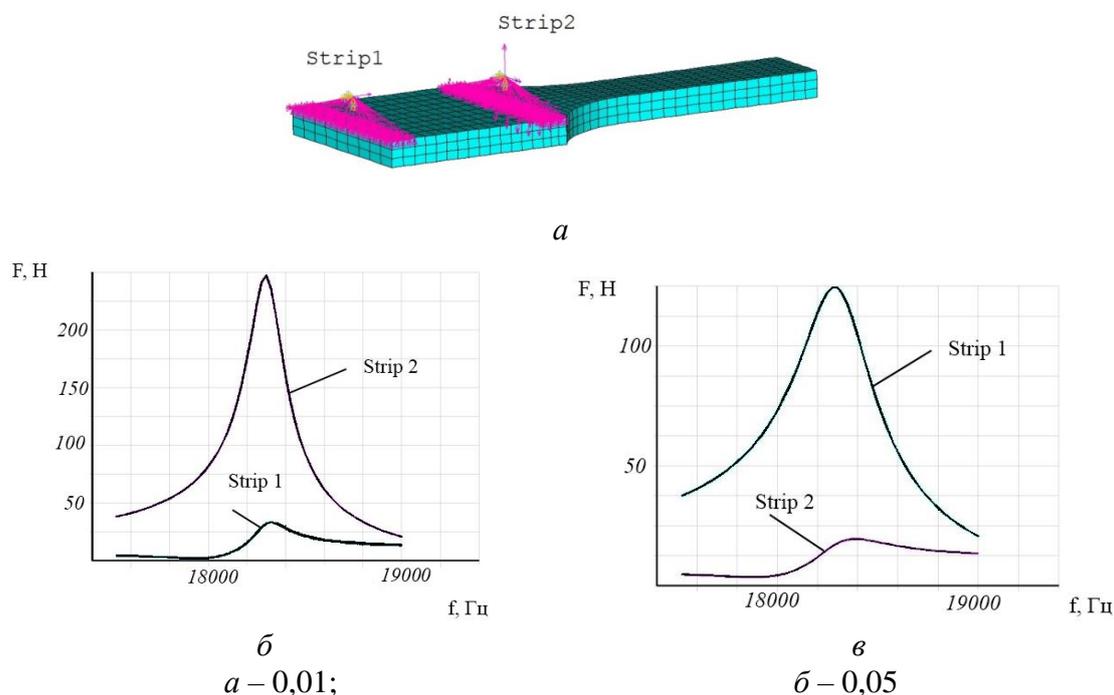
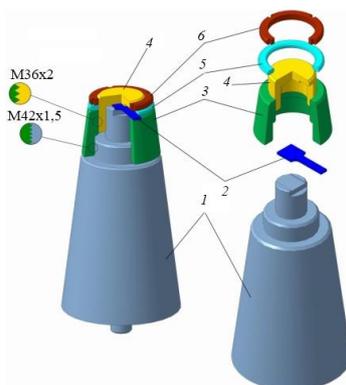


Рисунок 3 – Расчетная схема (а) и усилия, действующие на различных участках хвостовика образца при коэффициенте демпфирования

Для реализации необходимых усилий прижима, повышения надежности устройства крепления, повышения точности позиционирования образцов при частоте испытаний 18 кГц было предложено устройство крепления, конструкция которого показана на Рисунок 4.



1 – концентратор-волновод; *2* – образец; *3* – дифференциальная гайка;
4 – втулка; *5* – шайба; *6* – контргайка

Рисунок 4 – Конструкция устройства крепления образца к концентратору

Обеспечение необходимого усилия затяжки достигается за счет значительного увеличения диаметров резьб дифференциальной гайки 3 (Рисунок 4).

Так, для устройства крепления, приведенного на Рисунок 2, используется винт с резьбой М8-М10 (дальнейшему увеличению размеров резьбы препятствует геометрия концентратора-волновода). В предлагаемой конструкции диаметры резьб приняты М36 и М42. Для снижения влияния элементов крепления на коэффициент усиления концентратора-волновода 1 дифференциальная гайка, втулка, шайба и контргайка выполняются из материала концентратора-волновода, а образующие их наружной поверхности являются продолжением образующей наружной поверхности концентратора-волновода.

Выводы. Использование моделирования методом конечных элементов позволило определить усилия, действующие на детали крепления. Была предложена конструкция крепления, которая за счет существенного увеличения диаметра резьб (в 3,5-4,5 раз) позволила повысить его надежность. Это позволит сократить время, необходимое для осуществления нагружения образцов при исследовании характеристик усталости конструкционных материалов за счет сокращения остановок испытательного оборудования по причине выхода из строя устройства крепления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Влияние амплитудно-частотных параметров циклического нагружения на кинетику физико-механических характеристик конструкционных материалов / С.Е. Бельский [и др.] // Трибофатика: тр. IV междунар. симпозиума, Тернополь, 23–27 сент. 2002 г.: в 2 т. / Тернополь. гос. техн. ун-т им. Ивана Пулюя; редкол.: В.Т. Трощенко [и др.]. – Тернополь, 2002. – Т. 1. – С. 407–410.
2. Довгялло, И.Г. Разработка метода ускоренного определения характеристик усталости металлов и сплавов и его физическое обоснование / И.Г. Довгялло, С.Е. Бельский, Ф.Ф. Царук // Труды БГТУ, вып. II, Мн., 1994, – С. 80–85.
3. Belskiy, S. E. Influence of cyclic loading parameters on fatigue characteristics of die steel. / S. E. Belskiy, A. V. Blakhin, Adel Abdel Bas-set Rashid // Vestnik of Brest State Technical University, 2022, no.3.
4. Блохин, А.В. Развитие комплекса оборудования для усталостных испытаний конструкционных материалов / А.В. Блохин // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2004. – Вып. XII. – С. 263–266.
5. Усталостные испытания на высоких частотах нагружения / Под ред. В. А. Кузьменко – Киев.: Наукова думка. – 1979. – 335 с.

А. М. Лось, ст. преп.,
А. И Сурус, доц., канд. техн. наук;
А. В. Блохин, доц., канд. техн. наук;
М. Н. Пищов, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЗАКЛЕПОЧНОГО СОЕДИНЕНИЯ

Заклепочные соединения относят к неразъемным типам соединений и, в большинстве случаев, применяют для соединения листовых материалов и прокатных профилей. Соединение образуется при расклепывании стержня заклепки, вставленной в отверстие скрепляемых деталей.

Все заклепочные соединения обладают высокой надежностью, удобством контролирования качества, высокой сопротивляемостью к вибрационным и ударным динамическим нагрузкам. Кроме вышесказанного, следует отметить и несколько недостатков заклепочных соединений: большой расход материала, высокая стоимость изготовления, шум при изготовлении.

Исследования нагруженности заклепочного соединения выполнялись на примере двухсрезного соединения с напряженной заклепкой (Рисунок 1).

Распределение эквивалентных напряжений, появляющихся в соединении после приложения к пластинам продольной нагрузки величиной $F = 85$ кН представлено на Рисунок 2. Заклепка в данном соединении имеет диаметр 10 мм, а максимальные напряжения здесь достигают $\sigma_{\max} = 340$ Н/мм². В пластинах напряжения незначительны, величиной $\sigma = 37,5\text{--}75$ Н/мм².

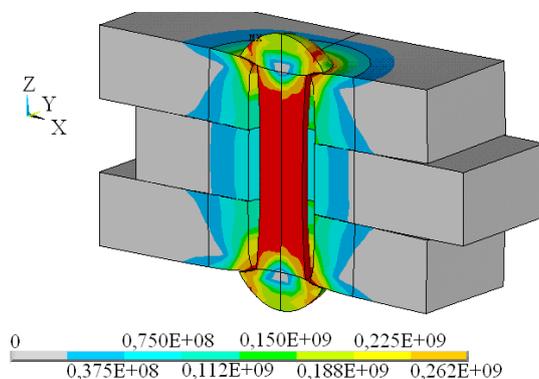


Рисунок 1 – Модель заклепочного соединения с предварительно напряженной заклепкой

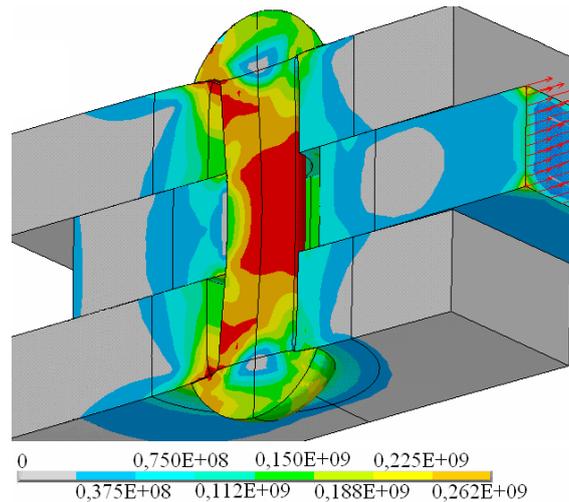


Рисунок 2 – Напряжения в деталях соединения под нагрузкой 85 кН

Распределение напряжений в изучаемом соединении при приложении к пластинам нагрузки в 100 кН, отражены на эпюре, представленной на Рисунок 3.

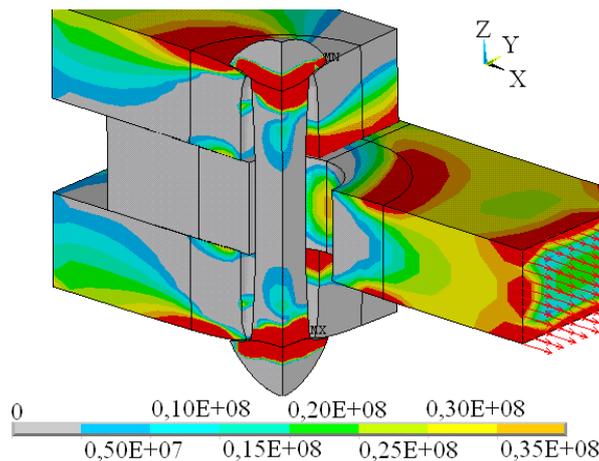


Рисунок 3 – Напряжения в деталях соединения под нагрузкой 100 кН

На Рисунок 4 показано распределение напряжений в заклепочном соединении при приложении к пластинам возрастающей, динамически изменяющейся нагрузки, достигающей максимальной величины $F_{\max} = 115$ кН.

Анализ распределения напряжений в деталях показывает, что наибольшие значения возникают в теле заклепки (в средней части, отмечены красным цветом) и достигают величины $\sigma_{\max} = 580$ Н/мм², при этом деформация тела заклепки достигает величины 0,3 мм. Также видно, что высокие напряжения появляются у установочной и замыкающей головок заклепки.

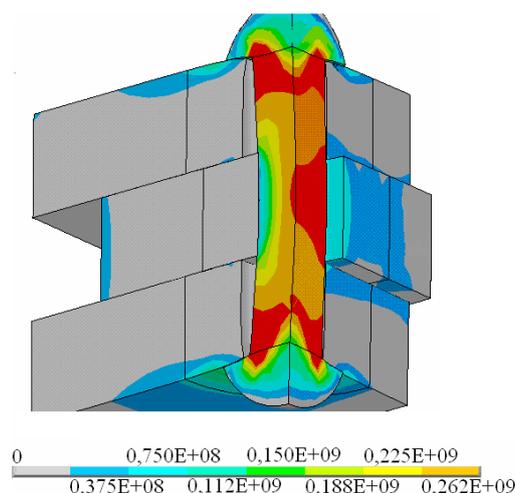


Рисунок 4 – Растягивающие напряжения в заклепочном соединении при приложении к пластинам продольной силы 115 кН

Проведенные исследования напряженного состояния показывают, что заклепочное соединение подобного типа на практике применить нельзя. Связано это с тем, что напряжения в заклепке достигают таких значений, которые превышают допускаемые напряжения, характерные для материалов, используемых для их изготовления.

Используя приведенный метод исследований можно на стадии проектирования соединения подобрать подходящие геометрические параметры крепежной заклепки, причем с учетом механических свойств выбранного материала изготовления и оценить будущую работоспособность под воздействием приложенных нагрузок.

Применение систем проектирования, использующих в своей основе метод конечных элементов, дает возможность проводить исследования нагруженности элементов заклепочных соединений при воздействии на них как статических и динамических нагрузок, так и температуры, давления и других факторов.

При оценке напряженного состояния очень важно правильно задать свойства материалов и условия нагружения, что зачастую не в полной мере представляется возможным.

Поэтому оценку напряженно-деформированного состояния соединения приходится делать несколькими этапами, с учетом открытия новых данных, появляющихся на этапах эксплуатации проектируемого изделия.

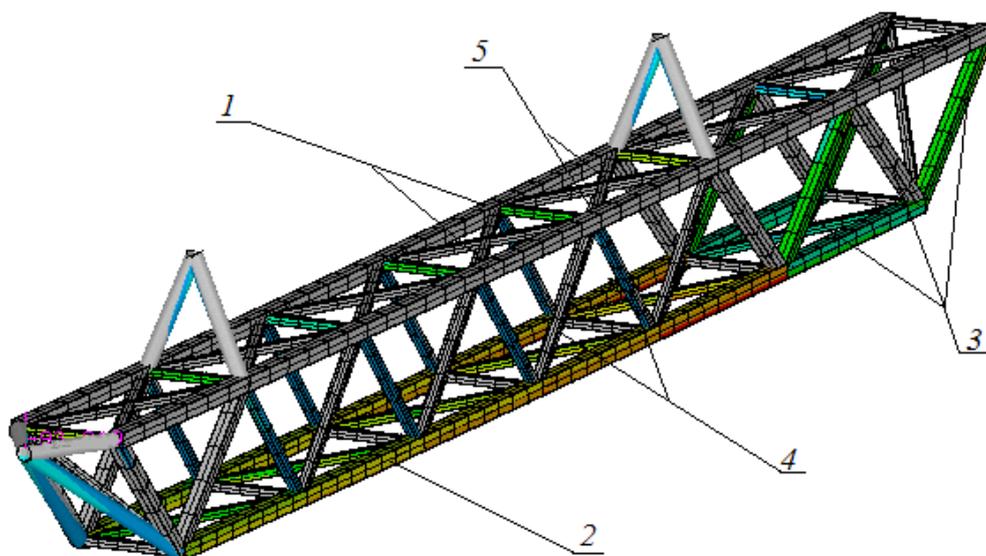
А.М. Лось, ст. преп.;
А.И Сурус, доц., канд. техн. наук;
А.В. Блохин доц., канд. техн. наук;
Я.С. Воронец, студ. (БГТУ, г. Минск)

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ НЕСУЩЕЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ РАМНОЙ КОНСТРУКЦИИ, НАГРУЖЕННОЙ ПРОДОЛЬНОМИ И ПОПЕРЕЧНЫМИ СИЛАМИ

Количественные показатели и характер изменения силовых воздействий, которые воспринимаются несущими рамными конструкциями при выполнении рабочих операций, значительно зависят от условий эксплуатации. Это происходит как при взаимодействии конструкций с внешней средой, так и при появлении внешних возмущающих сил от деталей и узлов, смонтированных на раме. Возмущающие силы разнообразны по направлению, природе, характеру действия и т.д.

При выполнении исследований напряженно-деформированного состояния элементов несущей металлической рамной конструкции учитывается суммарное воздействие всех боковых сил и смоделировано действие продольной растягивающей и вертикальных точечных силовых нагрузок.

Исследуемая несущая металлическая рамная конструкция представлена на Рисунке 1.



1 – верхние пояса; 2 – нижние пояса; 3 – тяжело нагруженные раскосы;
4 – раскосы; 5 – поперечная крестообразная решетка

Рисунок 1 – Конструкция рамы

Несущая рама сконструирована из следующих элементов: верхние пояса 1, нижние пояса 2, тяжелонагруженные раскосы 3, слабонагруженные раскосы 4 и поперечная крестообразная решетка 5.

В такой компоновочной схеме использованы элементы коробчатых квадратных поперечных сечений со следующими размерами: для стержней верхнего и нижнего пояса наружным размером 90 мм и стенкой толщиной 5 мм; для тяжелонагруженных раскосов – 80 мм и стенкой толщиной 4 мм; для горизонтальных поперечных связей и раскосов 50 мм.

На Рисунок 2 представлена диаграмма растягивающих (сжимающих) усилий, возникающих в элементах рамы при воздействии на нее вертикальных и горизонтальных (продольных и боковых) нагрузок. Наибольшие растягивающие нагрузки зафиксированы в элементах нижнего пояса, которые достигают величины $F_{\max(p)} = 155$ кН, а наибольшие сжимающие напряжения в верхнем поясе достигли значения $F_{\max(c.ж)} = 105$ кН.

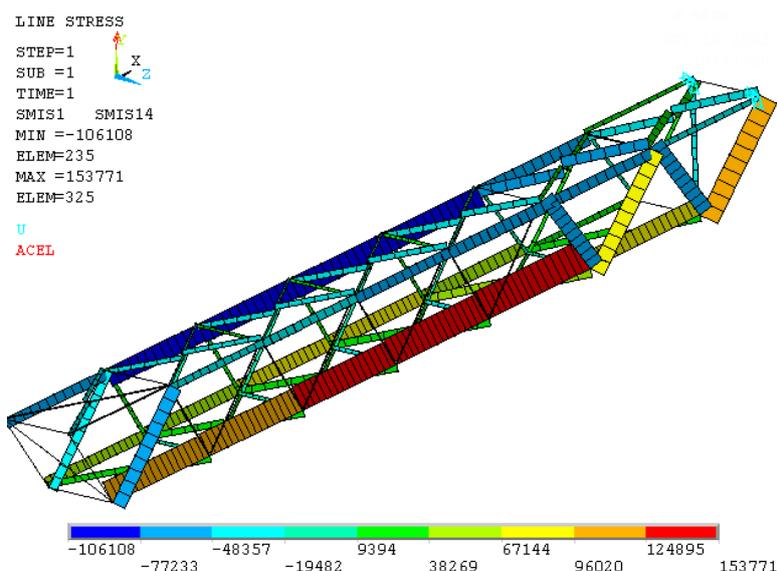


Рисунок 2 – Диаграмма осевых усилий в стержнях рамы

Оценка напряженно-деформированного состояния исследуемой конструкции следует производить по фактическому коэффициенту запаса прочности по условию

$$n \geq [n], \quad (1)$$

где $[n]$ – допустимый коэффициент запаса прочности, зависящий от степени ответственности. Для практических расчетов достаточно принять $[n] = 1,5$.

При использовании для изготовления рамы таких конструкционных материалов как сталь, в качестве предельного напряжения принимается предел текучести, т.е. $\sigma_{\text{lim}} = \sigma_T$. Проведенные ранее исследо-

вания показывают, что при использовании материала сталь 09Г2 с пределом текучести $\sigma_T = 310 \text{ Н/мм}^2$, коэффициент запаса прочности, в режиме статического нагружения вертикальными нагрузками составляет 4,4, что значительно больше требуемого значения.

Напряжения, возникающие в элементах рамы под воздействием вертикальных и горизонтальных нагрузок, представлены на Рисунок 3. Напряжения в элементах верхней горизонтальной крестообразной решетки имеют максимальное значение величиной $\sigma_{\max} = 120 \text{ Н/мм}^2$, а в стержнях нижнего пояса показывают значение в 95 Н/мм^2 .

Ранее проведенные исследования показали, что при отсутствии боковых нагрузок напряжения в нижнем поясе не превышали 70 Н/мм^2 .

Однако, в любом случае фактический коэффициент запаса прочности конструкции будет больше величины $n = 2,6$, что практически вдвое больше требуемого уровня, а это говорит о том, что исследуемая металлическая несущая рамная конструкция сохраняет свою работоспособность при воздействии на нее дополнительных боковых внешних сил.

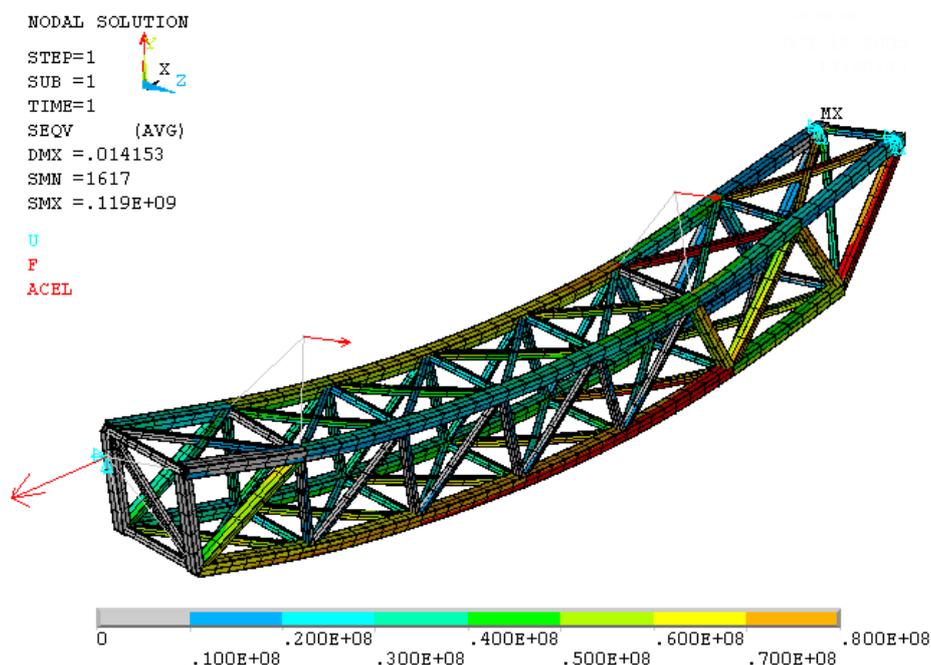


Рисунок 3 – Напряжения в элементах рамы под воздействием вертикальных и горизонтальных нагрузок

Диаграмма углов поворота элементов рамы, характеризующая ее жесткость, приведена на Рисунок 4.

Наибольший угол поворота элементов рамы зафиксирован в левой части, так как здесь предусмотрено шарнирное крепление рамы относительно всех геометрических осей, в то время как правые шар-

ниры крепления рамы подразумевают возможность вращения только относительно поперечной горизонтальной оси. Максимальный угол перемещения элементов рамы достигает значения $2,75^\circ$.

Учитывая достаточно большую длину рассматриваемой конструкции рамы можно сказать, что такая величина максимального угла поворота является вполне приемлемой.

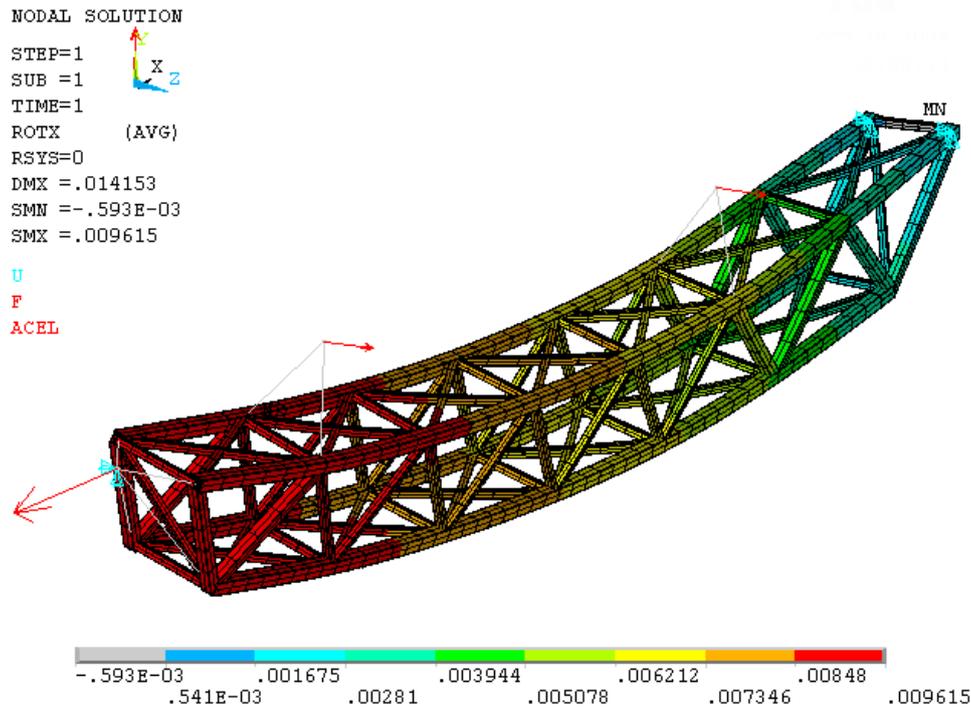


Рисунок 4 – Диаграмма угла закручивания рамы относительно продольной оси

Проведенные исследования показывают, что рассматриваемая несущая рамная конструкция имеет достаточный запас прочности как при нагружении вертикальными и продольными нагрузками, так и при действующих боковых нагрузках.

Исследования по определению угла закручивания рамы показывают, что конструкция имеет достаточный запас жесткости.

А.И. Сурус, доц., канд. техн. наук;
С.Е. Бельский, доц., канд. техн. наук;
М.Н. Пищов, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЖИДКОСТНОЙ КАРБОНИТРАЦИИ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ

Условия эксплуатации ряда деталей машин и механизмов при сложном нагружении характеризуются значительным трением, сопровождаемым интенсивным износом их рабочих поверхностей, а также вибрациями широкого амплитудно-частотного диапазона. В связи с этим для повышения надежности и срока службы подобных изделий возникает необходимость использования различных способов поверхностного упрочнения. Применяемые для этой цели процессы должны обладать минимальными стоимостью, продолжительностью, трудо- и энергозатратами, не требовать финишной механической обработки изделий. Процесс низкотемпературной карбонитрации в расплаве азотсодержащих солей в значительной степени отвечает вышеуказанным требованиям. Данный процесс не приводит к изменению размеров и короблению обрабатываемых деталей; шероховатость их практически не ухудшается [1], что дает возможность применять его в качестве финишного. Однако, его широкому использованию препятствуют недостаточная толщина, твердость и износостойкость поверхностного слоя. Для решения этой проблемы предложено вызывать в расплаве механические колебания различной частоты [2].

Модели из прошедшей улучшения стали 40Х, обрабатывались в расплаве кальцинированной соды и мочевины при температурах 550-570°C и продолжительности процесса от 0,5 до 5 часов. Ультразвуковые колебания частотой 3 и 18 кГц генерировали в расплаве с помощью грибкового концентратора.

Исследование таких важнейших параметров упрочненного слоя, как глубина и поверхностная твердость, не позволяет в полной мере оценить эксплуатационную долговечность деталей. Для оптимизации технологических параметров упрочнения необходимо проведение натуральных испытаний деталей в процессе их эксплуатации в широком диапазоне рабочих скоростей, давлений и температур. Однако такие испытания являются весьма длительными и дорогостоящими поскольку это связано с дополнительным расходом деталей. Универсальной характеристикой, определяющей качество поверхностей, работающих в условиях истирания, является износостойкость. Основ-

ными параметрами, определяющими этот процесс, являются сила и коэффициент трения, а характеризующими его - изменение геометрических и весовых параметров детали, а также структуры и качественных показателей поверхностного слоя.

В связи с этим проведен ряд исследований по влиянию параметров процесса упрочнения на износостойкость поверхностных слоев.

Исследования упрочненных экспериментальных образцов проводились в лабораторных условиях на установке, созданной в БГТУ (рис. 1) для проведения ускоренных испытаний по сопротивлению изнашиванию.

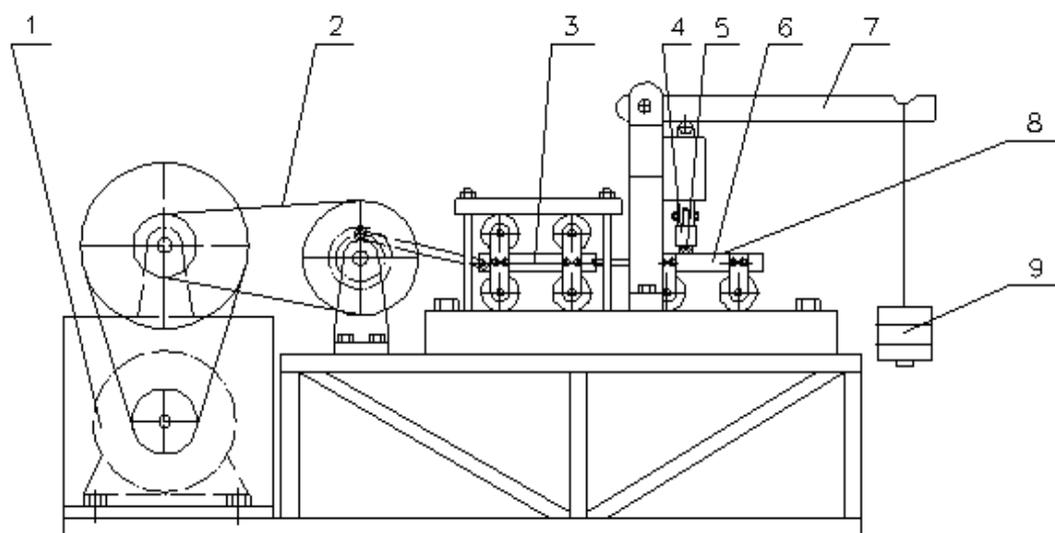


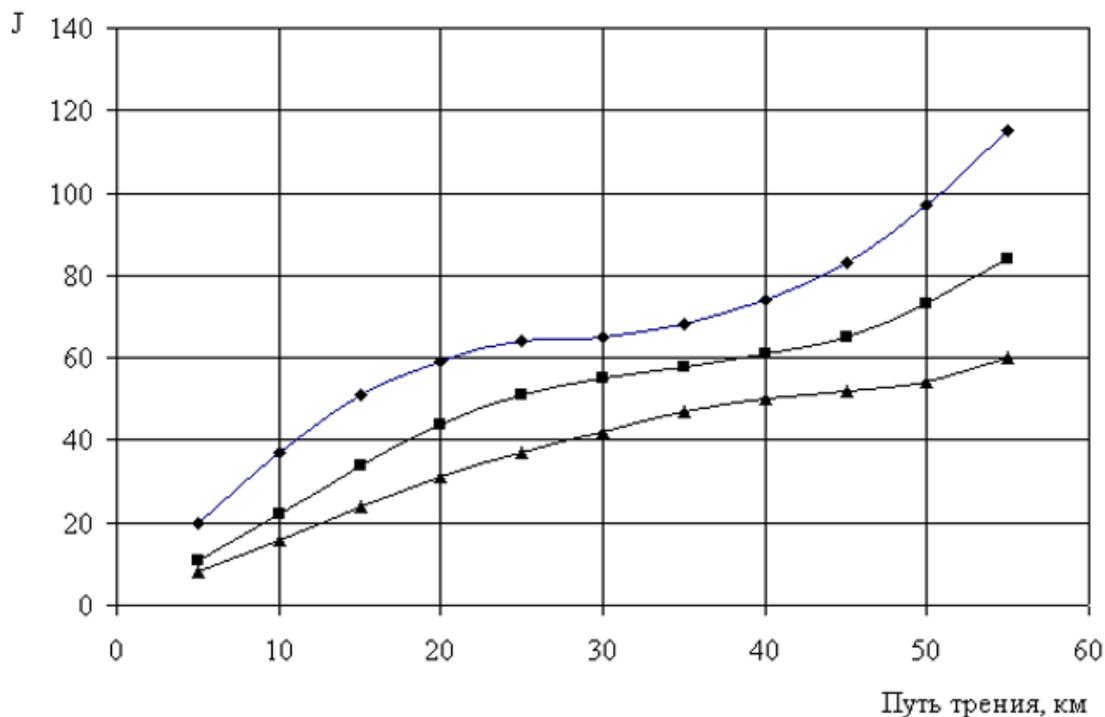
Рисунок 1 – Схема установки для проведения ускоренных лабораторных испытаний сопротивления изнашиванию экспериментальных образцов

При работе установки двигатель 1 через двухступенчатую ременную передачу 2 передает крутящий момент на вал кулисного механизма, соединенного с кареткой 3. При этом каретка совершает возвратно-поступательные перемещения в горизонтальной плоскости, увлекая за собой связанную с ней каретку 6 с прикрепленным на ней контртелом 8, которое истирает образец 5, закрепленный в устройстве 4. За счет переменных подвесных грузов 9 рычаг 7 передает заданную нагрузку на испытуемый образец, что изменяет силу трения между образцом и контртелом.

Исследования упрочненных образцов проводились в режиме сухого трения с минимальным добавлением индустриального масла 20 для исключения явления задира. Испытывались образцы размеров 10x10x10 мм из конструкционной стали 40X прошедшей улучшение с последующим поверхностным упрочнением методами жидкостной карбонитрации по различным режимам.

Для оценки эксплуатационной долговечности упрочненных слоев при различных режимах обработки проведено исследование кинетики износа при пути трения между очередными измерениями 5,0 км.

Результаты изучения кинетики износа приведены на Рисунке 2.



◆ – в обычных условиях, ■ – с частотой 3 кГц, ▲ – с частотой 18 кГц

Рисунок 2 – Потеря массы при износных испытаниях образцов из стали 40X

Следует отметить, что кинетические кривые износа образцов вполне отражают общепринятые представления и зависимости, получаемые при эксплуатации многих деталей машин, работающих в условиях интенсивного истирания.

Для кривой, полученной при упрочнении без использования колебаний, характерно наличие трех основных участков, соответствующих основным стадиям развития процесса изнашивания и разрушения поверхностного слоя образцов. На первом этапе (приблизительно до 20 км пробега), соответствующем периоду приработки, наблюдается более интенсивное изнашивание поверхностного слоя с потерей массы превышающей 50% за весь период испытаний. Анализ изношенных поверхностей показывает, что при этом происходит смятие и сглаживание отдельных неровностей шлифованной поверхности. Выкрашивания и разрушения фрагментов поверхностного слоя при этом не наблюдается.

На следующей стадии (от 20 до 45 км пробега), соответствующей установившемуся износу, потеря массы минимальна

(величина J изменяется от 60 до 80 мг); на контактных поверхностях при отсутствии процессов адгезии происходит постепенное увеличение поврежденных фрагментов поверхностного слоя с образованием достаточно больших участков смятия материала и выкрашивания участков карбонитридного слоя. На заключительном участке кривой изнашивания отмечается существенное ускорение процесса разрушения поверхности. Преобладающими на этой стадии являются микротрещинообразование и выкрашивание, как следствие развития усталостных процессов. Отмечаются и некоторые элементы смятия участков поверхности.

Проведенные испытания образцов, обработанных с использованием энергии колебаний, подтверждают благоприятное влияние ее на износостойкость поверхностного слоя (см. Рисунок 2). Кривые износа сохраняют характер классической зависимости, полученной ранее для обработки без колебаний. Однако период приработки значительно сокращается; потеря массы на пути трения до 20 км в 1,7-2,0 раза ниже. Более длинным является участок установившегося износа, особенно при использовании колебаний с частотой 18 кГц. При установившемся износе отмечается практически полное отсутствие выкрашивания участков контактного слоя.

Образование при использовании колебаний более толстого и плотного упрочненного слоя приводит к более равномерному истиранию на заключительной стадии испытаний (при пробеге свыше 45 км), когда отмечается только незначительное количество участков выкрашивания без глубоких разрушений контактной поверхности.

Исследования зависимости величины износа от времени карбонитрации показали, что использование колебаний существенно повышает износостойкость поверхностного слоя при времени обработки до 2 часов. Наиболее существенное повышение износостойкости достигается при использовании жидкостной карбонитрации в комбинации с возбуждением в расплаве колебаний частотой 18 кГц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лахтин Ю.М. Низкотемпературные процессы насыщения стали азотом и углеродом // МиТОМ. – № 4, . – 1970. – С. 61-69.
2. Довгялло И.Г., Каледин Б.А., Сурус А.И. Влияние механических колебаний на качество диффузионного слоя при низкотемпературной карбонитрации // Труды БГТУ. Вып.8. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – Мн., 2000. – С.207-213.

УДК 621.833.01

А.И. Сурус, доц., канд. техн. наук; А.М. Лось, ст.преп.;
А.В. Блохин, доц., канд. техн. наук;
М.Н. Пищов, доц., канд. техн. наук;
С.Е. Бельский, доц., канд. техн. наук; А.А. Устиненко, студ.
(БГТУ, г. Минск)

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ЦЕПНЫХ ПЕРЕДАЧ

В настоящее время цепные передачи широко применяются в приводах различных современных машин и механизмов. Конструкции таких машин и механизмов, их назначение и условия эксплуатации, весьма разнообразны и определяют условия работы цепных передач.

В ряде случаев цепные передачи работают на высоких скоростях, как при малых, так и при значительных межосевых расстояниях, при этом в некоторых случаях одной цепью приводится в движение одновременно несколько валов.

Надежность цепных передач в значительной степени зависят от долговечности их элементов (цепей и звездочек). Существенное влияние на разрушение деталей цепной передачи оказывают динамические нагрузки, которые возникают из-за неравномерности движения исполнительных органов машин, неточности изготовления деталей цепной передачи и т. п. Особенно ощутимое влияние на надежность оказывают динамические нагрузки цепных передач при высоких скоростях. Возникающие при этом ударные нагрузки и колебания машин с низкой жесткостью несущих конструкций служат причиной разрушения не только самой цепной передачи, но других деталей и узлов (опор валов и др.).

Кроме того, во многих случаях цепные передачи работают в виде открытых передач, что определяет более сложные условия их эксплуатации. Открытые цепные передачи подвержены разрушениям и износам не только в период работы, но и во время простоев под воздействием агрессивных элементов внешней среды (дождевые и снеговые осадки, технологические загрязнения и т.п.). По данным ряда источников при хранении на открытых площадках под действием атмосферных осадков до 30 % сельскохозяйственных машин выходят из строя в результате коррозии и снижения усталостной прочности составляющих деталей.

Во многих машинах наиболее широко используются приводные втулочно-роликовые цепи, передающие значительные усилия при высокой частоте вращения. В процессе работы такой цепной передачи элементы шарниров приводной втулочно-роликовой цепи (валики,

втулки и ролики) изнашиваются по сопрягаемым цилиндрическим поверхностям, зазоры в шарнирах увеличиваются, и нормальная работа передачи нарушается вследствие того, что шаг цепи, непрерывно увеличиваясь, достигает значений, при которых появляется опасность разрыва цепи, нарушения зацепления и спадания ее со звездочки. Изнашивание цепи увеличивается с уменьшением длины цепи и возрастанием частоты вращения звездочек.

В высокоскоростных передачах изнашиванию в большей степени подвержены ролики. Из-за ударных нагрузок, действующих на цепь при заходе на звездочку, у роликов выкрашиваются частицы металла, что увеличивает их износ. Кроме наружной и внутренней цилиндрических поверхностей ролики изнашиваются по торцевым поверхностям вследствие зазора между роликом и внутренними пластинами.

Внутренние пластины изнашиваются в местах контакта с роликом. При этом нередко наблюдается износ отверстий вследствие проворачивания втулок в пластинах. Наружные пластины изнашиваются по боковым поверхностям и в отверстиях под валики в основном при нарушении их запрессовки, в том числе в результате коррозии.

Имеются также данные, что в ряде случаев наиболее слабым элементом оказываются валики. При этом высок процент износа и наружных пластин. Поэтому для увеличения долговечности цепных передач и повышения их надежности следует увеличивать износостойкость и коррозионную стойкость рабочих поверхностей всех их элементов. Таких эффектов можно достичь применением поверхностного упрочнения, в результате которого на поверхности деталей можно получить защитные слои или покрытия с хорошими коррозионными свойствами и высокой износостойкостью.

Для получения таких покрытий известны способы использования некоторых приемов термодиффузионной металлизации: титанирования и хромотитанирования газофазным контактным способом и хромирования парофазным вакуумным способом [1], которые применяют в том числе и при восстановлении цепей с их разборкой или без разборки.

Процесс диффузионной металлизации связан с относительно медленным нагреванием и охлаждением деталей, выдержкой их при высокой температуре, что приводит к образованию мягкой сердцевины и снижает точность.

Кроме того, при проведении обработки цепей диффузионной металлизацией контактным способом без их разборки выявлено, что из-за отсутствия прямого контакта с поверхностью на внутренних де-

талях шарнира не происходит образование диффузионного слоя. Качественное покрытие получается только при упрочнении цепи в разобранном виде. Естественно, что разборка цепи на детали перед упрочнением и последующая сборка после упрочнения экономически нецелесообразны.

Исследование процесса жидкостной карбонитрации показывает, что этот технологический процесс поверхностного упрочнения при определенных режимах его проведения может быть рекомендован для увеличения долговечности элементов цепных передач с учетом критерия «цена-качество».

В результате проведенных нами исследований установлено, что поверхностное упрочнение деталей из ряда конструкционных материалов с возбуждением в упрочняющем расплаве дополнительных механических колебаний приводит к увеличению толщины упрочненного слоя, повышению его твердости, усталостной прочности и износостойкости [2,3].

Результаты проведенных нами исследований влияния режимов упрочнения на коррозию образцов из стали 45 в 7%-ом водном растворе H_2SO_4 , прошедших жидкостное азотирование по различным схемам, при различных температурах и времени процесса показывают, что даже непродолжительная карбонитрация в течение 0,5 ч значительно снижает величину потери массы Δm по сравнению с образцами, не проходившими диффузионного насыщения.

По мере возрастания времени обработки до 2 ч потери веса снижаются, что связано в первую очередь, с формированием поверхностного карбонитридного слоя, обеспечивающего защиту материала образца от разрушения. С повышением времени выдержки свыше 3 часов величина Δm постепенно возрастает, что объясняется образованием более рыхлого карбонитридного слоя. В меньшей мере разрыхление слоя и коагуляция карбидов и нитридов характерны для температуры 823°K, поэтому при превышении времени обработки свыше 4 часов величина Δm в этом случае меньше.

Применение колебаний частотой 18 кГц, вводимых в расплав, обеспечило существенное повышение коррозионной стойкости упрочненной поверхности при всех временных режимах обработки, что связано с ускоренным образованием карбонитридного слоя повышенной плотности. Снижение потерь веса в случае применения колебаний составило 30-50% при времени обработки 2-3 часа.

Полученные результаты подтверждают вывод о благоприятном влиянии исследуемого процесса поверхностного упрочнения на коррозионную стойкость сталей.

Существенным является и то, что введение высокочастотных механических колебаний в расплав приводит к его перемешиванию и возникновению кавитации, способствующей доставке активных элементов в труднодоступные места [4].

Проведенные нами исследования распределения толщины упрочненного слоя по глубине сквозных и глухих отверстий диаметром 2-3 мм показали, что толщина упрочненного слоя на глубине 20 мм т при упрочнении в обычных условиях для сквозных отверстий составляет 25-30 мкм, а при использовании колебаний 60-80 мкм. В глухих отверстиях аналогичных размеров на глубине свыше 20 мм упрочненный слой после обработки в обычных условиях не наблюдался. С введением колебаний в расплав в этих отверстиях происходило образование упрочненного слоя толщиной до 70 мкм на глубине 20 мм и 30-40 мкм на глубине 40 мм., а на глубине 80 мм толщина слоя достигала 15-20 мкм.

Этот эффект может быть использован для более эффективного упрочнения труднодоступных внутренних поверхностей роликов и втулок, а также валиков без разборки цепей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ачкасов К. А., Бугаев В. Н., Мазаев Ю. В. Восстановление и упрочнение деталей топливной аппаратуры диффузионной металлизацией. – М.:МИИСП,1981. – 7с.

2. Довгялло И.Г., Каледин Б.А., Сурус А.И. Влияние механических колебаний на качество диффузионного слоя при низкотемпературной карбонитрации // Труды БГТУ. Вып.8. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – Мн., 2000. – С.207-213.

3. Бельский С.Е., Сурус А.И. Влияние высокочастотных механических колебаний при поверхностном упрочнении на формирование и структуру упрочненных слоев конструкционных сталей // Литье и металлургия. – 2003. – Мн. – №2. – С.124–127.

4. Довгялло И.Г., Бельский С.Е., Сурус А.И. Влияние механических колебаний на процесс упрочнения труднодоступных поверхностей деталей машин // Международная НТК «Современные направления развития производственных технологий и робототехника». Могилев, 1999. – С.112–114.

И.Е. Григорьев, асп.:
Н.А. Свидуневич, проф., д-р техн. наук;
Д.В. Куис, зав. кафедрой МиПТС, канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск);
В.Т. Сенють, доц., канд. техн. наук, вед. науч. сотр.;
В.И. Жорник, д-р техн. наук, проф., зав. лабораторией
наноструктурных и сверхтвердых материалов
(ОИМ НАН Беларуси, г. Минск).

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ РАБОТЫ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ТВЕРДОГО СПЛАВА В БУРОВОМ ИНСТРУМЕНТЕ

В настоящее время в области нефтегазодобычи наблюдается тенденция увеличения объёмов бурения горизонтальных и наклонно-направленных скважин [1-3]. За счет совершенствования технологии проходки достигаются более высокие скорости бурения скважин с меньшим количеством рейсов инструмента (разовым углублением породоразрушающего инструмента) [4]. Однако повышение скоростей эксплуатации бурильного инструмента (далее – БИ) привело к необходимости создания новых типов долот с повышенным сопротивлением усталостному и коррозионно-усталостному разрушению. При анализе условий работы БИ рассматривают следующие основные факторы, негативно влияющие на их работоспособность: циклическое воздействие осевых нагрузок, усилий, создающих изгибающий момент при вращении колонны или изгибающие усилия от искривления ствола скважины; крутящий момент, который передаётся долоту для его вращения; силы трения о стенке скважины и обсадной колонны; поперечные и крутильные колебания от неуравновешенности вращающейся бурильной колонны; неустойчивость работы забойного двигателя и неоднородность проходимых пород и др. Всё это сопровождается накоплением усталостных напряжений в БИ и приводит к превышению предела выносливости в зонах концентраций напряжений [5-8].

Одним из основных типов БИ, является долото типа PDC (рис. 1). Режуще-истирающее воздействие на породу осуществляется при помощи специальных вставок из алмазосодержащих твердосплавных композитов. Композиты подобного типа широко используются в камнеобрабатывающем и буровом инструменте благодаря своей исключительной твердости и износостойкости. Эти материалы состоят из алмазных частиц, диспергированных в твердосплавной матрице, обеспечивая преимущества как абразивных свойств алмазов, так и

матрицы на основе WC+Co, характеризующейся более высокой трещиностойкостью (рис. 2).



Рисунок 1 – Долото режуще-истирающего действия (PDC)



Рисунок 2 – Микроструктура алмазосодержащего композита на основе спеченного твердого сплава ВК-8 (x200)

В процессе эксплуатации алмазосодержащих вставок одним из наиболее существенных факторов, влияющих на ресурс БИ, является температура. В процессе работы в условиях недостаточного теплоотвода происходит термическая деградация связи между алмазными частицами и твердосплавной матрицей, что со временем приводит к снижению абразивной способности инструмента. При работе инструмента высокие нагрузки и напряжения, прикладываемые к режущей кромке, могут вызвать механическое повреждение как алмазных частиц, так и твердосплавной матрицы, что приводит к снижению производительности резания.

Воздействие абразивных частиц также является серьезной проблемой, негативно влияющей на стойкость БИ. Такое воздействие приводит к износу и эрозии режущей кромки композита, что снижает срок службы инструмента и эффективность процесса резания. Для повышения эксплуатационных характеристик алмазосодержащих твердосплавных композитов используют инновационные технологии соединения композита к основе, а также плакированные алмазные зерна и покрытия, что обеспечивает улучшение связи между алмазными частицами и твердосплавной матрицей и защиту режущей кромки от из-

носа и эрозии. Конкретные условия эксплуатации инструмента также оказывают значительное влияние на производительность работы алмазосодержащих твердосплавных композитов. Например, бурение твердых и абразивных материалов, таких как гранит и кварцит, может быть особенно сложным, и в таких случаях могут потребоваться инструменты с более высокой концентрацией алмазных частиц и более износостойкой матрицей. И наоборот, при обработке более мягких материалов, таких как известняк и мрамор, отсутствует необходимость в использовании твердосплавных композитов с высоким содержанием алмазных зерен, поскольку механические нагрузки и температуры в этих случаях существенно ниже.

Таким образом, для увеличения производительности бурения и рабочего ресурса БИ необходимо уделить особое внимание повышению физико-механических свойствам твердосплавных алмазосодержащих композитов за счет использования новых марок твердых сплавов, в т. ч. мелкозернистых и наноструктурных, разработки алмазно-твердосплавных композиций, обеспечивающих формирование рабочих элементов с оптимальной микроструктурой и высокой адгезией алмазных зерен к матрице, применения наноструктурированных сверхтвердых материалов с повышенной термостойкостью и износостойкостью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Deloitte: Обзор нефтесервисного рынка России – 2018 / Deloitte // Международная аудит-консалтинговая корпорация [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: https://nangs.org/analytics/download/2169_ae91c1b33d55b8c056c8596f691bdc53. – Дата доступа: 25.01.2024.
2. Состояние и перспективы горизонтального бурения в России / Кульчицкий В.В. [и др.] // Специализированный журнал «Бурение & Нефть». – 2020. – №10. – С. 11–18.
3. Пока еще не космические перспективы горизонтального бурения в России / Кульчицкий В.В. // Специализированный журнал «Бурение & Нефть». – 2022. – №11. – С. 34–38.
4. Нефтяная и газовая промышленность. Сооружения нефтегазопромысловые морские. Морские исследования грунтов: ГОСТ Р 599996-2022. – Введ. 01.07.22. – Москва: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 2022. – 124 с.
5. Лачинян Л. А. О Влиянии переменного кручения на сопротивление усталости бурильной колонны. РНТС «Машины и нефтяное оборудование», 1981-№6, С. 27-29.

6. Лачинян Л. А. Исследование характера усталостного излома бурильных труб в зависимости от запаса прочности по переменным нагрузкам. Экспресс-инф. техн. и технол. геол.-раз. работ; орг. пр-ва, ВИЭМС, 1981-№7, С. 13-19.

7. Мукашев Н. Б. Герметичность резьбовых соединений бурильных труб. Сборник материалов XIV Международной молодежной научной конференции «Севергеоэкотех-2013»: в 5-ти частях, 2013, С. 122-125.

8. Саруев А. Л. Динамические процессы в резьбовых соединениях штанг при вращательно-ударном способе бурения. Автореферат дис. на соиск. ученой степени канд. техн. наук. Томск: Томский политехнический университет. Томск, 2005.

УДК 621.793.182

С.Д. Латушкина, доц., канд. техн. наук;
И.Н. Жоглик, научн. сотр.

(ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси», г. Минск);

Д.В. Куис, доц., канд. техн. наук; А.С. Раковец, ассист,
А.С. Кравченко, канд. техн. наук, инж.;

О.Ю. Цынкович, инж.; Д.Д. Гордиенко, асп.;

А.В. Савицкий, студ. (БГТУ, г. Минск)

**ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ОСАЖДЕНИЯ НА СТРУКТУРУ И ПОКАЗАТЕЛИ
ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОКСИКАРБИДНЫХ
ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ
ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ СПЛАВОВ**

Эффективным методом повышения производительности и долговечности различных деталей и изделий является формирование защитных и износостойких покрытий [1]. В настоящее время большой интерес исследователей вызывают покрытия на основе принципиально нового класса материалов, высокоэнтропийных сплавов (ВЭС), характеризующихся высокой твердостью и износостойкостью, высоким уровнем прочностных характеристик при повышенных температурах, коррозионной стойкостью. Для создания покрытий на основе ВЭС применяются различные технологии. В тоже время представляет интерес получение покрытий из ВЭС методом вакуумно-дугового осаждения [2]. Высокая степень ионизации плазмообразующих металлов, реализуемая данным методом, позволяющая обеспечить высокую адгезионную прочность, высокую вероятность плазмохимических реакций образования соединений, прохождение диффузионных процессов

в покрытии, расширяет технологические возможности осаждения покрытий из высокоэнтропийных сплавов. Поэтому установление закономерностей влияния технологических параметров осаждения на структуру, элементный состав покрытий, их эксплуатационные свойства является актуальной и весьма перспективной задачей.

В продолжение работ 2021-2022 годов [3-4] в рамках задания ГПНИ «Физическое материаловедение, новые материалы и технологии» с целью оптимизации составов и режимов формирования многокомпонентных покрытий на основе высокоэнтропийных сплавов было изучено влияние технологических режимов вакуумно-дугового осаждения с сепарацией плазменного потока на структурное состояние, элементный и фазовый состав, микротвердость оксикарбидных покрытий на основе системы Ti-Al-Cr-Fe-Ni-N.

Исследованиями установлено, что изменение технологических параметров, в основном, оказывает влияние на содержание титана при относительно одинаковом соотношении остальных компонентов (рисунок). При этом увеличение тока дуги титанового катода приводит к значительному увеличению содержания данного элемента в составе покрытия и пропорциональному снижению остальных элементов. Повышение тока разряда на составном катоде при постоянном токе на титановом катоде не приводит к значительному повышению содержания элементов из составного катода. Концентрационные кривые распределения компонентов свидетельствует о равномерности их распределения в разрабатываемых покрытиях (рисунок).

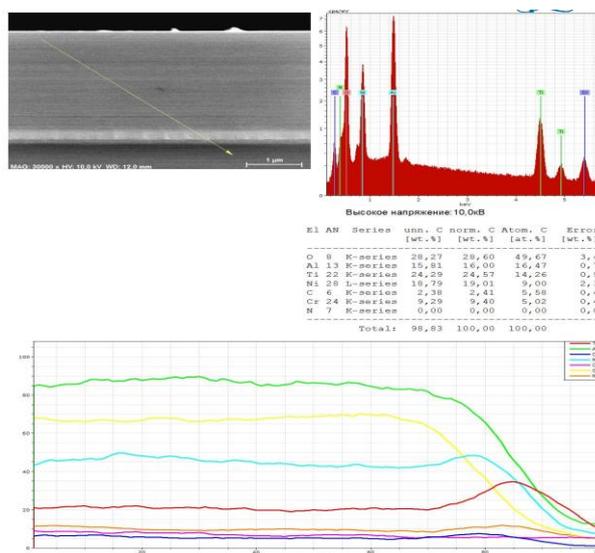


Рисунок – Топограмма поверхности образца оксикарбидного покрытия на основе высокоэнтропийного сплава Ti-Al-Cr-Fe-Ni в РЭМ и результаты исследования микрхимического состава

Определено, что структура покрытий отличается бездефектностью, однородностью и отсутствием столбчатой структуры. Установлено, что в структуре покрытий вне зависимости от технологических режимов осаждения наблюдается четкая граница между переходным слоем титана и слоем многокомпонентного покрытия (рисунок). Исследование микротвердости образцов из твердого сплава Т15К6 с оксикарбидными покрытиями на основе системы Ti-Al-Cr-Fe-Ni показало, что покрытия обеспечивают высокую микротвердость (до 30 ГПа) твердосплавных образцов. Результаты исследований могут найти применение для упрочнения изделий инструментального назначения, работающих в условиях высоких термомеханических нагрузок и агрессивных коррозионных сред.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колесников, В.И. Структурные аспекты износостойкости вакуумных ионно-плазменных покрытий / В.И. Колесников, О.В. Кудряков, И.Ю. Забияка, Е.С. Новиков, Д.С. Мантуров // Физическая мезомеханика. – 2020. – 23(1). – С. 62-77.

2. Latushkina Svetlana, Dmitry Kuis, Olga Posylkina, Andrey Kasperovich, Evgeniy Panin. Synthesis of Al-Ti-Fe-Cr-Ni-N protective coatings by the method of vacuum-arc deposition from a separated vacuum flow / Materials Letters. – 2021. – 303. – 130527.

3. Латушкина С.Д. Влияние технологических параметров осаждения на структуру и показатели физико-механических свойств вакуумно-плазменных покрытий на основе высокоэнтропийных сплавов / С.Д. Латушкина, И.Н. Жоглик, Д.В. Куис, А.С. Раковец, О.Ю. Цынкович, А.С. Кравченко, И.Е. Григорьев // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: материалы 86-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 31 января – 12 февраля 2022 г. [Электронный ресурс] / БГТУ. – отв. за издание И. В. Войтов; УО «БГТУ». – Минск : 2022. – С. 282-283.

4. Латушкина С.Д. Влияние технологических параметров осаждения на структуру и показатели физико-механических свойств нитридных вакуумно-плазменных покрытий на основе высокоэнтропийных сплавов / С.Д. Латушкина, И.Н. Жоглик, Д.В. Куис, А.С. Раковец, А.С. Кравченко, О.Ю. Цынкович, Д.Д. Гордиенко // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: материалы 87-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 31 января – 17 февраля 2023 г. [Электронный ресурс] / БГТУ. – отв. за издание И.В. Войтов; УО «БГТУ». – Минск: 2023. – С. 306-308.

Д.В. Куис, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск);
И.Н. Степанкин, доц., канд. техн. наук;
Е.П. Поздняков, ст. преп. (ГГТУ им. П.О. Сухого);
Н.А. Свидуневич, проф., д-р техн. наук;
А.С. Раковец, ассист.;
А.С. Кравченко, инж., канд. техн. наук;
Гордиенко Д.Д., асп. (БГТУ, г. Минск)

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ И СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННЫХ СЛОЕВ СТАЛИ 40X13

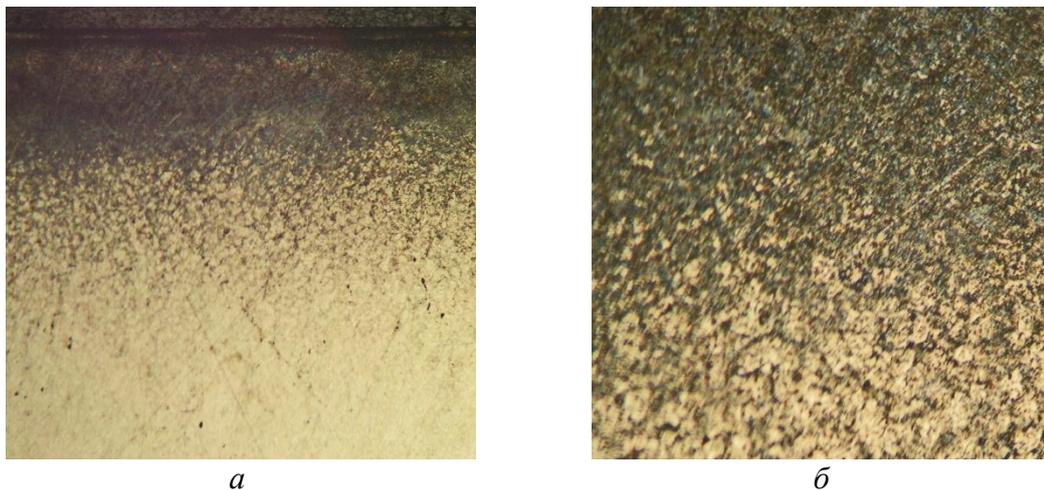
Традиционные подходы к исследованию процесса контактного изнашивания основаны на ресурсной оценке способности рабочих поверхностей деталей сопротивляться контактной усталости. К таким деталям можно отнести подшипники качения, зубчатые передачи, элементы топливной аппаратуры современных дизельных двигателей и др. Методика оценки предела контактной выносливости основана на пульсирующем нагружении испытываемой поверхности за счет качения по ней тел вращения, до возникновения повреждений в виде питтингов, суммарная доля которых должна превысить 50 % от площади контакта. Для повышения предела контактной выносливости широко используются методы поверхностной модификации контактной поверхности различными способами.

В настоящее время, наряду с широко используемыми сталями 18ХГТ, 40Х, 30ХГСА и др., машиностроительному комплексу доступны такие сплавы как 16MnCrS5, 18ХГР, 20ХН3А, 40Х13 и VOHLERM303 Extra, и их аналоги. Многие из них широко используются в производстве деталей машин зарубежными, в первую очередь западными производителями. Их применение в некоторых случаях регламентируется требованиями заказчиков, ориентированных на экспорт технических устройств за пределы Республики Беларусь. Использование таких сплавов также связано с интеграцией отечественной металлургической промышленности в общеевропейский рынок с возможностью получения сплавов по западным стандартам DINEN 10083 и DINEN10084 для удовлетворения потребностей как внутренних, так и внешних заказчиков.

С целью определения влияния режимов термохимической обработки на структурообразование, фазовый состав и свойства поверхностных слоев стали 40Х13, были получены (режимы: нитроцементация (880°С, 6 часов), закалка в масле с температуры 980°С и отпуск

200°C, 2 часа; цементация (900°C, 8 часов), закалка в масле с температуры 980°C и отпуск 200°C, 2 часа; закалка в масле с температуры 1050 °С, отпуск 200°C, 2 часов, нитроцементация (500°C, 6 часов)) и подготовлены для исследований зависимостей «состав-структура-свойства» образцы этой стали.

Структурными исследованиями определено, что основа состоит из низкоуглеродистого мартенсита, а морфология модифицированных поверхностных слоев изучаемых сплавов, вследствие развитой системы границ между кристаллитами (рисунок), является структурой сложного фазового состава (карбиды, нитриды, карбонитриды, α - и γ -твердые растворы). Толщина модифицированных слоев составила до 0,6мм в зависимости от обработки. Исследованиями установлено, что термохимическая обработка практически не влияет на микротвердость поверхностных модифицированных слоев, что связано с повышением в них доли остаточного аустенита.



a — x100; *б* — x500

Рисунок – Микроструктура в СМ образца 84 (закалка в масле с температуры 1050 °С, отпуск 200 °С в течение 2 часов, нитроцементация 6 часов при 500 °С)

Полученные данные использованы для определения влияния соотношения свойств и структуры поверхностно-модифицированных слоев стали 40Х13 на механизм и закономерности ее контактного изнашивания.

Эти исследования не выявили существенного влияния на показатели контактной выносливости при испытаниях ввиду незначительного градиента свойств модифицированной поверхности.

А.С. Раковец ассист.;
Д.В. Куис, доц., канд. техн. наук;
Л.З.Писаренко, науч. сотр.;
Н.А. Свидунович, проф., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСНЫХ МОДИФИКАТОРОВ СОДЕРЖАЩИХ НАНОУГЛЕРОДНЫЕ КОМПОНЕНТЫ

На основании проведения в данной работе исследований по влиянию по влиянию модифицирующих добавок, наномодификаторов и легирующих стабилизирующих элементов на первичную структуру металлической основы и механический свойств серого чугуна, установлено их взаимодействие не является однозначным и определяется многими критериями, такими как:

- изменением степени переохлаждения, т.е. способность чугуна затвердевать по стабильной или метастабильной системе;
- изменениям характера кристаллизации и строением дендритов первичного аустенита и аустенита эвтектики;
- измельчением эвтектического зерна;
- степенью воздействия на характер распределения, количество и размер графитовых включений;
- воздействием на процессы эвтектоидного превращения чугуна;
- изменением эвтектичности чугуна;
- степенью изменения физико-механических и литейных свойств и др.

Модифицирование как технологический прием повышения показателей свойств чугунолития, характеризуется в первую очередь эффективностью воздействия на процессы эвтектической кристаллизации сплава. Поэтому и все приведенные критерии оценки достаточно полно характеризуют эффект модифицирования.

Так на изменение характера графитных включений, их количества, размеров и т.д. существенное влияние оказывает химический состав чугуна и скорость охлаждения отливки.

Практической целью модифицирования является повышение свойств и качества чугуна. Однако после модифицирования это улучшение наступает не всегда. Особенно слабый эффект наблюдается при добавке модификатора в мягкий чугун, не склонный к переохлаждению. Поэтому с точки зрения теории модифицирования увеличение

механических свойств чугуна не является правильным, хотя с практической точки зрения может быть таким критерием.

Кроме того, эффект модифицирования зависит от ряда технологических факторов, таких как скорость охлаждения, времени выдержки модифицированного чугуна, температуры модифицирования, способ ввода модификатора.

Несоблюдение этих условий приведет к уменьшению или даже полному исчезновению эффекта модифицирования.

Таким образом, только в совокупности ряда вышеперечисленных критериев можно полно характеризовать эффект модифицирования. Поэтому важно определить преобладающие критерии, характеризующие эффект модифицирования. Особенно это важно для оценки количества модификаторов.

Такая оценка необходима и обязательна при разработке наиболее рациональных составов комплексных и составных модификаторов. При их использовании в полной мере можно будет реализовать возможности модифицирования, как прогрессивного способа получения отливок из высококачественного чугуна.

По нашему мнению, при оценке модифицирующей способности добавки в первую очередь, следует иметь ввиду такие показатели, как увеличение числа эвтектических зерен, эндогенный или экзогенный характер кристаллизации и строения дендритов первичного аустенита, уменьшением склонности чугуна к отбелу и уменьшением степени переохлаждения при кристаллизации эвтектики.

Увеличение числа эвтектических зерен можно считать основным критерием оценки эффекта модифицирования, находится в полном соответствии с зародышевой теорией процесса модифицирования. Вместе с тем немаловажные значения имеет характер кристаллизации дендритов первичного аустенита.

Этот процесс изучен недостаточно, но наши исследования наномодификаторов показали их положительное влияние не только при измельчении эвтектических зерен, но и на их характер образования дендритов первичного аустенита, которые измельчаются, взаимно переплетаются в различных направлениях и создают прочный каркас для последующего заполнения графито-аустенитной эвтектики и тем самым оказывая существенное влияние на свойства чугуна.

А.С. Раковец, ассист.; Д.В. Куис, канд. техн. наук, доц.,
Л.З. Писаренко, науч. сотр.;
Н.А. Свидуневич, проф., канд. техн. наук;
О.Ю. Цынкович, инж. (БГТУ, г. Минск)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОМПЛЕКСНОГО МОДИФИКАТОРА СОДЕРЖАЩЕГО НАНОУГЛЕРОДНЫЕ КОМПОНЕНТЫ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЗАЭВТЕКТИЧЕСКОГО ЧУГУНА

Предпосылкой к разработке составов комплексных модификаторов для получения высокоуглеродистого антифрикционного чугуна основывается на идее «встречного модифицирования» обеспечивающего повышение свойств мягких чугунов за счет добавок противоположного влияния, т.е. в одновременном или раздельном вводе графитизирующих модификаторов и отбеливающих элементов, которые не только ослабляют действия каждого из них, но и складывается наиболее приятная синергетика процесса модифицирования.

В процессе выплавки чугуна с целью увеличения содержания углерода до расчетных концентраций на зеркало металла добавляли гранулированный графит (в виде коксика гранулированного по ТУ 4-05-2-79). Подобная операция фактически представляет собой процесс первичного модифицирования непосредственно в плавильном тигле, где при термовременной выдержке происходит не только насыщение расплава углеродом, но к образованию в нем дополнительных центров графитизации.

Последующая ковшевая обработка расплава производится добавками ферросиликобария и брикетов алюминия с фуллереновой сажой (Al+ФС).

Это вызывает дополнительные в высокой степени измельчения эвтектического зерна, т.е. измельчения структуры чугуна, что оказывает благоприятное влияние на формирование разориентированных равномерно распределенных пластинчатых выделений графита.

Комбинация Al-ФС, используемая в качестве добавки, в составе комплексного модификатора, готовили путем механоактивации в шаровой мельнице стружки Al9 с добавлением фуллереновой сажи в количестве 10% от массы силумина с последующим брикетированием.

Углеродные ультрадисперсные наночастицы, входящие в состав брикета являются готовыми центрами кристаллизации, обладающими длительной живучестью.

Эффективность двойного модифицирования заэвтектических чугунов обеспечиваются обязательной высокой температурой расплава при 1450-1500°C. Это вызвано существованием в расплаве после его насыщения графитом большого количества зародышей, которые будут подавлять эффект последующего модифицирования в ковше. Если исключить перегрев, то чугун не будет склонен к переохлаждению, поскольку углероду энергетически выгоднее кристаллизоваться на более крупных готовых зародышах, что происходит в условиях незначительного переохлаждения расплава.

При этом не используются мелкие потенциальные зародыши, чугун не проявляет восприимчивости к присадкам модификаторов и модифицирование такого чугуна практически оказывается неэффективным. Эти обстоятельства объединяют малую чувствительность мягких чугунов к модифицированию.

Степень графитизации чугуна, которая зависит от количества центров, образованных при графитизирующим модифицированием, величина переохлаждения и критического размера зародышей, схематически представлена частотными кривыми (рисунок 1).

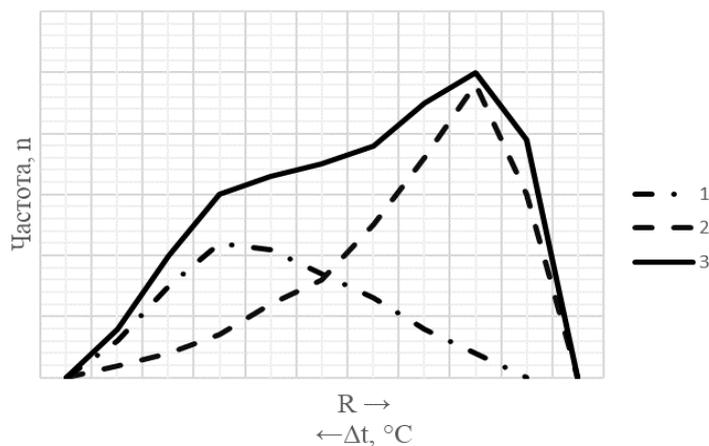


Рисунок 1 – Частотные кривые распределения зародышей графита n в не модифицированном 1 и модифицированном чугуне 2 и суммарная кривая распределения 3 в зависимости от степени переохлаждения сплава $\Delta t, ^\circ\text{C}$

В немодифицированном жидком чугуне (кривая 1) всегда имеются потенциальные центры кристаллизации. При введении модификатора в чугун вносятся дополнительные зародыши (кривая 2). Суммарная кривая представлена распределения (кривая 3) определяет увеличение числа зародышей в расплаве после модифицирования и рост их количества зависит от соответствующего повышения степени переохлаждения $\Delta t, ^\circ\text{C}$ и уменьшения критического размера зародышей R в жидком чугуне.

Таким образом эффект модифицирования мягких чугунов возможен после высокотемпературной выдержки науглероженного чугуна. При этом растворимость углерода увеличивается, графитные комплексы уменьшаются в размерах, более мелкие растворяются, дезактивируются другие примеси. Склонность такого чугуна к переохлаждению возрастает, создаются предпосылки успешной реализации эффекта модифицирования высокоуглеродистых чугунов и получения эвтектического зерна высокой степени измельчения.

Последнее является важным, но не основным показателем, определяющим повышения свойств заэвтектических чугунов, увеличение графитной фазы требует в свою очередь упрочнения матрицы такого чугуна, что достигается микролегированием сурьмой.

Таким образом включения в состав комплексного модификатора помимо ферросиликобария, брикеты Al-ФС обеспечивает дополнительное зарождение центров кристаллизации, т.е. увеличение числа эвтектических зерен и получение мелкозернистой структуры.

УДК 620.197:669:621.794

А. С. Калиниченко, д-р техн. наук;
В. Г. Лугин, канд. хим. наук;
Т. Л. Карпович (БГТУ, г. Минск)

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ЭЛЕКТРОЛИТА НА ТОЛЩИНУ МОДИФИЦИРОВАННОГО СЛОЯ НА ТИТАНОВЫХ СПЛАВАХ ПРИ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКЕ

Титановые сплавы представляют большой научный и практический интерес для производства изделий медицинского назначения [1].

Несмотря на уникальное сочетание физико-механических свойств, титановые сплавы обладают недостаточными антифрикционными свойствами, что требует разработки методов и технологий модифицирования поверхности изделий из титановых сплавов. Есть ряд способов повышения антифрикционных свойств титановых сплавов [2]. Одним из таких методов является технология электролитно-плазменной обработки [3].

Принимая во внимание, что толщина модифицированного слоя зависит от многих факторов (марка сплава, состав электролита, подаваемое напряжение и др.), целесообразно оценить влияние времени обработки на толщину модифицированного слоя для фиксированных температур.

Зависимость величины максимальной температуры нагрева по-

верхности образца от рабочего напряжения имеет параболический характер. В диапазоне 175 – 275 В наблюдается рост максимальной температуры нагрева, а далее происходит ее снижение.

На всем исследуемом диапазоне значений напряжения 175 – 275 В происходит плавный рост удельной мощности нагрева. Нелинейное изменение удельной мощности нагрева оказывает заметное влияние на толщину модифицированного слоя. Также меняются условия формирования парогазовой оболочки (ПГО), разделяющей электролит и обрабатываемую поверхность.

В работе исследовались особенности формирования толщины модифицированного слоя на образцах из титановых сплавов ВТ1-0 и ОТ4 в электролитах на водной основе, которые содержали: хлорид аммония – 10 %, аммиак – 5 % (электролит № 1), а также хлорид аммония – 10 %, глицерин – 10 %, нитрат аммония – 5 % (электролит № 2). Подаваемое напряжение менялось от 225 до 275 В с шагом 25 В, а время обработки составляло 2,5, 5,0 и 7,5 минут.

Анализ кривых, приведенных на Рисунок 1 показывает, что при обработке в электролите №1 четко просматривается рост толщины модифицированного слоя для напряжения 250 В при увеличении времени обработки от 2,5 минут до 7,5 минут. Это характерно для образцов как из сплава ВТ1-0, так и для сплава ОТ4.

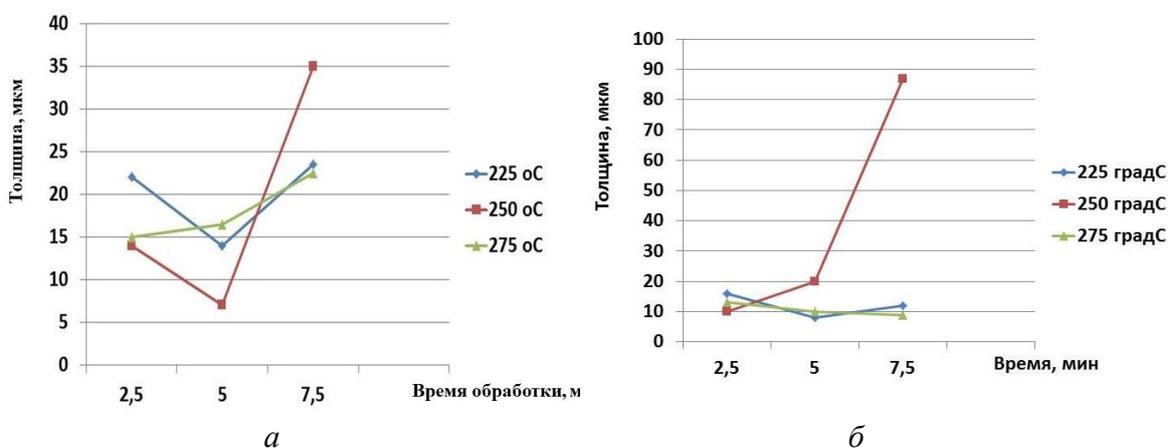


Рисунок 1 – Влияние времени обработки при заданном напряжении на толщину модифицированного покрытия для электролита № 1 на сплаве ВТ1-0 (а) сплаве ОТ4 (б)

Для напряжений 225 В и 275 В зависимости имеют различный характер для сплавов ВТ1-0 ОТ4.

Если для ВТ1-0 наблюдается рост модифицированного слоя с увеличением времени обработки, то для сплава ОТ4 толщина модифицированного слоя меняется незначительно.

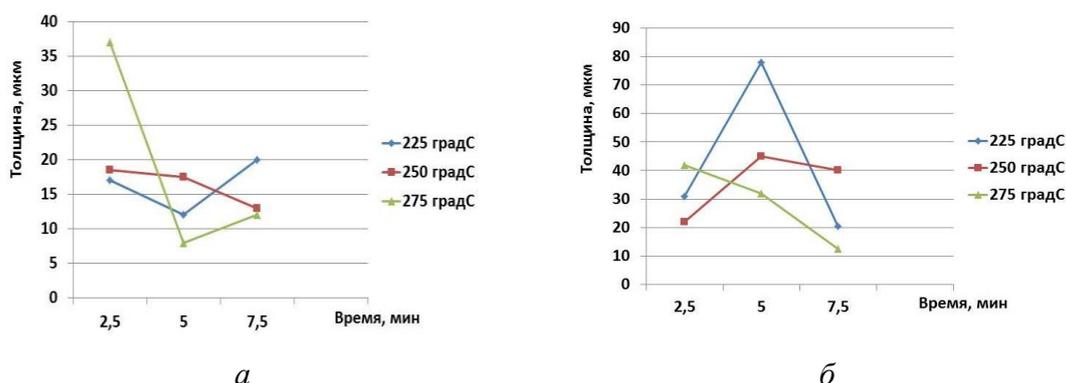


Рисунок 2 – Влияние времени обработки при заданном напряжении на толщину модифицированного покрытия для электролита № 2 на сплаве VT1-0 (а) сплаве OT4 (б)

Анализ показывает, что обработка в электролите №2 оказывает различное влияние на глубину модифицированного слоя на образцах из разных титановых сплавов.

Для образца из сплава VT1-0 самые большие значения модифицированного слоя получены при напряжении 275 В и времени обработки 2,5 минуты. Затем происходит резкое падение толщины модифицированного слоя и незначительный его рост при увеличении времени обработки до 7,5 минут.

При обработке в электролите №2 образца из OT4 наблюдается перегиб кривых при обработке в течении 5,0 минут. С ростом времени обработки толщина модифицированного слоя уменьшается.

Можно сделать вывод, что способность формировать ПГО у электролитов различная, как и толщина ПГО. Химический состав обрабатываемого сплава также оказывает влияние на толщину модифицированного слоя. Это необходимо учитывать при отработке технологического процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савич В.В., Сарока Д.И., Киселев М.Г., Макаренко М.В. Модификация поверхности титановых имплантатов и ее влияние на их физико-химические и биомеханические параметры в биологических средах. Минск, «Беларуская навука», 2012, 244 с.

2. Погребняк, А. Д., Базыль Е. А., Свириденко Н. В. Влияние облучения электронными и ионными пучками на физико-механические свойства титановых сплавов // Успехи физического металловедения / Usp. Fiz. Met. – 2004. – № 5. – С. 257–281.

3. Куликов И. С., Ващенко С.В., Каменев А.Я. Электролитно-плазменная обработка материалов. – Минск: Беларуская навука, 2010. – 232 с.

А.А. Борозна, доц., канд. техн. наук;
А.В. Сергеевичев;
И.И. Костюков
(ФГБОУ ВПО «СПбГЛТУ им. С.М. Кирова», РФ)

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ЗЕРЕН ИЗ СФЕРОКОРУНДА ПРИ ШЛИФОВАНИИ ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В кинематической модели абразивного круга из сферокорунда, исходя из этих положений, зерно следует моделировать окружностью. Точками будут представляться режущие элементы зерна – стенки сферы, расположенные по окружности, т.е. не учитывается толщина стенки зерна сферокорунда. В статье показано, что влияние зернистости абразивных кругов из сферокорунда на толщину стружки, срезаемую одним шлифующим зерном, очень велико.

В большинстве случаев при конструировании кинематической модели абразивного инструмента используется допущение: абразивные зерна представляются в виде точек. Вследствие этого форма и размеры зерен в кинематической модели не учитываются. Это объясняется тем, что объектом исследования в кинематике являются не абразивные зерна, а критерии, по которым определяется их работа: толщина, длина стружки, количество одновременно работающих зерен, длина дуги контакта шлифующего зерна с деталью и т. д.

В кинематической модели абразивного круга из сферокорунда, исходя из этих положений, зерно следует моделировать окружностью. Точками будут представляться режущие элементы зерна – стенки сферы, расположенные по окружности, т.е. не учитывается толщина стенки зерна сферокорунда. Окружность зерна при работе и правке претерпевает изменения, расстояние между режущими элементами изменяется и представляет собой длину хорды данной окружности. Это определяет необходимость рассматривать все кинематические критерии применительно к обеим стенкам одного зерна и их суммированию, если определяются условия шлифования, относящиеся ко всему зерну.

Рассмотрим взаимодействие двух соседних абразивных зерен сферокорунда с обнаженными стенками. Режущие элементы зерен разделены по окружности между зернами расстоянием δ , между стенками второго зерна - расстоянием l ; расстояние по радиусу между зернами – H_{12} , между задними стенками зерен – H_{13} . Уравнение траектории движения абразивного зерна при плоском шлифовании пери-

ферией круга представляет собой циклоидальную кривую. Для задней стенки первого абразивного зерна, лежащего на расстоянии от мгновенного центра скоростей, уравнение траектории имеет вид [1]:

$$\begin{cases} x_1 = \frac{V_s}{\omega} \cdot \varphi_1 + R \sin \varphi_1 \\ y_1 = \frac{V_s}{\omega} + R \cos \varphi_1 \end{cases} \quad (1)$$

где V_s – скорость подачи, м/мин; ω – угловая скорость круга с^{-1} , φ_1 – переменный угол контакта задней стенки правого абразивного зерна. Переменный угол контакта режущего элемента абразивного зерна изменяется в диапазоне $0 \leq \varphi_1 \leq \varphi_{max}$, где $\varphi_{max} = \sqrt{2h/R}$. h – глубина шлифования, мм.

Угловое расстояние между абразивными зёрнами $\theta_{12} = \frac{\delta}{R}$ и уравнение траектории для передней стенки второго зерна будет иметь вид:

$$\begin{cases} x_2 = \frac{V_s}{\omega} \left(\varphi_2 - \frac{\delta}{R} \right) + (R \pm H_{12}) \sin \varphi_2 \\ y_2 = \frac{V_s}{\omega} + (R \pm H_{12}) \cos \varphi_2 \end{cases} \quad (2)$$

Угловое расстояние между задними стенками зерен $\theta_{13} = \frac{\delta+l}{R}$ и аналогичное уравнение для задней стенки второго зерна запишется следующим образом:

$$\begin{cases} x_3 = \frac{V_s}{\omega} \left(\varphi_3 - \frac{\delta+l}{R} \right) + (R \pm H_{13}) \sin \varphi_3 \\ y_3 = \frac{V_s}{\omega} + (R \pm H_{13}) \cos \varphi_3 \end{cases} \quad (3)$$

Каждая из траекторий при сложении двух движений: вращательного с угловой осью ω и поступательного со скоростью V_s за один оборот в теле древесины может пересекаться с соседней траекторией не более одного раза. Область между двумя траекториями представляет собой кинематически возможную стружку. Толщина срезаемого слоя одним режущим элементом оказывает очень сильное влияние на весь процесс шлифования, с изменением значения толщины стружки происходит изменение режима работы круга и условий шлифования. От толщины срезаемого слоя обрабатываемого материала зависят силы резания на шлифующем элементе круга, износ зерен, связки, а, следовательно, и стойкость круга, шероховатость обработанной поверхности, мгновенная температура в зоне резания и др.

Уравнение максимальной толщины стружки, снимаемой одним зерном [2], для передней стенки зерна сфорокорунда имеет вид:

$$a_1 = 2 \cdot \frac{v_s}{v} \cdot \sqrt{\frac{h}{D}} \cdot \delta \quad (4)$$

Максимальная толщина стружки, срезаемая второй стенкой зерна сфорокорунда,

$$a_1 = 2 \cdot \frac{v_s}{v} \cdot \sqrt{\frac{h}{D}} \cdot l \quad (5)$$

где V – скорость резания, м/с, D – диаметр круга, мм. Максимальная толщина слоя обрабатываемого материала, снимаемая одним зерном сфорокорунда, $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$.

У сплошных абразивных материалов среза по траектории задней стенки зерна не происходит, толщины срезаемой стружки α_2 не существует, значение l для них характеризовало бы площадку износа зерна. Сферическая форма зерна снижает площадь соприкосновения зерна с обрабатываемым материалом, что ведет к снижению сил трения и температуры в зоне резания.

Число шлифующих зерен, действующих в пределах дуги контакта, будет определяться зависимостью

$$i = \frac{1}{\delta + l} \left(1 + \frac{v_s}{v} \right) \cdot \sqrt{D \cdot h} \quad (6)$$

Толщина стружки, срезаемая одним зерном, и число одновременно работающих зерен определяют любой показатель операции шлифования. Они связаны между собой обратной связью, увеличение одной из величин приводит к уменьшению другой.

Дискретный параметр описания поверхности абразивного инструмента – число шлифующих зерен, действующих в пределах дуги контакта, для кругов из сфорокорунда имеет меньшее численное значение, чем для абразивных инструментов из обычных абразивных материалов, так как значение l в формуле (6) учитывает и размер зерна. Толщина стружки, срезаемая одним зерном, для кругов из сфорокорунда больше чем для кругов из сплошного абразивного материала, на величину α_2 . А с увеличением значения α должно происходить увеличение шероховатости обработанной поверхности.

Но у сфорокорунда одновременно с увеличением толщины стружки происходит и увеличение количества режущих элементов, по сравнению с обычными абразивными материалами. Увеличение количества шлифующих зерен в пределах дуги контакта круга с древеси-

ной, обеспечивающих заданную глубину резания, оказывает положительное влияние на шероховатость обработанной поверхности.

Уравнения (4) и (5) определяют только кинематический возможные толщины стружки, все, какие может реализовать данный рельеф поверхности круга. Совместное решение этих уравнений относительно α позволит получить значения толщины стружки, которые при заданных кинематико-геометрических условиях шлифования обеспечит выбранная характеристика инструмента.

Толщину стружки будем определять применительно ко всему зерну. Из формул (4), (5) выразим значение $(\delta + l)$ и тогда взаимосвязь кинематической и инструментальной моделей будет представлять собой систему уравнений

$$\left\{ \begin{array}{l} (\delta + l)_u = 1,18\sqrt{dy} + \frac{(1-\beta_c-\beta_s)\cdot 0,5\cdot d^{2,5}}{\beta_s(19,5(\beta_s+\beta_c)-2,5)\cdot y^{1,5}} + 2\sqrt{(y-b)(d-b-y)} \\ (\delta + l)_K = 0,5\frac{v}{v_s} \cdot \sqrt{\frac{D}{h}} \cdot (\alpha \pm H) \\ y = y' + (\alpha \pm H) \end{array} \right. \quad (7)$$

Для решения данной системы уравнений используем графический метод, так как точного решения аналитическим методом нет. Примем следующее допущение: разновысотность между зернами отсутствует, т. е. $H = 0$. Применение данного допущения объясняется тем, что разновысотность представляет собой случайную величину, ее трудно прогнозировать, она определяется только экспериментальным путем. Наиболее часто встречающиеся на практике значения $H = 10^{-2} \dots 10^{-5}$ мм [3]. Определение толщины срезаемой стружки и динамического расстояния между режущими элементами зерен абразивных кругов из сфорокорунда произведем для частного случая, когда зерна на поверхности круга срезаны наполовину, т.е. $y' = \frac{d}{2}$.

Графический метод решения системы уравнений (7) изображен на рис. 1. Суммарное расстояние между режущими элементами абразивных зерен $(\delta + l)$ на рассматриваемом интервале изменения значения y практически остается неизменным. Следовательно, динамическое расстояние между режущими элементам абразивного круга, согласно предлагаемой модели, незначительно зависит от режимов шлифования. А толщина стружки, срезаемая определенным рельефом круга, почти полностью определяется кинематическими соотношениями. Они выражаются кинематическим критерием $K = 2\frac{v_s}{v} \sqrt{\frac{h}{D}}$.

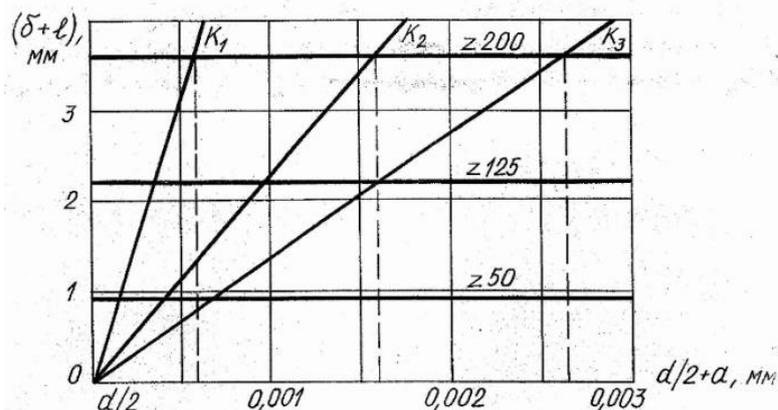


Рисунок 1 – Графический метод определения максимальной толщины стружки, срезанной одним зерном

Для графического решения использовались три значения К-критерия: $K_1 = 1,623 \cdot 10^{-4}$ ($V = 15$ м/с, $V_s = 0,032$ м/с, $h = 0,2$ мм, $D = 150$ мм), $K_2 = 4,820 \cdot 10^{-4}$ ($V = 25$ м/с, $V_s = 0,116$ м/с, $h = 0,4$ мм, $D = 150$ мм), $K_3 = 7,228 \cdot 10^{-4}$ ($V = 35$ м/с, $V_s = 0,2$ м/с, $h = 0,6$ мм, $D = 150$ мм). В зависимости от величины К-критерия в используемом интервале толщина стружки α меняется от 0,60 до 2,70 мкм для кругов z200; для z50 $\alpha = 0,15 \dots 0,65$ мкм.

Влияние зернистости абразивных кругов из сфорокорунда на толщину стружки, срезанную одним шлифующим зерном, очень велико. Влияние других инструментальных факторов, параметров его внутреннего объемного строения: относительно содержания зерна β_z и связки β_c – менее значительное.

ЛИТЕРАТУРА

1. Островский В.И. Теоретические основы процесса шлифования. Л.: Из-во ЛГУ, 1991. 144с.
2. Сергеевичев А.В. Анализ разрушения абразивных зерен при шлифовании древесины и древесных материалов // Известия высших учебных заведений «Лесной журнал». №5. Архангельск: АГТУ, 2015, С. 7-15.
3. Сергеевичев А.В. Формирование поверхности древесины и древесных материалов шлифованием. Монография. СПб.: СПбГЛТУ, 2015. 136с.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Борозна А.А.</i> Инновационные малотоннажные технологии переработки низколиквидной древесины	3
Подсекция «ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»	
<i>Голякевич С.А., Мохов С.П., Гороновский А.Р.</i> Методика прогнозирования эффективности комплексов лесозаготовительных машин	6
<i>Голякевич С.А., Гороновский А.Р.</i> Аналитическое моделирование технологических процессов заготовки древесины комплексами машин «Харвестр – форвардер»	9
<i>Голякевич С.А., Карсюк Р.А., Лой В.Н.</i> Математическая модель динамики манипуляторов комбинированного типа для многооперационных лесозаготовительных машин	14
<i>Зубова О.В., Борозна А.А., Силецкий В.В.</i> Анализ дорожно-строительных материалов для строительства лесных дорог	19
<i>Борозна А.А., Свойкин Ф.М., Гриневиц А.В.</i> Актуальные промышленные решения для средосберегающего освоения малонарушенных территорий районов Крайнего Севера и Арктики	22
<i>Насковец М.Т., Жлобич П.Н., Каледя Г.М., Найденок И.Л.</i> Способ устройства многослойного лесотранспортного пути	27
<i>Насковец М.Т., Красковский С.В., Жлобич П.Н.</i> Комбинированные прослойки для подъездных путей к лесосекам, эксплуатируемых в условиях 3-го типа местности по увлажнению	29
<i>Мисуно Ю.И.</i> Методика анализа процесса взаимодействия пневматического колеса с деформируемым основанием с применением систем автоматизированного проектирования	31
<i>Мисуно Ю.И., Протас П.А., Панкратович А.С.</i> Многокритериальная задача оптимизации транспортно-технологических элементов лесосеки с обеспечением совместимости лесных машин с почвогрунтами	34
<i>Вавилов А.В., Протас П.А.</i> Технология очистки лесосек с последующим эффективным использованием древесного сырья и обеспечением прямолинейной посадки лесных культур	38
<i>Легкий В.В., Язубец Ю.Н.</i> Техника и технологии для получения щепы. качество щепы и настройка ее размеров в широком диапазоне	42
<i>Протас П.А., Ледницкий А.В., Мисуно Ю.И.</i> Виды древесного топлива и направления его использования	48
<i>Короленя Р.О., Барташевич Е.И.</i> Методы и алгоритмы решения задач маршрутизации автомобильных перевозок	52
<i>Короленя Р.О., Барташевич Е.И.</i> Разработка граф-схемы кратчайших расстояний перевозок лесных грузов в Столбцовском лесхозе	56
<i>Короленя Р.О., Третьякова Р.В., Барташевич Е.И.</i> Классификация маршрутов перевозок лесных грузов	59
<i>Короленя Р.О., Третьякова Р.В., Будовская А.А.</i> Особенности логистической концепции «Just in Time» в лесозаготовительном производстве	63
<i>Петровская А.А., Мохов С.П.</i> Уменьшение повреждаемости стволов деревьев при выборочных рубках леса	65

<i>Богдан Е.С., Германович А.О., Лой В.Н.</i> Применения модульного оборудования на базе прицепного форвадера	69
<i>Бавбель Е.И., Лыщик П.А., Науменко А.И.</i> Использование новой версии программ ТИМ КРЕДО при проектировании лесных автомобильных дорог	73
<i>Науменко А.И., Лыщик П.А., Бавбель Е.И.</i> Применение вторичных материалов, укрепляющих грунты, при строительстве лесных автомобильных дорог	76
<i>Бавбель Е.И., Лыщик П.А., Науменко А.И.</i> Разработка СП «Лесохозяйственные дороги» на базе ТКП 500-2016	78
<i>Шошин А.О., Яромолик С.В., Штолман В.</i> Обоснование параметров мобильной канатной трелевочной установки	82
<i>Исаченков, В. С., Красковский С.В., Ращупкин С.В., Бобровский С.Э., Плеско М.Н.</i> К вопросу выбора рациональной модели системы «Кабина – сиденье – водитель» при имитационном моделировании колесных трелевочных машин	84
<i>Исаченков В.С., Леонов Е.А., Гарабажу А.А., Клоков Д.В., Лагун А.И.</i> К вопросу математического моделирования комбинированного технологического оборудования колесной трелевочной машины с шарнирно-сочлененной рамой	86
<i>Исаченков В.С., Арико С.Е., Симанович В.А., Гиль В.И., Бобрович В.А.</i> К вопросу выбора безчokerного технологического оборудования колесной трелевочной машины с шарнирно-сочлененной рамой	88
<i>Беляков А.А., Арико С.Е., Асмоловский М.К.</i> Перспективы развития малогабаритной техники с электросиловым приводом в лесном хозяйстве	90
<i>Протас П.А., Евкович И.А.</i> Анализ интенсивности возникновения стихийных бедствий в лесах республики Беларусь	93
<i>Евкович И.А., Протас П.А.</i> Платформы рисков – как инструмент прогнозирования и повышения эффективности ликвидации последствий стихийных бедствий в лесфонде	97
<i>Филипова Л.Г., Чикилевский Я.А.</i> Совершенствование методов исследования пневматических систем	101
<i>Кононович Д.А., Арико С.Е., Мохов С.П.</i> Результаты исследований по установлению математического описания профиля образующей поверхности пня	104
<i>Леонов Е.А., Игнатенко В.В., Исаченков В.В., Клоков Д.В.</i> Практическое применение методики исследования поставки и потребления древесного топлива	108
<i>Насковец М.Т., Россоха Е.В., Хорошун Н.В.</i> Разработка модели эффективного взаимодействия государственных органов в сфере лесного хозяйства и предпринимательской деятельности	111
<i>Четырбок А.Н., Насковец М.Т.</i> Эффективность использования стеклотканей при ремонте лесохозяйственных дорог	119
<i>Насковец М.Т., Россоха Е.В., Жлобич П.Н.</i> Рекомендации по калькулированию затрат для устройства опытных участков	125
<i>Насковец М.Т., Жлобич П.Н., Ким Ю.А., Пищов С.Н.</i> О влиянии параметров колесного движителя на состояние опорной поверхности	127

<i>Наумов В.В., Афонин П.В.</i> , Поверхностная плотность нетканого геотекстиля как устаревший технологический параметр	129
<i>Апталаев М.Н., Бургутдинов А.М., Клевко В.И.</i> Обеспечение оптимального температурного режима дорожных конструкций в зонах пересечения с подземными коммуникациями	131
<i>Бургутдинов А.М., Клевко В.И., Рубенков В.Э.</i> Применение геосинтетических материалов для временных лесовозных дорог	136
<i>Досалиев К.С., Куттыбаева М.М., Жанабай А.Ж., Исмаил Ж.Т.</i> Физико-химические свойства компонентов для возведения дорожной одежды коробчатого типа	141
<i>Юнусалиев Э.М. Абдуллаев И.Н.</i> Обследование эксплуатируемых зданий на сейсмостойкость с помощью детонационной волны	147
<i>Гладких С.Н., Семчук Н.Н.</i> Железнодорожная платформа для комбинированной перевозки	152

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

<i>Громов В.В., Трофимов С.П.</i> Особенности подготовки производства в технологии раскроя плитных материалов концевыми фрезами	156
<i>Жигалов А.Н., Головков В.М., Сазоненко И.О.</i> Инновационная технология изготовления рубильных ножей	159
<i>Шелемет Н.Ю., Чуйков А.С., Наркевич А.Л.</i> Исследование физико-механических характеристик материалов, применяемых в производстве спортивного инвентаря	162
<i>Мялицин А.В., Кузнецова О.В., Потапов И.А.</i> Исследование поглощения воска и парафина для защиты древесины методом «прогрев-холодные ванны»	165
<i>Останин В.А., Чуйков А.С.</i> Особенности проектирования малых архитектурных форм на основе древесных материалов	167
<i>Талых А.А., Сюнёв В.С.</i> , Разработка оригинальных конструкций развивающих игр-тренажёров из древесины	171
<i>Вишневская Н.Л., Чуйков А.С.</i> Особенности проектирования средового пространства выставочной зоны	174
<i>Трофимов С.П.</i> Гравитационная сегрегация сыпучих материалов и экспериментальные исследования этого явления	178
<i>Бабич Д.П., Веретиков И.И.</i> Оценка эффективности утепления фундамента конвективных сушильных камер периодического действия	182
<i>Лосик Е.А., Гордиевич Е.И., Игнатович Л.В.</i> К вопросу о применении инновационных и информационных технологий в производстве мебели и столярно-строительных изделий	186
<i>Гордиевич Е.И., Игнатович Л.В.</i> Независимые пружины и их влияние на анатомический эффект пружинного блока, входящего в состав мягких элементов	189
<i>Гордиевич Е.И.</i> Определение функционального назначения мягких элементов в зависимости от категории мягкости и состава	193
<i>Лосик Е.А., Игнатович Л.В.</i> Особенность влияния структуры древесины мягколиственных пород на степень уплотнения при термомеханическом модифицировании	196

<i>Дубовская Л.Ю., Игнатович Л.В., Дубоделова Е.В., Билаш Л.Г.</i> Традиционные ценности белорусского народа	200
<i>Жарская Я.П., Федосенко И.Г.</i> Возможность вовлечения в производство топливных гранул древесины, загрязненной инородными включениями и корой	204
<i>Ручкина Е.В., Кармишин Р.И.</i> Исследование цвета пигментированных лакокрасочных покрытий в цветовых пространствах Lab, RGB в зависимости от типа освещения	207
<i>Прохорчик С.А., Ручкина Е.В., Гайдук С.С.</i> Особенности отделки различных видов поверхности	211
<i>Федосенко И.Г., Жарская Я.П., Дубовская Л.Ю., Веретиков И.И.</i> Использование отходов переработки льна для получения топливных гранул	215
<i>Рудак О.Г., Бабич Д.П.</i> Исследование зависимости величины расхода тепловой энергии от технологических факторов при прогреве древесины в ненасыщенной среде	218
<i>Рудак О.Г.</i> Влияние параметров агента обработки на величину внутренних напряжений, возникающих в период прогрева древесины в ненасыщенной среде	221
<i>Маширипова Т.А., Гриневич С.А., Аникеенко А.Ф.</i> Разработка методической сетки опытов для исследования влияния технологических факторов на процесс сверления ламинированных ДСтП	224
<i>Божелко И.К., Коновалова А.А., Радкевич Л.В.</i> Экологичное отбеливание древесины	227
<i>Войтеховский Б.В., Гриневич С.А., Аникеенко А.Ф.</i> Результаты внедрения рациональных режимов фрезерования кромок ЛДСТП наклонными ножами	230
<i>Плоховский А.В., Прохорчик С.А.</i> Кварц-виниловый ламинат: особенности, достоинства и недостатки	232
<i>Дупанов С.А., Леонович О.К.</i> Реологические свойства мореного дуба по поперечному срезу ствола	236
<i>Божко Д.В., Леонович О.К.</i> Проблемы развития масштабного строительства деревянных домов и общественных зданий в Республике Беларусь	237
<i>Божко Д.В., Леонович О.К., Божелко И.К.</i> Нормирование расхода лесоматериалов при выпуске резных изделий	241
<i>Дупанов С.А., Леонович О.К.</i> Методология бездеформативной сушки и консервации археологической древесины	244
<i>Леонович О.К., Хвостова В.П., Коняхина О.В.</i> Проблемы производства экологически безопасных и специальных видов фанеры в Республике Беларусь	247
<i>Расолько В.Э., Дубоделова Е.В.</i> Применение современных методов управления персоналом на деревообрабатывающих предприятиях	250
<i>Лукаш В.Т., Киселев С.В.</i> Исследование параметров шума деревообрабатывающего оборудования в условиях его индивидуальной работы	254
<i>Раповец В.В., Лукаш В.Т., Медведев С.В.</i> Основные направления суперкомпьютерного моделирования процессов и явлений в деревообработке	257

<i>Раповец В.В., Ткаченко В.В.</i> Методы контроля показателей качества обрабатываемой поверхности древесины и древесных материалов фрезерованием	260
<i>Дубоделова Е.В., Федосенко И.Г., Жарская Я.П., Бабич Д.П., Расолько В.Э.</i> Использование древесной щепы, полученной из древесины, бывшей в употреблении в виде транспортных конструкций, для получения прессованного биотоплива	263
<i>Гайдук С.С., Ручкина Е.В.</i> Проектирование и производство мебели в современных условиях	267
<i>Гайдук С.С., Трофимов С.П.</i> Информационные технологии в деревообработке	273

Подсекция «ОБЩЕТЕХНИЧЕСКАЯ»

<i>Левкевич В.И., Касперов Г.И., Курпиченко М.Ю.</i> О техническом состоянии гидротехнических сооружений водохранилищ Республики Беларусь	279
<i>Левкевич В.И., Касперов Г.И., Курпиченко М.Ю.</i> Классификация факторов, способствующих образованию и развитию чрезвычайных ситуаций на водохозяйственных объектах Республики Беларусь	281
<i>Левкевич В.И., Касперов Г.И., Курпиченко М.Ю.</i> Методические подходы оценки ущерба от чрезвычайных ситуаций на карьерах	284
<i>Бельский С.Е., Пищов М.Н., Сурус А.И.</i> Исследование основных характеристик усталости вторичных алюминиевых сплавов после проведения их упрочнения	286
<i>Бельский С.Е., Пищов М.Н., Козина Е.Д.</i> Влияние состава насыщающей смеси при комплексном борировании на структуру и свойства поверхностных слоев	288
<i>Пищов М.Н., Бельский С.Е., Козина Е.Д.</i> Исследование в поверхностных упрочненных слоях конструкционных сталей остаточных напряжений ..	292
<i>Симанович В.А., Пищов М.Н., Бельский С.Е., Козина Е.Д.</i> Влияние условий эксплуатации на уровень напряжений в зубчатых передачах трансмиссий лесных машин	296
<i>Пищов М.Н., Бельский С.Е., Козина Е.Д.</i> Анализ уровней виброускорений упрочненных зубчатых колес трансмиссий лесных мобильных машин при их эксплуатации	299
<i>Бельский С.Е., Блохин А.В., Пищов М.Н., Сурус А.И.</i> Влияние финишной термической обработки образцов из вторичных алюминиевых сплавов на их характеристики усталости	301
<i>Блохин А.В., Пищов М.Н., Лось А.М., Шыкер В.А.</i> Алюминиевый рецеркулят как источник сырья для получения литейных сплавов	307
<i>Блохин А.В., Лось А.М., Кучинский К.Д.</i> Разработка конструкции крепления образца для усталостных испытаний в условиях знакопеременного изгиба.	313
<i>Лось А.М., Сурус А.И., Блохин А.В., Пищов М.Н.</i> Использование метода конечных элементов при исследовании напряженно-деформированного состояния заклепочного соединения	317
<i>Лось А.М., Сурус А.И., Блохин А.В., Воронец Я.С.</i> Исследование напряженного состояния несущей металлической рамной конструкции, нагруженной продольными и поперечными силами	320

<i>Сурус А.И., Бельский С.Е., Пищов М.Н.</i> Влияние технологических параметров жидкостной карбонитрации на износостойкость поверхностного слоя	324
<i>Сурус А.И., Лось А.М., Блохин А.В., Пищов М.Н., Бельский С.Е., Устиненко А.А.</i> Повышение долговечности элементов цепных передач ..	328
<i>Григорьев И.Е., Свидунович Н.А., Куис Д.В., Сенють В.Т., Жорник В.И.</i> Анализ условий работы алмазосодержащих композитов на основе твердого сплава в буровом инструменте	332
<i>Латушкина С.Д., Жоглик И.Н., Куис Д.В., Раковец А.С., Кравченко А.С., Цынкович О.Ю., Гордиенко Д.Д., Савицкий А.В.</i> Влияние технологических параметров осаждения на структуру и показатели физико-механических свойств оксикарбидных вакуумно-плазменных покрытий на основе высокоэнтропийных сплавов	335
<i>Куис Д.В., Степанкин И.Н., Поздняков Е.П., Свидунович Н.А., Раковец А.С., Кравченко А.С., Гордиенко Д.Д.</i> Влияние режимов термохимической обработки на структурообразование и свойства модифицированных слоев стали 40Х13	338
<i>Раковец А.С. Куис Д.В., Писаренко Л.З., Свидунович Н.А.</i> Критерии оценки эффективности комплексных модификаторов содержащих наноуглеродные компоненты	340
<i>Раковец А.С., Куис Д.В., Писаренко Л.З., Свидунович Н.А., Цынкович О.Ю.</i> Исследование влияния комплексного модификатора содержащего наноуглеродные компоненты на структуру и свойства заэвтектического чугуна	342
<i>Калиниченко А.С., Лугин В.Г., Карпович Т.Л.</i> Влияние состава электролита на толщину модифицированного слоя на титановых сплавах при электролитно-плазменной обработке	344
<i>Борозна А.А., Сергеевичев А.В., Костюков И.И.</i> Анализ применения зерен из сферокорунда при шлифовании древесины и древесных материалов	347

Научное издание

ЛЕСНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ, МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ДИЗАЙН

**Материалы докладов 88-й научно-технической
конференции профессорско-преподавательского
состава, научных сотрудников и аспирантов
(с международным участием)**

Электронный ресурс

В авторской редакции

Компьютерная верстка:

*М.Т. Насковец, Ю.И. Мисуно, А.С. Чуйков, А.С. Раковец,
С.В. Бушева, Е.О. Черник*

Усл. печ. л. 20,81. Уч.-изд. л. 21,48.

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.