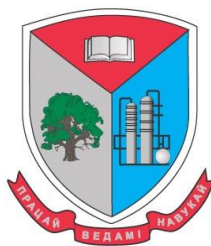


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



*Посвящается  
95-летнему юбилею Белорусского государственного  
технологического университета,  
90-летию силикатного образования Беларуси,  
Дню белорусской науки*

**ЛЕСНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ,  
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ДИЗАЙН**

**Материалы докладов 89-й научно-технической конференции  
профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников  
и аспирантов (с международным участием)**

**3–18 февраля 2025 года**

Минск 2025

УДК 005.745(06)(0.034)

**Лесная инженерия, материаловедение и дизайн** : материалы 89-й науч.-техн. конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 3–18 февраля 2025 г. [Электронный ресурс] / Белорус. гос. технол. ун-т ; отв. за издание И. В. Войтов. – Минск : БГТУ, 2025. – 327 с. ISBN 978-985-897-275-2.

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

Предлагаемые для открытой печати материалы, направлены на решение достаточно актуальных теоретических и прикладных задач проектирования и эксплуатации лесозаготовительного буроводования и лесных машин. Они включают разработку высокоэффективных ресурсосберегающих технологий лесозаготовок и деревообработки, а также позволяют усовершенствовать конструкции и способы строительства лесных автомобильных дорог. В работах ряда исследователей рассматриваются вопросы общетехнического характера, направленные на разрешение отраслевых проблем.

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

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

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

**ISBN 978-985-897-275-2**

© УО «Белорусский государственный  
технологический университет», 2025

А.А. Борозна, доц., канд. техн. наук  
(ФГБОУ ВПО «СПбГЛТУ им. С.М. Кирова», г. Санкт-Петербург, Россия);

В.Н. Крылов, зам. директора, канд. техн. наук  
(Инновационный центр инжиниринга  
СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург, Россия)

## **ТРАНСФОРМАЦИЯ СТРАТЕГИИ ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ И ЛЕСОУПРАВЛЕНИЯ С УЧЕТОМ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ЛЕСОПЕРЕРАБОТКИ**

В современных условиях, в соответствии с поручением Президента РФ Путина В.В. от 29.09.2020 года о необходимости трансформации лесопользования в целях углубления переработки древесины в стране, можно выделить два основных направления развития отрасли:

– расширять применение технологий химической переработки низкокачественного древесного сырья, не используемого в настоящее время;

– увеличивать объем лесопользования за счет вовлечения в коммерческое использование малоценных лиственных насаждений и повышения эффективности работы лесного комплекса региона.

Предлагаемые в данной статье инновационные технологии по глубокой химической и механической переработке неликвидной древесины и древесных отходов полностью соответствуют реализации указанного поручения.

Наличие современных высокорентабельных технологий лесопереработки позволяют переосмыслить и трансформировать вектор развития лесопромышленного комплекса в целом. А также предложить конкретные способы решения задач, установленных в «Стратегии развития лесопромышленного комплекса РФ до 2030 г.», так сказать: дополнить стратегию тактикой.

В основе глубокой переработки древесины является избыточное неликвидное сырье, когда в качестве предмета труда выступают вторичные древесные ресурсы (лесосечные отходы, отходы лесопиления и деревообработки).

В современных условиях в РФ лесосечные отходы практически не убираются, поскольку отвозить лесосечные отходы некуда из-за отсутствия применения технологий по их переработки. Происходит имитация уборки лесосеки измельчением и разбрасыванием их по делянке, и создание из них (крупных вершинок и веток) псевдоволоков.

Как следствие создается «мина замедленного действия» – потенциальный источник лесных пожаров и размножения насекомых-вредителей. Десятилетний космический мониторинг лесосек показал,

что одна треть пожаров происходит на лесосеках из-за их захламлѐнности.

На данный момент можно выделить пять основных экономических причин стагнации лесного комплекса РФ:

1. Не равномерное распределение по территории страны крупных лесоперерабатывающих комплексов с глубокой переработкой древесины.

2. Недостаточное количество потребителей низкокачественной, особенно лиственной, древесины.

3. Высокие транспортные расходы перевозки древесины.

4. Низкая плотность лесных дорог.

5. Низкий уровень использования допустимого объема изъятия древесины (расчетной лесосеки).

В современных условиях существуют высокорентабельные малотоннажные технологии переработки, которые позволяют решить перечисленные проблемы и вывести лесной сектор на новый уровень развития: более полно использовать лесные ресурсы, равномерно осваивать территорию страны, обеспечить занятость местного населения, обеспечить производство востребованной продукции, повысить валовый региональный и национальный продукт.

Строительство малотоннажных заводов позволяет избавиться от проблем, связанных с традиционной для РФ формой организации производства – высокой концентрации производства.

Так, в частности, для достижения поставленной в «Стратегии развития лесного комплекса РФ до 2030 г.» цели обеспечения производства 5,5 млн. тонн целлюлозы, на основе строительства малотоннажных заводов ЦБП потребуется 215 млрд рублей, что в три раза меньше по сравнению с инвестициями на создание традиционных крупных ЦБК, и будет построено, вместо 5 гигантских заводов, 265 заводов в разных местах нашей страны.

Сегодня существует и применяется малотоннажное оборудование с широкой линейкой производительности по следующим технологиям:

- оборудование непрерывного пиролиза с получением древесного угля (в виде порошкового, брикетного, пеллетного и активированного угля);

- оборудование производства механической целлюлозы (экструзивная термомеханическая масса) с конечной продукцией – санитарно-гигиенической и картонной, бумажных пакетов и литой тары;

- линии переработки древесной хвойной зелени (лесорубочных отходов) на кормовые добавки и защитные средства для сельского хо-



зяйств, фармацевтические, парфюмерно-косметические и БАДы;

- высокоэффективное инновационное оборудование по производству шпона и плит (USB и МДФ).

Основные финансово-экономические показатели эффективности строительства завода по производству экструзивной термомеханической массы и применения данной технологии представлены в табл.

**Таблица – Основные финансово-экономические показатели**

Показатели	Производственная мощность, тонн/сутки		
	60	100	200
Стоимость инвестиционного проекта, млн. руб.	350	470	710
Валовый доход, млн. руб./год	610	1020	2040
Чистая прибыль, млн. руб./год	150	290	590
Рентабельность продукции, %	40–60%	40–60%	40–60%
Чистый дисконтированный доход, млн. руб.	450	1000	2000
Внутренняя норма доходности, %	50%	70%	80%
Период ввода объекта в эксплуатацию, лет	1 год 3 мес.	1 год 6 мес.	1 год 6 мес.
Дисконтированный период окупаемости, лет	3 года 10 мес.	3 года 3 мес.	3 года 2 мес.
Индекс доходности	2,4	3,3	4,1
Удельные капитальные вложения, тыс. руб./тонну	17,5	13,6	10,3

Применение технологии производства ЭТММ соответствует высокому уровню экологической безопасности, так как пылегазовые вредные выбросы отсутствуют, возможно применение замкнутого водооборота, все отходы имеют органическое происхождение и могут быть утилизированы путем получения тепловой энергии или производства из них древесного угля на установке непрерывного пиролиза.

Мобильные автоматизированные установки непрерывного пиролиза концерна GreenCarbon могут работать на лесосеках и перерабатывать от 60 до 120 тысяч плотных м<sup>3</sup> отходов в год. К видам продукции, которые можно получить с помощью данного оборудования относятся: 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, про-

изводство кремния для полупроводников т.д. и т.п.).

Применение современной технологии производства специальной хвойной витаминной добавки из хвойной «лапки» приносит ощутимый привес в производстве мяса, молока и яиц. Также достигается профилактический эффект по снижению заболеваемости животных.

При добавлении в рацион дойных коров ежедневно ССС по 150 г кормовой добавки позволяет через 30 дней кормления увеличиться удой молока на 9,3 % и увеличится жирность молока на 2,5 % по сравнению с показателями при кормлении без введения кормовой добавки. Содержание белка и лактозы при различных условиях кормления ССС, а количество соматических клеток в молоке коров, которым скармливали добавку, значительно снижается за счет бактериостатического действия хвойного экстракта, входящего в состав добавки. [1]

В результате, строительство малотоннажных заводов на основе применения современных высокорентабельных технологий по глубокой переработке лесных ресурсов (невысококачественной на данный момент лиственной древесины, низкокачественной древесины и вторичных лесных ресурсов) повысит интенсивность лесопользования и обеспечит новую для лесного комплекса РФ схему лесопользования на основе формирования сети лесопользователей малого и среднего бизнеса не первичной, а глубокой переработке лесных ресурсов.

Одновременно с этим, все, даже малолесные регионы, получат собственное производство таких видов востребованной продукции, как картон, безвредных кормовых добавок для животноводства, удобрений для сельского хозяйства, угольных фильтров для очистки воды и воздуха и проч.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гедьо, В.М. Технология получения хвойной витаминной энергетической добавки (ХВЭД) и ее влияние на продуктивность животных / В. М. Гедьо // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2024. – № 238. – С. 179–186.

## Подсекция «ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»

УДК 630\*383.4

Е.И. Бавбель, ст. преп., канд. техн. наук;  
А.И. Науменко, доц., канд. техн. наук; К.Ю. Теплова, студ.  
(БГТУ, г. Минск)

### СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ДОРОГ

Модуль ТИМ КРЕДО ПРОЕКТИРОВАНИЕ служит для проектирования нового строительства и реконструкции существующих лесохозяйственных дорог (ЛД), а также автомобильных дорог общего пользования всех технических категорий, для проектирования других объектов промышленного и гражданского строительства.

Основой служит цифровая модель местности, созданная на участке прохождения трассы ЛД или расположения иного объекта проектирования. В модуле реализовано проектирование горизонтальной и вертикальной планировки съездов, остановок, стоянок; конструирование водопропускных труб; создание моделей мостов и путепроводов; проектирование водоотвода с проезжей части; создание проектов организации дорожного движения и распределения земляных масс [1].

Знание топографических условных знаков необходимо как для правильного их применения при создании цифровой модели рельефа, так и для успешного изучения местности по карте. Следует отметить, что уяснение по карте характера местности и расположения на ней тех или иных объектов называют чтением карты; изображение местности топографическими условными знаками – *картографическим изображением* (рис. 1).

Условные знаки должны позволять легко читать карту, т. е. давать ясное представление о выраженной ими местности. Для этого они должны быть по возможности наглядными (напоминать характер изображаемых предметов) и стандартными для всех топографических карт.

**Цифровая модель ситуации (ЦМС)** включает в себя площадные (участки земельных угодий, водоемы, населенные пункты, площадки, отдельные здания и сооружения и т. д.), линейные (лесные дороги, водотоки, линии электропередач и др.) и точечные объекты.

**Точечный объект** – точка с внемасштабным условным знаком (например, реперы, отдельно стоящие деревья, опоры ЛЭП).

**Линейный объект** – прямая или ломаная линия с немасштабной шириной, которая отображается определенным условным знаком. Примерами линейных объектов на картах и планах являются коммуникации, существующие автомобильные и железные дороги и т. д.

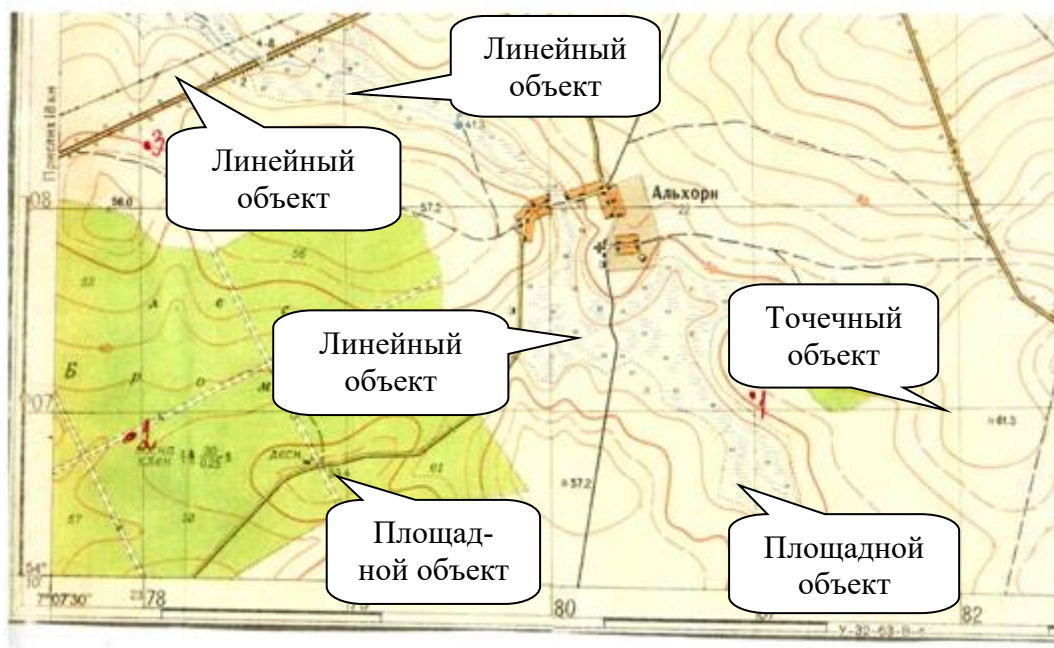


Рисунок 1 – Картографическое изображение местности

**Площадной объект** – участок поверхности, ограниченный контуром ситуации. Линия контура отображается соответствующим условным знаком, а площадь контура выделяется цветом и условными знаками заполнения. К контурным объектам можно отнести: участки земельных угодий, водоемы, населенные пункты, здания, лес, болота и т. д. Площадной объект может иметь необходимую текстовую (семантическую) информацию.

В модуле ТИМ КРЕДО ПРОЕКТИРОВАНИЕ все данные можно создавать и хранить в различных проектах. Цифровую модель ситуации, как правило, размещают в отдельном проекте. Каждый вид ситуационных объектов может быть размещен в отдельных слоях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лыщик П.А., Бавбель Е.И., Науменко А.И. Проектирование лесохозяйственных дорог, терминалов и площадок на базе программного комплекса CREDO. Лабораторный практикум : учеб.-метод. пособие / П. А. Лыщик, Е. И. Бавбель, А. И. Науменко. – Минск : БГТУ, 2024. – 160 с.

А.И. Науменко, доц., канд. техн. наук;  
Е.И. Бавбель, ст. преп., канд. техн. наук;  
Я.Р. Бладыко, студ.  
(БГТУ, г. Минск)

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ВЯЖУЩЕГО ДЛЯ УКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ДОРОГ**

Композиционный цемент – это гидравлический цемент, состоящий из портландцемента и одного или более неорганических материалов, которые принимают участие в реакциях гидратации и тем самым способствуют образованию продукта гидратации.

Композиционные вяжущие используются для различных целей. Необходимость утилизации отходов и снижение энергозатрат становится все более очевидной. Зола уноса и шлак являются отходами, получаемыми в больших количествах. Бетоны на их основе или совместно с природными пуццоланами могут иметь одинаковые свойства с бетонами, изготовленными из чистых портландцементов, при более низкой стоимости на единицу объема изделий.

Известно, что прочность цементного камня определяется многими факторами, в том числе вещественным составом, гранулометрией исходного цемента, а также микроструктурой цементного камня, которая в свою очередь, определяется концентрацией гидратных фаз, морфологией кристаллогидратов, формой контактов кристаллов различного генезиса.

Основным показателем качества цемента является его марка, численно выражающая гарантированный предел прочности при сжатии образцов-балочек, изготовленных в стандартных условиях. Активность цемента характеризует фактическую прочность при сжатии конкретных образцов. Марку цемента устанавливают по показателям предела прочности при изгибе и сжатии образцов-балочек размером 40×40×160 мм.

Согласно ГОСТ 310.4-81, для определения прочностных характеристик цемента изготавливаются образцы-балочки размером 40×40×160 мм из цементно-песчаного раствора, состоящего из одной весовой части цемента и трех весовых частей стандартного полифракционного песка для испытания цемента с размером зерен от 2,00 до 0,08 мм. Применение других песков, чтобы исключить их влияние на прочность образцов, не допускается. Водоцементное отношение при этом должно быть не менее 0,40 (В/Ц=0,40), а консистенция раствора, определяемая на специ-

альном приборе по расплыву конуса – не менее 106 мм.

Испытание образцов-балочек производится на приборе МИИ-100, который автоматически вычисляет величину  $R_{изг}$  для стандартных образцов. Установку образцов на опорные элементы прибора производят так, чтобы грани, которые при изготовлении были горизонтальными, находились в вертикальном положении, а поверхность с маркировкой была обращена к испытателю. Средняя скорость приложения усилия к образцу должна быть  $50 \pm 10$  Н/с. Полученные после испытания на изгиб шесть половинок образцов-балочек сразу подвергают испытанию на сжатие.

Каждую половинку балочки помещают между двумя специальными нажимными пластинками так, чтобы боковые грани, которые при изготовлении прилегли к продольным стенкам формы, находились на плоскостях пластинок, заглаженная поверхность с маркировкой была обращена к испытателю, а упоры пластинок плотно прилегли к гладкой торцовой стенке образца. Пластинки применяются для того, чтобы знать площадь поперечного сечения половинки образца-балочки, подвергаемой нагружению.

При разработке составов композиционных вяжущих изучались как моносоставы, так и бинарные композиции, а также составы с полным набором всех компонентов совместно с минеральным вяжущим.

В первую очередь определялась дозировка каждого из компонентов – основного вяжущего и микронаполнителей (АЦИ, гранитоидный отсев и зола-унос). На основе результатов испытаний на прочность при сжатии можно сделать вывод, что композиционное вяжущее, полученное на основе исходных компонентов, имеет марку 400. Наиболее высокую прочность показали следующие составы композиционных вяжущих [1]:

Состав № 1 – 90% портландцемента, 10% зола-унос.

Состав № 2 – 70% портландцемент, 30% зола-унос (далее композиционное вяжущее № 2).

Состав № 3 – 70% портландцемента, 10% молотых отходов АЦИ, 20% гранитоидные отсева (далее композиционное вяжущее № 1).

При добавке золы-уноса из топок с псевдоожигенным слоем в количестве 10% дает прочность выше, чем при внесении 30%. Однако при этом не до конца используется потенциал замещения дорогостоящего портландцемента на отход. Поэтому при дальнейших исследованиях использовали только составы № 2 и № 3.

Большое увеличение количества отходов в вяжущем дает отрицательный эффект, так как марка по прочности снижается до 300 и больше. При таком снижении появляется необходимость увеличенно-

го расхода вяжущего при укреплении местных грунтов, а это влечет за собой увеличение стоимости конструкции.

Анализ полученных результатов кинетики набора прочности композиционного вяжущего показывает [2], что гранитоидный отсев и отходы асбестоцементных изделий в первые трое суток ускоряют процесс твердения. Прочность при этом возрастает по сравнению с контрольными образцами, приготовленными только с использованием портландцемента, на 8–60%. Меньшее значение прироста прочности происходит при введении 50% добавок.

Ускорение набора прочности композиционным вяжущим с выбранными добавками обусловлено тем, что они выступают в качестве затравок кристаллизации гелеобразованных продуктов гидратации портландцемента. Через 7 суток твердения темп набора прочности цементного камня резко снижается.

Как было установлено, у всех образцов линейки составов возрастает время начала срока схватывания, что объясняется увеличением длительности индукционного периода, связанного с растворением частиц цемента и образованием насыщенных растворов. Однако наличие частиц микронаполнителя в дальнейшем интенсифицирует процесс кристаллизации гидратных фаз. Согласно данным, микронаполнители не являются инертными добавками. Они принимают некоторое участие в формировании структуры цементного камня: раздвигают зерна гидратирующего цемента и тем самым ускоряют гидратацию. На их поверхности выделяются гидратные новообразования высокой степени дисперсности. Возможно также взаимодействие использованных микронаполнителей с алюминатными составляющими цемента.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Композиционный цемент: пат. Респ. Беларусь, МПК С 04 В 7/04, С 04 В 28/5204, С 04 В 18/12, С 04 В 718/16, С 04 В 7/52 / П. А. Лыщик, С. В. Плышевский, А. И. Науменко; заявитель Белорус. гос. технол.

ун-т. – № а20121705; заявл. 06.12.12; опубл. 2015.0.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. Цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2015. – № 4. – С. 82.

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

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

## **УСЛОВИЯ И ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ВЫСШЕГО ЛЕСОТЕХНИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ В БЕЛАРУСИ**

История лесного образования в пределах сегодняшней территории Беларуси начинается с открытием в 1840 году Горы-Горецкой земледельческой школы, где ученики изучали во втором разряде лесоводства [1]. Уже в 1848 году на основании этого разряда было создано высшее образовательное учреждение – Горы-Горецкий земледельческий институт. Студенты этого института продолжали изучать лесные науки, а с 1859 года выделилась отдельно специальность «лесоводство». Именно в этот исторический период начала формироваться система подготовки специалистов по лесному делу на белорусских землях. После 1863 года институт был переведен в Санкт-Петербург, а земледельческое училище было оставлено в Горках.

Восстановление белорусского высшего лесного образования произошло уже только в 1919 году, когда открылся Горецкий сельскохозяйственный институт. В следующем 1920 году в Минске был создан Белорусский государственный политехникум (институт) с лесным факультетом [2]. В 1922 году произошла реорганизация этого ВУЗа и на материальной базе его был выделен отдельный самостоятельный Белорусский государственный институт сельского хозяйства с агрономическим факультетом и секцией «лесоводство». Но реформация этих двух институтов на этом не закончилась, и уже в 1924 году было решено перевести лесной факультет с Горок в Минск и объединить с лесной секцией агрономического факультета института сельского хозяйства, который на этом основании получил новое название – «Белорусский государственный институт сельского и лесного хозяйства имени Октябрьской революции». Финишным этапом реконструкции этих сельскохозяйственных институтов являлось их объединение в единую Белорусскую государственную академию сельского хозяйства, которое состоялось в 1925 году. Таким образом лесные кафедры, относительно не успев полностью полноценно поработать в Минске, снова вернулись в учебные помещения города Горки.

Следующие пять лет лесной факультет Белорусской сельскохозяйственной академии плодотворно работал и готовил профессиональные кадры лесохозяйственного направления. Именно тогда закладывались фундаменты изучения лесных технических дисциплин [3]. Студенты готовились как специалисты универсального профиля, но



предпочтение отдавали изучению лесохозяйственного дела, и лишь небольшая часть академических часов отводилась на техническое направление. Но крупный технический прогресс захватил также лесную отрасль, в лесозаготовках все больше и больше стали использовать новые технологии, которые пользовались машинами и механизмами для транспорта и заготовке древесины. К этому моменту весь исторический период лесное образование готовило специалистов для лесного хозяйства, но на тот момент не хватало именно инженеров для лесной промышленности с основательными техническими знаниями, как по лесозаготовкам, так и по деревообработке.

В 1930 году было решено создать на основании существующего лесного факультета Горецкой сельскохозяйственной академии Лесной институт и разместить его в г. Гомеле, где планировали готовить инженеров, как для лесной промышленности, так и для лесного хозяйства. Уже в ноябре 1930 года открыло свои двери для студентов первое в истории Беларуси высшее лесотехническое учреждение. На тот момент Лесной институт имел ряд отделений: лесного хозяйства; механизации лесозаготовок; механической обработки древесины; лесохимическое и лесоэкономическое [2], после реорганизации 1932 года отделения преобразовались в следующие факультеты: 1) лесного хозяйства; 2) механизации лесоразработок и сухопутного транспорта леса (1946-1961 гг. – Лесоинженерный, 1961-1969 гг. – Лесотехнологический, 1969-1988 гг. – Лесоинженерный) [4]; 3) механической обработки древесины (в последующие десятилетия имел названия – механической технологии древесины, механико-технологический). В 1934 году состоялся первый выпуск молодых специалистов Белорусского лесного института, который в этом же году получил новое название Белорусский лесотехнический институт и готовил по 4 инженерным специальностям: инженер лесного хозяйства, инженер-технолог, инженер-транспортник леса, инженер-механик по технической обработке древесины.

Непосредственно подготовка лесотехнических инженеров именно для лесозаготовки, началась в 30-ые годы XX века, 95 лет отделяет нас от этой первоначальной точки, теперь уже в XXI веке БГТУ готовит специалистов в этом направлении на кафедре лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства по двум специальностям: 1) Лесная инженерия и логистическая инфраструктура лесного комплекса; 2) Сервис и инжиниринг лесных машин и оборудования. Кафедра прошла надлежащий путь с первых дней существования Лесного института до сегодняшнего дня, безусловно не без ряда реорганизаций. Первоначальное название, существовавшее с 1930 г.

по 1932 г. – «Кафедра лесозаготовки», потом получило название – «Кафедра механизации лесозаготовок» (1932-1941 гг.). В 1939 году от нее отделилась отдельная кафедра механической тяги, но уже в 1944 г. они вновь объединились под общим названием – «Кафедра механизации лесозаготовок и механической тяги». В 1954 г. эту кафедру ожидало разделение на две отдельные кафедры: 1) механизации лесозаготовок, которая в 1976 г. была переименована, как «Кафедра Технологии лесозаготовок» и 2) тяговых машин. Но этим кафедрам суждено было существовать вместе, поэтому в 1985 году они вновь исторически объединяются в одну под названием «Кафедра лесных машин и технологии лесозаготовок». Уже в 2017 году к ней присоединяется кафедра лесных дорог и организации вывозки древесины, поэтому обновленная кафедра получила новое название «Кафедра лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства».

Таким образом открытый в 1930 году новый Лесной институт соответствовал в полной мере потребностям лесной промышленности, которая оснащалась лесозаготовительными, деревообрабатывающими механизмами, а также лесотранспортными машинами, что требовало подготовке квалифицированных лесотехнических инженеров.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Рожков, Л. Н. История становления и развития высшего лесохозяйственного образования на Беларуси (XIX-XXI столетия) / Л.Н. Рожков // Труды Белорусского государственного технологического университета. Серия VIII. Учебно-методическая работа. – 2003. – Вып. VII. – С. 8-13. – Библиогр.: 5 назв.
2. Янушко, А. Д. История Белорусского государственного технологического университета в документах и фактах (1920-2000 гг.) / А. Д. Янушко, Е. А. Дашкевич. – Минск : БГТУ, 2008. – 175 с.
3. Захаров В.К. Современные задачи и нужды высшей лесной школы БССР Отдельный оттиск из журнала «Советское строительство» № 10 за 1929 г. / Проф. В.К. Захаров. – [Минск] : Б. и., [1929]. – 15 с.; 25 см.
4. Леонович, И. И. Истоки и развитие лесоинженерной науки и образования в Республике Беларусь / И. И. Леонович // Труды БГТУ. №2. Лесная и деревообрабатывающая промышленность, 2003. – С. 3-13.

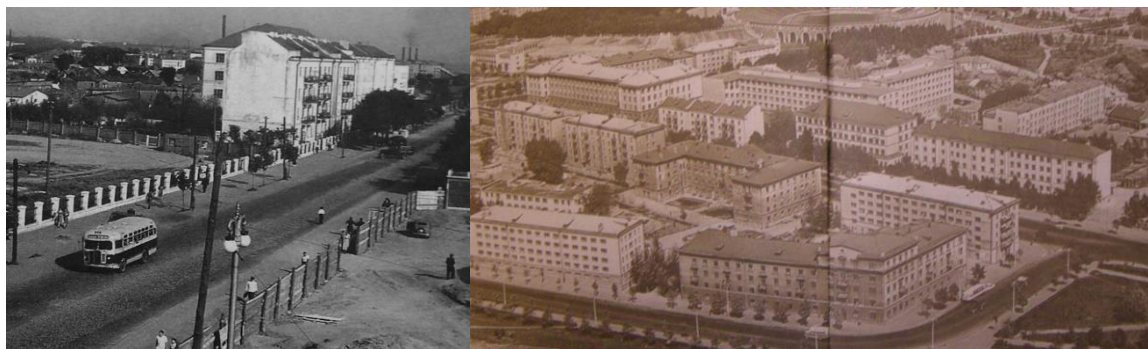
В.Н. Лой, декан, канд. техн., наук;  
А.О. Германович, доц., канд. техн. наук  
(БГТУ, г. Минск)

## ПЕРВОЕ ДЕСЯТИЛЕТИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЫСШЕГО ЛЕСОТЕХНИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ В МИНСКЕ

Во время второй мировой войны Белорусский лесотехнический институт был эвакуирован в Свердловск, после освобождения территории Беларуси вернулся в город Гомель. В 1946 году переехал в столицу – Минск.

В Минске усилиями студентов и преподавателей белорусский лесотехнический институт начинает восстанавливать 4 коробки сгоревших и полуразрушенных здания: преподавательский дом (ул. Свердловская, 83 – старый адрес, современный адрес – ул. Свердлова, 15) (рис. 1), учебный корпус (ул. Свердловская, 85 – старый адрес, современный адрес – ул. Свердлова, 17), студенческое общежитие (ул. Свердловская, 87 – старый адрес, современный адрес – ул. Свердлова, 19) и двухэтажный вспомогательный административно-хозяйственный корпус (ул. Свердловская, 72). В 1949 году студенческое общежитие было увеличено на 240 мест, путем пристройки целого подъезда, а также был увеличен аудиторный фонд, в результате учебный корпус получил прямоугольную форму взамен П-образной [1].

Еще в 1948 году университетское строительство выходит за пределы города Минска и образуется Негорельский Учебно-опытный лесхоз, который подчиняется университету и служит научной и практической базой [2].



*а* – вид на будущий университетский двор в первые послевоенные годы;  
*б* - вид на построенные учебные корпуса и общежития

**Рисунок 1 – Учебные корпуса и общежития**

Далее были уже построены совсем новые здания для получения высшего образования. Сначала строится учебный корпус №5 (1951 г.) с принадлежащей территорией для материального обеспечения учебного лесотехнического процесса и студенческое общежитие №2 (1954 г.). В 1960 году открывается главный корпус №1, а через год соответственно поочередно заселяются студенты в общежития №1 (1961 г.), № 3 (1962 г.) и начинает работать корпус №3 (1963 г.). Параллельно строится центральный учебный корпус № 4, который в 1967 году принимает студентов и преподавателей в новых аудиториях. В 1973 г. и 1978 г. увеличивается общее количество общежитий на 2 комфортабельных многоэтажных здания блочного типа (общежития №4 и № 5). В 1988 г. сооружен корпус №3А, соединяющий между собой корпуса №3 и №4, что придает больше уюта и удобства во время аудиторных занятий. Далее достраиваются столовая и спортивные залы. Одним из последних современных университетских застроек является Стадионная площадка (2010 г.) и плавательный бассейн.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Янушко, А. Д. История Белорусского государственного технологического университета в документах и фактах (1920-2000 гг.) / А.Д. Янушко, Е. А. Дашкевич. – Минск : БГТУ, 2008. – 175 с.
2. Козляков, В. Е. Из истории формирования в Беларуси системы подготовки специалистов лесного хозяйства и становления Белорусского лесотехнического институт имени С. М. Кирова / В. Е. Козляков // Труды БГТУ. Сер. 6, История, философия. – Минск : БГТУ, 2018. – № 2. – С. 5-9.
3. Леонович, И. И. Истоки и развитие лесоинженерной науки и образования в Республике Беларусь / И. И. Леонович // Труды БГТУ. №2. Лесная и деревообрабатывающая промышленность, 2003. – С. 3-13.
4. Рожков, Л. Н. История становления и развития высшего лесохозяйственного образования на Беларуси (XIX-XXI столетия) / Л. Н. Рожков // Труды Белорусского государственного технологического университета. Серия VIII. Учебно-методическая работа. – 2003. – Вып. VII. – С. 8-13. – Библиогр.: 5 назв.
5. Янушко, А. Д. К 60-летию Белорусского ордена Трудового Красного Знамени технологического института им. Кирова. 70 лет высшего лесного образования в Беларуси. // Технолог, 1989. - №22. – С. 2.

А.А. Борозна, доц. канд. техн. наук  
(ФГБОУ ВПО «СПбГЛТУ им. С.М. Кирова», г. Санкт-Петербург, Россия);

Т.В. Якушева, начальник отдела лесного  
(ФБУ «СПбНИИЛХ», г. Санкт-Петербург, Россия)

## **ВОПРОСЫ ВНЕДРЕНИЯ ФЕДЕРАЛЬНОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА (ФГИС ЛК)**

В целях оптимизации субъектами Российской Федерации отраслевой деятельности, повышения учета и контроля лесохозяйственной деятельности и лесопользования с 1 января 2025 года все участники лесных отношений, в первую очередь, лесозаготовители, рынка древесины обязаны использовать современный электронный ресурс – Федеральную государственную систему лесного комплекса (ФГИС ЛК).

Законность происхождения древесины в Российской Федерации обеспечивается рядом законодательных и нормативно-правовых актов, данными отраслевой отчетности, материалами контрольно-надзорных мероприятий, прежде всего, в сфере лесозаготовок.

С 2014 года до настоящего времени оборот заготовленной древесины от лесосеки до переработки и реализации фиксируется в единой государственной автоматизированной информационной системе учёта древесины и сделок с ней (далее – ЛесЕГАИС), в которой с 2015 года фиксируются информация о договорах аренды, заготовке и транспортировке древесины, а также и изделий из нее. [1]

Все данные и сведения поступают в систему в электронном формате и, с января 2016 г., обосновываются усиленной компетентной виртуальной подписью лица, обязанного представить информацию. Ключевым документом реформирования лесной отрасли явился Федеральный закон от 04.02.2021 № 3-ФЗ «О внесении изменений в Лесной кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации в части совершенствования правового регулирования лесных отношений» [2].

Документ предусматривал создание федеральной государственной информационной системы лесного комплекса (ФГИС ЛК) с обеспечением полной прозрачности контроля древесины от заготовки, мест складирования (на всех этапах) до производства продукции ее переработки, реализации на внутреннем рынке, вывоза продукции из Российской Федерации.

Транспортировка древесины и продукции из нее допускается с 2022 года только при наличии электронного сопроводительного документа, в котором указываются сведения о собственнике, грузоот-

правителе, грузополучателе, перевозчике древесины, ее объеме, породе, сортименте, пунктах отправления и назначения, о государственном номере транспортного средства перевозки, а также реквизиты сделок с древесиной (при наличии). При перевозке древесины, заготовленной гражданами для собственных нужд, приобретении древесины на розничном рынке или в организации розничной торговли в объеме до 10 м<sup>3</sup> электронный сопроводительный документ не потребуется [3].

Хранение древесины после вывоза ее с лесосек разрешено исключительно на зарегистрированных во ФГИС ЛК складах, а переработка – только на объектах лесоперерабатывающей инфраструктуры, сведения о которых внесены в указанную информационную систему [4].

Теперь с 01.01.2025 года все лесопользователи и участники рынка древесины обязаны использовать новый электронный ресурс ФГИС ЛК, который призван повысить цифровизацию лесной отрасли, а также позволить заинтересованным лицам получать актуальные данные о состоянии лесного фонда страны.

В декабре 2022 года ФГИС ЛК была запущена в пилотном режиме в 4-х субъектах РФ — Московской, Ульяновской областях, Пермском и Красноярском краях. Планируется что ФГИС ЛК будет включать сведения о лесном фонде нашей страны на площади более 1,19 млрд га. По данным Рослесхоза основными целями внедрения новой цифровой системы являются:

- создание единого информационного пространства для органов исполнительной власти в области лесных отношений и лесопользователей), содержащего достоверные атрибутивные и картографическими сведения о лесном фонде субъектов РФ;
- обеспечение процессов взаимодействия между участниками лесных отношений посредством интерактивных сервисов;
- возможность оперативного формирования отраслевой отчетности, аналитики на основе достоверных сведений о лесных ресурсах и их освоении, причем оперативность обеспечивается за счет автоматизации заполнения форм и методик документооборота;
- прозрачность контроля и сокращение материального ущерба от незаконных рубок и нарушений при транспортировке древесины;
- автоматизация анализа количественных и качественных характеристик лесонасаждений на основе информации, полученной методами космомониторинга;
- применение подробных электронных карт.
- внедрение нейросетевых технологий анализа и учета про-

странственной информации о лесах.

На сегодняшний день фактически реализована основная часть ФГИС ЛК, включающая несколько блоков подсистем:

- пространственный (интеллектуального анализа, картографический, обработки пространственных материалов, лесочетный);

- лесопользовательский (с подсистемами освоения лесов, учета древесины и сделок с ней; прослеживаемости транспортировки, учета механизмов и оборудования);

- блок охраны, защиты и воспроизводства лесов (подсистема с последующим расширением функционала); - документационный (подсистемы управления, нормативно-справочной информации, обработки и учета документов);

- учета документов;

- технологический (с подсистемами административного мониторинга, внутреннего и внешнего взаимодействия, информационной безопасности, управления процессами, хранения данных).

До конца текущего года к ФГИС ЛК должны быть подключены все субъекты РФ, организация обучения пользователей, работников лесничеств, коммерческих предприятий отрасли с целью обеспечения начала квалифицированной эксплуатации системы с 2025 года. ФГИС ЛК будет интегрироваться с различными внешними информационными платформами, такими, как ГИС ЕЭКО (Единая картографическая основа), «ЭРА-ГЛОНАСС» и другими.

ФГИС ЛК сегодня является инновационной, многофункциональной комплексной системой учета состояния лесного фонда, освоения лесов, заготовки и перевозки древесиной и изделий из нее, а также взаимодействия между участниками лесных отношений отрасли. Текущий функционал ЛесЕГАИС включается в одну из подсистем новой платформы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Об утверждении формы электронного сопроводительного документа на транспортировку древесины и продукции ее переработки, состава сведений, включаемых в электронный сопроводительный документ на транспортировку древесины и продукции ее переработки, а также требований к формату и порядку заполнения электронного сопроводительного документа на транспортировку древесины и продукции ее переработки и о признании утратившим силу постановления Правительства Российской Федерации от 16.10.2020 No 1696 : постановление Правительства Российской Федерации от 06.12.2021 No 2214, Москва // Электронный фонд правовой и нормативно-



технической документации / АО «Кодекс». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/727468050> (дата обращения: 03.10.2024).

2. Лесной кодекс Российской Федерации : федер. закон от 04.12.2016 № 200-ФЗ : (ред. от 04.08.2023) : принят Гос. Думой 08.11.2006 : одобрен Советом Федерации 24.11.2006, Москва // Электронный фонд правовой и нормативно- технической документации / АО «Кодекс». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902017047> (дата обращения: 04.10.2024).

3. Об утверждении состава сведений, включаемых в отчет о ввезенной на склад или вывезенной со склада древесине : приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 25.08.2021 № 590: зарегистрировано в Минюсте РФ 16.09.2021, регистрационный № 65029, Москва // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации / АО «Кодекс». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/608633579> (дата обращения: 12.10.2024).

4. Президент России подписал федеральный закон о цифровой трансформации лесного комплекса // Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации : офиц. сайт / Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. – URL: [https://www.mnr.gov.ru/press/news/prezident\\_rossii\\_podpisal\\_federalnyy\\_zakon\\_o\\_tsifrovoy\\_transformatsii\\_lesnogo\\_kompleksa/](https://www.mnr.gov.ru/press/news/prezident_rossii_podpisal_federalnyy_zakon_o_tsifrovoy_transformatsii_lesnogo_kompleksa/) (дата обращения: 15.10.2024)

УДК 630\*36:621.9

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

## **МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ МАЛОГАБАРИТНОГО ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННОГО ТРАКТОРА С ЭЛЕКТРОСИЛОВЫМ ПРИВОДОМ**

Целью испытаний малогабаритного лесохозяйственного трактора с электросиловым приводом при работе с навесным оборудованием различного назначения, являлась оценка работоспособности и эффективности применения указанного привода и навесного оборудования, получение количественных и качественных показателей тягово-сцепных свойств, определение ее основных параметров и диапазонов их варьирования, измерения температуры батареи при разных режимах работы определение распределения опорных реакций.

При проведении испытаний измеряемыми параметрами являются:

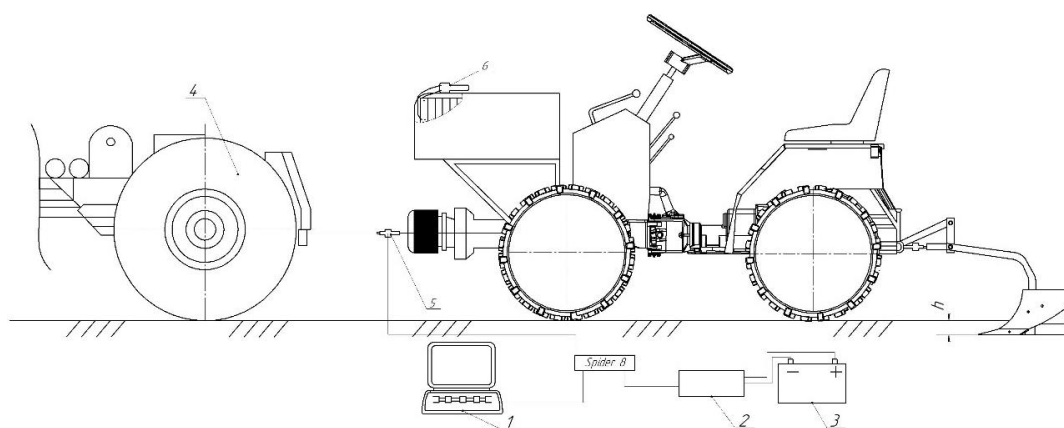


- тяговое усилие;
- пройденный путь;
- скорость движения;
- время работы;
- энергопотребление;
- глубина работы навесного оборудования.

Перед испытаниями проводится подготовка объекта испытаний, которая включает проверку технического состояния, уровень заряда батареи и проведение необходимых регулировок оборудования, установку приспособлений и датчиков в местах измерений. До начала испытаний и после их проведения осуществляется измерение регистрируемых параметров и с целью уточнения тарифовочных коэффициентов измерительной аппаратуры и погрешностей измерений. Схема подключения измерительной и регистрационной аппаратуры представлена на рис. 1.

Режимы испытаний были выбраны, исходя из назначения машины, и включали: трогание с места на различных передачах, установившееся движение, реализация касательной силы тяги при использовании навесного оборудования, перемещение трактора при включенной нейтральной передаче. При этом измерялись следующие параметры:

- энергопотребление;
- скоростные характеристики;
- сцепные свойства;
- усилия сопротивления движению и касательные силы тяги электрического трактора при работе с навесным оборудованием.



- 1 – портативный компьютер; 2 – преобразователь напряжения;  
 3 – аккумуляторная батарея; 4 – тягач; 5 – тяговое тензометрическое звено;  
 6 – цифровые токовые клещи ВТ – 570S – APP с передачей сигнала по wi-fi;  
 h – глубина работы навесного оборудования

**Рисунок 1 – Схема подключения измерительной аппаратуры**

Число наблюдений (заездов) определяется по формуле:

$$n = \frac{k^2 \cdot \delta^2}{\varepsilon^2} , \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент точности, при  $P(k) = 0,95$ ,  $k = 1,96$ ;  $\varepsilon$  – показатель точности, принимается не более 10 % значения выборочного среднего;  $\delta$  – мера изменчивости, стандарт процесса.

Тогда для установленной точности:

$$n = \frac{1,96^2 \cdot 0,1^2}{0,1^2} = 3,84 . \quad (2)$$

Было принято проведение не менее четырех зачетных заездов на каждом режиме.

Усилие сопротивления движению и реализующее тяговое усилие малогабаритного лесохозяйственного трактора с электросиловым приводом определяются с помощью тягового тензометрического звена U9B с максимальной нагрузкой 50 кН. При определении силы сопротивления движению тяговое тензометрическое звено монтируется на буксировочном устройстве передней части малогабаритного лесохозяйственного трактора с электросиловым приводом, так же и при измерении реализуемой касательной силы тяги.

Для определения силы сопротивления движению и тягового усилия испытываемого транспортного средства в процессе исследовательских испытаний будет применяться трелевочный трактор ТТР-401 с канатно-чокерным технологическим оборудованием. При определении усилия сопротивления движению он будет служить в качестве тягача. Принято, что усилие сопротивлению движению при работе с навесным технологическим оборудованием равняется разнице усилий сопротивлению движения при работе с технологическим оборудованием и без него.

Измеряемые параметры будут регистрироваться и записываться с помощью восьмиканального многофункционального измерительного комплекса Spider-8 и портативного переносного компьютера. В процессе испытаний измерительная аппаратура располагается на месте оператора малогабаритного лесохозяйственного трактора с электросиловым приводом. Питание портативного компьютера и усилительного комплекса будет осуществляться от аккумуляторной батареи самого трактора с помощью специального преобразователя электроэнергии (адаптера). Регистрируемые параметры записывались на жесткий диск компьютера. Программное обеспечение, установленное на портативном компьютере, позволяет осуществ-

лять проверку работоспособности датчиков и усилительных каналов, просматривать и проводить предварительную обработку полученных результатов.

Такая же схема будет использована при тарировке устройства деформации. Тарировочные коэффициенты будут внесены в расчетную программу измерительного комплекса, а для тягового тензометрического звена U9B, тарировочные кривые берутся в программном обеспечении.

Перед началом испытаний, непосредственно на полигоне, будет проводиться проверка работы датчиков и усилительной аппаратуры.

УДК 630.36

В.А. Лужковский

(ОАО «Старобинской ТБЗ», г. Старобин)

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕСТНЫХ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА ОАО «СТАРОБИНСКИЙ ТОРФОБРИКЕТНЫЙ ЗАВОД»**

Эффективное и рациональное использование топливно-энергетических ресурсов является одной из важнейших задач по повышению энергетической безопасности Республики Беларусь, стоящей перед всеми секторами национальной экономики. Рост цен на энергоносители, усиление конкуренции на мировых рынках промышленной продукции, остро ставят вопросы энергосбережения. Основной объем экономии топливно-энергетических ресурсов получен за счет внедрения в производство современных энергоэффективных технологий, оборудования и материалов. Большое внимание уделяется мероприятиям по вовлечению в топливно-энергетический баланс страны таких возобновляемых источников энергии, как энергия воды, ветра, солнца, а также местным видам топлива и отходам собственного производства. Приоритетным направлением повышения уровня энергобезопасности страны является увеличение масштабов использования таких местных энергоресурсов, как торф, древесное топливо.

Торф является одним из немногочисленных местных топливно-энергетических ресурсов (рис. 1). Его доля в общем объеме местных видов топлива составляет около 15%.

В настоящее время ежегодно добывается порядка 2 млн. тонн. В энергетическом балансе республики доля торфа составляет 2–3%. Использование торфа позволяет ежегодно замещать в экономике республики до 590 млн. м<sup>3</sup> импортируемого природного газа стоимостью 107,7 млн. долл. США. Следует отметить, что, по сравнению с импортируемым природным газом, местное торфяное топливо имеет значи-

тельно меньшую стоимость. Так, в пересчете на 1 т у.т., торфяные брикеты дешевле природного газа в 2,6 раза, а топливный фрезерный торф – в 4 раза.



Рисунок 1 – Крупнейшие месторождения торфа в Республике Беларусь

**ОАО «Старобинский торфобрикетный завод»** – один из лидеров в производстве топливных брикетов в Беларуси. Проектная мощность предприятия позволяет выпускать до 240 тысяч тонн брикета в год. Для их выпуска используется сырье собственного производства – торф.

Наибольший удельный вес в общем объеме потребления торфа топливного занимает котельная №3 КУП «Слуцкое ЖКХ» в г. Слуцке. Ввод ее в 2021 году позволил вывести из эксплуатации старую котельную, работавшую на природном газе, снизить себестоимость 1 Гкал тепловой энергии за счет замещения около 3,6 млн. м<sup>3</sup> в год импортируемого природного газа и обеспечить увеличение доли местных ТЭР в балансе котельно-печного топлива.

Модернизация котельной на фрезерном торфе в д. Рудавка позволила выйти на себестоимость одной гигакалории в размере 88 руб. с перспективой дальнейшего снижения по мере вывода объекта на проектные показатели и уменьшения затрат на амортизацию. Для сравнения средняя себестоимость одной гигакалории на газу до модернизации составляла 100 руб.

Реализация этих проектов позволила не только увеличить использование местных ТЭР, но и снизить себестоимость производства тепловой энергии на 10–19%.

Эффективность работы внедренного оборудования была тща-

тельно проанализирована специалистами. В расчет брались экономические показатели, экологическая безопасность, особенности эксплуатации котлов, их надежность и другие параметры и в декабре 2022 года была введена в эксплуатацию котельная в производственном цехе «Слущкий» ОАО «Старобинский ТБЗ» в аг. Гацук (рис. 2).

В рамках реализации проекта построен энергоисточник установленной мощностью 3,3 МВт с двумя водогрейными котлами на фрезерном торфе мощностью по 1,5 МВт каждый и одним котлом мощностью

0,3 МВт. На новом оборудовании отечественного производства (НПП «Белкотломаш») для выработки тепловой энергии потребляется около 2,5 тыс. т фрезерного торфа в год. Современное оборудование новой котельной за счет снижения потребления топлива при более эффективном процессе его сжигания позволяет экономить более 370 тонн условного топлива в год. Работа котельной организована в автоматическом режиме.



**Рисунок 2 – Современная отопительная котельная введена в эксплуатацию в 2022 г.**

В настоящее время на ОАО «Старобинский ТБЗ» с целью повышения энергетической эффективности котельной, снижения удельного расхода топлива на отпуск тепловой энергии ведется работа по модернизации котлоустановки с котлом ДКВР 20-13, в качестве топлива в которой используется фрезерный торф. Модернизация позволит достичь существенной экономии условного топлива, повысить качество оказываемых услуг и эффективность работы.

При снижении потребления условного топлива на 4976 т.у.т. в год (или 15 тыс. тонн топливного торфа). Окупаемость мероприятия составляет 3 года.

Перечень мероприятий по модернизации котельного оборудова-

ния позволяет использовать в качестве топлива как древесную щепу, так и торф топливный.

Если сравнивать стоимость этих двух видов местного топлива щепы и торфа, то она примерно сопоставима. 1 т у. т. торфа стоит 180 руб. (при 57–60 руб. за тонну), а щепы – 200 руб. (при 40 руб. за 1 пл. м<sup>3</sup>). В то же время на производство 1 Гкал тепла при использовании торфа потребуется 180–190 кг у. т., а при использовании щепы – 170–175 кг у. т. Однако стоимость оборудования, работающего на торфе, более высокая в сравнении со щепой или газом. Речь не только о котлах, но и о необходимости внедрения систем очистки для выполнения всех экологических требований. А это предопределяет более высокие амортизационные отчисления, что в дальнейшем сказывается на себестоимости тепла. При разработке технико-экономического обоснования нужно просчитывать все факторы, которые влияют на эффективность.

Эффективность работы котельного оборудования зависит в том числе и от качества топлива. Для щепы главным критерием остается влажность, а при характеристике торфа значение имеют зольность, теплотворная способность, содержание серы (табл.).

**Таблица – Сравнительная характеристика видов топлива**

Вид топлива	Теплота сгорания МДж/кг	% серы	% золы
Каменный уголь	15–25	1–3	10–35
Щепа древесная	10	0	2
Гранулы древесные	17,5	0,1	1
Торф топливный	9	0,05	5–10
Брикеты топливные	10–12	0,07	14,2
Природный газ	35–38 МДж/м <sup>3</sup>	0	0

Таким образом, можно сделать вывод, что запасов торфа вполне достаточно, чтобы развивать данное направление. Запасы древесного топлива в стране постоянно растут, что позволяет рассматривать возможность использования пеллет и брикетов в развитии возобновляемых источников энергии.

Подводя итог вышесказанному, одним из приоритетных направлений остается принятие кардинальных мер по эффективному и рациональному использованию топливно-энергетических ресурсов, ускорение технического переоснащения и модернизации производств на основе внедрения ресурсосберегающих мероприятий, технологий и техники, и дальнейшее повышение доли местных видов топлива также в числе основных мер по укреплению энергетической безопасности страны.



В.В. Легкий, зам. директора  
(ЧУП «Биоэнергетика», г. Минск)

## УНИВЕРСАЛЬНЫЕ МОЛОТКОВЫЕ ДРОБИЛКИ ДЛЯ РАЗЛИЧНОГО ВИДА СЫРЬЯ

Главной особенностью молотковых дробильных машин (рис. 1) является возможность перерабатывать древесное сырье с включением металлических и других инородных предметов, что не может выполнить рубильная машина.



Рисунок 1 – Общие виды молотковой дробилки JENZ BA 725 D

Молотковая дробильная машина JENZ может работать на различном сырье (рис. 2), которое может включать: металлические включения, камни, землю, песок и другой абразив.



Рисунок 2 – Виды перерабатываемого сырья

При этом, в зависимости от требований к продукции, сырье может проходить предварительную сортировку.

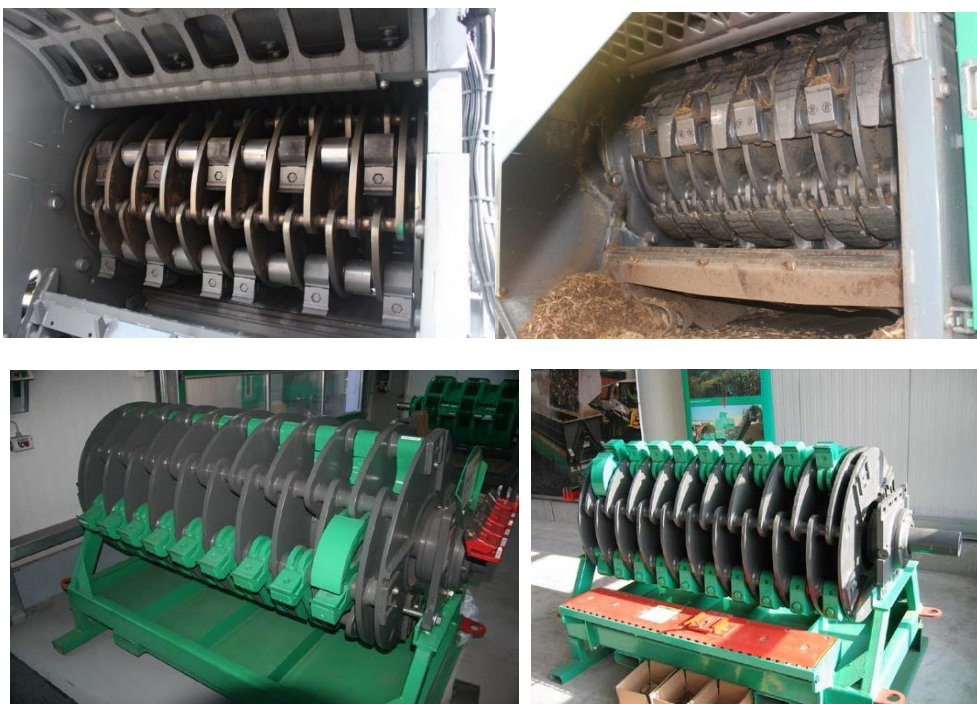
Молотковая дробильная машина JENZ BA 725 D имеет ряд преимуществ перед конкурентами, что позволяет ей быть максимально универсальной.

Двойной (комбинированный) привод: большой шкив – 500 об/мин дробильного ротора, малый шкив – 1000 об/мин дробильного ротора Twin gear (рис. 3).



**Рисунок 3 – Двойной привод**

Виды молотков (качающиеся и фиксированные) позволяют подстраиваться как под входное сырье, так и под нужную конечную фракцию (рис. 4).



**Рисунок 4 – Виды молотков**

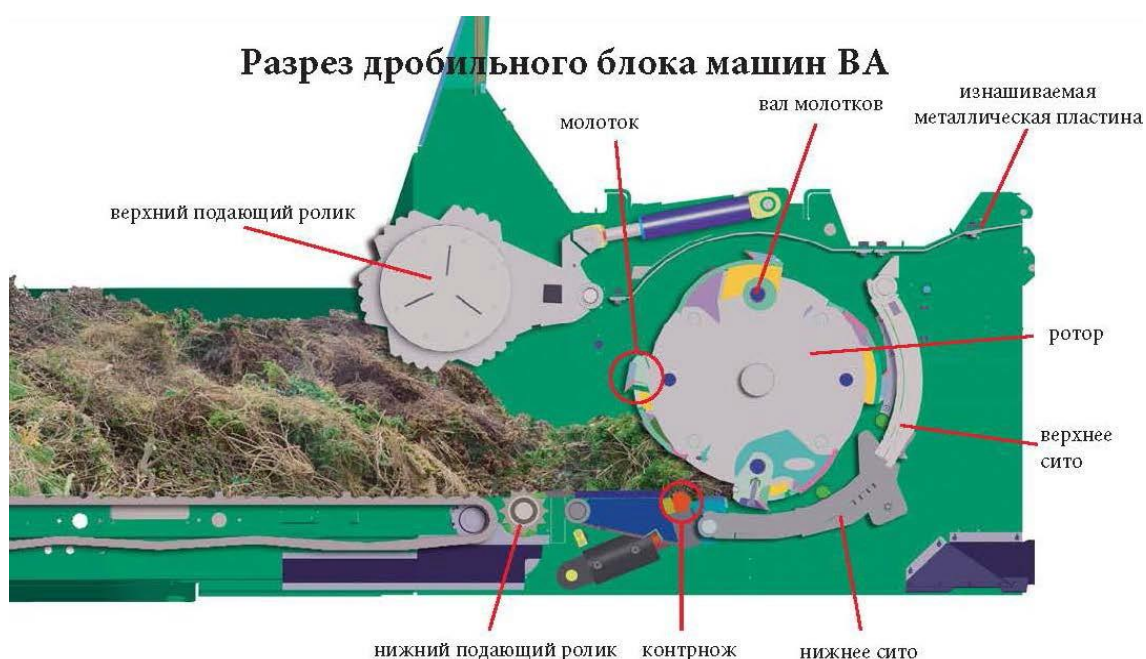


Дополнительно помогают подстроиться под входное сырье (с большей степенью загрязненностью либо меньшей) наконечники (рис. 5), которые устанавливаются на фиксированный либо качающийся молотки.



**Рисунок 5 – Виды наконечников**

Принцип дробления/рубки на молотковой дробилке с качающимися/фиксированными молотками с системой минимизации повреждений при попадании инородных материалов приведен на рис. 6.



**Рисунок 6 – Принцип работы дробильного агрегата**

Применение данного типа дробильных агрегатов в лесном комплексе, в системе ЖКХ и других сферах позволит повысить степень утилизации различных древесных отходов.

М.Т. Насковец, доц., канд. техн. наук;  
В.Н. Штепа, зав. кафедрой, канд. техн. наук;  
С.П. Мохов, зав. кафедрой, канд. техн. наук  
(БГТУ, г. Минск);

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

## **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТРАНСПОРТНОГО ОСВОЕНИЯ ЛЕСОВ**

Влияние транспортных систем (ТС) на биоту лесов можно условно разделить на химическое и физическое, которое, в свою очередь, может быть, как непосредственным, так и опосредованным.

К основным видам воздействия ТС на придорожные экосистемы можно отнести следующие [1]:

- химическое загрязнение среды обитания биологических объектов;
- сокращение плодородия земель и ухудшение условий роста растений;
- нарушение естественных условий обитания животных, птиц, гидробионтов из-за вытеснения их с занятой экологической ниши;
- уменьшение численности популяций видов из-за снижения продуктивности экосистем, физического и химического воздействия автотранспорта, гибели животных при столкновениях с транспортом;
- пересечение сезонных и суточных путей миграции животных, что приводит к сокращению ареала обитания и, как следствие, сокращению видов.

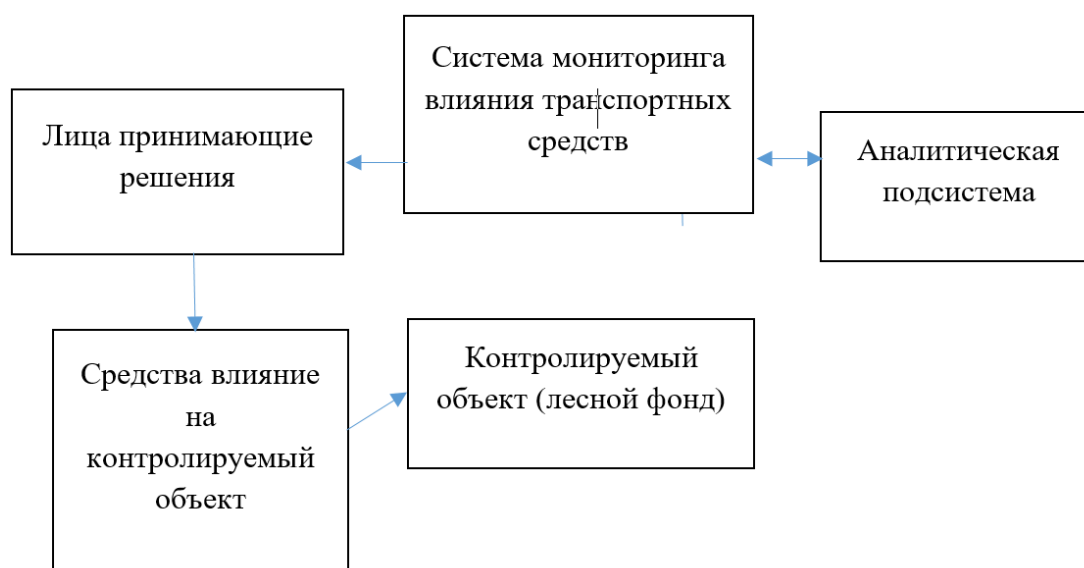
Особый вид воздействия ТС на лесную природную среду заключается в фрагментации экосистем путем нарушения (разделения) природных ландшафтов.

Следовательно, влияние ТС на лесной фонд достаточно существенно, сопровождается не только отдельными негативными воздействиями на отдельные компоненты, но и возможностью полной трансформацией экосистем. Таким образом поддержание экологической безопасности при функционировании ТС в таких условиях является важным аспектом их полноценного и международно-ориентированного развития.

Анализ исследований по данной и смежным тематикам [2–4] позволяет установить, что в научных работах уделяется достаточно большое внимание вопросам обеспечения экологической безопасности при развитии и функционировании составляющих автотранспорт-

ных систем и объектов дорожно-транспортной инфраструктуры. Одновременно с этим вопросом разработки системного подхода по обеспечению устойчивого и экологически безопасного развития ТС, работающих в лесном фонде, не было уделено достаточного внимания. Соответственно, анализ и обоснование необходимости и целесообразности применения мониторинга для обеспечения экологической безопасности функционирования ТС в условиях лесов является актуальной задачей.

Авторами рассматривается простейшая конфигурация системы мониторинга (СМ), которая включает элементы: система мониторинга, контролируемый объект (КО) – экологическое состояние лесного фонда, аналитическая подсистема (АП), средства влияния на контролируемый объект (рис. 1) [5].



**Рисунок 1 – Интеллектуальный мониторинг и управление экологической безопасностью воздействия транспортных средств на лесной фонд**

Взаимодействие между элементами СМ основывается на следующих принципах: СМ собирает всю необходимую информацию, в том числе с использованием технологий Интернета вещей и лабораторных данных; обработка такой информации происходит в АП, с возможностью применения подходов искусственного интеллекта; данные направляются лицам принимающим решения (ЛПР), которые в свою очередь формируют управленческие действия, выполняемые средствами влияния на контролируемый объект.

Целесообразность системного использования СМ и ЛПР заключается в том, что, воздействуя на КО, ЛПР пытается достичь определенных экологических целей, достижение которых ему крайне тяжело обеспечить в силу сложности (невозможности) адекватного анализа

человеком, без использования математических средств, такого многопараметрического и нелинейного объекта мониторинга. Именно поэтому необходимо введение в систему АП. Особое значение использования АП приобретает при исследовании природно-хозяйственных и/или эколого-экономических систем, к которым относится и система обеспечения экологической безопасности лесного фонда.

**Заключение.** Целесообразно, при анализе эколого-экономических и природно-хозяйственных параметров лесного фонда использовать концепцию интеллектуального мониторинга и управления. Следует отметить, что такой подход справедливо применять не только для экологической оценки ТС, но и для анализа и контроля любой природно-хозяйственной системы лесов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Павлова Е. И. Экология транспорта / Е. И. Павлова. – М.: Транспорт, 2000. – 248 с.
2. Bormann F. N. The effects of air pollution on the New England landscape / F. N. Bormann // *Ambio*, 1982. – Vol. 11. № 6. – P. 338 – 346.
3. Kroll C, Warchold A & Pradhan P 2019 Sustainable Development Goals (SDGs): Are we successful in turning trade-offs into synergies. Palgrave Commun.
4. ISO 14001:2004 Environmental management systems. Requirements with guidance for use 2004 ISO/TC 207/SC 1 Environmental management systems p 23.
5. Отраслевые проблемы управления экологической безопасностью: циркулярная экономика, автотранспортные системы, питьевое водоснабжение, аквапонные системы, очистка сточных вод: монография / А.Н. Желнович, В.Н. Штепа [и др.]; Министерство образования Республики Беларусь, Учреждение образования «Полесский государственный университет». – Пинск: ПолесГУ, 2021. – 212 с.

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

## **АНАЛИЗ КОМПОНОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИЦЕПНЫХ РУБИЛЬНЫХ МАШИН**

Под обеспечением соответствия лесных машин потенциальным природно-производственным условиям эксплуатации следует прежде всего понимать способность конструкций машин удовлетворять потребности лесозаготовителей по: производительности, экономичности, надежности, безопасности эксплуатации, обеспечения экологичности, собственной стоимости машин и другим потребительским качествам.

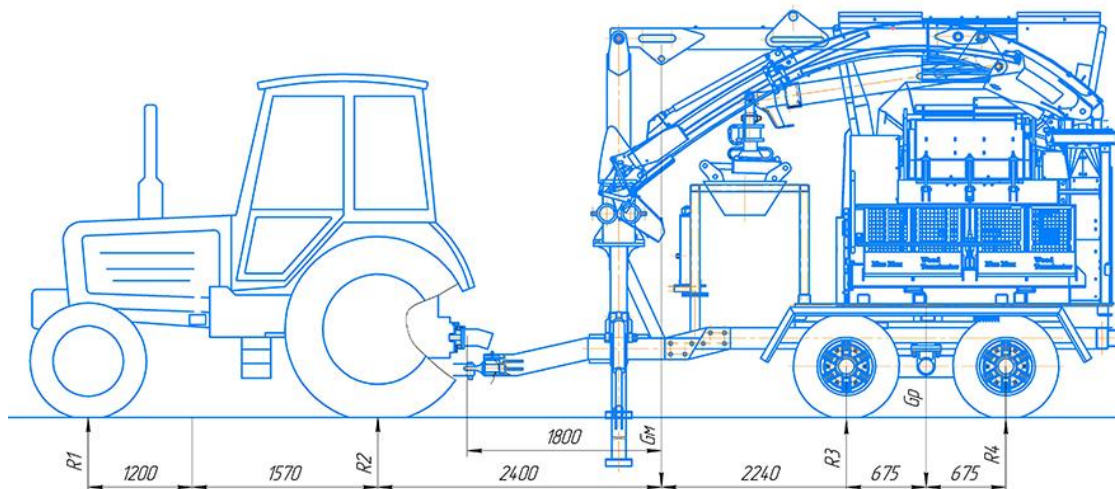
Из всей совокупности потребительских качеств выделяют те, которые проявляются непосредственно в процессе ее эксплуатации и будем именовать их эксплуатационными потребительскими качествами. Совокупность всех эксплуатационных потребительских качеств обуславливает эффективность эксплуатации машин. Достижение требуемых эксплуатационных потребительских качеств основано на реализации машиной ряда эксплуатационных свойств, которые в свою очередь характеризуются соответствующими показателями и зависят от конкретных технических характеристик.

Под проходимостью лесных машин понимается их способность двигаться по волокам и бездорожью, работать на болотистых переувлажнённых почвах с сохранением заданной силы тяги и скорости движения, возможности преодоления пороговых препятствий без снижения показателей эффективности их эксплуатации. Проходимость бывает двух видов: профильная и опорная

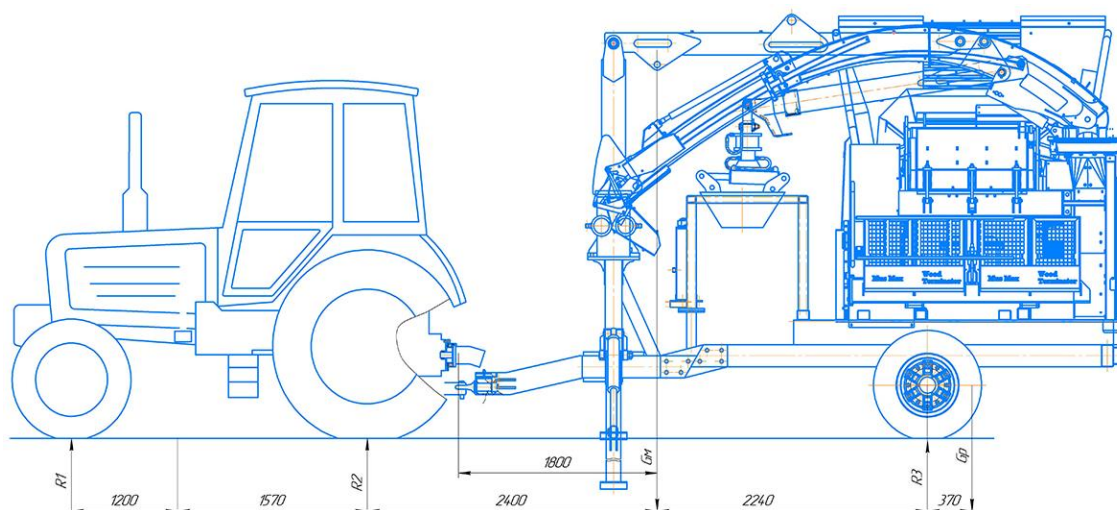
Опорная проходимость определяет возможность движения колесных машин по грунтам и поверхностям с малой несущей способностью, т. е. по поверхностям, значительно деформируемым при движении машин (по рыхлому песку, снегу, заболоченным участкам и т. п.). Главный показатель опорной проходимости – давления движителя на грунт. Если удельное давление, оказываемое движителем на грунт, превышает несущую способность грунта, колесо вязнет и погружается в грунт, в результате образуется колея.

Рассмотрены два варианта компоновки прицепной рубильной машины, состоящей из энергетического модуля – трактора «Белорус 1523» и полуприцепа с технологическим оборудованием: манипуля-

тор, рубильный модуль. В первом случае (рис.1) полуприцеп оборудован балансирной тележкой, второй одноосный полуприцеп.

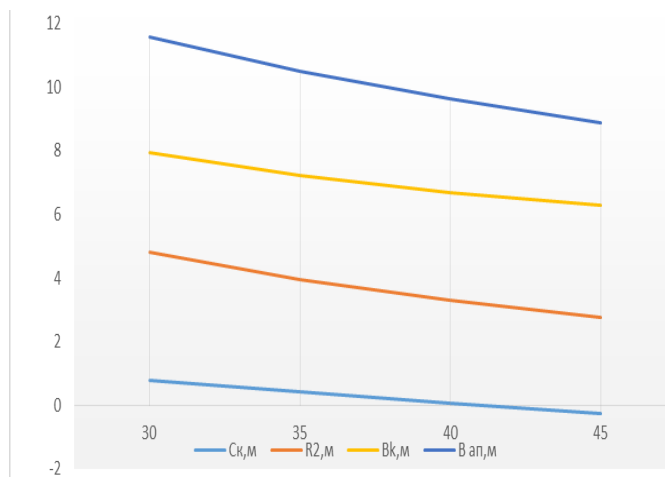


**Рисунок 1 – Схема сил и моментов, действующих на трактор и полуприцеп ТИГЕР МСА 800**

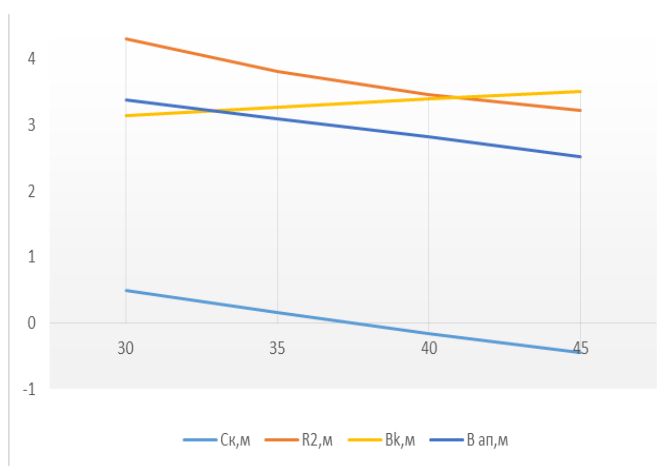


**Рисунок 2 – Схема сил и моментов, действующих на трактор и полуприцеп ТИГЕР МСА 700**

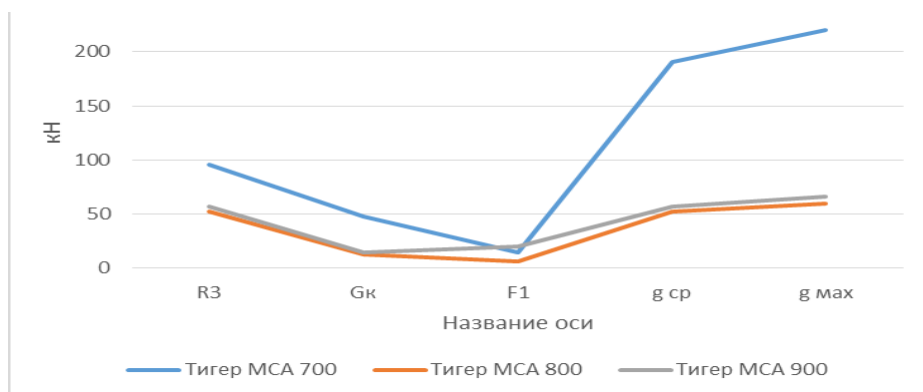
Анализ результатов вычислений выполненного при варьировании механических свойств почво-грунта, угла склона и веса колесного движителя, вариантов компоновки позволяет получить комплексную оценку проходимости прицепной рубильной машины, работающей на местности с уклоном, на пересеченной местности (рис. 3–5).



**Рисунок 3 – Графики зависимость изменения показателей поворота  $R_2$ ,  $C_k$ ,  $B_k$ ,  $V_{ap}$  в зависимости от угла  $\gamma$  рубильного комплекса ТИГЕР 700**



**Рисунок 4 – Графики зависимость изменения показателей поворота  $R_2$ ,  $C_k$ ,  $B_k$ ,  $V_{ap}$  в зависимости от угла  $\gamma$  рубильного комплекса ТИГЕР 800**



**Рисунок 5 – Графики зависимость изменения показателей оценки опорной проходимости в зависимости от компоновки рубильного комплекса**



Таким образом, основываясь на результатах обработки расчетных данных получено, что при одноосной компоновке полуприцепа возрастает давление, оказываемое машиной на грунт, что негативно сказывается на способности комплекса работать на почвах с низкой несущей способностью. Однако применение двухосного прицепа или полуприцепа с тандемной балансирной тележкой негативно сказывается на профильной проходимости, за счет увеличения радиусов разворота и ширины габаритной полосы движения трактора с полуприцепом.

Из этого следует, что при выборе вариации компоновки прицепной рубильной машины следуют уделять особое внимание предстоящим технологическим схемам заготовки щепы.

#### 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. СТБ 1342–2002 Устойчивое лесопользование и лесопользование. Машины для рубок леса. Общие технические требования.

4. Голякевич, С. А. Лесотранспортные машины : учебно-метод. пособие для студ. вузов по спец. 1-36 05 01 "Машины и оборудование лесного комплекса", 1-46 01 01 "Лесная инженерия и логистическая инфраструктура лесного комплекса" / С. А. Голякевич, В. Н. Лой, А.Р. Гороновский. – Минск : БГТУ, 2021. – 111 с.



## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОРЯДКА ОТНЕСЕНИЯ УЧАСТКОВ ЛЕСНОГО ФОНДА К КАТЕГОРИИ ТРУДНОДОСТУПНЫХ

В практике лесопользования и освоения лесного фонда Республики Беларусь существует необходимость проведения работ в различных условиях, в том числе и на **труднодоступных участках лесного фонда**. Согласно действующим законодательным и нормативно-техническим актам к ним относят участки лесного фонда, имеющие низкую несущую способность грунтов в результате избыточного увлажнения, а также расположенные на расстоянии 300 метров и более от суходола или дороги, среди болот или участков лесного фонда, имеющих низкую несущую способность грунтов [1]. Отдельно выделять такие территории необходимо, так как технологически их разработка может отличаться от освоения суходольных лесосек и требовать определенных подходов для эффективной работы.

Освоение таких земель происходит либо силами лесофондодержателей, либо сторонними организациями, которые оказывают услуги по разработке лесосек. Во всех случаях, необходимо ясное понимание характеристик лесосек для эффективного планирования и организации лесозаготовительных работ. Однако действующий порядок отнесения участков лесного фонда к категории труднодоступных не всегда дает полного представления об осваиваемом лесфонде.

Определение труднодоступных участков осуществляется при проведении лесоустроительных работ в эксплуатационных лесах. Данный вид работ проводится раз в 10 лет РУП «Белгослес» и его филиалами [2].

Действующие правила определяют, что к труднодоступным относятся участки со следующими типами леса [2]:

- сосняки – долгомошный, багульниковый, осоковый;
- ельники – долгомошный, осоковый;
- березняки – долгомошный, осоково-травяной, осоковый, болотно-папоротниковый, ивняковый;
- осинник долгомошный;
- черноольшаники – касатиковый, осоковый, болотно-папоротниковый, ивняковый;
- сероольшаники – долгомошный, осоковый.

Также к данной категории относятся земли лесного фонда данных и

других типов леса, к которым отсутствует возможность подъезда.

Такое понимание и действующие в Беларуси подходы к отнесению лесных земель к труднодоступным являются весьма ограниченными и устаревшими.

Во-первых, в действующих определениях труднодоступных участков лесного фонда указана характеристика несущая способность почвогрунтов. Однако в нормативных документах не прописаны значения несущей способности для различных типов почвогрунтов, в том числе и для труднодоступных.

Во-вторых, практически все представленные типы леса, которые определяют участки лесного фонда как труднодоступные, согласно двумерной эдафической сетке П.С. Погребняка относятся к сырým и мокрым группам почв. Представленные описания почв для соответствующих типов леса и эдафотопов (табл. 1) соответствуют почвогрунтам IV типа местности согласно эксплуатационной классификации [3].

**Таблица 1 – Характеристика труднодоступных участков лесного фонда**

Порода	Тип леса	Эдафотоп	Описание
Сосна	Долгомoшный	A4	<ul style="list-style-type: none"> <li>Торфяно-подзолисто-глеевые, песчаные или супесчаные, сырые, среднепроточные;</li> <li>торфяно-глеевые и торфяно-болотные слабопроточные;</li> <li>перегнойно-торфянисто-глеевые, слабопроточные;</li> <li>торфяные, высокой и средней степени разложения, сильнообводненные, слабопроточные;</li> <li>торфяно- и торфянисто-глеевые, торфяные маломощные и среднemощные, реже перегнойно-торфянисто-глеевые, сильнообводненные, слабопроточные;</li> <li>торфяные с разной мощностью торфа, сильнообводненные с временно застойными водами.</li> </ul>
	Багульниковый	A5	
	Осоковый	A5	
Ель	Долгомoшный	B4	
	Осоковый	B5	
Береза	Долгомoшный	A4	
	Осоково-травяной	A4	
	Осоковый	B3	
	Болотно-папоротниковый	C5	
Осина	Долгомoшный	A4	
Черная ольха	Касатиковый	C4	
	Осоковый	C5	
	Болотно-папоротниковый	C5	
	Ивняковый	B5	
Серая ольха	Долгомoшный	B4	
	Осоковый	B5	

Данные участки являются труднодоступными практически на постоянной основе. Но стоит принять во внимание, что почвы II и III типов местности при определенных климатических условиях также могут быть временно ограничены для разработки.

В-третьих, при отнесении участков лесного фонда к труднодоступным отсутствует учет ряда важных климатических, природных и временных факторов, которые по отдельности и в совокупности могут сформировать сложные эксплуатационные условия на отдельных лесных участках, что будет делать их недоступными для освоения [4].

Все вышеперечисленное создает условия для возникновения спорных ситуаций между лесфондодержателями и лесопользователями. С учетом этого, установлена необходимость в совершенствовании порядка отнесения лесных земель к труднодоступным участкам с разработкой соответствующих правил или инструкций.

Первоочередно предлагается установить величину несущей способности для труднодоступных участков лесного фонда. Данную величину необходимо определить с учетом технических возможностей лесозаготовительной техники и допустимого значения их экологического воздействия. В данном случае можно использовать предложенную ранее классификацию лесных территорий по типам местности [3]. С учетом влияния природно-климатических факторов на значения несущей способности лесного почвогрунта, предлагается ввести две категории труднодоступности: постоянные и временные. С учетом этого, предлагается следующий перечень типов леса, которые могут быть отнесены к категории труднодоступных (табл. 2).

**Таблица 2 – Типы леса, характерные для труднодоступных участков**

Постоянные	Временные
Сосняки	
долгомошный, багульниковый, осоковый	черничный
Ельники	
долгомошный, осоковый	папоротниковый, снытевый, крапивный, черничный
Березняки	
долгомошный, осоково-травяной, осоковый, болотно-папоротниковый, ивняковый;	папоротниковый, приручейно-травяной, крапивный, черничный, снытевый
Осинник	
Долгомошный	папоротниковый, крапивный
Черноольшанник	
касатиковый, осоковый, болотно-папоротниковый, ивняковый; *папоротниковый; крапивный; снытевый	–
Сероольшанник	
долгомошный, осоковый	–

*Примечание.* \*дополненные типы леса для постоянных труднодоступных участков лесного фонда.

Особенностью временных труднодоступных участков является то, что их почвогрунты предрасположены к снижению несущей способности при определенных условиях. При внедрении данной категории участков лесопользователи при соответствующих характеристиках почвенно-грунтовых условий смогут переносить их освоение без штрафных санкций. Для того чтобы произвести перевод участков к категории временно труднодоступных необходима:

– разработка методов оперативного определения характеристик лесного почвогрунта, в том числе его несущей способности;

– определить форму отчетности и порядок отнесения участков лесного фонда к категории труднодоступных на местах.

**Заключение.** В результате проведенных исследований были выявлены недостатки действующего порядка отнесения участков лесного фонда к категории труднодоступных. Последствием этого может стать отсутствие ясного представления о характеристиках подлежащих разработке лесосеках, что не позволяет обеспечить должную организацию работ и создает спорные ситуации между лесофондодержателями и лесопользователями. Предложенные рекомендации позволят минимизировать данные негативные моменты, а также повысить эффективность и качество проводимых работ в различных условиях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Правила реализации древесины [Электронный ресурс]: утв. Указом Президента Респ. Беларусь от 23 нояб. 2020 г., № 437: ред. Указ Президента Респ. Беларусь 22 авг. 2022 г., № 294 // Pravo.by / Нац. Правовой интернет-портал Респ. Беларусь – Минск, 2022.

2. Инструкция о порядке организации и содержании лесоустроительных работ, составе лесоустроительной документации и авторском надзоре за реализацией лесоустроительных проектов: утв. Постановлением Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь от 30.06.2017 г. №13.

3. Федоренчик, А.С. Лесные машины «Амкодор»: учебно-методическое пособие / А.С. Федоренчик, А.А. Герман, П.А. Протас. – Минск: БГТУ, 2013. – 239 с.

4. Мисуно, Ю.И. Оперативное определение характеристик условий проведения лесосечных работ для обоснования выбора системы машин / Ю.И. Мисуно, П.А. Протас // 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. 53–54.

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

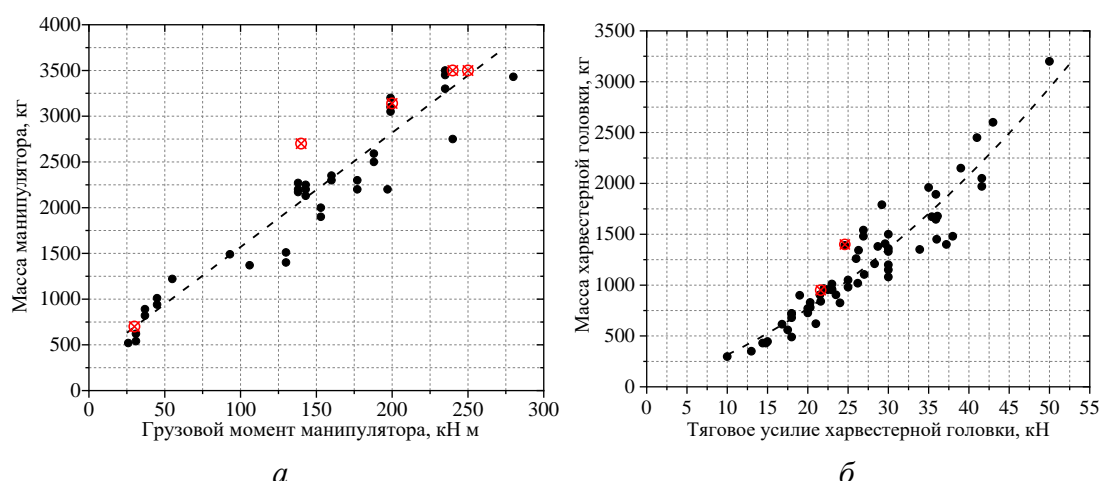
А.А. Герман, 1-й зам. ген. конструктора  
(ОАО «Амкодор – УКХ», г. Минск);

П.Н. Перфильев, зав. кафедрой, доц., канд. техн. наук  
(САФУ, г. Архангельск, Россия);

Р. А. Карсюк, гл. инженер  
(Логойский лесхоз, г. Минск)

## КОРРЕЛЯЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ МНОГООПЕРАЦИОННЫХ ЛЕСНЫХ МАШИН

Так, около 97% всех манипуляторов харвестеров представляют собой комбинированные шарнирно-рычажные конструкции с телескопическим звеном и механической синхронизацией движений стрелы и рукояти. Такое движение обеспечивается использованием параллелограммной схемы управления в различных вариантах взаимного размещения гидроцилиндров (пример – рис. 1). Вне зависимости от выбранной схемы гидроцилиндр 1 задает направление следования точки подвеса харвестерной головки под заданным углом к горизонту, подъем и опускание всего манипулятора целиком, а гидроцилиндр 2 обеспечивает перемещение этой точки в заданном направлении по траектории близкой к прямой линии (большой радиус кривизны траектории в продольной вертикальной плоскости). При этом на схеме рис. 1 применяется отличный от других вариант качающегося согласующего звена.



**Рисунок 1 – Зависимости массы манипуляторов харвестеров (а) и харвестерных головок (б) от их базовых технических характеристик**

Вне зависимости от выбранной схемы гидроцилиндр 1 задает направление следования точки подвеса харвестерной головки под за-

данным углом к горизонту, подъем и опускание всего манипулятора целиком, а гидроцилиндр 2 обеспечивает перемещение этой точки в заданном направлении по траектории близкой к прямой линии (большой радиус кривизны траектории в продольной вертикальной плоскости).

Оставшиеся манипуляторы харвестеров в равной степени представлены шарнирно-рычажными конструкциями с телескопическим звеном и без него с «классическим» размещением гидроцилиндров управления стрелой и рукоятью без использования синхронизирующего параллелограмма и конструкциями телескопического типа.

С коэффициентом детерминации  $R^2 = 0,917$  связь между массой манипулятора харвестера и его грузовым моментом описывается корреляционной зависимостью:  $m_{\text{ман}_x} = 12,5 \cdot M_{\text{гр}} + 319,7$  в независимости от производителя (рис. 1).

**Таблица – Уравнения корреляционной связи массы харвестерных головок и номинального тягового усилия их подающего механизма**

Производитель	Уравнение связи	Диапазон тяговых усилий, кН	Тип подающего механизма	Коэффициент детерминации $R^2$
Kesla	$3,22x^2 - 46,5x + 425$	13 – 29,2	вальц.	0,976
Keto	$2x^2 - 35,32x + 471$	10 – 41	гусеничн.	0,985
Komatsu	$0,36x^2 + 38,94x - 117$ $58,05x - 374$	20,3 – 45,4	вальц.	0,939 0,938
Logmax	$63,16x - 476$	14,4 – 35,9	вальц.	0,968
AFM	$0,44x^2 + 48,35x - 300$ $72,29x - 761$	18 – 50	вальц.	0,999 0,996
SP Maskiner	$41,2x - 78$	20 – 38	вальц.	0,996
Ponsse	$3,34x^2 - 137x + 2300$	19 – 43	вальц.	0,993
Waratah	$0,86x^2 + 1,93x + 424$ $56,3x - 381$	20 – 41,6	вальц.	0,977
Совокупно	$0,67x^2 + 25,42x - 6,19$	10 – 50		0,902

Корреляционная связь тягового усилия харвестерных головок с их массой во всей совокупности конструкций и производителей выражена несколько меньше (рис. 1, б) и наиболее близко ( $R^2 = 0,917$ ) описывается зависимостью  $m_{\text{хг}} = 0,67F_{\text{т}_\text{хг}}^2 + 25,42F_{\text{т}_\text{хг}} - 6,19$ . Однако с более высокой точностью такая связь получена для каждого отдельного производителя (табл.). Из анализа исключены узкоспециализированные харвестерные головки, предназначенные для обрезки сучьев и одновременной окорки стволов, а также модификации серийно выпускаемых харвестерных головок. Кроме того, производитель Logset не указывает в открытых источниках информацию о величине тягового усилия своих харвестерных головок и поэтому не рассматривался.

Манипуляторы форвардеров преимущественно представлены «классическими» шарнирно-рычажными манипуляторами с телескопическими звеньями. Их максимальный вылет варьируется от 4,7 м до 10,3 м. Грузовой момент  $M_{гр\_ф}$  (кН·м) лежит в диапазоне 21–178 кН·м, причем его большие величины характерны для конструкций с вылетом от 8,1 м до 10 м. Для всей совокупности манипуляторов прослеживается характерная корреляционная связь грузовых моментов с их собственной массой  $m_{ман\_ф}$ . Так, с коэффициентом детерминации  $R^2 = 0,91$  в диапазоне 21–178 кН·м они связаны зависимостью  $m_{ман\_ф} = -0,025M_{гр\_ф}^2 + 15,9M_{гр\_ф} + 162$ . В 95% случаев отклонение массы манипулятора от данного значения не превышает 257 кг. Как правило, оно обуславливается разницей в высоте колонны, вылете манипулятора и закладываемом ресурсе его металлоконструкции.

Анализ параметров конструкций грейферных захватов форвардеров позволил установить связь между полезной площадью их сечения  $S_{гз}$  (м<sup>2</sup>) и собственной массой  $m_{гз}$  (кг). Уравнения связи получены для различных производителей на основе совокупной выборки из 92 наименований. Во внимание принимались грейферные захваты с полезной площадью сечения  $S_{гз}$  от 0,09 м<sup>2</sup> до 0,5 м<sup>2</sup> торговых марок: Palms, Farma, Kesla, Intermercato, Uniforest, Modularis, Mesera, Loglift, Cranab, Vahva, HGT, Соломбалец, Велмаш, Palfinger, Nissula, Амкодор, TajfunLiv и др. С коэффициентом детерминации  $R^2 = 0,8$  связь данных параметров определяется зависимостью  $m_{гз} = -514S_{гз}^2 + 969S_{гз} - 47$ . Верхняя и нижняя границы 95% доверительного интервала описываются выражениями  $m_{гз\_max} = -1304S_{гз}^2 + 1608S_{гз} - 96$  и  $m_{гз\_min} = 363S_{гз}^2 + 329S_{гз} + 3$  соответственно. При этом для отдельных производителей и их совокупностей характерны более выраженные связи. Так для грейферных захватов Palms и Farma в диапазоне  $S_{гз}$  от 0,09 до 0,28 м<sup>2</sup> характерна зависимость  $m_{гз} = 3051 \cdot S_{гз}^2 - 266 \cdot S_{гз} + 37$  при  $R^2 = 0,959$ .



УДК 630.31:621.879.1(476)

С.А. Голякевич, доц., канд. техн. наук;  
А.Р. Гороновский, доц., канд. техн. наук;  
С.В. Ребко, зав. каф., доц., канд. техн. наук  
(БГТУ, г. Минск);  
К.В. Буднев, нач. КБ форвардеров  
(ОАО «Амкодор – УКХ», г. Минск)

## **СТРУКТУРА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЙ МНОГООПЕРАЦИОННЫХ ЛЕСНЫХ МАШИН В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

Согласно государственному лесному кадастру Республики Беларусь по состоянию на 1.01.2023 лесом покрыто 8,335 млн. га территории страны. При этом леса, предназначенные для освоения с целью получения древесных ресурсов (эксплуатационные), занимают 5,34 млн. га (64,06%). Древесина хвойных и мягколиственных пород, произрастает на 5,11 млн. га или 95,7% от площади всех эксплуатационных лесов. Среди них преобладают сосняки, ельники, березняки, черноольшанники и осинники, которые совокупно занимают около 5 млн. га и с 97,8% от площади всех хвойных и мягколиственных пород и образуют основу эксплуатационных условий для многооперационных лесозаготовительных машин. Оставшиеся породы редких для Республики Беларусь хвойных и мягколиственных пород, а также твердолиственные породы, в виду особенностей строения, ценности и условий произрастания заготавливаются в основном с применением ручного моторного инструмента.

Среди обозначенных условий эксплуатации многооперационных лесозаготовительных машин сосняки занимают 2,661 млн. га (53,24%), березняки – 1,276 млн. га (25,53 %), ельники 0,512 млн. га (10,23%), черноольшанники – 0,379 млн. га (7,58%), осинники – 0,171 млн. га (3,42%).

Многооперационные лесозаготовительные машины ведут работу в лесах разных возрастов и обеспечивают выполнение прочисток, прореживаний и проходных рубок промежуточного пользования, рубок главного пользования и прочих рубок. Преобладающими типами леса для сосняков в Республике Беларусь являются: мшистый (35,37%); орляковый (25,18%); черничный (16,54%); кисличный (6,08%); долгомошный (4,92%); вересковый (3,23%); багульниковый (3,0%); осоковый, сфагновый, осоково-сфагновый и приручейно-травяной совокупно (4,84%); прочие типы леса составляют менее (1%). Еловые древостои распределены следующим образом: кисличные ельники составляют 55,71%, черничные – 20,47%, орляковые –

13,07%, снытиевые – 3,04%, мшистые – 2,74%, папоротниковые – 2,63%, долгомошные – 1,39%, прочие типы – менее 1%.

Разнообразие типов березовых лесов шире. В нашей стране распространены березняки: черничные (22,6%), кисличные (21,1%), орляковые (15,9%), долгомошные (10,9%), осоковые (9,92%), осоково-травяные (5,28%), снытиевые (4,45%), мшистые (2,75%), приручейно-травяные (2,1%), крапивные (2,04%), осоково-сфагновые (1,33%). Прочие типы березняков суммарно составляют менее 1,63 %.

Известные исследования в области анализа таксационных характеристик древостоев выявляют взаимосвязи между условиями произрастания деревьев, ходом их роста, размерами ствола, кроны, корневой системы в каждом возрасте, процессами формирования биогеоценозов и др. Наиболее фундаментальные исследования в данной области проведены Г.Ф. Морозовым, В.Н. Сукачевым, Е.В. Алексеевым, П.С. Погребняком, И.Д. Юркевичем и В. С. Гельтманом. Полученные и усовершенствованные ими классификации лесорастительных условий приняты за основу лесоэксплуатационной классификации лесных территорий разработанной на кафедре ЛМДиТЛП БГТУ и использованной при создании СТБ 1342-2002. В ней, серии типов леса и эдафотопы объединены в 4 экологические группы для каждой из которых определена допускаемая несущая способность почвогрунтов используемая в стандарте СТБ 1342-2002 для ограничения давления движителя лесных машин.

Указанная классификация удобна для оценки проходимости машин на участках леса и экологического воздействия их движителей на лесные почвогрунты. Она хорошо подходит в качестве основы для исследования работы лесотранспортных машин. Однако, рассматриваемые в настоящей работе многооперационные лесозаготовительные машины значительную, часто большую часть времени заняты выполнением стационарных технологических операций, которые не связаны с собственным передвижением или транспортировкой лесных грузов.

Для оценки эффективности таких машин недостаточно данных лишь об условиях движения, необходимы дополнительная информация о таксационных характеристиках древостоев и деревьев, произрастающих в заданных условиях, показателях их вариативности, площади, занимаемой древостоями в разрезе возрастов, пород, типов леса и т.д. Подобные исследования должны проводиться дополнительно.

## ФОРМИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОРТРЕТОВ РАБОЧИХ ЗОН МАНИПУЛЯТОРОВ МНОГООПЕРАЦИОННЫХ ЛЕСНЫХ МАШИН

Современная практика выбора параметров манипуляторов для многооперационных лесозаготовительных машин сводится к обеспечению требуемой грузоподъемности и соответствия рабочей зоны требуемым положениям рабочего органа (рисунок 1). Однако перемещение между этими позициями при разных кинематических и силовых характеристиках происходит с разной временной и энергетической эффективностью. Поэтому при проектировании форвардеров предлагаем в дополнение к параметрам грузоподъемности (грузового момента) и рабочей зоны манипулятора использовать дополнительную характеристику, описывающую энергетические и временные затраты на перемещение рабочего органа между требуемыми позициями (рис. 1) по различным траекториям движения.

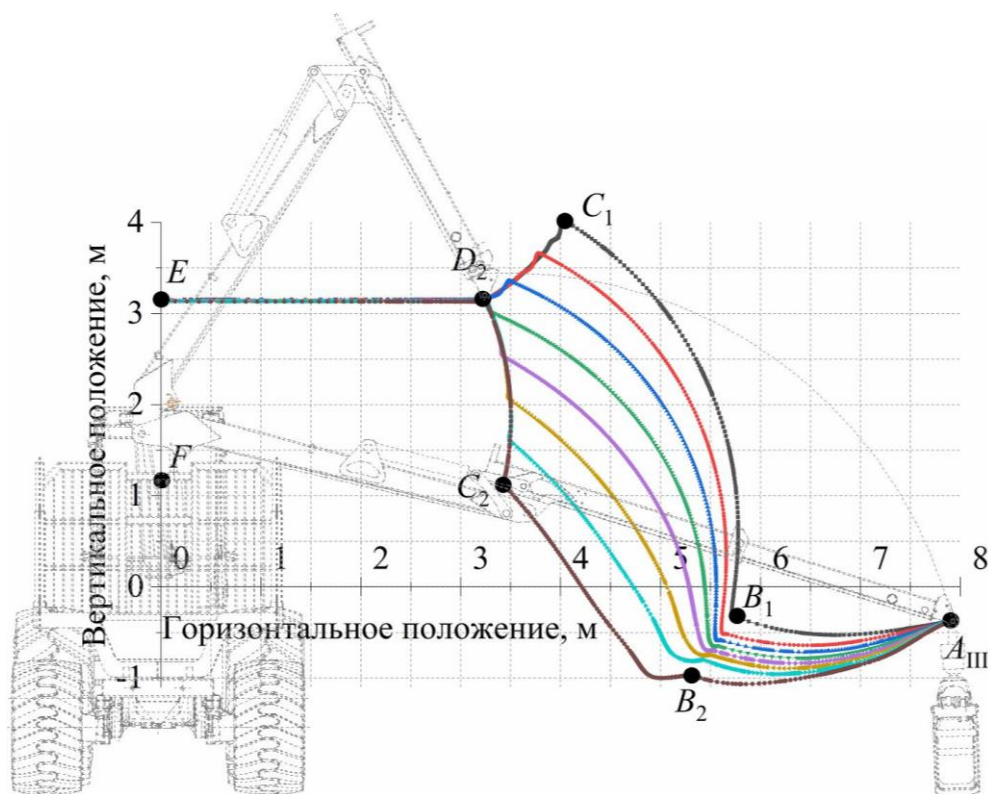
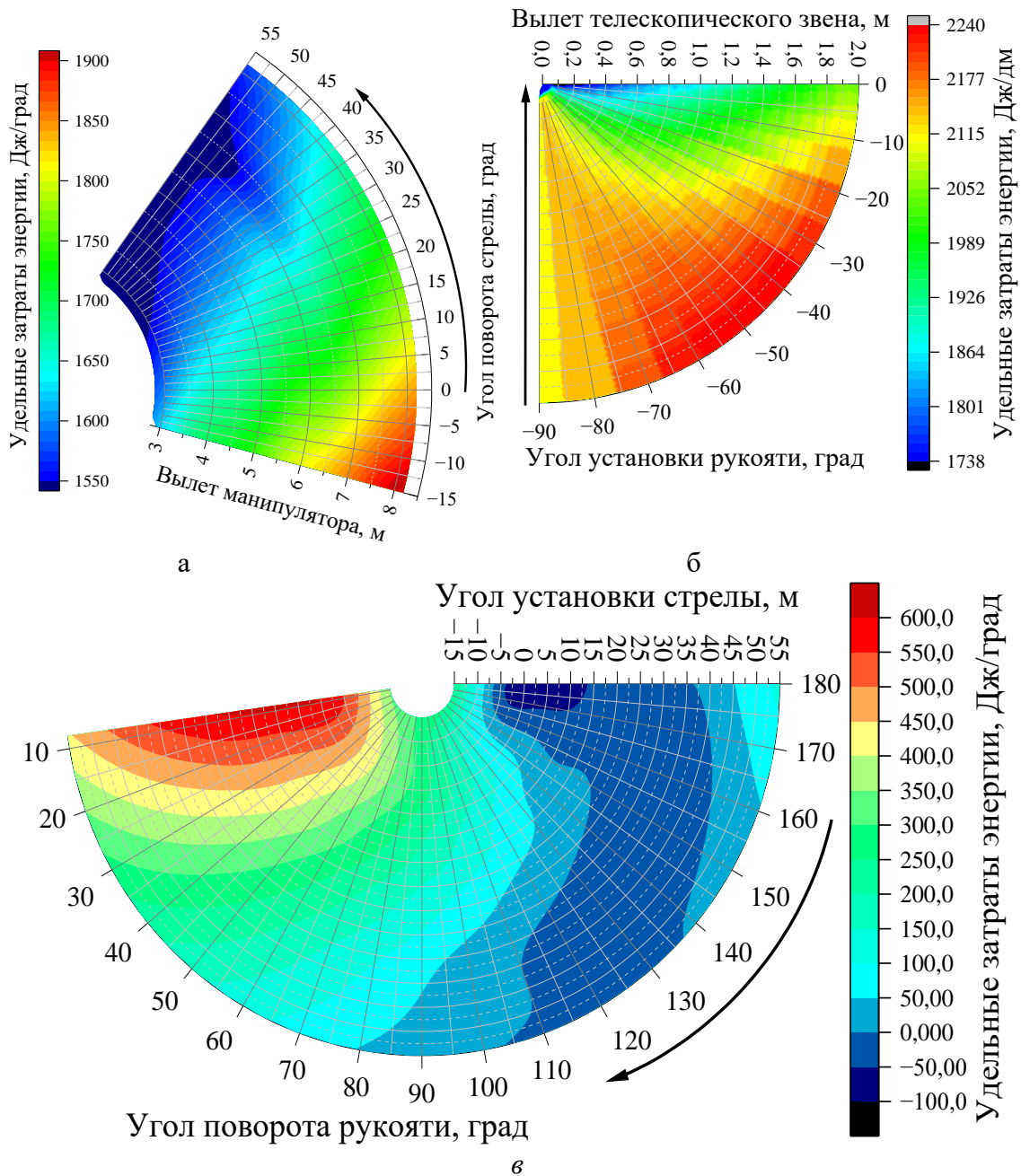


Рисунок 1 – Использование рабочей зоны манипулятором форвардера

Такая характеристика представляет собой градиентные поля удельной энергии (Дж/град) и удельного времени (с/град), затрачиваемых на элементарные перемещения рабочего органа между соседними точками в рабочей зоне манипулятора (рис. 2).

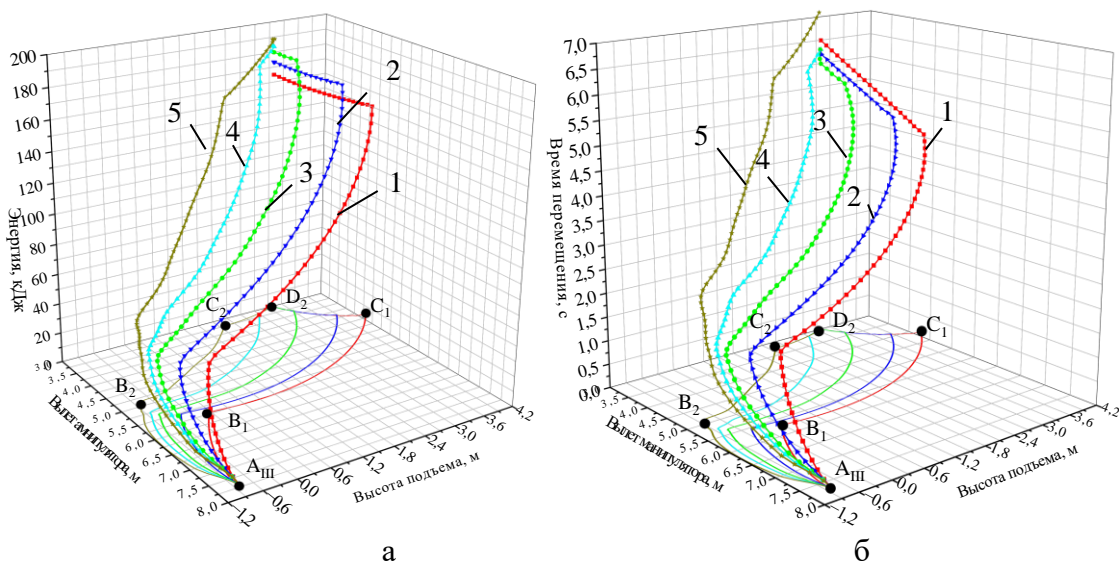


а – стрелы; б – телескопического звена; в – рукояти

**Рисунок 2 – Градиентные поля удельной энергии отдельного перемещения звеньев манипулятора при погрузке лесоматериалов массой 600 кг при соответствующем положении других звеньев**

Отрицательные значения величин затрат энергии на рисунке 2 в свидетельствуют о том, что гидравлическая энергия привода не потребляется, а гидравлическая жидкость всасывается в бесштоковую полость гидроцилиндра рукояти за счет движения рукояти вниз под действием сил тяжести рукояти, телескопического звена, грейферного захвата и лесоматериалов

Совокупность соответствующих градиентов между крайними положениями рабочего органа определяет полные энергетические и временные затраты на перемещение грейферного захвата по заданной траектории (рис. 3).



- 1 – манипулятор без грейферного захвата;
- 2 – порожний грейферный захват массой 168 кг;
- 3–5 – грейферный захват с лесоматериалами массой 200, 400 и 600 кг соответственно

**Рисунок 3 – Энергетическая (а) и временная (б) характеристики манипулятора форвардера при погрузке лесоматериалов различной массы и совмещении движений стрелой, рукоятью и телескопическим звеном**

Показанные на рис. 2 градиентные поля также могут быть использованы непосредственно для совершенствования конструкций тренажеров подготовки операторов многооперационных машин. При дополнении ими тренажера появляется возможность анализировать энергопотребление форвардера в зависимости от действий оператора.

## СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА ЦИКЛОВ ПЕРЕВОЗОК ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ

Перевозка лесоматериалов в Республике Беларусь характеризуется определенным разнообразием в организации транспортного процесса. В зависимости от типа связи между пунктами погрузки и разгрузки, можно выделить три схемы работы специализированных автомобильных транспортных средств, таких как сортиментовозы: «один к одному», «один ко многим» и «многие ко многим» [1–3].

Каждая из этих схем имеет свои особенности маршрутов для сортиментовозов. Например, если лесоматериалы перевозятся только с одного пункта погрузки в одно место назначения, такие маршруты можно считать маятниковыми (схема «один к одному») (рис. 1) [2, 3].

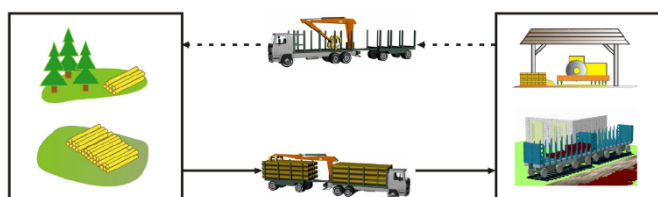


Рисунок 1 – Схема маятникового маршрута

При использовании веерного маршрута лесоматериалы, загруженные в одном определенном месте, перевозятся в различные пункты назначения [2, 3].

Что касается развозочного маршрута, то он предполагает, что лесоматериалы, загруженные в одном месте, распределяются сразу в несколько пунктов назначения за один рейс [2, 3].

На сборном маршруте, напротив, лесоматериалы, собранные из нескольких различных мест погрузки, доставляются в одно общее место назначения [2, 3].

Сборно-развозочный маршрут представляет собой более сложную схему, где сортиментовозы забирают лесоматериалы из нескольких мест погрузки и доставляют их в разные пункты разгрузки [2, 3].

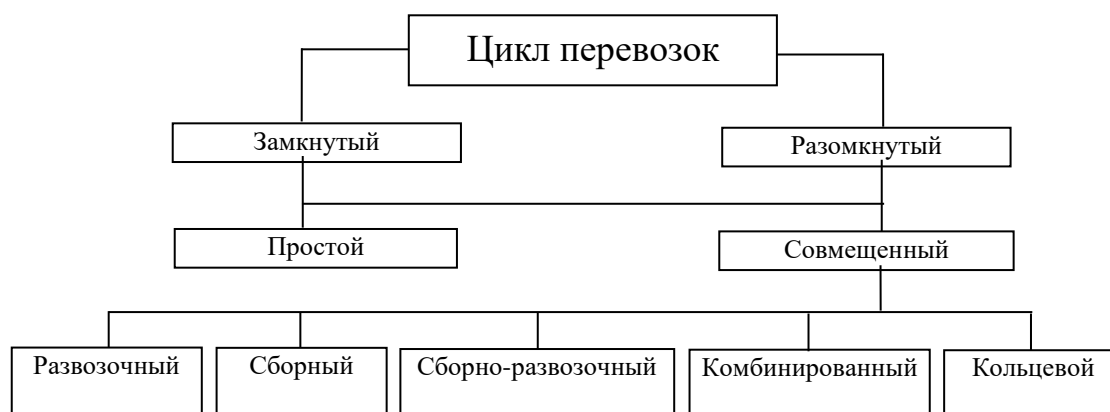
Кольцевой маршрут работы предполагает последовательную перевозку лесоматериалов с различных погрузочных площадок в разные места назначения. В этом случае каждая новая поездка начинается с нового погрузочного пункта [2, 3].

При организации транспортного процесса по перевозке лесоматериалов важно учитывать также возможность комбинирования различных маршрутов.

Во всех перечисленных маршрутах процесс транспортировки лесоматериалов можно представить, как последовательность повторяющихся действий: подача подвижного состава к месту погрузки, перемещение и выгрузка лесоматериалов. Эта совокупность действий, которая завершает операцию по доставке лесоматериалов, называется циклом перевозки или ездкой [4, 5].

Циклы перевозок лесоматериалов, применяемые на практике, можно классифицировать по различным критериям. В качестве основы для такой классификации можно использовать подход, предложенный в исследовании [5], который основывается на транспортных связях и маршрутах движения.

Таким образом, циклы перевозки лесоматериалов могут быть представлены в виде, как показано на рис. 2.



**Рисунок 2 – Классификация циклов перевозки лесных грузов**

Цикл перевозок может быть классифицирован как замкнутый или разомкнутый. Замкнутый цикл предполагает, что маршрут движения сортиментовоза завершается в том же пункте, откуда он и начался, тогда как разомкнутый цикл подразумевает, что конечная точка маршрута отличается от начальной.

Для удобства моделирования структурных свойств циклов перевозок наиболее эффективно использовать графы. Графы позволяют наглядно визуализировать транспортные связи, сети и схемы организации движения автомобилей, что значительно упрощает анализ [5]. В этом контексте граф транспортных связей, относящийся к циклу перевозок лесных грузов, можно представить следующим образом.

Множество  $X$ , представляющее вершины графа, состоит из совокупности пунктов вывоза, обозначаемых как  $x_i$ , и пунктов завоза, обозначаемых как  $x_j$ , где осуществляются операции с лесными груза-



ми. Множество  $G$  включает в себя транспортные связи, то есть пары элементов из  $X$ . Каждая пара указывает на две вершины  $(x_i, x_j)$ , между которыми существуют направленные связи, или дуги. Каждой дуге графа  $(X, G)$  соответствует положительное число  $g_{ij}$ , которое обозначает объем лесоматериалов, перевозимых из  $i$ -го пункта в  $j$ -й.

Таким образом, предложенный подход позволит в будущем сформировать математическое описание циклов перевозок лесных грузов, что, в свою очередь, станет основой для эффективного имитационного моделирования лесотранспортного процесса. Это позволит более точно анализировать и оптимизировать процессы, связанные с перевозкой лесоматериалов, что крайне важно для повышения эффективности логистики и снижения затрат лесозаготовительного производства.

На наш взгляд, дальнейшие исследования структурных свойств циклов перевозок лесоматериалов с целью выявления факторов, влияющих на эффективность логистических процессов, оптимизации маршрутов и минимизации затрат позволит разработать рекомендации по улучшению организации транспортировки лесоматериалов в условиях современных экономических и экологических требований.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ковалев Р. Н., Демидов Д. В., Боярский С. Н. Логистическое управление транспортными системами: учеб. пособие. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2008. 166 с.

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

3. Короленя Р. О., Барташевич Е. И. Изучение основных показателей работы сортиментовозов на различных маршрутах перевозки древесины // Состояние и перспективы развития лесного комплекса в странах СНГ: сб. ст. II Междунар. науч.-техн. конф. (Междунар. молодежный форум по лесопром. образованию «Лес-Наука-Инновации-2022»), Минск, 6–9 дек. 2022 г. Минск, 2022. С. 51–55.

4. Ванчукевич В.Ф., Седюкевич В. Н., Холупов В. С. Автомобильные перевозки. Минск: ДизайнПро, 1999. 224 с.

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

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ПЕРЕВОЗКИ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ

В лесной отрасли Республики Беларусь существует множество способов организации транспортировки лесных грузов. Это разнообразие схем позволяет оптимизировать процесс доставки, учитывая различные факторы, такие как расстояние, тип груза и потребности потребителей. В связи с этим, разработка и обоснование системы показателей, предназначенных для оценки эффективности управленческих решений, связанных с маршрутизацией перевозок, становится важной и актуальной задачей.

Эффективная организация маршрутов перевозки лесных грузов требует комплексного подхода, который включает в себя анализ существующих методов и практик, а также применение современных технологий. В этой связи, создание системы показателей поможет более точно и объективно оценить эффективность принятых решений, а также выявить возможные направления для улучшения. На основе практического опыта и анализа различных информационных источников [1–9], была предложена система показателей (рис. 1).



Рисунок 1 – Система показателей для оценки перевозок лесоматериалов

Система включает в себя ключевые показатели, которые позволяют оценивать, как количественные, так и качественные аспекты перевозок.

*Своевременность доставки* лесоматериалов характеризуется удовлетворением требований на перевозки в соответствии с потребностью. Это достигается рациональным согласованием работы транспорта и обслуживаемых им систем производства и потребления.

*Продолжительность доставки* характеризуется временем пребывания лесоматериалов в пути с момента окончания погрузки партии до начала выгрузки.

*Производительность транспортных средств* – важнейший показатель их использования. Она характеризуется количеством груза, перевезенного в единицу времени на определенное расстояние, и обычно измеряется выработкой в тоннах ( $m^3$ ) или тонно-километрах ( $m^3 \cdot km$ ) за 1 ч работы.

*Производительность погрузочно-разгрузочных машин* характеризуется количеством грузов, перерабатываемых за час или смену. Она определяется технико-эксплуатационными параметрами погрузочных (разгрузочных) машин и согласованностью их работы с работой сортиментовозов.

*Энергоемкость перевозок* является основной составляющей энергоемкости комплекса транспортно-технологических операций, так как несет наиболее существенные затраты.

*Затраты отдельных материальных ресурсов* – включают затраты на устройство инфраструктуры для перевозок (промсклады, подготовка подъездных путей, разворотных карманов и пр.).

*Экологические факторы, безопасность движения* характеризуются соблюдением экологических норм при организации перевозок, эксплуатации транспортных сортиментовозов, в том числе при осуществлении погрузочно-разгрузочных работ, а также соблюдением мер безопасности при перевозках и правил охраны труда на автомобильном транспорте.

*Приведенные затраты.* Повышение эффективности транспортного процесса в некоторых случаях связано с дополнительными капитальными вложениями в развитие транспортных и вспомогательных средств, а также транспортного процесса в различных условиях.

Наиболее полная оценка экономической эффективности перевозок достигается при составлении приведенных затрат на перевозки всего объема лесоматериалов для всего парка сортиментовозов.

*Удельная трудоемкость комплекса транспортно-технологических операций.* Важное значение имеет снижение суммар-

ной трудоемкости комплекса взаимно увязанных транспортных и технологических операций.

*Энергоемкость комплекса транспортно-технологических операций характеризует* суммарное количество энергии, затрачиваемой на выполнение взаимно увязанных транспортных и технологических операций.

Таким образом, внедрение предложенной системы показателей может значительно повысить эффективность управления транспортными процессами в лесном комплексе Республики Беларусь, что в конечном итоге приведет к улучшению качества услуг и снижению затрат на перевозки лесоматериалов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ковалев Р. Н., Демидов Д. В., Боярский С. Н. Логистическое управление транспортными системами: учеб. пособие. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2008. 166 с.
2. Лукинский В.С. Логистика и управление цепями поставок : учебник и практикум / В.С. Лукинский, В.В. Лукинский, Н.Г. Плетнева. М. : Юрайт, 2018. 359 с.
3. Орлов, Д. Р. Эффективность транспортировки: аспекты ценообразования. – Челябинск: ЧелГУ, 2018. – 145 с.
4. Ванчукевич В.Ф., Седюкевич В. Н., Холупов В. С. Автомобильные перевозки. Минск: ДизайнПро, 1999. 224 с.
5. Воркут А. И. Грузовые автомобильные перевозки. Киев: Вища школа. 1986. 447 с.
6. Седюкевич, В.Н. Автомобильные перевозки: учеб. пособие / В.Н. Седюкевич, Д.В. Капский, С.А. Рынкевич. – Минск: РИПО, 2020. – 323 с.
7. Баранов, И. С. Логистика: теория и практика. – Санкт-Петербург: Питер, 2019. – 312 с.
8. Андреева В.В. Управление затратами в логистической деятельности коммерческой организации // Colloquium-Journal. 2021. № 18-2 (105). С. 35-37.
9. Боярчук Н.К., Дырченкова Ю.А. Логистические затраты предприятия // Экономика и предпринимательство. 2021. № 10 (135). С. 1141-1145.

Р.О. Короленя, доц., канд. техн. наук;  
Ю.А. Космачёва, студ.;  
Я.М. Баранова, студ.;  
В.С. Кузник, студ.  
(БГТУ, г. Минск)

## СЕЗОННОСТЬ ПРИ ПЕРЕВОЗКАХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ

Сезонность перевозок определяется как снижение объемов транспортировки древесины, что связано с уменьшением доступных транспортных маршрутов или снижением их несущей способности. В большинстве случаев в литературе упоминается период весенне-осенней распутицы, когда условия для перевозок заготовленной древесины с лесосек становятся особенно сложными.

Целью проведенных исследований было проверить гипотезу о наличии сезонных колебаний при перевозках лесоматериалов, которые осуществляются с промежуточных складов. Для этого был проведен анализ данных, связанных с объемами перевезенных лесоматериалов. Исследование охватывало отчетные данные четырех лесохозяйственных учреждений Республики Беларусь, что позволило получить более полное представление о ситуации.

Средние значения ряда показателей за 2022–2023 г. представлены на рис. 1–5.

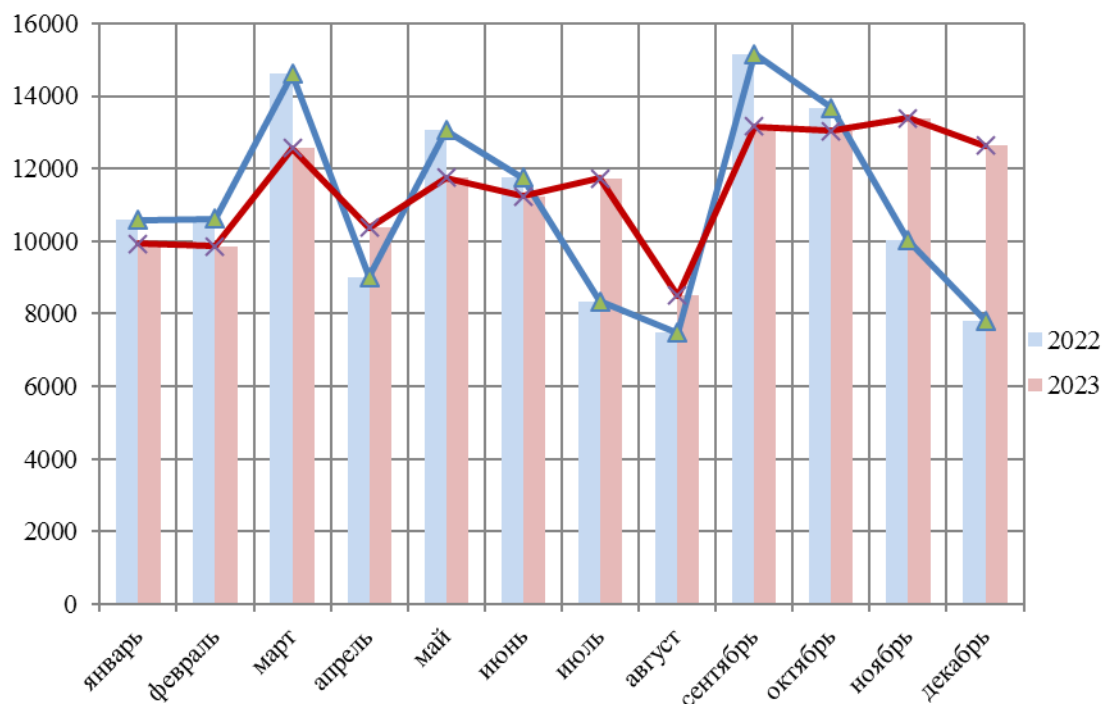


Рисунок 1 – Динамика изменения пробега с грузом, км

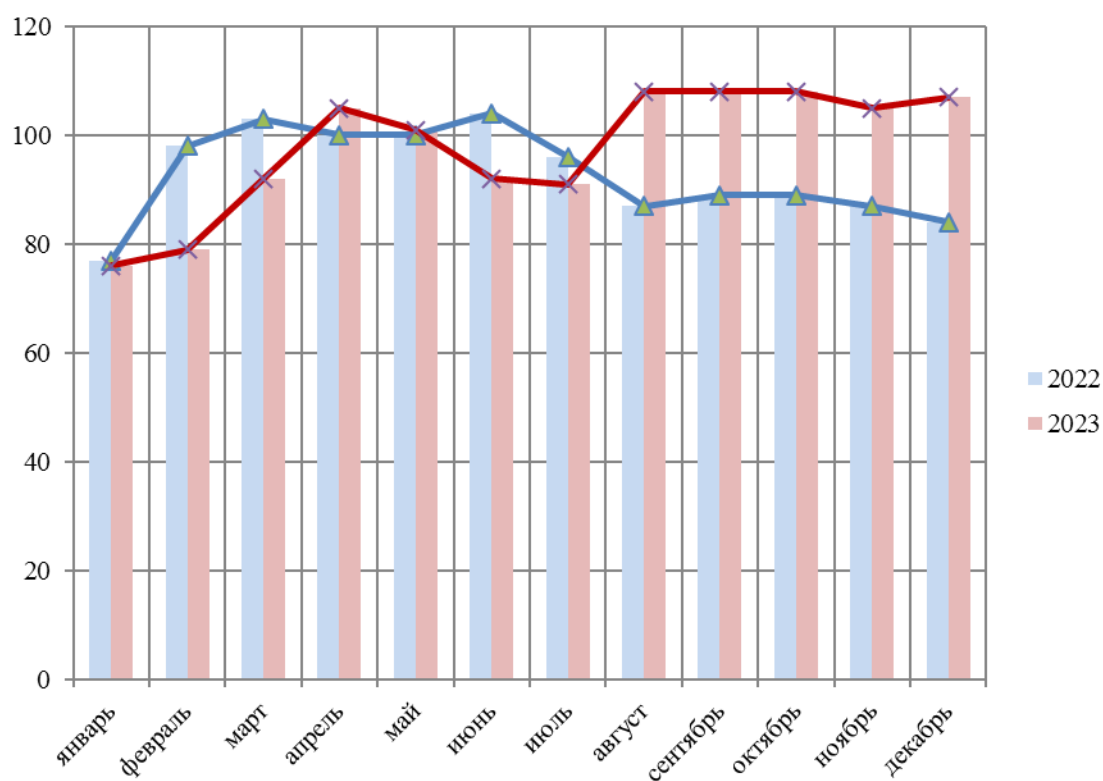


Рисунок 2 – Динамика изменения выработки в смену, м³

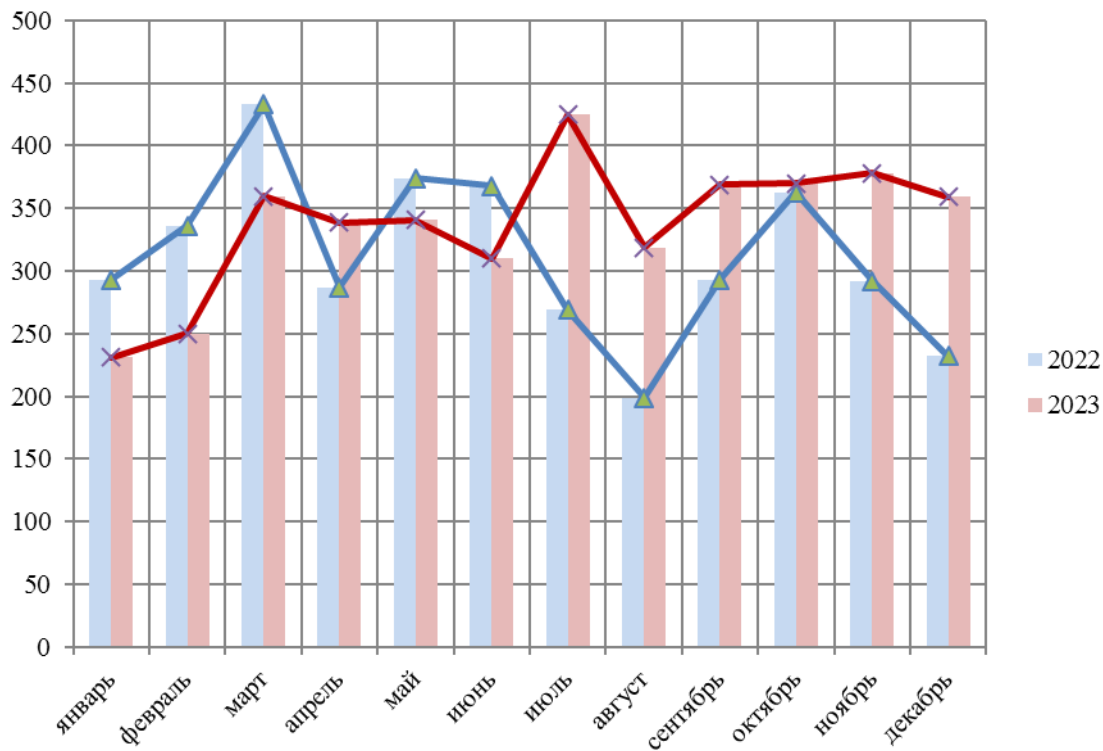
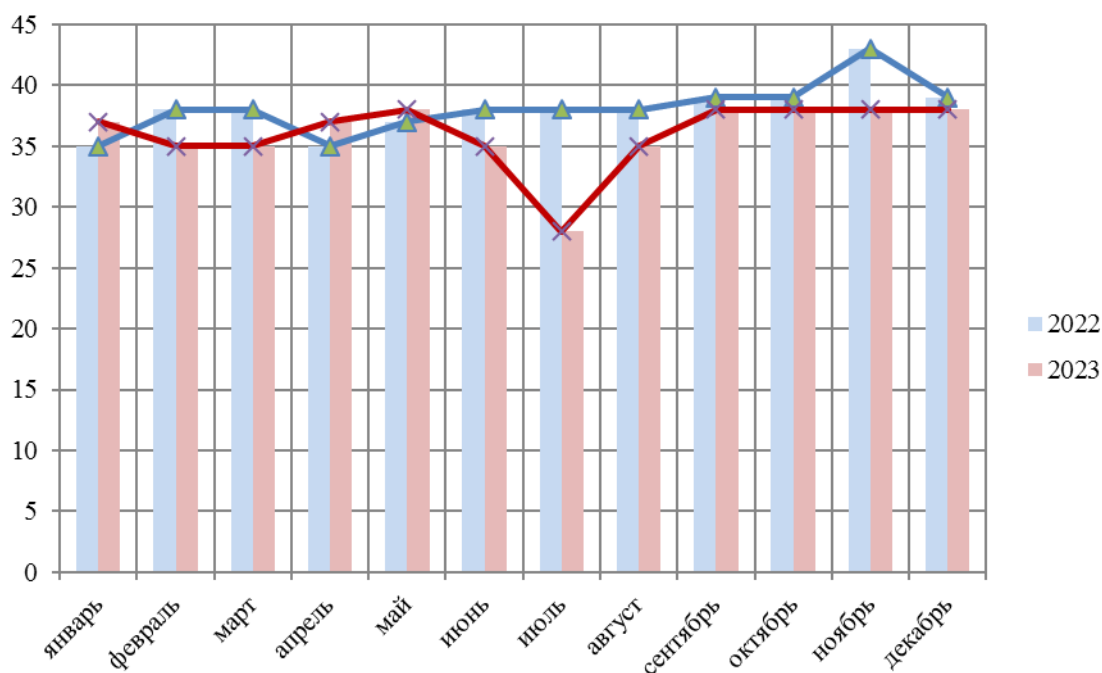
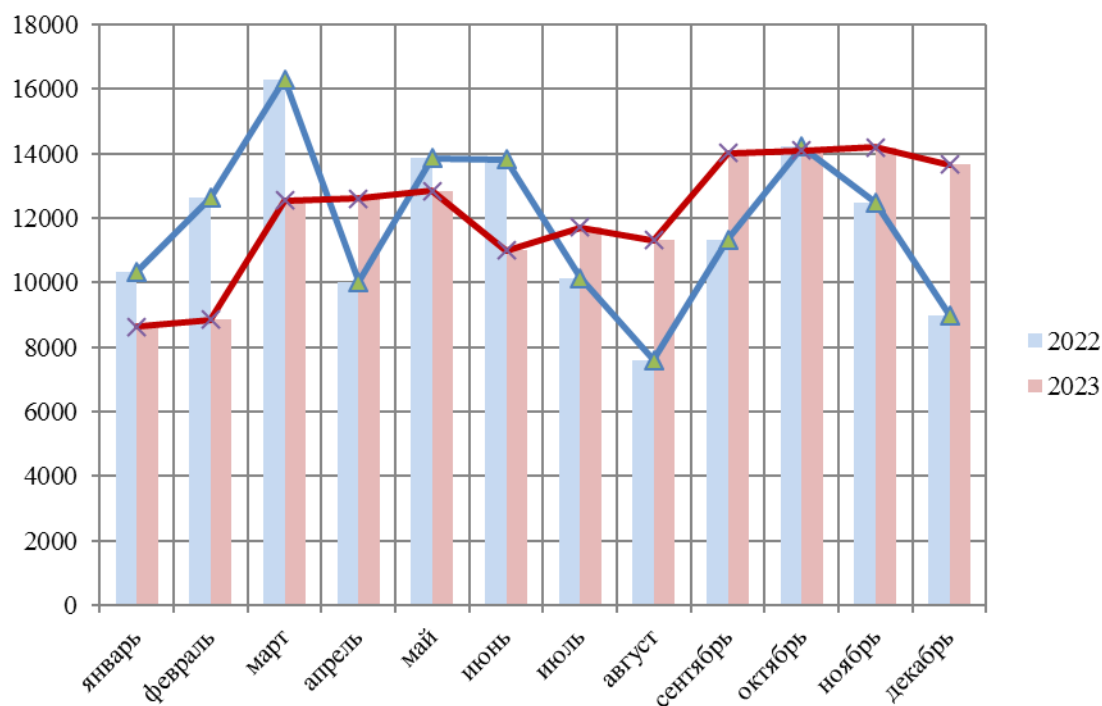


Рисунок 3 – Динамика изменения количества ездов



**Рисунок 4 – Динамика изменения средней нагрузки на рейс, м³**



**Рисунок 5 – Динамика изменения средних значений перевезенного объема, м³**

Анализируя показатели на рис. 1–5, видно, что в весенний и осенний периоды не зафиксировано значительных колебаний показателей. Таким образом, гипотеза не нашла подтверждения.

## ТРУДОЕМКОСТЬ ПЕРЕВОЗОК ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ СОРТИМЕНТОВОЗАМИ

Ключевым показателем эффективности работы грузовых автомобильных транспортных средств является их производительность.

На практике производительность автомобиля обычно оценивают по его выработке в тоннах и тонно-километрах за час работы [1, 2]. При перевозке лесоматериалов следует говорить про м<sup>3</sup> и м<sup>3</sup>-километры. Изменение этих показателей при одинаковых условиях (характер груза, расстояние перевозки, условия транспортировки и т.д.) отражает соответствующее изменение производительности труда [1].

Производительность подвижного состава определяет трудоемкость перевозок [1].

Для изучения динамики изменения трудоемкости перевозок лесных грузов автомобильным транспортом были осуществлены теоретические исследования. В результате этих исследований было установлено влияние различных факторов на трудоемкость перевозок лесоматериалов сортиментовозами (рис. 1–4).

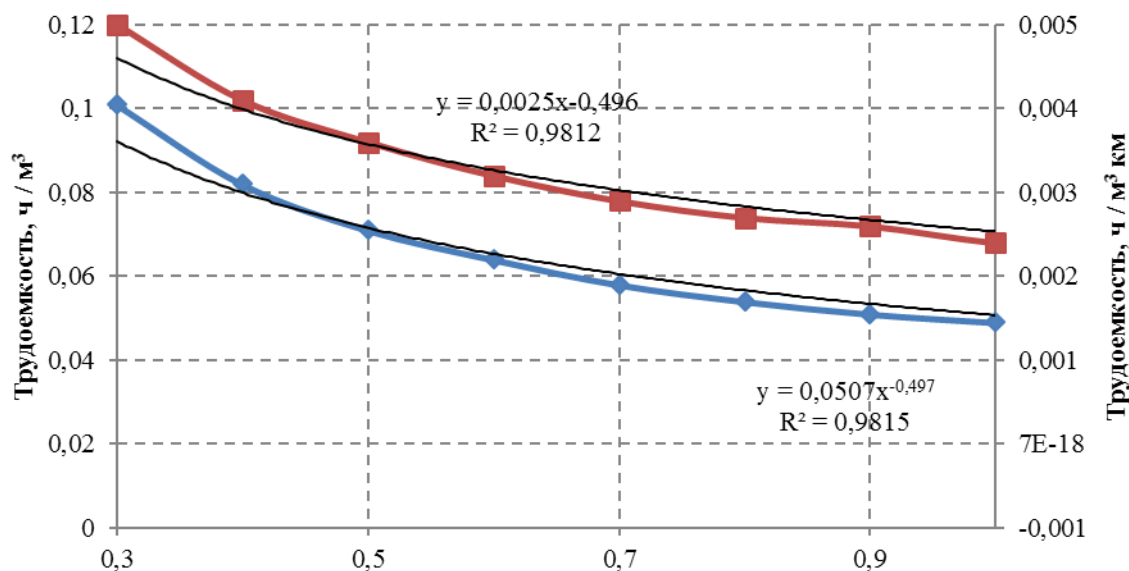
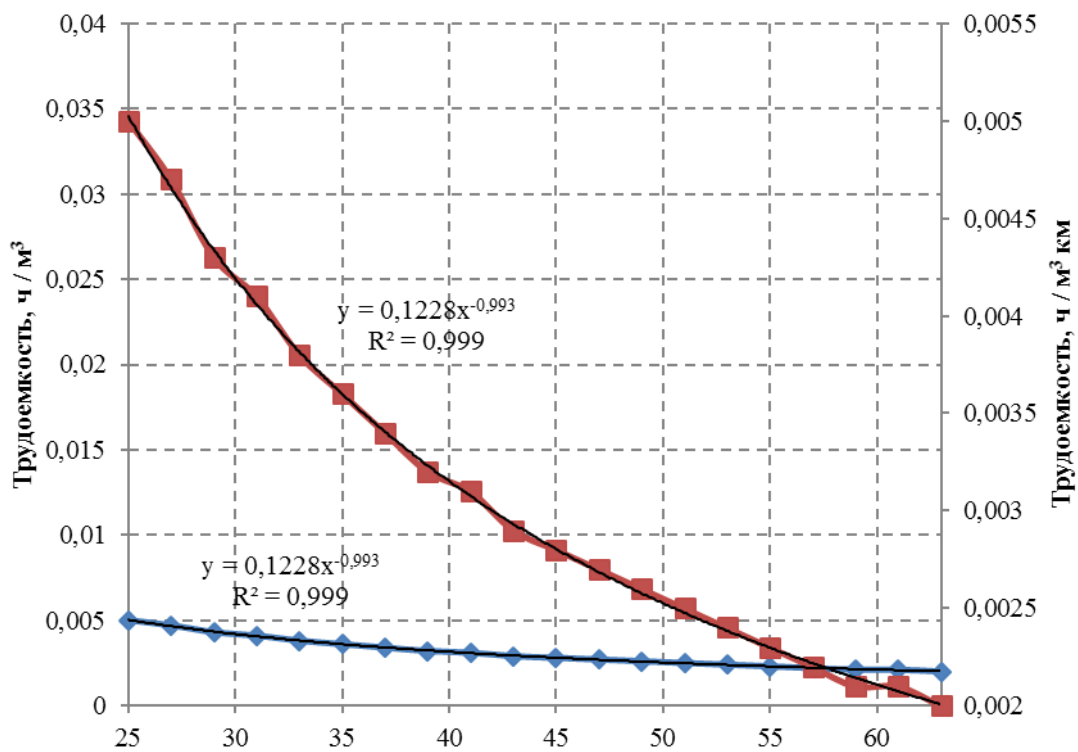
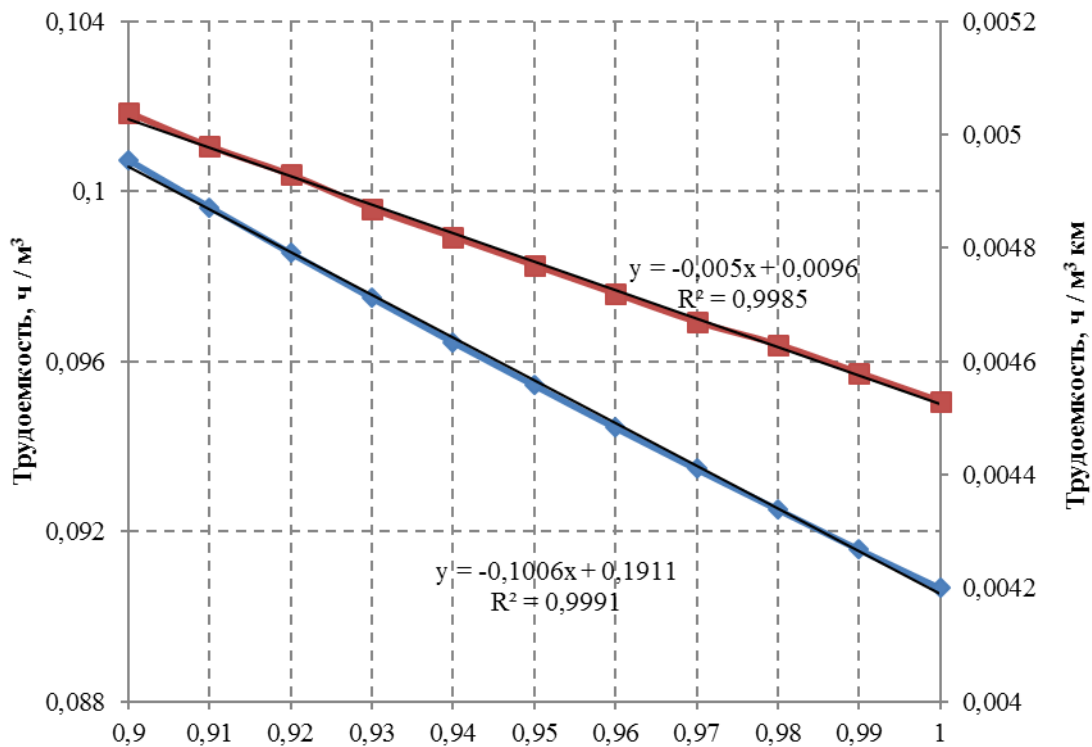


Рисунок 1 – Динамика трудоемкости в зависимости от коэффициента использования пробега

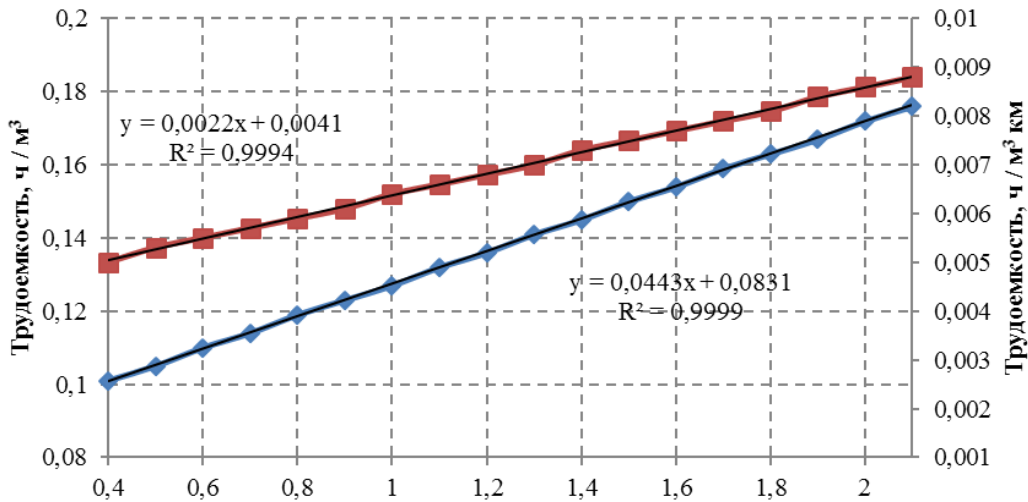




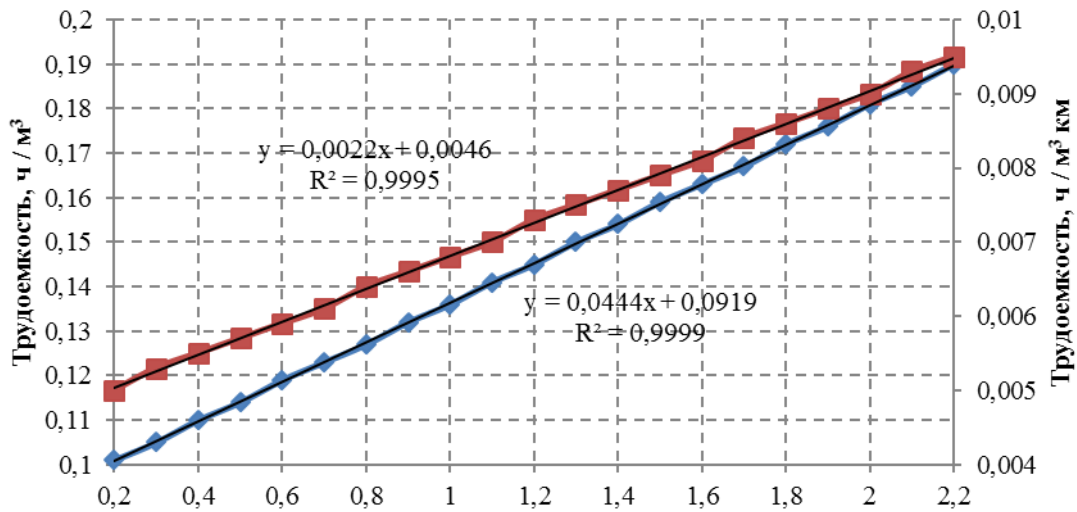
**Рисунок 2 – Динамика трудоемкости в зависимости от номинальной грузоподъемности сортировочного вагона, м³**



**Рисунок 3 – Динамика трудоемкости в зависимости от статического коэффициента использования грузоподъемности**



**Рисунок 4 – Динамика трудоемкости в зависимости от продолжительности погрузки, ч**



**Рисуно 5 – Динамика трудоемкости в зависимости от продолжительности разгрузки, ч**

Проведенные исследования позволили определить влияние различных показателей на трудоемкость перевозок лесоматериалов. На наш взгляд, представляет интерес дальнейшее изучение и анализ реальных данных транспортных циклов лесозаготовительных предприятий для сравнения характера изменения и поведения исследуемых показателей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Воркут А.И. Грузовые автомобильные перевозки. / А.И. Воркут. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Вища школа, 1986. – 447 с.
2. Седюкевич, В.Н. Автомобильные перевозки: учеб. пособие / В.Н. Седюкевич, Д.В. Капский, С.А. Рынкевич. – Минск: РИПО, 2020. – 323 с.

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

## **ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНКИ ЗАТРАТ НА ЛИКВИДАЦИЮ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ В ЛЕСНОМ ФОНДЕ**

В данных материалах рассматриваются основные показатели, используемые для оценки затрат на ликвидацию последствий ветровалов в лесах Беларуси. Анализируется влияние ветровалов на экосистему, экономику и социальные аспекты, а также выделяются методы оценки и рекомендации для эффективного управления лесными ресурсами.

В последние десятилетия Беларусь сталкивается с увеличением частоты и интенсивности природных катастроф, таких как ветровалы, буреломы, пожары, что приводит к значительным повреждениям лесных массивов. Ветровалы представляют собой одно из наиболее значительных природных бедствий, оказывающих разрушительное воздействие на лесные ресурсы Беларуси. В результате сильных ветров происходят массовые повалы деревьев, что влечет за собой не только экономические потери, но и негативные экологические последствия [1].

Эти явления не только наносят ущерб экосистеме, но и вызывают серьезные экономические последствия для лесного хозяйства. Необходимость оценки затрат на ликвидацию последствий этих бедствий становится все более актуальной.

Оценка затрат на ликвидацию последствий ветровалов и буреломов охватывает несколько ключевых категорий. Ниже представлены основные показатели, которые могут быть использованы в данной оценке [2].

*Основные показатели оценки затрат:*

1. Прямые затраты: включают расходы на уборку поваленных деревьев, восстановление лесных насаждений и подготовку почвы для новых посадок

– Стоимость работ по вывозу и утилизации древесины (например, 50–100 белорусских рублей за кубометр).

– Затраты на посадку новых деревьев и уход за ними, которые могут составлять до 2000 белорусских рублей за гектар.

2. Косвенные затраты: оценка утраченного дохода от сокращения лесозаготовок и лесного туризма в пострадавших районах.

– Потеря дохода от лесозаготовок: в расчете принимается средний объем древесины, утрачиваемой из-за ветровалов, который может составлять 30–50% от планируемого объема заготовок.

– Упущенная выгода от лесного туризма: потеря дохода от туристических услуг и местных предприятий, всего до 25% от годовой выручки.

3. Экологические затраты: оценка ущерба, причиненного биоразнообразию, а также необходимость восстановления экосистем и улучшения их устойчивости.

– Статистический анализ экосистем, показывающий, что восстановление поврежденных территорий может потребовать вложений до 100000 белорусских рублей на гектар для инициатив по восстановлению биоразнообразия.

4. Социальные последствия: влияние на местные сообщества, зависимые от лесных ресурсов, включая трудовые потери и экономические затраты.

*Методы оценки затрат:*

– Анализ затрат и выгод: применение методов оценки, позволяющих сопоставлять затраты на ликвидацию и восстановление с ожидаемой выгодой от восстановления лесных ресурсов.

– Геоинформационные системы (ГИС): использование ГИС для территориального анализа поврежденных участков и планирования восстановительных работ.

– Экономическое моделирование: применение статистических данных для прогнозирования экономических последствий ветровалов в регионе.

*Рекомендации для управления последствиями ветровалов:*

1. Комплексные программы восстановления: Создание долгосрочных программ, включающих финансирование, мониторинг и восстановление лесных экосистем и охране окружающей среды.

2. Управление рисками: Разработка системы раннего предупреждения и готовности к стихийным бедствиям, направленных на снижение риска возникновения ветровалов [3].

3. Внедрение современных технологий для мониторинга состояния лесов и быстрого реагирования на стихийные бедствия.

4. Создание информационных систем для анализа и учета затрат, связанных с ликвидацией ветровалов [4].

Эффективная оценка затрат на ликвидацию последствий ветровалов в лесах Беларуси требует комплексного и многоаспектного подхода. Реализация предложенных рекомендаций сможет существенно

улучшить устойчивость лесных экосистем и снизить экономические потери, связанные с данными природными явлениями.

Таким образом, оценка затрат на ликвидацию последствий ветровалов и буреломов в лесах Беларуси требует комплексного подхода и учета различных факторов, что позволит адекватно сформировать стратегию восстановления лесных ресурсов и минимизации экономических потерь.

Эффективное управление последствиями природных катастроф требует внедрения инновационных практик, координации действий на всех уровнях и вовлечения местных сообществ в процессы восстановления и сохранения лесных экосистем.

Данные материалы подчеркивают важность комплексной оценки и эффективного управления лесными ресурсами в условиях ветровалов и могут служить основой для дальнейших исследований в области охраны окружающей среды и устойчивого лесопользования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. И.В. Шубин. Прогнозирование лесопользования и совершенствование планирования качественного состава лесов: автореф. дис. И.В. Шубин канд. эконом. наук: 08.00.05 / – М., 198., – с. 62-63.

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

3. Протас П. А. Рекомендации по эффективному освоению лесосек в сложных эксплуатационных условиях / П. А. Протас, И. А. Евкович // 86-я научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов: тезисы докладов, 31 января - 12 февраля 2022 г., Минск: БГТУ, 2022.

4. Шубин И. В. Прогнозирование лесопользования и совершенствование планирования качественного состава лесов: на основе автоматизации расчетов (на примере БССР): дис .... канд. экон. наук: 08.00.05. Минск, 1982. 171 с.

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

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММИРУЕМЫХ КВАДРОКОПТЕРОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПОВРЕЖДЕННЫХ ЛЕСОНАСАЖДЕНИЙ

Проблема стихийных бедствий в лесном фонде (ветровалы, буреломы) становится в последние годы все более актуальной и требует проведения исследований с целью разработки эффективных методов и средств для ликвидации их последствий.

Наиболее разрушительный ветровал в Беларуси 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 м<sup>3</sup> или 25% от годового объема заготовки лесоматериалов в стране. За 2024 год ущерб от ветровалов составил в общем объеме более 6,5 млн м<sup>3</sup> поврежденной древесины на площади 100 тыс. га.

Основные сведения по годам о повреждении лесных насаждений неблагоприятными факторами окружающей среды приведены в табл. 1.

**Таблица 1 – Повреждение насаждений ветровалами**

Год	Повреждено всего		Фактически проведены всего	
	га	т. кбм	га	т. кбм
<b>Ветровалы по РБ</b>				
<b>2012</b>	43601,8	993,24	–	–
<b>2013</b>	40024,3	656,63	39886,7	649,27
<b>2014</b>	62607,5	1402,36	62170,5	1388,08
<b>2015</b>	66115,2	1149,58	65580,4	1140,23
<b>2016</b>	<b>110684,8</b>	5905,95	95402,2	5426,22
<b>2017</b>	37677,3	1064,01	37227,7	1028,56
<b>2018</b>	21895,0	429,89	21866,9	426,95
<b>2019</b>	37718,1	1122,80	37640,7	1112,90
<b>2020</b>	52770,0	1327,04	52522,2	1314,75
<b>2021</b>	46317,2	1034,01	46156,3	1013,20
<b>2022</b>	<b>89216,9</b>	5434,06	85722,3	5131,39
<b>2024</b>	<b>100000,0</b>	6500,00	90000,0	6000,00

Сегодня в виду проблем стихийных бедствий, ветровалов и буреломов для оперативного освоения лесфонда, отвода его в рубку,

уборки захламленности, необходимо проводить мониторинг поврежденных лесных насаждений в короткие сроки и с соответствующим качеством. Наземные способы и средства определения границ поврежденных участков, используемые при отводе поврежденных лесных насаждений, а также оценки степени и характеристик повреждения являются малоэффективными и сопряжены с повышенным риском для работников лесного хозяйства.

Для разработки мероприятий по ликвидации последствий стихийных бедствий в лесхозах требуется оперативное обследование поврежденных участков с их оценкой по ряду параметров.

Выходом из данной ситуации может служить аэрофотосъемка с использованием БПЛА, позволяющих оперативно и со сравнительно низкой себестоимостью произвести качественную съемку высокого разрешения с применением приборов геопозиционирования с последующим созданием фотоплана и его обработкой в геоинформационной системе (ГИС) для планирования мероприятий по ликвидации последствий негативного воздействия.

Применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в лесном хозяйстве сегодня широко практикуется в лесохозяйственных учреждениях Республики Беларусь. При этом, воздушный мониторинг леса представляет собой систему регулярных наблюдений за состоянием лесов с целью оценки и прогноза его изменения. Регулярный мониторинг лесных земель помогает актуализировать электронную документацию и сопоставить ее с прогнозируемыми ранее результатами.

В текущее время широкое распространения для решения подобных задач используются такие БПЛА как: DJI Matrice 300 RTK Combo, Hubsan Ace Pro RTF 64GB, Walkera QR X350 Pro с передатчиком Devo 10, DJI Phantom 4 RTK SE Combo, DJI P4 Multispectral, Mavic2 Enterprise.

Однако выполненный анализ показал, что применение таких БПЛА требует больших капитальных вложений. Например, один из самых популярных на рынке БПЛА DJI Phantom 4 RTK SE Combo в комплекте стоит 29400,00 белорусский рубль. При этом есть необходимость в покупке дополнительных аккумуляторов. Кроме того, для мониторинга ветровало-буреломных участков лесфонда требуется большое количество действий с участием оператора, что снижает эффективность и усложняет процесс освоения таких участков.

Одним из способов повышения эффективности с меньшими капитальными вложениями применения БПЛА является использование для данных целей программируемых квадрокоптеров. Например, стоимость ARA EDU варьируется от 7000,00 до 10000,00 белорусских

рублей. При этом, с данным типом БПЛА для автоматизации полетов есть возможность применять следующие нейронные сети:

- YOLO (You Only Look Once). Сеть для обнаружения объектов в реальном времени, которая может быть полезна для распознавания объектов во время полета;

- Сети глубокого обучения с подкреплением (Reinforcement Learning). Используются для обучения квадрокоптера выполнять задачи, такие как автономная навигация и управление полетом;

- Рекуррентные нейронные сети (RNN). Могут быть применены для анализа временных рядов, таких как данные с сенсоров квадрокоптера;

- Конволюционные нейронные сети (CNN). Используются для обработки изображений и видео. Например, для распознавания объектов или навигации по визуальным данным.

Применение подобных нейронных сетей в области квадрокоптеров представляет собой значительный шаг вперед в автоматизации, обработке данных и оптимизации их функциональных возможностей. Ниже приведены ключевые аспекты, подчеркивающие преимущества внедрения нейросетевых технологий в данную сферу:

#### 1. Автономная навигация.

Нейронные сети могут быть эффективно использованы для повышения точности и надежности систем автономной навигации квадрокоптеров. Они способны обрабатывать многомодальные данные с различных датчиков (например, камер и лидаров) в реальном времени, что позволяет дрону эффективно идентифицировать и избегать препятствий, а также оптимизировать маршруты.

#### 2. Обработка изображений.

С применением нейронных сетей квадрокоптеры получают возможность анализировать изображения и видеопотоки, полученные в процессе полета. Это позволяет осуществлять детекцию объектов, таких как деревья, линий электропередач или люди, а также проводить классификацию и сегментацию изображений для мониторинга состояния экосистем и инфраструктуры.

#### 3. Улучшение качества данных.

Нейронные сети могут быть использованы для фильтрации и улучшения качества данных, получаемых от сенсоров квадрокоптеров. Это включает в себя процессы коррекции искажений изображений и повышения разрешения, что значительно улучшает точность анализа.

#### 4. Анализ данных в реальном времени.

Благодаря высокой скорости обработки больших объемов ин-



формации нейронные сети позволяют квадрокоптерам выполнять анализ данных в реальном времени. Это особенно актуально в сценариях, требующих оперативного реагирования, таких как поисково-спасательные операции или мониторинг чрезвычайных ситуаций (лесные пожары).

#### 5. Прогнозирование и моделирование.

Нейронные сети могут быть применены для прогнозирования изменений в окружающей среде на основе собранных данных. Например, они могут предсказывать распространение лесных пожаров или динамику состояния экосистем, что способствует принятию проактивных мер по предотвращению негативных последствий.

#### 6. Обучение на основе опыта.

Нейронные сети обладают способностью к обучению на основе предыдущего опыта, что позволяет квадрокоптерам адаптироваться к различным условиям полета и специфическим задачам. Это делает их более универсальными и эффективными в разнообразных сценариях применения.

#### 7. Интеграция с IoT.

Квадрокоптеры, оснащенные нейронными сетями, могут быть интегрированы в экосистемы Интернета вещей (IoT), что обеспечивает обмен данными с другими устройствами и системами. Это способствует повышению эффективности операций и улучшению качества принятия решений.

#### 8. Снижение затрат.

Автоматизация процессов анализа и навигации с использованием нейронных сетей может существенно сократить операционные расходы за счет уменьшения необходимости в человеческом вмешательстве и ускорения выполнения задач.

Таким образом, внедрение нейросетевых технологий в управление квадрокоптерами открывает новые возможности для их эффективного использования в различных областях, включая лесное хозяйство, мониторинг окружающей поврежденных лесонасаждений, безопасность и транспортировку.

Это позволит повысить эффективность и безопасность освоения таких участков, а также обеспечить прогрессивные организационные меры по их транспортной доступности.

М.Т. Насковец, доц., канд. техн. наук;  
И.В. Толкач, доц. канд. техн. наук;  
асп. Жлобич П.Н.  
(БГТУ, г. Минск);  
Фенчук А.В., 1-ый зам. ген. директора  
(РУП «Белгослес», г. Минск)

## ФОРМИРОВАНИЕ БАНКА ДАННЫХ ПОДЪЕЗДНЫХ ЛЕСОТРАНСПОРТНЫХ ПУТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ «ГИСЛЕСХОЗ»

Для составления банка данных подъездных лесотранспортных путей была разработана структурная схема типового банка данных (рис. 1).



Рисунок 1 – Структурная схема типового банка данных

В качестве исходных данных для создания банка данных подъездных путей используется векторный слой линейных выделов, имеющийся в геоинформационной системе лесоустройства FORMOD. Для формирования банка данных в геоинформационной системе QGIS выполнялся импорт векторного слоя, привязка к нему атрибутивной информации, фильтрация и сохранение лесных дорог, просек и ЛЭП в виде отдельного слоя, как указывалось в предыдущих отчетах.

Банк данных разрабатывается на базе программного обеспечения для отвода и таксации участков лесного фонда «ГИСлесхоз» и представлен в виде двух отдельных слоев линейного типа.

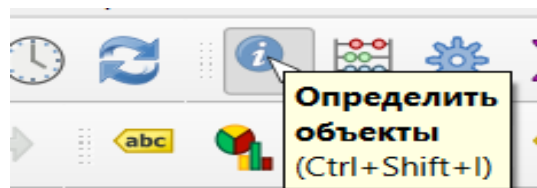
Первый слой «Подъездные пути» содержит информацию о существующей сети подъездных путей, их нумерацию, а также исходные атрибутивные данные в виде таблицы повыведельной базы данных лесоустройства.

Второй слой «Устройство путей» содержит информацию об

участках подъездных путей, на которых проводились работы по их устройству. Таблица атрибутивной базы данных включает поля, аналогичные первому слою и дополнительные поля, характеризующие проведенные работы по устройству подъездного пути.

В этой связи дополнение уже имеющейся геоинформационной системы «ГИСлесхоз» векторными картографическими слоями и атрибутивной информацией о подъездных путях (рис. 2) позволит как оптимизировать структуру банка данных, удалив избыточную информацию, так и избежать дополнительных затрат на обучение работников.

Просмотр информации об имеющихся подъездных путях осуществляется с использованием инструмента «Определить объекты» на панели инструментов (рис. 2). Для просмотра необходимо выделить слой «Подъездные пути», выбрать инструмент «Определить объекты», а затем указать интересующий пользователя объект. В результате откроется форма просмотра имеющейся атрибутивной информации о подъездном пути (рис. 3).

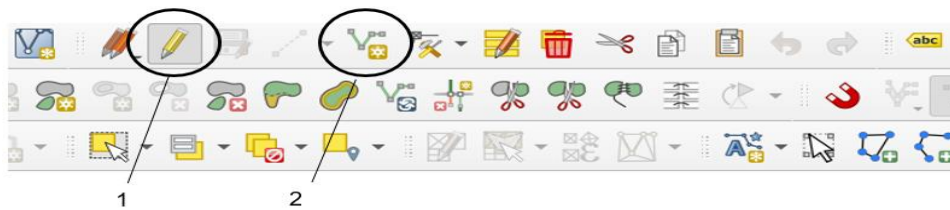


**Рисунок 2 – «Определить объекты» на панели инструментов**

A screenshot of a software window titled 'Подъездные пути - Атрибуты объектов'. The window contains a form with several fields and dropdown menus. The fields are: 'Код лесничества' (60605), 'Квартал' (85), 'Выдел' (47), and 'Площадь' (0,4). Below these is a text field for 'Вид подъездного пути' (Лесная дорога). There are two columns of fields: 'Ширина' (4,0000000) and 'Протяженность' (1,0000000); 'Состояние' (удовлетворительное) and 'Назначение' (естественные лесные); 'Сезонность' (круглогодичная) and 'Покрытие' (без покрытия). Each dropdown menu has a downward arrow. At the bottom right of the form is a button labeled 'Отмена'.

**Рисунок 3 – Форма просмотра атрибутивных данных слоя «Подъездные пути»**

Для ввода информации об участках подъездных путей, на которых проводились работы по их устройству и ремонту необходимо выделить слой «Устройство путей» и выбрать режим редактирования на панели инструментов, затем выбрать инструмент «добавить линейный объект» (рис. 4).



1 – режим редактирования; 2 – добавить линейный объект

**Рисунок 4 – Панель инструментов**

После выбора необходимых инструментов в рабочей области на карте, мышью указывается расположение участка, на котором происходило устройство подъездного пути. Нажав на правую кнопку мыши, построение линии завершается, после чего отображается специальная форма (рис. 5), куда вводится необходимая информация по устройственно-му подъездному пути.

Стандартные средства геоинформационной системы QGIS позволяют также вводить пространственные данные об участках устройства подъездных путей на основе GPS съемки на местности, путем загрузки текстового файла данных, формируемых GPS приемником.

Устройство путей - Атрибуты объектов

№ лесничества	NULL	Квартал	NULL	Выдел	NULL	Площадь	NULL
---------------	------	---------	------	-------	------	---------	------

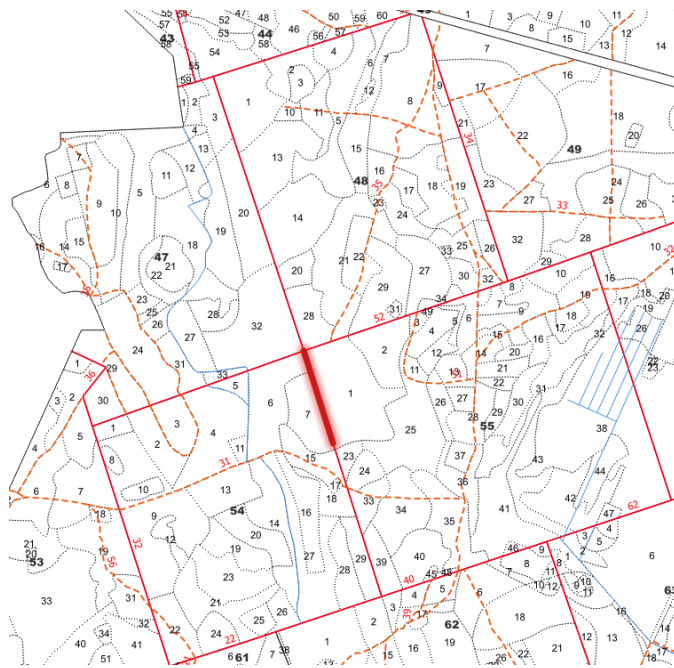
Характеристики    Конструкции    Техн. схемы

Ширина	NULL	Протяженность	NULL
Состояние	<NULL>	Назначение	<NULL>
Сезонность	<NULL>	Покрытие	
Грунт основания	NULL		
Техн. схема			
Конструкция			
Время проведения работ:		Исполнитель	
начало	2024-01-01	Окончание	2024-01-01

OK    Отмена

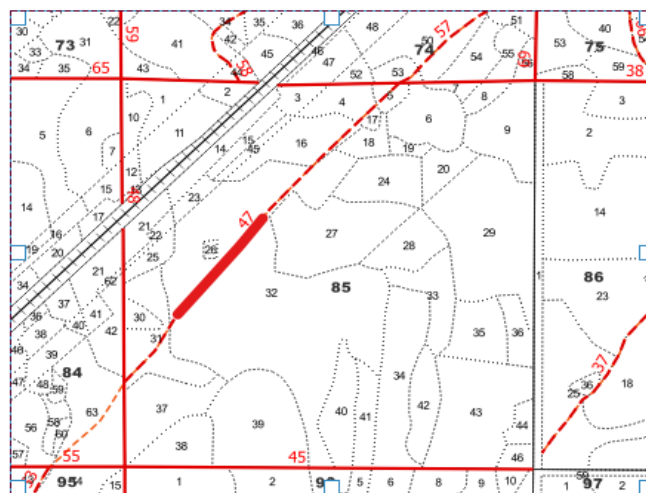
**Рисунок 5 – Форма просмотра, ввода и редактирования банка данных устраиваемых подъездных путей**

Новые отмеченные участки подъездных путей на слое «Устройство путей» будут отображаться жирной красной линией (рис. 6).



**Рисунок 6 – Отображение опытного участка в геоинформационной системе**

Квартальные просеки в геоинформационной системе обозначаются сплошной красной линией, а лесные дороги обозначаются пунктирными красными линиями. Их нумерация обозначается аналогично Лесоустройству, а также информация об устраиваемых объектах может быть распечатана в виде отчета, формируемого стандартными средствами QGIS (рис. 7).



Квартал	Выдел	Площадь	Ширина	Протяженность	Состояние	Назначение	Сезонность	Покрытие	Грунт	Конструкция	Техн. схема	Начало	Окончание
85	35	0,2	4	0	61	5	1	3	песок рыловый	4	4	2024-01-01	2024-01-01
0	0	0	0	0	0	0	0	0				2024-01-01	2024-01-01

**Рисунок 7 – Отчет о устроенном участке подъездного пути в геоинформационной системе QGIS**

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

## **МЕХАНИЗМЫ РЕАЛИЗАЦИИ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА НА ВНУТРЕННЕМ РЫНКЕ БЕЛАРУСИ**

Древесное топливо в виде дров круглых и колотых, щепы, пеллет, топливных брикетов используется на внутреннем рынке Беларуси в значительных объемах как физическими лицами, так и в промышленном потреблении. При этом всех видов древесного топлива в стране производится более 10,4 млн. м<sup>3</sup>.

Производство и реализация древесного топлива осуществляется лесхозами, учреждениями ЖКХ, организациями энергетического сектора, государственными и частными промышленными предприятиями и др. Спектр как производителей, поставщиков древесного топлива, так и его видов достаточно широкий. Однако в реализации древесного топлива имеются общие подходы.

Так, основную долю в этом объеме занимают дрова, которые реализуются в основном в круглом виде, при этом наблюдается тенденция к увеличению производства для внутреннего потребления колотых дров, которые сегодня в лесохозяйственных учреждениях производят в ежегодном объеме около 200 тыс. м<sup>3</sup>.

Реализация дров местному населению осуществляется в приоритетном порядке. 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. При этом Советом Министров Республики Беларусь устанавливаются предельные нормы их потребления.

С целью реализации древесных топливных гранул (пеллет) на внутреннем рынке и стимулирования их потребления постановлением СМ РБ № 716 от 23 октября 2023 года утвержден комплекс мер по увеличению использования пеллет. Документ предусматривает принятие стимулирующих мер, направленных на развитие внутреннего рынка потребителей этого вида топлива. Первоочередным мероприятием является внесение изменений в законодательство в части отнесения пеллет к товарам, цены на которые подлежат госрегулированию, с последующим установлением фиксированной цены на них для отпуска потребителям на внутреннем рынке.

Постановлением Совмина от 25.07.2024 № 521 «О регулирова-

нии цен» в Беларуси введено регулирование цен на пеллеты. Изначально оно затрагивало реализацию топливных гранул организациям системы ЖКХ, ТЭЦ и цементным заводам. Постановлением Минлесхоза от 01.08.2024 № 33 для данной группы потребителей была установлена цена за тонну пеллет 160 руб. без НДС.

Затем в постановление № 521 были внесены изменения, предоставившие Минлесхозу право регулировать цены на пеллеты, производимые подчиненными организациями, независимо от того, кому этот вид топлива в последующем реализуется [1].

Постановлением Минлесхоза от 15.10.2024 № 36 введены фиксированные розничные цены на древесные топливные гранулы при реализации населению, которые не действуют в отношении пеллет, фиксированные розничные цены на которые устанавливают облисполкомы и Мингорисполком в пределах норм отпуска, определенных постановлением Совмина от 09.11.2012 № 1028 «Об обеспечении населения твердыми видами топлива».

В настоящее время предельная норма отпуска населению древесных пеллет по фиксированным розничным ценам составляет 3,6 т на одно домовладение в календарном году. Приобретать твердые виды топлива по фиксированным розничным ценам имеют право граждане, постоянно проживающие в Беларуси и зарегистрированные по месту жительства в многоквартирном жилом доме, квартире в блокированном жилом доме, в которых имеются печное (водяное, паровое) отопление, индивидуальное отопительное оборудование и которые не подключены к системе централизованного теплоснабжения.

Фиксированные розничные цены на пеллеты при реализации их населению были введены в Беларуси с 1 ноября 2024 г.

С 16 января 2025 г. фиксированные розничные цены на пеллеты для граждан составляют (с НДС):

- при продаже со склада изготовителя (лесхоза) – 200,0 руб. за тонну;
- со склада продавца – 235,0 руб. за тонну;
- со склада продавца в пределах нормы отпуска (3,6 тонны) – 50,0 руб. за тонну.

Таким образом, можно сделать вывод, что в Беларуси на уровне Совета Министров, Министерства лесного хозяйства, производителей древесного топлива проработан достаточно работоспособный механизм реализации древесного топлива, включающий как законодательные аспекты, так и производственно-логистические вопросы.

Следует продолжать развивать данное направление, в том числе для других видов древесного топлива (топливные брикеты, щепа, дре-

весный биогаз, биодизель), что позволит обеспечить устойчивый спрос на внутреннем рынке и повысить энергетическую безопасность страны. Это тем более актуально в период санкций, введенных в том числе по отношению к лесному комплексу Беларуси.

Развитие эффективных механизмов реализации древесного топлива в стране актуально еще и ввиду постоянного увеличения энергообъектов, работающих на древесном топливе. Так, госпрограммой «Энергосбережение» в 2021–2025 годах предусмотрено построить в организациях ЖКХ 86 котельных на древесном топливе общей тепловой мощностью 490 МВт [2], что требует непрерывного обеспечения этих объектов древесным топливом.

Кроме того, стимулирование потребления древесного топлива на внутреннем рынке позволяет развивать отечественное машиностроение, станкостроение для заготовки и подготовки древесного топлива, производство энергетических установок, что, в свою очередь, обеспечивает занятость населения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В Беларуси с 1 ноября ввели фиксированные цены на древесные пеллеты для населения [Электронный ресурс] <https://neg.by/novosti/otkrytj/v-belarusi-s-1-noyabrya-vveli-fiksirovannyye-tseny-na-drevesnye-pellety-dlya-naseleniya/>. Дата доступа: 02.02.2025.

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



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

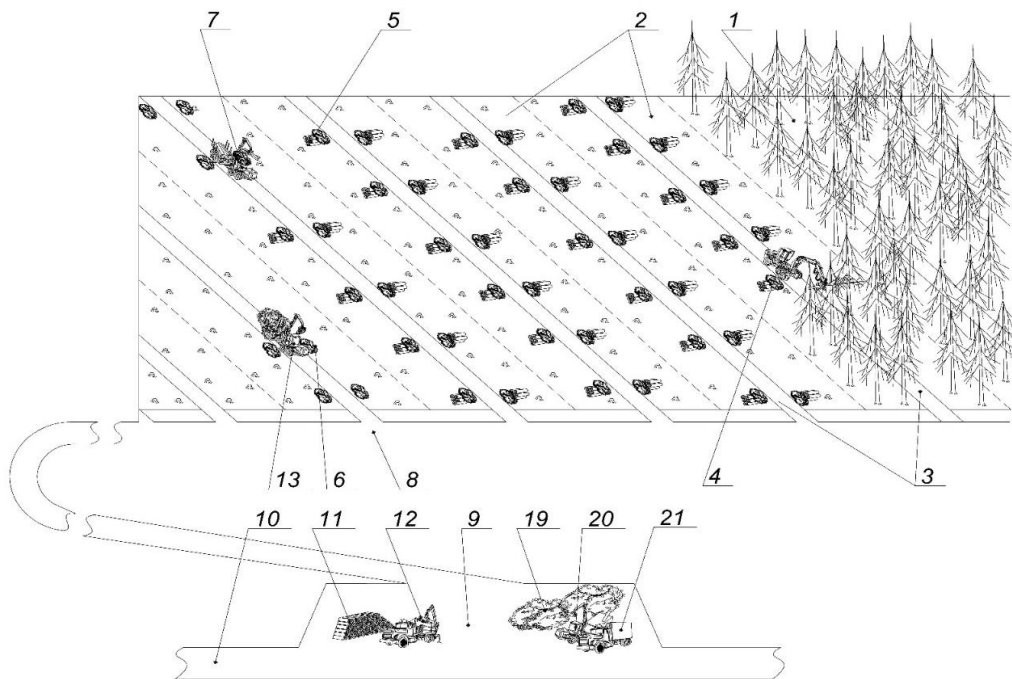
## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЗАГОТОВКИ СОРТИМЕНТОВ И ТОПЛИВНОЙ ЩЕПЫ**

Целью проведенного исследования является снижения затрат и упрощение процесса заготовки и подвозки лесосечных отходов за счет исключения применения узкоспециализированных машин и операции их пакетирования (обвязки) путем существенного увеличения рейсовой нагрузки форвардера, применяемого наряду с вывозкой круглых лесоматериалов также для транспортировки лесосечных отходов на промежуточный склад [1, 2].

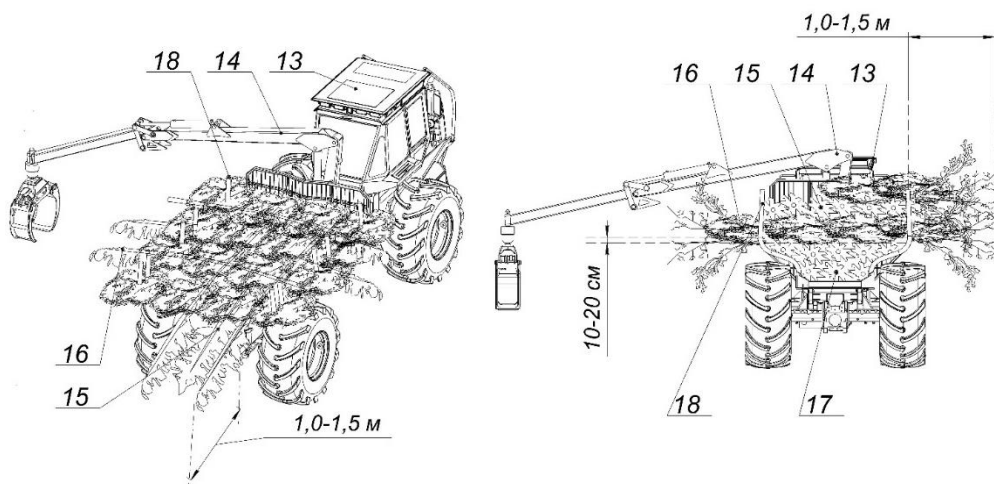
Наиболее близким к предполагаемому изобретению по своей технической сущности и достигаемому положительному результату является способ заготовки и вывозки дров и лесосечных отходов от лесных участков к котельным, включающий сбор дров и лесосечных отходов, погрузку их на транспортные средства, транспортировку по дорогам и выгрузку у котельной [3].

Существенным недостатком указанного способа является ограниченное его применение при поставке дров и лесосечных отходов на котельные или мини-ТЭЦ, которые не имеют собственных рубильных машин для их измельчения.

Работа по предлагаемой нами технологии осуществляется следующим образом (рис. а). После выполнения необходимых подготовительных работ разрабатываемая лесосека 1 разбивается на пасеки 2, по центру которых прокладываются трелевочные волоки 3. Харвестер 4, двигаясь по волоку, осуществляет заготовку сортиментов 5 с образованием лесосечных отходов 6. На безопасном от харвестера расстоянии форвардер 7 осуществляет сбор и погрузку сортиментов с последующей их подвозкой вначале по волоку, а затем по подъездному пути 8 на промежуточный склад 9, примыкающий к лесохозяйственной дороге 10. На промежуточном складе сортименты укладываются в штабели 11, а затем погружаются на лесовозный автопоезд 12 с последующей вывозкой потребителю.



*a*



*б*

*a* – схема разработки лесосеки; *б* – схема погрузки лесосечных отходов  
**Рисунок – Технологическая схема заготовки сортиментов и топливной щепы**

После подвозки всех сортиментов с пасеки отдельный форвардер 13 (или форвардер, производивший подвозку сортиментов) осуществляет сбор и послынную погрузку лесосечных отходов следующим образом (рис. б). Лесосечные отходы укладываются гидроманипулятором 14 путем чередования продольных 15 и поперечных 16 слоев на высоту, ограниченную его рабочей зоной, обеспечивая свес лесосечных отходов с грузовой платформы форвардера на 1,0–1,5 м. При этом первый слой 17 лесосечных отходов представляет собой сплошной настил из тонкомерных деревьев и крупных сучьев, кото-

рый укладывается вдоль продольной оси форвардера на 10–20 см выше изгиба стоек 18 его грузовой платформы.

После окончания погрузки лесосечных отходов гидроманипулятор располагается вдоль продольной оси форвардера, обеспечивая их неподвижность на грузовой платформе в процессе подвозки на промежуточный склад. Далее форвардер вначале по пасечному волоку, а затем по подъездному пути осуществляет подвозку лесосечных отходов на промежуточный склад, где производит их укладку в штабели (валы) 19 для временного хранения и атмосферного подсушивания в течение 2–4 месяцев с целью увеличения их теплотворной способности.

Измельчение лесосечных отходов в топливную щепу осуществляется передвижной рубильной машиной 20, а доставка щепы на энергообъекты – автощеповозом 21 (рис. а).

Заготовка и подвозка лесосечных отходов к месту их измельчения на промежуточном складе по предлагаемому способу позволят увеличить рейсовую нагрузку форвардера, что обеспечит повышение его производительности на 49–63%. Такие меры организационно-технологического плана приведут к рациональному использованию древесных ресурсов, обеспечат снижение себестоимости производства топливной щепы из лесосечных отходов в условиях промежуточных складов и повысят конкурентоспособность древесного топлива.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лесозаготовительная машина для сбора и транспортировки лесосечных отходов: патент № 178801 U1 Российская Федерация, В60Р 1/28 / Кондратюк В. А., Воскобойников И. В., Крылов В. М., Пашков В. П., Кондратюк Д. В., Сусло И. П., Халитов В.Г; заявитель акционерное общество «Государственный научный центр лесопромышленного комплекса» – № и 2017114680; заявл. 27.04.2017; опубл. 19.04.2018 Бюл. № 11.

2. Йори Ууситало. Основы лесной технологии / Йори Ууситало. – Оу FEG – Forest and Environment Group Ltd: Йоэнсуу, 2006. – С.103.

3. Способ заготовки и вывозки дров и лесосечных отходов от лесных участков к котельным: патент № 2554442 С2 Российская Федерация, А01G 23/00 / Шегельман И. Р., Галактионов О. Н., Демчук А. В., Баклагин В. Н., Будник П. В.; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Петрозаводский государственный университет» – № 2013129540/13; заявл. 27.06.2013; опубл. 27.06.2015 Бюл. № 18.

## ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ СОВМЕСТИМОСТИ ЛЕСНЫХ МАШИН С ПОЧВОГРУНТАМИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТРУДНОДОСТУПНЫХ УЧАСТКОВ ЛЕСНОГО ФОНДА

Одним из ключевых факторов определения возможности освоения труднодоступных участков лесного фонда является оценка их экономической доступности. В качестве количественных показателей или критериев данного условия предлагается использовать следующие: коэффициент использования производительности машин и затраты на заготовку лесоматериалов.

**Коэффициент использования производительности машин.** Производительность лесных машин зависит от многих факторов. В качестве ключевых здесь выступают природно-эксплуатационные условия, в том числе характеристики почвогрунта. Если проводить оценку производительности машин в благоприятных условиях и принять это значение за 1, то при работе лесных машин на грунтах с низкой несущей способностью данное значение может составлять 0,5–0,8 [1]. Такая разбежка является результатом принимаемых мер по обеспечению в первую очередь проходимости лесных машин в сложных условиях. В целом, показатель использования производительности машин позволяет увидеть эффективность их применения, изучить влияние различных факторов на показатели выработки лесных машин, корректировать нормируемые значения работы машин, операторов, расхода ТСМ и вспомогательных материалов.

В качестве допустимых значений коэффициента использования производительности машин для различных типов местности путем проведенных исследований предложены следующие диапазоны:

- I тип местности – 0,9–1,0;
- II тип местности – 0,7–0,89;
- III тип местности – 0,5–0,69;
- IV тип местности – 0,3–0,49.

Если фактические значения данного показателя для рассматриваемых машин меньше допустимых, то их применение не является целесообразным, так как машина или не сможет выполнить операцию, или ее выполнение будет экономически затратным.

**Затраты на заготовку лесоматериалов.** Экономическая доступность заготавливаемых древесных ресурсов определяется исходя из эксплуатационных затрат, которые включают в себя затраты на топливно-смазочные материалы, на ремонт и запасные части, затраты

на оплату труда, отчисления на социальные нужды, амортизацию основных фондов и прочие. Значения данных статей расходов зависят в том числе от климатических, метеорологических и почвенно-грунтовых условий [2]. Оценка эксплуатационных затрат позволяет сравнивать несколько вариантов технологического процесса, систем машин, определять экономическую целесообразность принимаемых технологических и организационных решений при разработке труднодоступных участков лесного фонда.

Доступность осваиваемого участка лесного фонда определяется через сравнение затрат на заготовку лесоматериалов со стоимостью их реализации. Учитывая, что цены на древесное сырье не постоянны, то и допустимые значения себестоимости работ по освоению труднодоступных участков лесного фонда являются показателями динамическими.

Определение фактических значений предложенных критериев необходимо для понимания экономической целесообразности освоения труднодоступных участков лесного фонда. Поэтому рекомендуется их использование для комплексной оценки совместимости лесных машин с почвогрунтами с учетом эксплуатационных возможностей освоения исследуемых участков и последствий экологического воздействия проводимых лесосечных работ. Применение предложенных показателей для оценки эффективности разработки труднодоступных участков лесного фонда позволит, с одной стороны, повысить степень освоения лесфонда, а с другой – экономику лесозаготовок.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мисуно, Ю.И. Сравнительная оценка эффективности эксплуатации форвардеров с различным типом двигателя на заболоченных грунтах // Экологические и биологические основы повышения продуктивности и устойчивости природных и искусственных возобновляемых лесных экосистем: Материалы междунар. науч.-практ. конференции, посвященной 100-летию высшего лесного образования в г. Воронеж и ЦЧР России, 4–6 октября 2018 г.: в 2 т. Т. 2 / науч. ред. д-р экон. наук, проф. С.С. Морковина; М-во образования и науки РФ, ФГБОУ ВО «ВГЛУ». – Воронеж, 2018. – С. 217–224.

2. Рудакова, Т.А. Калькулирование себестоимости продукции лесного хозяйства / Т.А. Рудакова, М.Н. Семиколенова, Н.А. Ракшина // Социально-экономический и гуманитарный журнал Красноярского ГАУ. – 2017. – №1. – С. 151–165.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМЫХ ЗНАЧЕНИЙ КРИТЕРИЕВ СОВМЕСТИМОСТИ ЛЕСНЫХ МАШИН С ПОЧВОГРУНТАМИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЦЕЛЕЙ ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ**

Под **совместимостью лесных машин с почвогрунтами** понимается свойство машины выполнять свои функции в заданных почвенно-грунтовых условиях с соблюдением эксплуатационных, экологических и экономических целей лесопользования.

На основании изучения практики организации и проведения лесосечных работ, анализа результатов теоретических и экспериментальных исследований, были выявлены возможные ограничения по эффективному использованию лесных машин, которые вызваны сложными почвенно-грунтовыми условиями [1]. Список этих ограничений может быть достаточно обширным и формироваться для конкретных условий и задач освоения лесфонда. Но в качестве основных критериев предложены следующие: проходимость машин, коэффициент использования производительности машины, плотность почвы после нагрузки, глубина колеи (деформация грунта), степень минерализации, затраты на заготовку лесоматериалов. Данные показатели в большей степени оказывают влияние на итоговую оценку совместимости лесных машин с почвогрунтами и являются универсальными для различных видов и способов рубок [1].

Для оценки совместимости лесных машин с почвогрунтами необходимо сопоставление фактических значений предложенных критериев с допустимыми – предельными значениями взаимодействия лесных машин с почвогрунтами. Такое сопоставление требуется для того, чтобы в полной мере выполнить задачу по обеспечению эффективной работы машин на лесосеке и сохранению продуктивности и благоприятных условий для последующего лесовосстановления.

В то же время в реальной практике планирования и организации лесозаготовительных работ сложно обеспечить выполнение всех допустимых условий взаимодействия лесных машин с почвогрунтами. В этом случае в зависимости от условий эксплуатации и характеристик лесного фонда, определяются приоритеты в обеспечении выполнения эксплуатационных, экономических и экологических задач.

Согласно ряду действующих в Беларуси нормативно-правовых документов [2–5] проведение различных видов и способов рубок в рамках главного и промежуточного пользования имеет определенное назначение. Исходя из этого определяются цели и задачи лесопользования. Так, освоение лесосек в эксплуатационных лесах при выполне-

нии сплошных рубок главного пользования подразумевает первоочередное изъятие древесного сырья с минимальными экономическими затратами, что требует обеспечения соответствующих эксплуатационных условий для работы лесозаготовительной техники в лесу. При этом соблюдение экологических требований может значительно ограничить применение машин и в целом условия проведения рубок. В то же время назначение несплошных рубок главного пользования также включает в себя заготовку древесного сырья, но при этом необходимо обеспечить условия для естественного лесовозобновления. В этом случае, в приоритете находится выполнение эксплуатационных и экологических задач. Обратная ситуация отмечена для рубок промежуточного пользования, когда для их проведения выбираются соответствующие технологии и системы машин на основе приоритета экологических задач. При этом обеспечение выполнения экономических задач будет вторичным.

Соответственно, анализу фактических значений критериев для оценки совместимости лесных машин с почвогрунтами предшествует определение приоритетных задач лесопользования, оценка выполнения которых будет характеризоваться определенным набором критериев. Так, выполнение эксплуатационной задачи оценивается критериями проходимости лесной машины и глубины колеи; экологической – давление движителя, степень уплотнения, глубина колеи и степень минерализации; экономической – коэффициент использования производительности машины и затраты на заготовку древесного сырья. Критерий глубины колеи отвечает за достижение эксплуатационной и экологической задачи и в зависимости от того, какая из них находится в приоритете будет различаться и допустимое значение данного критерия.

Оценка выполнения приоритетных задач лесопользования включает в себя количественную и качественную оценку критериев совместимости для каждого исследуемого варианта машин при помощи шкалы допустимости. Пример такой шкалы представлен в табл. 1.

**Таблица 1 – Оформление шкалы допустимости**

№ приоритета	Наименование критерия	Оценка соответствия допустимым условиям			
		Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Отлично

Для каждой качественной оценки критерия устанавливаются количественные значения, которые соответствуют границам соответствующего воздействия. При этом оценки «Хорошо» и «Удовлетворительно» включают численные границы допустимого взаимодействия движителей лесных машин с почвогрунтами. Диапазоны значений до-

пустимых пределов качественных оценок определяются для конкретных условий и вида лесопользования (табл. 2).

**Таблица 2 – Допустимые значения критериев совместимости лесных машин с почвогрунтами**

Критерий	Условия лесопользования			
	Рубки главного пользования (сплошные)	Рубки главного пользования (несплошные)	Рубки промежуточного пользования	Прочие рубки (ветровально-буреломный участок)
Давление двигателя, кПа	80–120	61–80	50–65	80–120
Плотность почвогрунта после нагрузки, г/см <sup>3</sup>	1,5–1,89	1,2–1,49	1,2–1,49	1,5–1,89
Степень минерализации, % от площади лесосеки	26–35	21–25	21–25	26–35
Глубина колеи, м	0,11–0,2	0,11–0,2	0–0,1	0,26–0,6
Проходимость машин (коэффициент сопротивления движению)	0,1–0,2	0,1–0,2	0,1–0,2	0,21–0,24
Коэффициент использования производительности машин	0,6–0,89	0,6–0,89	0,6–0,89	0,3–0,59
Затраты на заготовку, руб./м <sup>3</sup>	81–120	81–120	121–160	161–200

*Примечание.* Для рассматриваемых вариантов лесопользования приняты допустимые значения при типовых природно-эксплуатационных условиях освоения лесфонда Беларуси.

В табл. 3 приведен пример определения приоритетов и диапазоны значений для оценочных показателей, которые могут быть использованы для выбора и обоснования системы машин при разработке ветровально-буреломных лесосек.

**Таблица 3 – Шкала допустимости**

Приоритет	Критерий	Оценка соответствия допустимым условиям			
		Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
1	2	3	4	5	6
1	Проходимость машин (коэффициент сопротивления движению)	более 0,3	0,25–0,3	0,21–0,24	До 0,2
2	Глубина колеи, м	более 0,6	0,26–0,6	0,21–0,25	До 0,2
3	Давление двигателя, кПа	более 180	121–180	81–120	До 80

Продолжение таблицы 3



1	2	3	4	5	6
4	Коэффициент использования производительности машин	менее 0,15	0,16–0,29	0,3–0,59	более 0,6
5	Затраты на заготовку, руб./м <sup>3</sup>	более 250	201–250	161–200	менее 160
6	Плотность почвогрунта после нагрузки, г/см <sup>3</sup>	более 2,5	1,9–2,5	1,51–1,89	менее 1,5
7	Степень минерализации, % от площади лесосеки	более 50	35–50	26–35	до 25

При иных условиях и способах лесопользования (рубки главного пользования, рубки в защитных лесах, на труднодоступных участках и др.) требуется разработка отдельной шкалы с установлением соответствующих допустимых значений критериев и граничных условий применения лесных машин.

Метод оценки совместимости лесных машин с почвогрунтами по шкале допустимости эффективен, когда сравнению подлежат небольшое количество вариантов машин по ограниченному набору критериев. При иных условиях требуется применение других инструментов и методов анализа критериев совместимости.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Протас, П. А. Структурная схема и критерии оценки эксплуатационно-экологической совместимости лесных машин с почвогрунтами / П.А. Протас, Ю.И. Мисуно // Труды БГТУ. – Минск: БГТУ, 2016. – № 2 (184) 2016 год. – С. 248-253.

2. Лесной кодекс Республики Беларусь [Электронный ресурс]: 24 декабря 2015 г., № 332-З: принят Палатой представителей 3 декабря 2015 г.: одобр. Советом Респ. 9 декабря 2015 г.: в ред. Закона Респ. Беларусь от 17.07.2023 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. Центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2023.

3. Об утверждении Правил рубок леса в Республике Беларусь [Электронный ресурс]: Постановление Министерства лесного хозяйства Респ. Беларусь, 19 дек. 2016 г., №68 // Право.by / Нац. Правовой интернет-портал Респ. Беларусь – Минск, 2016.

4. Устойчивое лесопользование и лесопользование. Рубки главного пользования. Требования к технологиям: СТБ 1360-200. – Введ. 09.12.2002. – Минск: Госстандарт, 2002. – 22 с.

5. Устойчивое лесопользование и лесопользование. Рубки промежуточного пользования. Требования к технологиям: СТБ 1361-200. – Введ. 09.12.2002. – Минск: Госстандарт, 2002. – 18 с.

Е.Т. Алшериев, докторант;  
К.С. Досалиев, доц., канд. техн. наук;  
А.С. Наукенова, проф., канд. техн. наук  
(Южно-Казахстанский университет  
им. М.Ауэзова, г. Шымкент, Казахстан)

## **РАДИАЦИОННО-ХИМИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ НА ТЕРРИТОРИИ ТУРКЕСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ**

**Аннотация.** Данная научная статья посвящена изучению воздействия химически и радиационно опасных объектов в Туркестанской области. Использование химических веществ и радиационных материалов в производственных процессах на территории области представляет опасность для окружающей среды и здоровья. В статье представлена информация о химически опасных объектах, их возможных аварийных ситуациях и зонах загрязнения. Также проанализировано расположение радиационно опасных объектов и их влияние. Рассмотрены факторы и методы их оценки, необходимые для прогнозирования опасных ситуаций в очагах химического и радиационного поражения в Туркестанской области. В статье приводятся конкретные примеры для прогнозирования возможных воздействий различных химических и радиационных объектов и показаны методы оценки возможных потерь и повреждений. В заключение акимату области и спецслужбам было уделено внимание необходимости обеспечения безопасности опасных объектов, проведения мониторинга и усиления профилактических мер.

**Ключевые слова:** химически опасные объекты, радиационно опасные объекты, экологическая опасность, аварийные ситуации, химическое загрязнение, радиационное загрязнение, мониторинг, оценка риска, окружающая среда, здоровье человека.

**Введение.** Туркестанская область расположена на юге Казахстана и отличается плотностью населения, промышленным и сельскохозяйственным производством. Наличие в этой зоне химически и радиационно опасных объектов, в случае природных и техногенных катастроф, значительно увеличивает опасность для людей и окружающей среды. В целях обеспечения химической и радиационной безопасности в Туркестанской области очень важно изучение и оценка опасных условий в очагах химического и радиационного поражения [1].

Наличие на территории области химически и радиационно опасных объектов, порождает экологические проблемы и проблемы здоровья. Важно сформировать полное представление о распростра-

нении и потенциальном вреде химических веществ и радиационных материалов и реализовать профилактические меры [2].

### **Химически опасные объекты и их воздействие.**

В Туркестанской области большинство химически опасных объектов работают в сфере промышленного производства. Химические вещества, которые работают на этих объектах, являются очень опасными элементами, такими как хлор, аммиак, фтор, соль и азотная кислота. Эти вещества в основном используются в промышленных процессах и могут распространяться в атмосферу в больших масштабах в случае разрушения контейнеров, в которых они хранятся, или в аварийных ситуациях.

Наибольшая опасность возникает при полном разрушении контейнеров, в которых хранятся опасные химические вещества, так как в таких случаях большой объем химических веществ может попасть на открытую поверхность. Эти опасные химические вещества с большей вероятностью попадут в воздух и окажут токсическое воздействие на жителей, а также нанесут ущерб экосистеме [3].

В этой связи важно прогнозировать зону распространения вреда в возможных аварийных ситуациях химически опасных объектов. По расположению и особенностям работы нескольких химически опасных объектов в Туркестанской области зоны возможного химического загрязнения будут различаться. Например:

1. ГКП «Кентау сервис» – расположен в городе Кентау и использует гидразингидрат и водный аммиак. В случае аварии на этом химически опасном объекте зона возможного загрязнения достигает 1,2 км<sup>2</sup>. В регионе проживает 6364 человека, в том числе 1114 человек, а санитарные расходы могут достигать 2068 человек.

2. ТОО «Барсат» – находится в Сарыагашском районе и использует 200 кг аммиака. В случае аварии зона возможного загрязнения составляет 0,5 км<sup>2</sup>. Численность населения, находящегося в опасном положении – 816 человек, безвозвратные расходы-143 человека, санитарные расходы-265 человек.

3. ТОО «АЛЕКС» – еще один химически опасный объект в Сарыагашском районе. Здесь хранится 2,2 тонны аммиака. Зона возможного химического загрязнения составляет 0,5 км<sup>2</sup> с населением 365 человек и населением 7180 человек. В этом регионе безвозвратные расходы могут составить 67 человек, санитарные-126 человек.

Важную роль в оценке химических угроз в Туркестанской области играют расположение населения и объектов производства, направление ветра, погодные условия и своевременное сообщение об аварии. Кроме того, необходимо обеспечить работников, занятых на

химически опасных объектах, и близлежащих жителей специальными средствами защиты от химических повреждений [4].

#### **Радиационно-опасные объекты и их воздействие.**

В Туркестанской области имеется 11 радиационно-опасных объектов, в том числе несколько предприятий по добыче урановых руд. Эти объекты представляют угрозу радиационного загрязнения, но часто они находятся далеко от населенных пунктов.

1. АО СП «Заречное» – предприятие по добыче и переработке урановой руды, расположенное в Отрарском районе. Это предприятие использует метод подземного выщелачивания, который не приводит к существенным изменениям на поверхности земли. Общая площадь производственной территории составляет 3800 га, а санитарно-защитная зона находится на расстоянии 250 м. При соблюдении мер защиты от аварийных ситуаций и правил радиационной безопасности вероятность радиационного воздействия на население очень мала.

2. АО СП «Акбастау» работает на руднике «Куланды», расположенном в Созакском районе и имеющем радиационную опасность. Это предприятие также добывает урановые руды, и принимаются все меры для предотвращения радиационно-опасного воздействия на близлежащие населенные пункты. Рабочая зона рудника находится вдали от населения, и в зависимости от погодных условий вероятность радиационного воздействия минимальна.

3. Остальные объекты - в Созакском районе есть несколько других предприятий по добыче урана, среди которых работают такие предприятия, как ТОО «Аппак», ТОО СП «Инкай» и ТОО «Каратау». На этих предприятиях приняты меры радиационной безопасности, но и на них необходимо проводить мониторинг в случае возможных радиационных катастроф [5].

#### **Воздействие опасных химических и радиационных веществ.**

Прогнозирование воздействия химически и радиационно опасных объектов при возникновении аварийных ситуаций осуществляется следующими этапами:

1. Оценка вероятности возможного возникновения аварии;
2. Определение уровня и динамики загрязнения окружающей среды;
3. Расчет возможных санитарных затрат и безвозвратных затрат.

Эти этапы, конечно, проводятся только теоретически, но дают важную информацию для начала конкретных действий и восстановительных работ в аварийных ситуациях.

**Выводы.** Функционирование химически и радиационно опасных объектов, расположенных на территории Туркестанской области,

создает экологические и социальные опасности в условиях природных и техногенных катастроф. Распространение опасных химических веществ и радиационных материалов представляет опасность для здоровья человека. В этом контексте акимату области и спецслужбам необходимо принять соответствующие меры безопасности, провести мониторинг, информировать население и развивать систему своевременного реагирования. Для обеспечения безопасности населения важно эффективно управлять воздействием химических и радиационных объектов, усиливать меры, необходимые для предупреждения возможных аварий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Классификатор чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера от 18.02.2011г. // [http:// www.emergcom.kz](http://www.emergcom.kz);
2. План реагирования государственной системы гражданской защиты на случай возникновения разрушительных землетрясений на территории Туркестанской области. Утвержденный Вице-министром по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан. Туркестан, 2023 г.
3. Закон Республики Казахстан О присоединении Республики Казахстан к Конвенции о трансграничном воздействии промышленных аварий от 23.10.2000 г. № 91-II // СПС «Параграф»;
4. Бердашев Б.Ж. Модель адаптивного управления подразделениями в чрезвычайных ситуациях / Бедило М.В., Бутузов С.Ю., Своступов М.В. // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2013. – Выпуск № 4 (50) – 7 с. – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>;
5. Сендайская рамочная программа по снижению риска бедствий на 2015–2030 гг.

УДК 614.8

Е.Т. Алшериев, докторант;  
К.С. Досалиев, доц., канд. техн. наук;  
А.С. Наукенова, проф., канд. техн. наук  
(Южно-Казахстанский университет им. М.Ауэзова,  
г. Шымкент, Казахстан)

### **ОРГАНИЗАЦИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ В ТУРКЕСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ В СЛУЧАЕ РАЗРУШИТЕЛЬНОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ**

Туркестанская область расположена в южной зоне Республики Казахстан, имеет общую площадь 117,3 тыс. км<sup>2</sup> и является регионом

с населением более двух миллионов человек. Поскольку эта область входит в число сейсмически опасных зон, всегда существует риск землетрясения. С учетом сейсмической активности Туркестанской области важной проблемой становится эффективная организация системы гражданской защиты при землетрясениях. В данной статье рассматриваются вопросы организации мер гражданской защиты в условиях прогнозируемого землетрясения в Туркестанской области, в том числе оценки возможных последствий в медицинском, инженерном и социальном плане [1,2].

#### **Возможные последствия землетрясения.**

Туркестанская область расположена в 2475 сейсмических зонах по картам сейсмического зонирования Казахстана. Прогнозное землетрясение на территории области может быть на уровне 5–8 баллов. В этом случае наиболее вероятны серьезные последствия в Южной и юго-восточной частях области. Предварительный расчет потерь и последствий, вызванных землетрясением, имеет решающее значение для обеспечения эффективности мер гражданской защиты.

#### **Состояние здоровья: возможные потери и меры по оказанию помощи.**

Оказание медицинской помощи играет очень важную роль в случае землетрясения. При землетрясении магнитудой 7 общий ущерб по области составляет 99 843 человека, в том числе санитарные – 90 766 человек, безвозвратные – 9 077 человек. Эти количественные данные требуют эффективной организации мер по оказанию медицинской помощи для обеспечения выживания населения во время землетрясения [3].

При землетрясении магнитудой 8 общий ущерб составит 210 780 человек, из них санитарные – 175 650 человек, безвозвратные – 35 130 человек. В связи с этим значительно повышается уровень и масштабы оказания медицинской помощи.

#### **Инженерная ситуация: повреждения и разрушения.**

Разрушение инженерной инфраструктуры, жилых и промышленных объектов во время землетрясения является серьезной проблемой. В населенных пунктах Туркестанской области в результате предполагаемого землетрясения может быть повреждено около 264 тыс. индивидуальных жилых домов, что составляет 70% от всего жилищного фонда области. Степень поражения бывает разной: могут возникать легкие поражения (трещины) и умеренные поражения (переломы штукатурки), а также сильные разрушения и полные разрушения.

Производственные объекты и коммунальная инфраструктура, а также энергосистемы и системы связи также могут быть повреждены

и повреждены. В этом случае аварии в сфере энергетики и связи могут приостановить электроснабжение на несколько дней и затруднить условия жизни населения. Так, в зонах 7–8 баллов возможны аварии на объектах энергетики и потеря электроснабжения на срок до 2–5 суток [3].

#### **Социальное воздействие и массовая эвакуация.**

В Туркестанской области большой проблемой станет и повреждение социальной инфраструктуры во время землетрясения. В частности, разрушение школ, детских садов, лечебных учреждений, административных зданий и других объектов массового скопления людей ограничивает возможность эвакуации населения и получения помощи. В Туркестанской области расположены 680 школ, 993 детских сада, 146 лечебных учреждений и другие важные объекты. Повреждение этих объектов создает дополнительные проблемы для обеспечения безопасности населения [4].

#### **Организация мероприятий гражданской защиты.**

В случае землетрясения меры гражданской защиты должны систематически организовываться. Прежде всего, в ходе подготовки к землетрясению необходимо организовать работу по эвакуации, спасению и оказанию медицинской помощи населению. С этой целью в Туркестанской области должны регулярно проводиться обучающие и подготовительные мероприятия по сейсмическим чрезвычайным ситуациям.

Медицинские службы и готовность спасателей помогают смягчить последствия землетрясения. Также в спасательных работах жителей должны активно привлекаться сандруджины и другие волонтерские группы. В инженерных работах необходимо проверить прочность зданий и повысить их сейсмостойкость.

**Заключение.** Важной задачей для Туркестанской области является эффективная организация и проведение профилактических мероприятий гражданской защиты при землетрясениях. Ведь медицинские, инженерные и социальные трудности при сейсмических авариях могут поставить под угрозу жизнь и здоровье населения. В этой связи важно заранее оценить возможные последствия землетрясения и систематически планировать меры гражданской защиты.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Сайт Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан // [http:// www.emercom.kz](http://www.emercom.kz); (ОБНОВИТЬ САИТ).
2. Постановление Правительства Республики Казахстан «Об установлении классификации чрезвычайных ситуаций природного и

техногенного характера» от 2.07.2014г. № 756// СПС «Параграф».

3. План реагирования государственной системы гражданской защиты на случай возникновения разрушительных землетрясений на территории Туркестанской области. Утвержденный Вице-министром по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан. Туркестан, 2023год

4. Раимбеков К.Ж., Кусаинов А.Б. Анализ подверженности Республики Казахстан чрезвычайным ситуациям природного и техногенного характера. Монография. – Кокшетау: КТИ КЧС МВД РК, 2015. – 122 с.;

УДК 630\*383.6:625.711.84

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

К.А. Яльчик, мастер леса  
(Минский лесхоз, г. Минск)

## **ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ПЛОЩАДИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЗОН СКЛАДА**

Конструктивные особенности складов многообразны и зависят от классификационных отличий. Вместе с тем практически на любом складе должны быть основные помещения [1]. Классификация складских помещений представлена в табл.

**Таблица – Основные группы складских помещений**

Наименование	Назначение
Основного производственного назначения	Хранение, прием и отпуск (экспедиция), распаковка, упаковка, фасовка и комплектация продукции
Вспомогательные	Хранение тары, упаковки, многооборотных поддонов и контейнеров. В этих помещениях размещают также мастерские по ремонту тары и т. п.
Подсобно-технические	Размещение коммуникаций и инженерных устройств (помещения машинных отделений, вентиляционные камеры, котельные, кладовые хозяйственных материалов, инвентаря, ремонтные мастерские, подзарядные аккумуляторные станции)
Административные (служебные)	Кабинеты служащих, офисы для приема посетителей, залы товарных образцов, компьютерный центр и т. п.
Бытовые	Места отдыха и приема пищи, раздевалки, душевые, санитарные узлы и т. п.

Помещения основного производственного назначения можно



подразделить на следующие функциональные зоны: разгрузки, приемки груза по количеству и качеству, хранения, внутрискладской переработки груза (подбора, комплектования, упаковки заказов), выдачи груза, погрузки.

Все перечисленные зоны должны размещаться на складе так, чтобы наилучшим образом реализовать складской технологический процесс. Зоны должны быть связаны между собой проходами и проездами и обслуживаться комплексом взаимосвязанных подъемно-транспортных машин.

Зона хранения груза занимает на складе самую большую площадь, к ней обычно примыкают зоны комплектования и упаковки. В свою очередь, последние размещают рядом с зоной погрузки. Зона разгрузки должна быть рядом с зоной приема груза по количеству и качеству. Зону разгрузки и зону погрузки на складах с небольшими объемами работы часто объединяют в одну погрузочно-разгрузочную зону [1–2].

Эффективность работы склада во многом зависит от выполнения ряда технологических требований, предъявляемых к устройству склада, и требований к планированию складских помещений.

Объемно-планировочные решения складских зданий должны отвечать оптимальной технологии складских операций, а площади и объемы складских помещений должны соответствовать характеру и объему выполняемых операций.

Складские помещения необходимо планировать таким образом, чтобы [1–2]:

- внутрискладской технологический процесс был поточным (желательно сквозным, прямоточным) и непрерывным;

- продукция на складе была размещена наиболее рационально (занимала меньше складской площади и объема, тем самым обеспечивалось их оптимальное использование);

- условия хранения позволяли полностью сохранять количество продукции и не допускать ухудшения ее качества ниже существующих норм (размещать продукцию таким образом, чтобы исключалось неблагоприятное влияние одних видов продукции на другие, поддерживать необходимые температуру и влажность в помещении, не допускать возможности проникновения на склад посторонних лиц и извлечения

- продукции, хранящейся на складе, без вскрытия штатных ворот и дверей и др.);

- был обеспечен удобный доступ к продукции (правильно выбрано и размещено складское оборудование, определены необходимые размеры проходов и проездов и т. д.);

- обеспечивалась возможность применения средств механизации

и автоматизации и их высокопроизводительная работа (надо стремиться к тому, чтобы основные складские операции были механизированы, а при больших объемах работ автоматизированы).

Кроме перечисленных требований устройство складов и организация их работы должны отвечать требованиям экологической безопасности, санитарии и гигиены труда, сохранности грузов, техники безопасности и пожарной безопасности, которые определяются действующими стандартами (СТБ), ГОСТами, и др.

К основным параметрам складов относятся их вместимость, площадь, длина и ширина.

Для определения площади склада необходимо предварительно определить его потребную вместимость. Вместимость склада для любого вида груза [1]:

$$E_{сут} = Q_{сут}^{p(ск)} \cdot t_{хр}, \quad (1)$$

где  $Q_{сут}^{p(ск)}$  – расчетный суточный объем груза, поступающего на хранение в склад, т/сут;  $t_{хр}$  – срок хранения груза на складе, сут (в местах общего пользования на железнодорожном транспорте можно принимать: для тарно-упаковочных грузов по отправлению железнодорожным транспортом со склада – 1,5 сут, по прибытию железнодорожным транспортом на склад – 2,0 сут; для контейнеров – 1,0 и 2,0 сут; для тяжеловесных и лесных грузов – 1,0 и 2,5 сут соответственно).

При проектировании логистических систем общая площадь склада укрупненно может быть определена по методу удельных допускаемых нагрузок [3]:

$$S_{доп}^{скл} = \frac{k_{пр} \cdot E_c}{P_{доп}}, \quad (2)$$

где  $k_{пр}$  – коэффициент, учитывающий дополнительную площадь на складские проходы и проезды (ориентировочно можно принимать следующие значения: для тарно-упаковочных грузов – 1,7; для контейнеров – 1,5; для тяжеловесных и лесных грузов – 1,8);  $P_{доп}$  – удельная допускаемая нагрузка на 1 м<sup>2</sup> полезной площади склада, т/м<sup>2</sup> (ориентировочно можно принимать следующие значения: для тарно-упаковочных грузов – 3,5 т/м<sup>2</sup>; для контейнеров – 4,0 т/м<sup>2</sup>; для лесных грузов – 3,0 т/м<sup>2</sup>; для металлоизделий – 5,0 т/м<sup>2</sup>).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Производство погрузочно-разгрузочных работ. Терминалы : учеб. пособие /Н. П. Берлин [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2014. – 502 с.
2. Яльчик К.А., Бавбель Е.И., Науменко А.И. Обоснование параметров производственного участка «Неманица» Борисовского опытного лесхоза // Студенческий: электрон. научн. журн. 2024. № 42(296-5). С. 14-16.

Е.И. Бавбель, ст. преп., канд. техн. наук;  
А.И. Науменко, доц., канд. техн. наук;  
К.Ю. Теплова, студ. (БГТУ, г. Минск)

## **ТРАССИРОВАНИЕ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ДОРОГ В ПРОГРАММЕ ТИМ КРЕДО ПРОЕКТИРОВАНИЕ**

Размещение лесохозяйственных дорог должно выполняться с учетом особенностей ведения лесного хозяйства, продолжительности цикла лесохозяйственного производства, распределения объемов работ по территории лесного фонда, многократного возвращения в одни и те же участки леса в течение длительного периода, а также проведения ряда работ в определенные агротехнические сроки [1].

Главное направление магистрали лесохозяйственной дороги должно быть размещено по линии, делящей зону тяготения примерно на две равные части, и по возможности совмещено с направлениями квартальных просек.

При проектировании плана трассы лесохозяйственной дороги должны соблюдаться основные принципы; выполняться требования действующих нормативных документов [2]:

- минимальные радиусы кривых в плане;
- максимальный продольный уклон в соответствии с техническими нормами, приведенными в СП «Лесохозяйственные дороги»;
- трассирование по кратчайшему по возможности направлению между заданными пунктами (воздушная линия);
- природные условия района проложения трассы;
- ситуационные особенности района проектирования;
- варианты пересечения крупных водотоков;
- требования по обеспечению удобства и безопасности движения, а также ландшафтного проектирования лесохозяйственных дорог.

В модуле ТИМ КРЕДО ПРОЕКТИРОВАНИЕ существуют два метода трассирования: полигональное трассирование и метод «гибкой линейки».

Проектирование плана трассы ведется с помощью полигонального трассирования. При использовании этого метода на топографической карте строят полигон – ломаный магистральный ход. В его изломы вписывают круговые кривые или круговые кривые с переходными кривыми.

Для освоения методов проектирования плана трассы в модуле ТИМ КРЕДО ПРОЕКТИРОВАНИЕ предлагается выполнить типовое задание, которое включает в себя следующие задачи:

- создание нового проекта, подготовка к работе;
- создание плана трассы методом полигонального трассирования;
- расчет ведомости углов поворота, прямых и кривых;
- редактирование параметров трассы.

Исходные данные: в качестве исходных данных для выполнения лабораторной работы необходим Набор Проектов, содержащий цифровую модель местности.

При проектировании трассы по принципу полигонального трассирования в первую очередь необходимо определить опорные точки магистрального хода (НТ, ВУП, КТ). Вторым этапом проектирования заключается в построении ломаной линии.

Виды команд для построения трассы приведены на рис. 1.

Укажите курсором точку начала трассы (НТ), т. е. нажмите левую клавишу мыши в месте предполагаемого начала трассы. На экране появится луч (*Тип звена – L-прямая*), который приведен на рис. 3, разверните его в нужном направлении и укажите курсором вторую точку вершины угла поворота (ВУП).

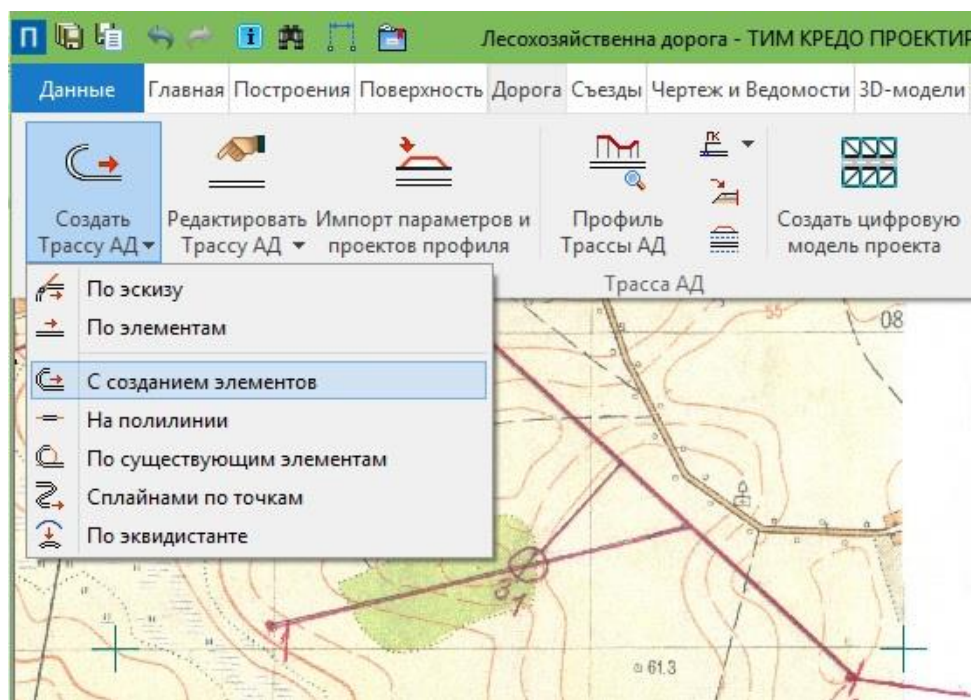


Рисунок 1 – Вид команды Создать трассу АД / С созданием элементов

При необходимости редактирования длины или направления линии *Азимут Az* в окне *Параметры* выберите *Тип звена – E-редактирование*, уточните их значения. Вид команды редактирования прямой *Тип звена – E-редактирование* представлен на рис. 2 и 3.

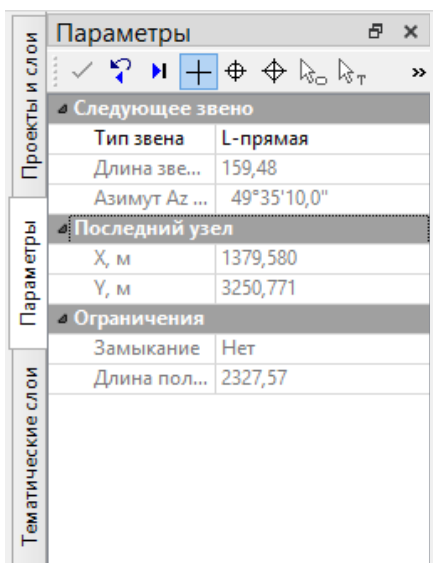


Рисунок 2 – Вид команды построения прямой Тип звена – L-прямая

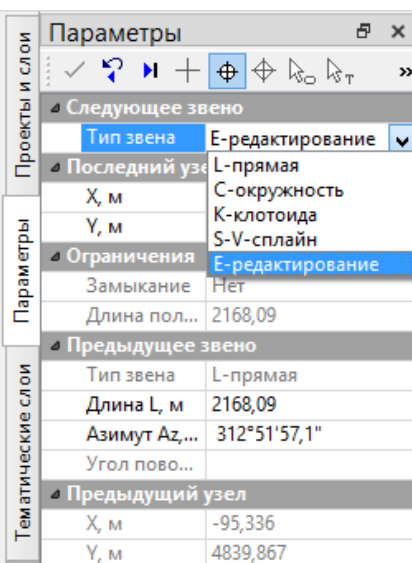


Рисунок 3 – Вид команды редактирования прямой Тип звена – E-редактирование

Затем изменяем на *Тип звена – L-прямая* и указываем следующую точку вершины угла поворота (ВУП). После окончания построения трассы в окне *Параметры* нажмите команду *Последний элемент построения*.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лыщик П.А., Бавбель Е.И., Науменко А.И. Проектирование лесохозяйственных дорог, терминалов и площадок на базе программного комплекса CREDO. Лабораторный практикум : учеб.-метод. пособие для студентов 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)») / П. А. Лыщик, Е. И. Бавбель, А. И. Науменко. – Минск : БГТУ, 2024. – 160 с.

2. Бавбель Е.И., Лыщик П.А., Науменко А.И. Использование новой версии программ ТИМ КРЕДО при проектировании лесных автомобильных дорог: В сборнике: Лесная инженерия, материаловедение и дизайн. Материалы 88-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием). Отв. за изд. И.В. Войтов. Минск, 2024. С. 73-75.

Е.И. Бавбель, ст. преп., канд. техн. наук;  
А.И. Науменко, доц., канд. техн. наук;  
К. В. Воронова, студ.  
(БГТУ, г. Минск)

## МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА В ПРОГРАММЕ ТИМ КРЕДО ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Рельеф местности оказывает большое влияние на жизнедеятельность человека. При проектировании и строительстве любых объектов необходимо учитывать характер рельефа местности. Любое проектирование производится с помощью топографических карт или с использованием цифровых моделей местности [1].

Рельеф местности является важнейшим элементом содержания топографических карт, подробному и достаточно точному изображению его придается большое значение. Несмотря на кажущееся многообразие неровностей земной поверхности, рельеф любого места можно расчленить на пять основных форм (рис. 1).

1. *Гора, холм* – возвышенность на местности (конусообразная форма рельефа). Наивысшая точка ее называется вершиной. Боковая поверхность горы (холма) состоит из скатов. Линия слияния их с окружающей местностью называется подошвой, или основанием горы. Иногда на скате горы имеется площадка, именуемая уступом.

2. *Котловина (впадина)* – форма рельефа, противоположная горе и представляющая собой замкнутое углубление (самая низкая точка, дно). Боковая поверхность ее состоит из скатов, линия их слияния с окружающей местностью называется бровкой.

3. *Хребет* – возвышенность, вытянутая и постепенно понижающаяся в каком-либо направлении. Хребет имеет два ската, в верхней части хребта они сливаются, образуя водораздельную линию, или водораздел.

4. *Лощина* – форма рельефа, противоположная хребту и представляющая собой вытянутое в каком-либо направлении и открытое с одного конца постепенно понижающееся углубление. Два ската лощины, сливаясь между собой в самой низкой части ее, образуют водосливную линию, или тальвег, по которой стекает вода, попадающая на скаты, образуя часто ручьи или реки.

5. *Седловина* – это место, которое образуется при слиянии скатов двух соседних гор или водоразделов двух хребтов. От седловины берут начало две лощины, распространяющиеся в противоположных направлениях.

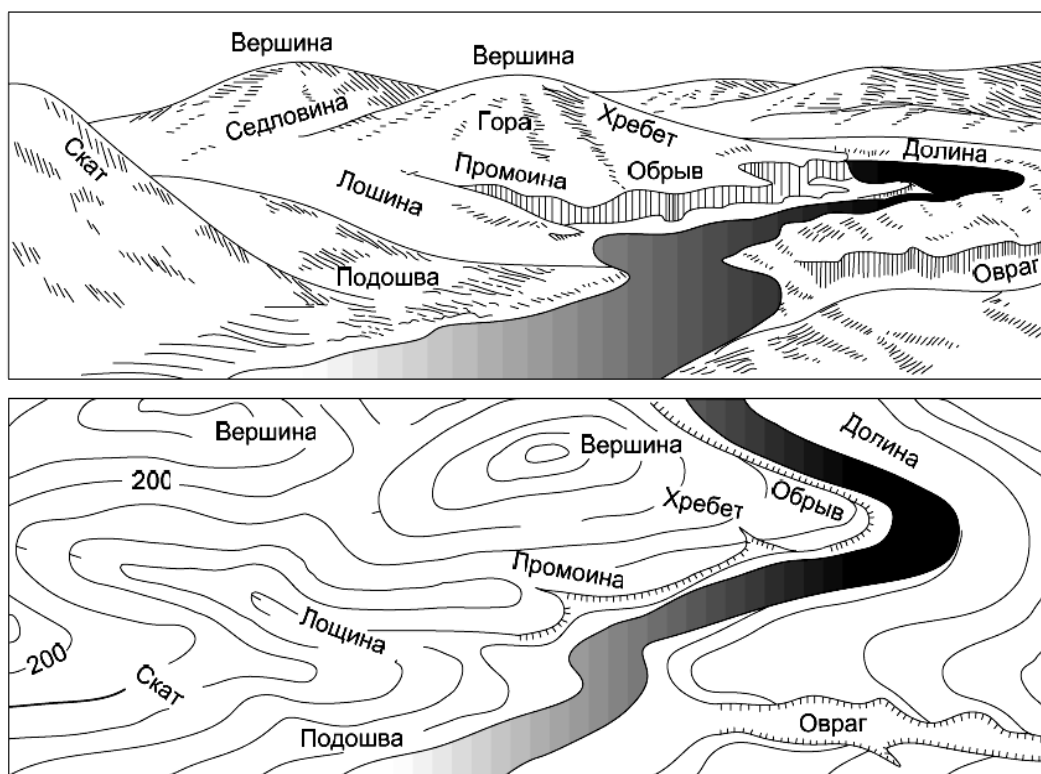


Рисунок 1 – Рельеф местности и различные его элементы (вверху – трехмерный вид; внизу – те же элементы на карте)

При изысканиях и проектировании лесохозяйственных дорог необходимо помнить о том, что характерными точками рельефа являются вершины гор и дно котловин (самая низкая точка – седловины), а характерными линиями (структурными линиями) рельефа – водораздел хребта и водослив лощины.

В системе ТИМ КРЕДО проектирование транспортных сооружений ведется на основе цифровой модели местности (ЦММ). Вся последующая информация для проектирования (продольный профиль по оси дороги, поперечные профили земли, геологические разрезы и т. д.) получают с использованием цифровых моделей местности.

**Цифровая модель рельефа (ЦМР)** – средство цифрового представления трехмерных пространственных объектов (поверхностей, рельефа). В модуле ТИМ КРЕДО ПРОЕКТИРОВАНИЕ таким представлением является нерегулярная сеть треугольников (триангуляция Делоне), построенная с учетом дополнительных условий, накладываемых используемыми структурными линиями на поле точек, которые имеют пространственные координаты и высоту.

Алгоритм формирования ЦМР использует информацию о точках (узлы, вершины), треугольниках, их ребрах (отрезки) и структурных линиях.

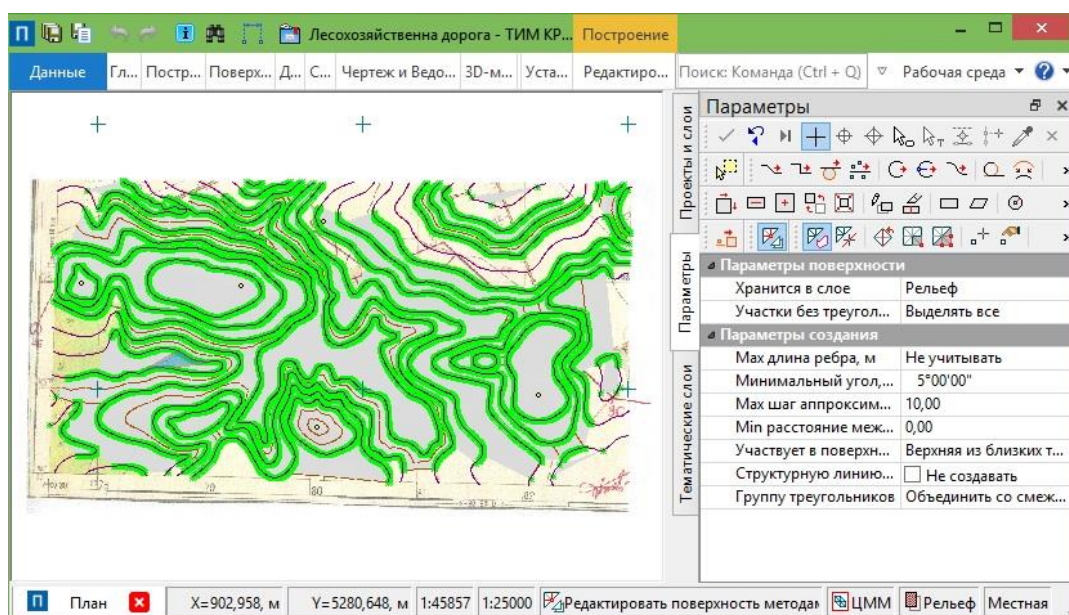


Вершинами треугольников служат *рельефные точки* – точки, имеющие три координаты:  $X, Y, Z$ .

*Треугольник* – треугольная плоская грань, построенная в процессе триангуляции на точках рельефа.

*Структурная линия* – трехмерная линия, соединяющая точки и однозначно определяющая триангуляцию участка поверхности.

В результате работы команды Создать поверхность / Создать в контуре создается поверхность методом триангуляции Делоне, пример которой приведен на рис. 2.



**Рисунок 2 – Результат работы команды Создать поверхность / Создать в контуре**

Вся информация об элементах поверхности распределена по тематическим слоям.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лыщик П.А., Бавбель Е.И., Науменко А.И. Проектирование лесохозяйственных дорог, терминалов и площадок на базе программного комплекса CREDO. Лабораторный практикум : учеб.-метод. пособие для студентов 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)») / П. А. Лыщик, Е. И. Бавбель, А. И. Науменко. – Минск : БГТУ, 2024. – 160 с.



М.Т. Насковец, доц., канд. техн. наук;  
С.В. Красковский, канд. техн. наук;  
С.П. Мохов, зав. кафедрой, канд. техн. наук  
(БГТУ, г. Минск)

## **СОСТАВЛЕНИЕ ТКП «ПОДЪЕЗДНЫЕ ПУТИ К ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫМ ДОРОГАМ. КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ УСТРОЙСТВА»**

Разработка технического кодекса установившейся практики «Подъездные пути к лесохозяйственным дорогам. Конструкции и технологии устройства» (далее – ТКП) осуществлялась в 2023–2024 гг. в рамках выполнения научно-технической программы «Зеленые технологии ресурсопользования и экобезопасности» на 2021–2025 гг.

ТКП разрабатывался с целью усовершенствования структуры, конструкции и технологии устройства подъездных путей к лесохозяйственным дорогам.

Разрабатываемая научно-исследовательская работа была направлена на создание нормативного документа, позволяющего государственным лесохозяйственным учреждениям решать задачи проезжаемости лесовозного транспорта при транспортном освоении лесного фонда. Данная актуальная проблематика лесной отрасли предполагает детальное изучение структуры лесовозной сети, в частности, конструктивно-технологическое исполнения вариантов подъездных путей к лесохозяйственным дорогам.

Основой для ТКП стал всесторонний анализ существующих конструкций и технологий устройства подъездных путей, а также разработка новых технических решений путем их совершенствования. В нем также отражены условия применения, грунтово-гидрологические факторы, влияющие на выбор технологии устройства, материалов, машин и оборудования, учтены эксплуатационные параметры.

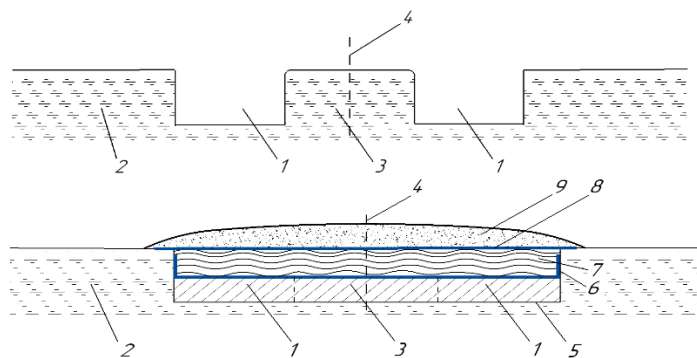
В качестве подъездных лесотранспортных путей рассматриваются нелесные земли лесного фонда, к которым относятся лесные дороги, просеки и другие транспортные пути. Для выработки направлений по совершенствованию подъездных дорог была проведена оценка их состояния, что позволило сделать вывод о низкой несущей способности данного вида транспортных путей, используемых для вывозки древесины при освоении лесного фонда.

Анализ существующих конструкций и способов устройства дорожных одежд, а также оценка работоспособности вышеприведенных подъездных путей показывают, что они, как правило, имеют конструктивный вид поперечного сечения 2-х типов. Один из них – ко-

лейный, а другой имеет корытообразную форму по всей ширине дорожного полотна.

Для повышения работоспособности таких покрытий и снижения их материалоемкости целесообразно применение в их конструкциях прослоек из геосинтетических материалов, которые, в зависимости от назначения, позволяют уменьшить объем земляных работ, снизить расход или полностью исключить применение древесины, повысить прочность и долговечность конструкций, увеличить темпы дорожного строительства и межремонтные сроки.

После образования колеи 1 в процессе эксплуатации лесной дороги, устраиваемой на основании 2 с низкой несущей способностью грунта, грунт межколеийного пространства 3 от оси дороги 4 перемещают и распределяют в колеи 2, формируют корытный профиль 5 покрытия дороги, и уплотняют по длине и ширине корытного профиля 5, далее по поверхности дороги раскатывают первую прослойку 6 из гибкого геосинтетического материала, ширина которой равна периметру корытообразного профиля 5 покрытия, и на прослойку укладывают и уплотняют хворостяную выстилку 7 из порубочных остатков, при этом процесс уплотнения осуществляют до достижения боковыми краями прослойки 6 и уплотненной хворостяной выстилки 7 верха корытного профиля 5 покрытия дороги, затем по основанию раскатывают вторую прослойку 8 из гибкого геосинтетического материала шириной равной 1, 1 ширины корытного профиля покрытия, после этого отсыпают и уплотняют материал слоя покрытия 9 (рис. 1).



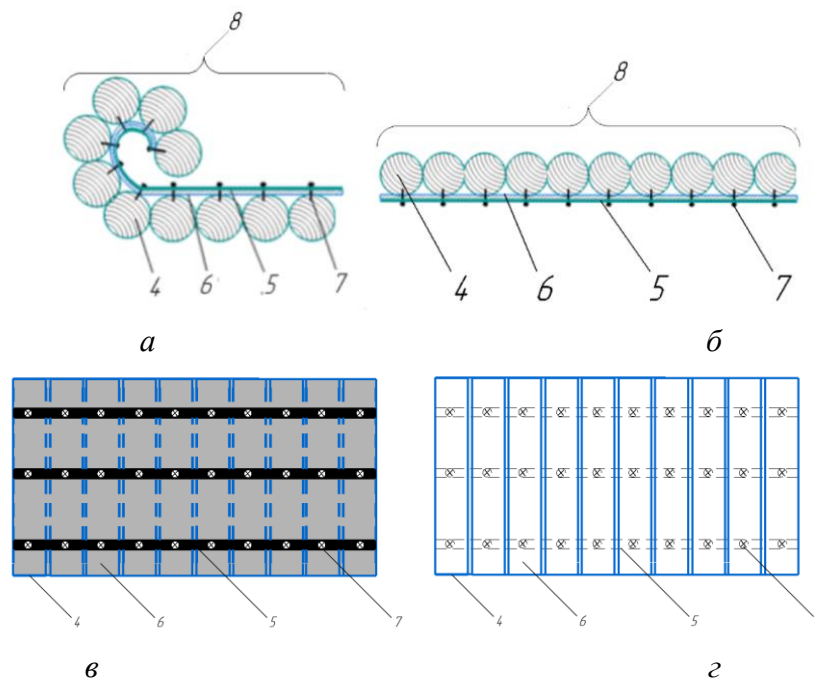
1 – колея; 2 – основание; 3 – грунт межколеийного пространства; 4 – ось дороги; 5 – корытный профиль; 6 – первая прослойка из гибкого геосинтетического материала; 7 – хворостяная выстилка; 8 – вторая прослойка из гибкого геосинтетического материала; 9 – материал слоя покрытия

**Рисунок 1 – Способ устройства лесной дороги на основаниях с низкой несущей способностью грунтов**

Предлагаемое техническое решение позволяет повысить работоспособность грунтового основания за счет обеспечения равномерной передачи колесной нагрузки от поверхности покрытия на компоненты

основания дороги и обеспечить перемешивание материалов с грунтом основания с низкой несущей способностью.

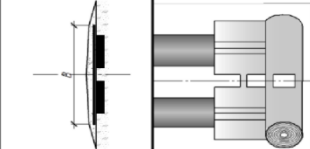
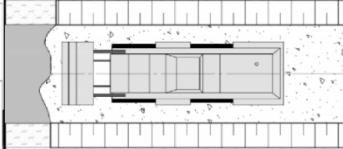
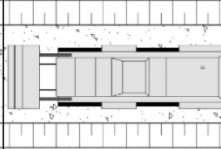

В образовавшиеся в слабом грунте основания 1 колеи 2 размещают и уплотняют до заполнения  $2/3$  глубины колеи 2 хворостяную выстилку 3. Поверх хворостяной выстилки 3 вплотную друг к другу раскладывают поперечные деревянные элементы 4 как показано на фигуре 2, по поверхности поперечных элементов 4 раскатывают полосы гибкого геосинтетического материала 5 шириной, равной ширине поперечных элементов 4 на расстоянии  $0,2$  ширины полос от краев и по центру полос располагают продольные полужесткие ленты 6, затем поперечные деревянные элементы 4 посредством крепежных элементов 7 через полужесткие ленты 6 и полосы гибкого геосинтетического материала 5 скрепляют между собой как показано на фигуре 3 с образованием секций 8, разворачивают секции 8 на  $180$  градусов относительно продольной оси колеи 1 и укладывают на хворостяную выстилку 3, после чего поверх секций 8 отсыпают песчаное покрытие 9 и уплотняют его (рис. 2).



1 – основание; 2 – колея; 3 – хворостяная выстилка; 4 – поперечные элементы;  
5 – геосинтетический материал; 6 – полужесткие ленты;  
7 – крепежные элементы; 8 – секция

**Рисунок 2 – Способ устройства многослойной дорожной одежды с покрытием колеечного типа**

Для устройства подъездных лесотранспортных путей колеечного типа разработана обобщенная технологическая карта (рис. 3).

Длина рабочей заготовки	Определяется расчетом	Определяется расчетом	Определяется расчетом
Намер операции	1	2	3
Описание технологических операций	Раскатка гео-синтетического материала	Подвозка песка, его отсыпка и профилирование покрытия	Уплотнение дорожного покрытия
Машины и механизмы, необходимые для выполнения операций	—	Фронтальный погрузчик	Фронтальный погрузчик
			

**Рисунок 3 – Типовая технологическая схема устройства покрытия колеевого типа**

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

- доставка и раскатка геоматериала по длине подъездного пути;
- подвозка, отсыпка и разравнивание грунта по поверхности прослойки;

– предварительное уплотнение (по необходимости) грунта в колеях автопогрузчиком либо автосамосвалом с целью придания прослойке предварительного натяжения или окончательная укатка слоя покрытия транспортными средствами, используемыми при выполнении дорожно-строительных работ.

Также для повышения проежаемости транспортных средств при движении по просекам, лесным дорогам и другим транспортным путям, были разработаны конструкции и технологии устройства на них дорожных одежд с геопрослойками, укладываемыми по всей ширине подъездного пути. При этом были предложены различные варианты размещения геопрослоек при укладке в дорожную одежду. Для данных конструкций составлена типовая технологическая схема устройства разработанных вариантов конструкций.

Для устранения негативного влияния колееобразования при глубине образовавшейся колеи более 0,3 м одним из эффективных разработанных способов является технологический прием, который заключается в частичном срезании грунта межколейного пространства и обочин с перемещением его в колеи. За счет такого перераспределения грунта основания повышается равнопрочность устраиваемой дорожной одежды.

Внедрение вариантов конструктивного исполнения дорожных одежд на объектах опытного участка проводилось на территории ГОЛХУ «Осиповичский опытный лесхоз», ГЛХУ «Логойский лесхоз», ГОЛХУ «Глубокский опытный лесхоз», «ГЛХУ «Ганцевичский лесхоз», ГОЛХУ «Сморгонский опытный лесхоз».

Структура разработанного ТКП «Подъездные пути к лесохозяйственным дорогам» следующая:

- *Область применения*
- *Нормативные ссылки*
- *Термины и определения*
- *Общие положения*
- *Конструкции*
- *Порядок реализации технологий устройства*
- *Содержание подъездных путей*
- *Организация выполнения работ*
- *Безопасность при реализации технологий устройства подъездных путей к лесохозяйственным дорогам и их содержании*
- *Ответственность за нарушение ТКП*
- *Приложения*

УДК 625.084

Н.В. Хорошун, доц., канд. экон. наук  
(СП ЗАО «МАЗ-МАН», г. Минск);

М.Т. Насковец, доц., канд. техн. наук  
(БГТУ, г. Минск)

## **НАВЕСНАЯ ТРАМБОВОЧНАЯ ВИБРАЦИОННАЯ ПЛИТА**

Наибольшая плотность грунта достигается при применении машин, обеспечивающих максимальное контактное давление на поверхность дорожного полотна. Контактные давления на протяжении всего процесса уплотнения должны быть близки к пределу прочности грунта. При превышении предела прочности могут возникнуть явления местного разупрочнения (волнообразование, выдавливание грунта в стороны и иные). При недостаточных контактных давлениях на поверхность высокая плотность не может быть достигнута при уменьшении толщины слоя дорожного полотна и увеличении числа повторно прилагаемых нагрузок.

Уплотнение грунтов осуществляется следующими наиболее часто применяемыми технологическими приемами:

1. *Укатка* самоходными или прицепными катками, которая в настоящее время является наиболее производительным и экономичным способом уплотнения земляного полотна.

2. *Трамбование* – универсальный метод уплотнения, пригодный для большинства грунтов. Трамбование применяют для уплотнения грунтов естественных оснований, при доуплотнении существующих насыпей без их разборки, в стесненных местах. Этим способом можно

уплотнять грунт слоями большой толщины за один–два прохода машины. Метод трамбования позволяет получить, плотность грунта значительно выше максимальной стандартной, уплотнять грунт при влажности выше и ниже допустимых пределов. Трамбование можно использовать для уплотнения прочных комковых грунтов, в том числе и крупнообломочных.

3. *Вибрационное уплотнение* применяют для уплотнения крупнообломочных, песчаных, несвязных и малосвязных глинистых грунтов. Пески эффективно уплотняют только вибрированием.

Как показывает практика, виброплиты применяются для уплотнения грунтов, гравийнощебеночных и других дорожно-строительных материалов в различных областях строительства. Виброплиты позволяют совместить разравнивание и уплотнение сыпучих грунтов.

Известна навесная виброплита с механическим приводом, содержащая раму, к которой крепят три секции виброплит, с установленным на средней секции эксцентриком, приводимым в действие редуктором от базового транспортного средства. При этом передача вибрации на смежные плиты осуществляется посредством клиноременной передачи [1].

К недостаткам такой конструкции следует отнести жесткое соединение плит между собой и невозможность уплотнения поверхности каждой из плит в отдельности.

Известна конструкция грунтового катка с оборудованными дополнительно двумя виброплитами, соединенными между собой жестко коромыслом с эксцентриками, приводимыми в действие гидромоторами, которые имеют возможность одновременного смещения плит вдоль рамы, перпендикулярно оси движения [2].

Недостатком такой конструкции является малая ширина захвата полосы уплотнения, а также неравномерность уплотнения.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату является виброплита, включающая основную раму с тремя независимыми секциями виброплит с эксцентриками, приводимыми в действие гидромоторами, имеющая большую ширину рабочих плит [3].

Недостатком такой конструкции является отсутствие возможности изменения ширины одновременно уплотняемой поверхности.

Нами, на основании проведенных исследований, разработана полезная модель навесной трамбовочной вибрационной плиты, которая относится к области дорожного строительства и может быть использована в качестве навесного уплотняющего оборудования для уплот-

нения связных грунтов и дорожно-строительных материалов, устраиваемых дорожных конструкций.

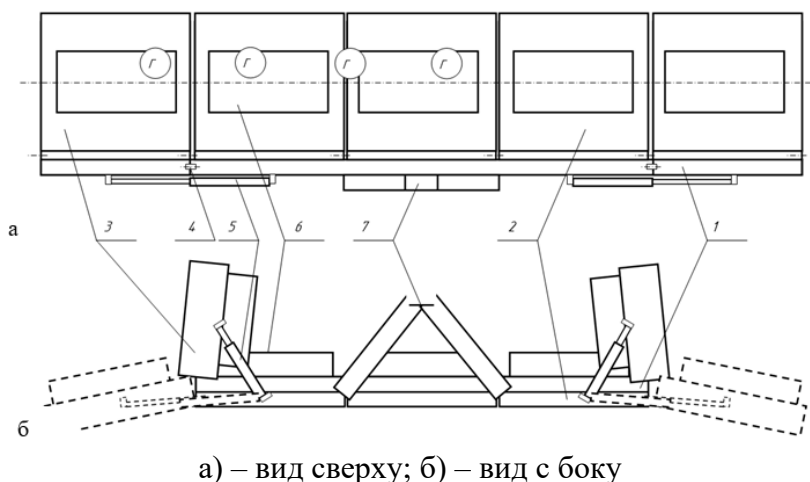
Задачей предлагаемой полезной модели является возможность регулирования ширины полосы уплотнения.

Указанная задача достигается тем, что навесная трамбовочная вибрационная плита, содержащая основную раму, три секции виброплит с возможностью привода эксцентриков гидромоторами, имеет по обеим сторонам основной рамы шарнирно установленные неравноплечие коромысла, короткие плечи которых шарнирно соединены со штоками гидроцилиндров, гильзы которых шарнирно соединены с проушинами, установленными на основной раме, а к длинным плечам коромысел шарнирно присоединены дополнительные секции виброплит с возможностью привода эксцентриков гидромоторами.

При сравнении предложенного технического решения с объектами аналогичного назначения установлено, что предложенное техническое решение обладает существенными отличиями от ранее известных устройств, аналогов и прототипа.

Навесная трамбовочная вибрационная плита содержит основную раму 1, к которой крепят три секции виброплит 2 с эксцентриками 3, приводимыми в действие гидромоторами 4. По обеим сторонам основной рамы 1, шарнирно установлены неравноплечие коромысла 5. Короткие плечи коромысел 5 шарнирно соединены со штоками 6 соответствующих гидроцилиндров, гильзы 7 которых шарнирно соединены с проушинами 8, установленными на основной раме 1. В свою очередь к длинным плечам коромысел 5 шарнирно крепятся дополнительные 9 секции виброплит с эксцентриками 3, приводимыми в действие гидромоторами 4.

Конструкция навесной трамбовочной вибрационной плиты представлена на рис.



а) – вид сверху; б) – вид с боку

**Рисунок – Навесная трамбовочная вибрационная плита**

Принцип работы полезной модели заключается в следующем. Навесная трамбовочная вибрационная плита навешивается на транспортное средство (трактор или автомобиль). Затем, посредством гидравлической системы транспортного средства, производят опускание на уплотняющую поверхность трех секций виброплит 2 с эксцентриками 3, приводимыми в действие гидромоторами 4. Далее при помощи гидроцилиндров опускают на уплотняющую поверхность дополнительные 9 секции виброплит с эксцентриками 3, приводимыми в действие гидромоторами 4.

Данное уплотняющее оборудование может найти применение на лесозаготовительных предприятиях лесного комплекса, также дорожно-строительных организациях.

Использование предполагаемой навесной трамбовочной вибрационной плиты обеспечит повышение производительности работ при уплотнении на 7-9% и снизит затраты и время выполнения до 14%.

Предположенная конструкция может выпускаться отечественными промышленными предприятиями ОАО «Амкодор» или ОАО «Минский автомобильный завод».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Виброплита навесная механическая VPN-2400 [Электронный ресурс]. – URL: <https://tehmar.ru/product/vibroplita-navesnaya-mehnicheskaya-vpm-2400> (дата обращения: 31.12.2024).

2. Грунтовый каток BOMAG BW 213 DH-4 BVC/P [Электронный ресурс]. – URL: <https://agroremmash-plus.com/ru/tekhnika-dlya-dlya-dorozhnogo-stroitelstva-agroremmash/trambovochnye-vibratsionnye-plity-stehr> (дата обращения: 31.12.2024).

3. Виброплита Stehr ЗСО 80 З ХК [Электронный ресурс]. – URL: <https://agroremmash-plus.com/ru/tekhnika-dlya-dlya-dorozhnogo-stroitelstva-agroremmash/trambovochnye-vibratsionnye-plity-stehr> (дата обращения: 31.12.2024).



М.Т. Насковец, доц., канд. техн. наук;  
В.Н. Лой, декан, канд. техн. наук;  
И.Л. Найденок, студ.  
(БГТУ, г. Минск)

## НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ КОНТЕЙНЕРОВ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ЛЕСНЫХ ГРУЗОВ

В настоящее время самым распространенным видом бесперегрузочных сообщений является система контейнерных перевозок. Идея её системы заключается в том, что груз перевозится с начального до конечного пункта в единой, грузовой емкости контейнере, который в пунктах перевалки передается с одного вида транспорта на другой. Представляя собой как бы съемный кузов автомобиля, или, вагона контейнер одновременно выполняет функцию тары и склада для груза.

Контейнеры — стандартизированные грузовые единицы, предназначенные для транспортировки различных видов товаров.

Основное назначение контейнеров заключается в обеспечении безопасной, эффективной и экономичной перевозки, а также в максимизации использования транспортных средств.

Классификация контейнеров для лесных грузов осуществляется по нескольким параметрам.

1. По размеру (рис. 1):

– 20-футовые контейнеры: широко используются для перевозки больших объемов грузов, включая лесные.

– 40-футовые контейнеры: они более вместительны и используются для больших партий грузов.



*а* *б*  
*а* – 20-футовый контейнер; *б* – 40-футовый контейнер

**Рисунок 1 – Контейнеры по длине**

2. По способу загрузки (рис. 2):

– Контейнеры с верхней загрузкой: подходят для материалов, которые невозможно загружать сбоку, например, круглых лесоматери-

алов, пиломатериалов и щепы.

– Контейнеры с боковой загрузкой: используются для легкого доступа к грузам и повышения эффективности погрузки.



*а*

*б*

*а* – контейнер с верхней загрузкой; *б* – контейнер с боковой загрузкой

**Рисунок 2 – Контейнеры по способу загрузки**

### 3. По назначению:

– Сухие контейнеры: наиболее распространенные, предназначены для общего использования. Их можно использовать для транспортировки почти любого типа лесных грузов, если они упакованы должным образом.

– Рефрижераторные контейнеры (рис. 3): применяются для перевозки товаров, требующих контроля температуры, таких как определенные виды древесины.



**Рисунок 3 – Контейнер-рефрижератор**

### 4. По жесткости конструкции (рис. 4):

– Жесткие контейнеры: используются для перевозки стабильных и тяжелых грузов, таких как пиломатериалы, круглые лесоматериалы. Эти контейнеры обеспечивают максимальную защиту.

– Гибкие контейнеры (биг-бэги): применяются для легких и сыпучих материалов, таких как древесные гранулы, щепа, пеллеты или опилки. Они обеспечивают легкость в транспортировке, но имеют меньшую защиту по сравнению с жесткими.



*а* – жесткий железнодорожный контейнер; *б* – варианты гибких контейнеров  
**Рисунок 4 – Контейнеры по жесткости конструкции**

5. По грузоподъемности контейнеры делятся на:

- легкие (до 10 тонн),
- тяжелые (от 10 до 30 тонн).

Эффективность контейнеризации лесных грузов значительно увеличивает уровень автоматизации логистических процессов и минимизирует риск повреждения лесных грузов.

На железнодорожном транспорте перевозка среднетоннажных контейнеров производится на универсальных платформах и в полувагонах. При этом не удастся использовать имеющуюся грузоподъемность вагонов (60 т), так как в них размещается либо 12 контейнеров по 3 т или 6 контейнеров по 5 т. Крупнотоннажные контейнеры также оказались недостаточно удобными. На универсальной платформе размещается 5 контейнеров по 10 т или 2 контейнера по 20 т. В связи с этим были спроектированы специальные платформы длиной 18 м с типовыми замками для крепления контейнеров за нижние угловые фитинги. На таких платформах размещается 6 контейнеров по 10 т, 3 контейнера по 20 т или 2 контейнера по 30 т (или в любой другой комбинации), что обеспечивает 100%-ное использование грузоподъемности вагонов (60 т).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Насковец, М. Т. Транспортное освоение лесов Беларуси и компоненты лесотранспорта / М. Т. Насковец. – Минск: БГТУ, 2010. – 176 с. – ISBN 978-985-530-039-8.

2. Ковалев Р. Н., Демидов Д. В., Боярский С.Н. Логистическое управление транспортными средствами: учебное пособие. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2008. – 166 с.

Д.А. Кононович, зам. начальника отдела сервиса  
(ООО «Зумлион Бел-Рус», Индустриальный парк «Великий Камень»);  
С.Е. Арико, доц., канд. техн. наук;  
С.П. Мохов, зав. кафедрой, канд. техн. наук  
(БГТУ, г. Минск)

## **ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ПОГРУЗКИ И РАЗГРУЗКИ ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ НА ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОПОРНЫХ РЕАКЦИЙ ПОД КОЛЕСАМИ МАШИНЫ ДЛЯ ИХ ТРАНСПОРТИРОВКИ**

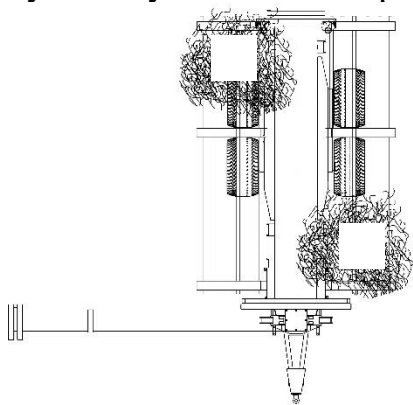
Эффективность эксплуатации машины для транспортировки лесосечных отходов во многом зависит от их объема. Его увеличения можно достичь за счет их рациональной укладки и уплотнения на грузовой платформе. При этом укладка должна осуществляться с возможностью наиболее эффективного и равномерного наполнения полуприцепа. Процесс погрузки и разгрузки лесосечных отходов связан с работой гидроманипулятора и подъемом груза на его максимальном вылете, что влияет на устойчивость полуприцепа. В связи с этим существует необходимость оценки влияния способов выполнения технологических операций с целью определения наиболее эффективных и рациональных вариантов их укладки, которые будут обеспечивать устойчивость полуприцепа и эффективное его наполнение [1, 2].

Теоретическими исследованиями установлено, что на устойчивость машины для транспортировки лесосечных отходов значительное влияние будет оказывать способ укладки и вес погружаемого материала. С учетом влияния поворота гидроманипулятора с грузом можно выделить несколько способов загрузки полуприцепа. Первый способ связан с загрузкой лесосечных отходов с открытыми гидроуправляемыми бортами, второй – с закрытыми. Погрузка первым способом предусматривает несколько вариантов укладки: диагональная укладка лесосечных отходов по краям бортов, укладка с одной стороны борта и укладка центральной части грузовой платформы.

Исследованиями, проводимыми согласно разработанной математической модели [3], установлено, что при повороте порожнего гидроманипулятора на  $90^\circ$  перераспределение величин опорных реакций между левым и правым бортами порожнего полуприцепа достигает до 44,08%, а при подъеме первой пачки весом 1 кН – до 51%. При этом величины реакций под колесами полуприцепа снижаются до 16,2 кН с грузом в грейфере гидроманипулятора и до 17,57 кН без груза.

В случае диагональной укладки лесосечных отходов и размещения первой пачки весом 1 кН на дальний угол ближайшего борта со стороны поворота гидроманипулятора устойчивость снижается на

35,20% по сравнению с расположением гидроманипулятора над грузовой платформой, а при повороте гидроманипулятора на 90° с грузом такого же веса устойчивость снижается на 40,71%. Для повышения устойчивости при таком способе загрузки рекомендуется укладку пачки начинать с противоположного по отношению к стороне погрузки борта по схеме взаимного пересечения «крест-накрест», с последующей укладкой центральной части грузовой платформы (рис. 1).



**Рисунок 1 – Схема диагональной укладки лесосечных отходов**

Повышения устойчивости полуприцепа еще до 3% можно добиться, соблюдая следующую схему укладки лесосечных отходов на грузовую платформу. Так, первая пачка должна укладываться на край борта, противоположный стороне поворота гидроманипулятора, и размещаться ближе к защитному ограждению, а вторую пачку – по диагонали на дальний край противоположного борта, ближайший к стороне поворота манипулятора. Дальнейшая погрузка осуществляется по схеме взаимного пересечения «крест-накрест», а после заполняется

центральная часть грузовой платформы.

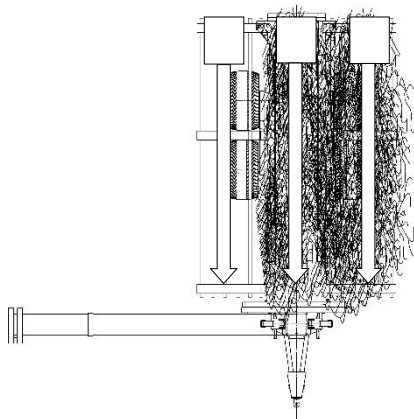
В процессе погрузки лесосечных отходов и укладки их на гидроуправляемый борт полуприцепа было установлено, что работа с аутригерами приводит к повышению устойчивости полуприцепа на 10–64% в зависимости от веса лесосечных отходов, расположенных на грузовой платформе и веса лесосечных отходов в грейфере. Это связано с тем, что работа с аутригерами изменяет геометрию опорного контура, а погруженные лесосечные отходы на гидроуправляемый борт догружают колеса полуприцепа, увеличивая отношение между восстанавливающим и опрокидывающим моментами.

Однако на практике вариант укладки лесосечных отходов с первоначальной полной загрузкой гидроуправляемого борта применяется крайне редко в связи со снижением обзорности при погрузке и увеличением высоты подъема манипулятора при погрузке последующих пачек. Аутригеры наиболее целесообразно использовать при разгрузке грузовой платформы, так как начало операции разгрузки осуществляется из центра грузовой платформы и уплотненные лесосечные отходы, цепляясь друг за друга увеличивают вес поднимаемых отходов в грейфере.

Наиболее рациональным вариантом укладки лесосечных отходов по распределению опорных реакций под колесами полуприцепа

будет являться первоначальная загрузка центральной части грузовой платформы.

Следует отметить, что погрузка должна осуществляться рядами. Укладка первого ряда должна начинаться с задней части грузовой платформы и заполняться по всей ее длине (рис. 2). Такая укладка лесосеч-



**Рисунок 2 – Схема укладки лесосечных отходов в центральной части грузовой платформы**

ных отходов приведет к дозагрузке реакций под колесами полуприцепа, что позволит на 42,50% увеличить его устойчивость при повороте гидроманипулятора на 90°. Исследованиями установлено, что второй ряд укладки лесосечных отходов должен осуществляться на гидроуправляемый борт, противоположный повороту манипулятора. Укладка также должна проводиться с задней части гидроуправляемого борта и заполняться по всей его длине. Такой вариант загрузки позволит повысить устойчивость полуприцепа при загрузке на 32,77%.

После погрузки второго ряда, третьим рядом будет являться другой гидроуправляемый борт, расположенный со стороны поворота манипулятора. Так происходит выравнивание величин опорных реакций под колесами правого и левого бортов полуприцепа, в результате повышается его устойчивость и появляется возможность обеспечивать эффективный сбор лесосечных отходов по обе стороны полуприцепа. Дальнейшая погрузка грузовой платформы повторяется согласно схеме рядов и производится до полной загрузки полуприцепа с периодическим уплотнением лесосечных отходов.

Второй способ загрузки лесосечных отходов не имеет существенных отличий от загрузки с открытыми гидроуправляемыми бортами. Основное отличие заключается в отсутствии возможности осуществлять укладку лесосечных отходов на гидроуправляемые борта. Однако такая погрузка значительно снизит рейсовую нагрузку, что приведет к падению производительности транспортировки лесосечных отходов.

Разгрузка лесосечных отходов, согласно теоретическим исследованиям, должна осуществляться в обратном порядке. Первым разгружается ряд лесосечных отходов с ближайшего гидроуправляемого борта к стороне поворота гидроманипулятора. Вторым будет являться ряд отходов, расположенный на противоположном борту к стороне

поворота гидроманипулятора. Это приведет к выравниванию величин опорных реакций под колесами полуприцепа на разгрузке лесосечных отходов. Третьей разгружается центральная часть грузовой платформы полуприцепа. При таком способе разгрузки происходят наименьшие перераспределения опорных реакций под колесами полуприцепа, что позволяет повысить устойчивость машины для транспортировки лесосечных отходов. Далее технологические приемы повторяются до полной разгрузки грузовой платформы полуприцепа.

Установлено, что с увеличением загрузки грузовой платформы лесосечными отходами до 50 кН, устойчивость полуприцепа возрастает на 46% при повороте манипулятора на 90°. Это связано с дозагрузкой опорных реакций под колесами левого и правого бортов полуприцепа машины для транспортировки лесосечных отходов. Однако по мере разгрузки грузовой платформы устойчивость полуприцепа будет снижаться, в связи с чем на разгрузке лесосечных отходов целесообразно использовать аутригеры [4].

Так, применение аутригеров на разгрузке лесосечных отходов позволит повысить устойчивость полуприцепа на 5,32% при весе отходов в полуприцепа 50 кН и повороте манипулятора на 90°, а при весе 10 кН – на 14%.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Перспективный комплекс машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов /С. П. Мохов [и др.] // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы Междунар. науч.-техн. конф., г. Минск, 26–28 апр. 2017 г. С. 178–181.

2. Леонов Е. А. Оценка влияния вида перевозимого груза на статическую загрузку погрузочно-транспортных машин // Труды БГТУ. Сер. 2, Лесная и деревообраб. пром-сть. 2010. Вып. XVIII. С. 108–111.

3. Математическая модель работы комплекса машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов / Д. А. Кононович [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобн. ресурсов. 2020. № 2. С. 192–198.

4. Кононович Д. А., Арико С. Е., Мохов С. П. Сравнительный анализ способов выполнения погрузочно-разгрузочных операций с учетом перераспределения опорных реакций машины для транспортировки лесосечных отходов // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 1 (276). С. 105–111.

УДК: 33.658

И.И. Феклистов, ген. директор, д-р экон. наук,  
проф., академик Европейской  
Академии естественных наук  
(ООО «НПО «Реинжиниринг»», г. Санкт-Петербург, Россия);  
А.А. Борозна, доц., канд. техн. наук  
(ФГБОУ ВПО СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург, Россия)

## **КАЧЕСТВО ОБРАЗОВАНИЯ - ОСНОВА УКРЕПЛЕНИЯ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА**

Научно-образовательный комплекс, выполняя учебно-научные задачи и не являясь традиционной структурой высшего учебного заведения, решает часть проблем существующего образования, подстраивая его к условиям рыночной экономики. Таким образом, традиционная факультетская и кафедральная структура в совокупности с научно-образовательным комплексом по направлениям подготовки образует новое структурное формирование и качество образования — научно-образовательный комплекс.

Еще одним отражением мировых тенденций в системе высшего образования является формирование разветвленной системы открытого образования. Упрощенно, система открытого образования — это получение тех знаний в сфере образования, которые нужны конкретному участнику процесса образования без возрастных, вступительных, временных и иных нормативно установленных ограничений, как правило, на основе дистанционного обучения с использованием средств телекоммуникаций. Такой опыт уже получил широкое распространение в США и Германии и принес новые значительные инвестиции в сферу образования. Одновременно получила свое дальнейшее распространение и расширила влияние англо-саксонская система образования, в определенной мере потеснив систему российского образования. Сегодня уже сотни западных научно-образовательных комплексов ведут часть процесса образования через Интернет. А Масачусеттский технологический институт объявил о программе, по результатам которой в течение одного-полутора лет все учебные курсы института будут выставлены для открытого доступа всем желающим в сети Интернет. Формально в системе российского классического образования нет структуры, которая бы имела прямую задачу обеспечения системы открытого образования. Косвенно необходимость формирования такой системы возникает как отражение потребности обеспечения работы филиалов, число которых выросло в последние годы как по экономическим причинам, так и по причинам противо-



действия некачественному негосударственному высшему образованию.

Интересно заметить, что создание научно-образовательных комплексов, системы открытого образования позволяет преодолеть имеющиеся негативные факторы влияния государственных образовательных стандартов на систему высшего фундаментального образования, открывая новые направления подготовки и основываясь на потребностях рынка.

Еще одним мощным стимулом создания научно-образовательных комплексов является структурная перестройка экономики РФ. Если при советской системе приоритеты научных исследований складывались из приоритетов оборонного комплекса, что обеспечивало устойчивое финансирование фундаментальных научных исследований в научно-образовательных комплексах, то после развала СССР рухнул и основной приток инвестиций в науку. Накопленный научно-технический потенциал оказался невостребованным, но в определенной мере оснащенным и идеями, и разработками. Направление этого потенциала, например, на нужды здравоохранения в сфере создания лабораторного и диагностического оборудования позволило бы найти конкретное поле применения многочисленным разработкам, первоначально предназначенным для оборонных целей. Известно, что во всех крупных научно-образовательных комплексах США имеется госпиталь или клиника в составе научно-образовательного комплекса, позволяющая находить естественное применение открытиям и изобретениям как в области фундаментального естествознания, так и в области здравоохранения. К сожалению, такой опыт в РФ единичен, да и возможен лишь в условиях борьбы межведомственных противоречий. Имеющаяся межведомственная разобщенность системы фундаментального естественнонаучного образования и системы здравоохранения, возможно, может быть преодолена в рамках научно-образовательных комплексов.

Имеются и другие очевидные причины, которые указывают на перспективность стратегического развития образования посредством создания научно-образовательных комплексов, и такое развитие можно рассматривать как магистральное в сложившихся внутренних и внешних условиях существования научно-образовательных комплексов.

Тем не менее, не следует забывать и о некоторых проблемах, порождаемых научно-образовательными комплексами. Так, формирование научно-образовательных комплексов означает появление экономических структур, включающих в сферу своей деятельности де-

сятки и даже сотни тысяч студентов, преподавателей, сотрудников интегрирующихся предприятий и учреждений. Имеющийся мировой опыт менеджмента такими системами показывает, что создание эффективно работающей системы возможно при наличии строго определенного законодательства. Существующее в России определенное своими противоречиями правовое пространство может свести на нет все преимущества идеи научно-образовательного комплекса или полностью ее дискредитировать. Так, при организации научно-образовательных комплексов, помимо межведомственного хаоса, возникает и проблема применения налогового законодательства по отношению к субъектам, входящим в состав комплекса. И даже действующее нормативно-правовое обеспечение в сфере образования может привести к проблемам при попытках создания научно-образовательных комплексов. Например, характеристика "кадровый потенциал" научно-образовательного комплекса существенно понижается при включении кадрового потенциала структур системы среднего и начального профессионального образования в состав комплекса в сравнении с чистым показателем базового научно-образовательного комплекса, имея в виду, университета.

Тем не менее, общая оценка перспектив создания научно-образовательных комплексов имеет больше положительных признаков, чем отрицательных, и, таким образом, можно заключить, что научно-образовательные комплексы отражают основные мировые тенденции как в науке, так и в образовании, являются формой самозащиты научно-образовательных комплексов в рыночной экономике и являются формой развития фундаментального гуманитарного и естественнонаучного образования.

Априорно понятно, что успешное функционирование регионального научно-образовательного комплекса может быть обеспечено посредством максимальной адаптации системы обучения к совокупности систем образования, являющихся результатом договоренности (или состоянием рынка рабочей силы) между потребителями и посредниками. Естественно, обеспечить однозначное решение данной проблемы достаточно сложно ввиду значительного количества потребителей на рынке и широкого разнообразия их целей. При этом следует стремиться к определенному компромиссу между такими значимыми характеристиками системы обучения как универсальность и специализация. Одним из методов решения данной проблемы может быть метод определения центра масс системы, широко применяемый для решения технических задач в рамках теоретической механики.

Под проектированием понимается процесс создания проекта – прототипа, прообраза предполагаемого или возможного объекта, состояния. Обычно выделяют три этапа проектирования: предварительный этап, на котором уточняются цели и исходные данные для проектирования, этап дивергенции связан с критическим восприятием действительности, разрушением стереотипов, использованием весьма широких образных сравнений, крайне далеких ассоциаций. На этом этапе возникает широкое поле различных требований к будущему объекту, этап конвергенции имеет приоритетной целью упорядочение и структуризацию области поиска, сокращение и отбор вариантов решений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Большаков, А.С. Современный менеджмент: теория и практика / А.С. Большаков. – СПб.: Питер Москва-Харьков-Минск, 2001. – 416 с.
2. Большой экономический словарь / Под ред. А.Н. Азрилияна. – 7-е изд. доп. и перераб. – М.: Институт новой экономики, 2007. – 1472 с.
3. Валдайцев, С.В. Управление инновационным бизнесом : учебное пособие для вузов по экономическим специальностям / С. В. Валдайцев. – М. : Юнити, 2001. – 343 с.
4. Виханский, О.С. Стратегическое управление : учебник / О.С. Виханский. – М.: Гардарики, 2003. – 296 с.

УДК: 630\*378.4

С.В. Посыпанов, проф., д-р, техн. наук;  
Г.В. Кудрявцев, доц., канд. техн. наук; В.А. Балякин, асп.  
(САФУ, г. Архангельск, Россия)

#### **ТЕХНОЛОГИЯ ПОГРУЗКИ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ С ДЕФИЦИТОМ ПЛАВУЧЕСТИ В БАРЖЕВЫЕ МОДУЛЬНЫЕ СОСТАВЫ**

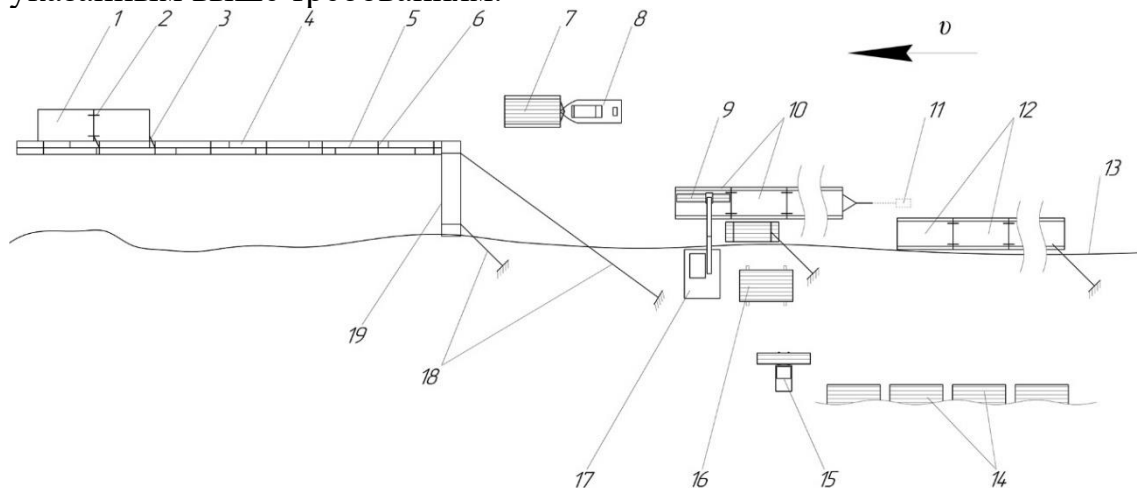
При доставке круглых лесоматериалов от лесозаготовителей до потребителей, расположенных на значительном расстоянии, наиболее экономически выгодным является водный транспорт. Согласно действующему Водному кодексу, такой транспорт в настоящее время может осуществляться в лесотранспортных единицах, в частности в плотках, или в судах. Транспорт в судах незначительно дороже, чем в плотках, при этом в судах могут доставляться лесоматериалы с дефицитом плавучести.

Специалисты считают [1], что в крупных лесных регионах для увеличения объёмов относительно дешёвых поставок лесоматериалов по воде необходимо активно использовать развитую сеть средних и малых рек. Существующие суда, в частности баржи, зачастую неприменимы на этих реках из-за больших габаритов. В таких условиях предложено использовать буксируемые судами с малой осадкой так называемые баржевые составы, состоящее из отдельных модулей – контейнеров [2, 3, 4]. Размеры составов в плане определяются количеством модулей, установленных по длине и ширине. Эти размеры зависят от условий конкретного маршрута.

Важно обеспечить возможность погрузки лесоматериалов в баржевые составы техникой лесозаготовителей непосредственно с берега. Это позволит существенно снизить, по сравнению с наиболее распространённым вариантом, предполагающим использование плавкрана, затраты на погрузку и расширить возможности в организации судовых перевозок древесного сырья.

Малые и средние реки, характеризующиеся коротким навигационным периодом и небольшими объёмами перевалки круглых лесоматериалов на пунктах погрузки, предъявляют особые требования к времени установки наплавных сооружений и их количеству.

Представленная на рис. 1 технологическая схема удовлетворяет указанным выше требованиям.



- 1 – контейнер в баржевом составе; 2 – гибкая связь; 3 – крепление контейнера к шлагу стального каната; 4 – направляющий двухбрусный пакетный бон; 5 – стальной канат; 6 – шлаг стального каната; 7 – контейнер, перемещаемый к баржевому составу; 8 – катер; 9 – пачка лесоматериалов; 10 – загрузаемый контейнер; 11 – лот; 12 – линейка пустых контейнеров; 13 – урез воды; 14 – штабели лесоматериалов; 15 – вспомогательный челюстной погрузчик; 16 – пачка лесоматериалов на погрузке; 17 – погрузчик с манипулятором; 18 – выносы; 19 – поперечный бон

**Рисунок 1 – Схема погрузки лесоматериалов в контейнеры и формирования баржевого состава**

На ней показаны погрузочный пункт и расположенный ниже по течению участок формирования баржевого состава. На участке формирования размещаются два пакетных бона, один из которых расположен перпендикулярно потоку и крепится за береговые опоры, а второй является направляющим при размещении контейнеров и располагается вдоль потока. Направляющий двухбревенный бон подвешивается к перовому на стальном канате и шлагуетя им с интервалом равным длине контейнера. В дальнейшем к шлагам крепят груженные контейнеры первой линейки баржевого состава, что позволяет передать нагрузку от контейнеров на несущий канат.

Таким образом задействовано минимальное количество наплавных сооружений. Они быстро устанавливаются и снимаются или перемещаются на другой погрузочный пункт при завершении работ, что вполне оправдано, поскольку на малых и средних реках при небольших объемах работ количество погрузочных пунктов может быть довольно большое. Такие наплавные сооружения можно быстро перемещать в пределах одного погрузочного пункта, например, при наличии длинных штабелей лесоматериалов, это позволит сократить расстояние до места погрузки, которое необходимо преодолеть вспомогательному погрузчику.

Следует отметить, что для обеспечения относительно низких временных затрат на установку, снятие и перемещение таких наплавных сооружений и для их крепления предлагается использовать мобильные опоры. При небольших нагрузках это могут быть якоря. При значительных нагрузках – другие виды мобильных опор.

Рассмотрим технологический процесс погрузки лесоматериалов в контейнеры и формирование из них баржевого состава. В начале работы выше по течению от погрузочного пункта устанавливают и крепят к берегу пустой баржевой состав. Затем от состава отделяют бортовую линейку контейнеров и катером подводят к участку погрузки. Линейка крепится лотом, за счет силы трения которого она удерживается в русле реки. При этом нижний по течению контейнер линейки располагают так, чтобы он находился в зоне работы погрузчика. Применение лота позволяет погрузчику постепенно подтаскивать линейку непосредственно к месту загрузки контейнера. Чтобы предотвратить прижимание линейки к берегу около погрузчика, устанавливается вспомогательный пучок.

На берегу в зоне погрузки размещается погрузчик манипуляторного типа и загружает лесоматериалы в контейнеры из пачки, которую формирует вспомогательный погрузчик. Использование двух погрузчиков целесообразно при наличии длинных штабелей лесоматериалов

на одном погрузочном пункте или большого расстояния от них до места погрузки.

После загрузки контейнера в зону погрузки подходит катер и отцепляет его от линейки. Оператор погрузчика манипулятором выталкивает контейнер из зоны погрузки, где его принимает катер и доставляет на участок формирования, где контейнер устанавливают в соответствующее место в баржевом составе. Для буксировки контейнер крепят на кнехт, расположенный в носовой части катера. На участке формирования контейнер крепят к шлагу несущего каната и ранее установленным контейнерам. Только после этого контейнер открепляют от кнехта и катер возвращается в зону погрузки за следующим груженым контейнером.

Экипаж катера состоит из моториста и формировщика, который выполняет все указанные выше операции.

Как только, груженный контейнер был вытолкнут погрузчиком, оператор манипулятором захватывает за торцевую поверхность следующий пустой контейнер и подтягивает его вместе с линейкой к месту погрузки и начинает загрузку следующего контейнера.

Аналогичным образом устанавливают под погрузку следующую линейку. При формировании баржевого состава контейнеры второй линейки крепятся поперечными связями к контейнерам первой.

Основная роль в данной технологической схеме отведена катеру, который выполняет доставку загруженных контейнеров к участку формирования баржевого состава и их установку в соответствующее место. Использование катера позволяет повысить скорость транспортировки контейнеров и снижает трудоемкость при формировании составов из них, в отличии, на пример, от процесса установки лесосплавных пучков в секцию плота.

Рациональным представляется вариант, при котором на протяжении всего маршрута или его отдельной части за баржевым составом закреплен один катер. В этом случае он доставляет пустой состав, который используется при погрузке и формировании состава, а затем уводит гружёный состав.

Применение данной технологии целесообразно также на озёрах и водохранилищах, где скорость течения отсутствует или очень мала.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Посыпанов, С.В. Экологически щадящая лесотранспортная эксплуатация средних и малых рек: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук: 05.21.01 / Посыпанов Сергей Валентинович; [Место защиты: Сев. (Арктический) федер. ун-т им. М.В.

Ломоносова]. - Архангельск, 2017. 343 с.

2. Кудрявцев, Г. В. Обоснование гидродинамических характеристик жестких плавучих контейнеров для транспортировки лесоматериалов с разработкой технических и технологических решений : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук : 05.21.01 / Кудрявцев Геннадий Владимирович; [Место защиты: Сев. (Арктический) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова]. - Архангельск, 2021. – 146 с.

3. Пат. 147720 U1 Российская Федерация, МПК В65D88/00 Контейнер / Суров Г.Я., Барабанов В.А., Кудрявцев Г.В., заявитель и патентообладатель САФУ – № 2014125335/12; заявл. 23.06.2014; опубл. 20.11.2014. Бюл. № 22.

4. Пат. 163715 U1 Российская Федерация, МПК В63В 35/62 (2006.01) Плот / Посыпанов С.В., Зунин Л.Н., Кудрявцев Г.В., заявитель и патентообладатель САФУ № 2016103174/11; заявл. 01.02.2016; опубл. 10.08.2016 Бюл. № 22.

УДК 630.37

И.С. Должиков, доц., канд. техн. наук  
(СПбГАСУ, г. Санкт-Петербург, Россия);

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

А.С. Швецов, нач. учебной лаборатории  
2 кафедры боевого применения авиационного вооружения  
(СВВАУЛ, г. Сызрань, Россия)

## **АКТУАЛЬНАЯ ТИПИЗАЦИЯ ПРИРОДНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЙ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО И ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА**

В СССР повышению эффективности лесозаготовительного и лесохозяйственного производства уделялось много внимания. Над этой проблемой работали десятки исследовательских институтов, конструкторских бюро, кафедр специализированных высших учебных заведений. Ведущим исследовательским институтом в те годы был Центральный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт механизации и энергетики лесной промышленности (ЦНИИМЭ), в котором в середине 80-х годов XX века была разработана Типизация природно-производственных условий лесозаготовительных районов [1].

В СССР было 2 завода, производивших гусеничные базы для различных лесных машин. Теперь их нет, но, даже несмотря на санкции, есть достаточно большой выбор колесной и гусеничной техники для лесозаготовок и лесного хозяйства [2, 3]. Причем этот выбор периодически меняется – на смену многим компаниям-производителям лесных машин и оборудования из недружественных стран приходят производители из стран глобального юга, из союзного государства.

В СССР был практически всегда гарантирован долгосрочный спрос на заготовленную древесину, по заранее известным ценам, теперь колебания рынка зачастую переводят заготовленную древесину в разряд низкотоварной [4]. Во многих лесоэкономических районах ухудшились таксационные характеристики лесных насаждений, как и качество актуальной информации о них.

Поменялась нормативная база лесозаготовительного и лесохозяйственного производства, хотя по ряду позиций не принципиально.

Постепенно, но достаточно ощутимо меняется климат, в сторону потепления, что еще более затрудняет работу на почвогрунтах III и IV категории в теплое время года [5, 6].

Исходя из принципа выделения лесоэкономических районов, при котором в том числе учитывают тяготение осваиваемых лесных массивов к рынкам сбыта и интенсивность лесопользования, природно-производственные факторы целесообразно подразделить на природные и производственно-экономические. В этих двух группах факторы целесообразно подразделять на постоянные (условно-постоянные) и переменные. Причем чем больше по площади выделяемые в одну группу лесные массивы, тем менее однозначным будет влияние этих факторов на единичную лесосеку.

Необходимо учитывать, что выделение большого количества факторов нецелесообразно, поскольку не все они являются значимыми, некоторые из них сложно оценить количественно, некоторые могут достаточно существенно меняться даже на относительно небольшой территории. Например, в [1] указано, что почвенно-грунтовые условия не следует относить к типобразующим факторам, поскольку они часто имеют мозаичное размещение по территории даже отдельных лесосек, а их несущая способность достаточно существенно меняется в течение сезона, месяца, а иногда и дня, под воздействием осадков.

Среди природных факторов к абсолютно постоянным можно отнести рельеф, к долгосрочно-постоянным (условно-постоянным) можно отнести таксационные характеристики, климат, почвенно-грунтовые условия. Во многом на постепенное изменение условно-постоянных факторов влияет потепление климата – увеличивается



прирост, а значит и расчетная лесосека, запас леса на га, может частично меняться породный состав, усиливается негативное влияние почвенно-грунтовых условий, под воздействием прежде всего хозяйственной деятельности может меняться средний объем хлыста [7, 8].

Эти факторы, во многом, будут влиять на принятие организационно-технологических решений по рубке лесных насаждений, а также выполнению других лесохозяйственных мероприятий, с учетом требований действующей нормативной документации [9].

Вся группа производственно-экономических факторов является переменной. К таким факторам можно отнести: объем востребованной на рынке (по своим размерно-качественным свойствам) спелой и перестойной древесины, тяготеющей к имеющимся транспортным путям, сезонного и круглогодичного действия; среднее расстояние вывозки заготовленной древесины автолесовозами до потребителей, или участков ее перегрузки на железнодорожный или водный транспорт. А также стоимость и среднее расстояние доставки горюче-смазочных материалов.

В современных условиях весьма важным фактором является обеспеченность рабочей силой в конкретном районе, и средние зарплатные ожидания за единицу выполненного объема работ. Наличие возможности подготовки кадров в местных учебных заведениях.

Сильно влияющими на относительную благоприятность производственно-экономических факторов, причем часто краткосрочно влияющими, будет спрос и рыночная цена на определенные виды лесопродукции (круглые лесоматериалы), которую можно определить, например, по данным биржевых торгов. Спрос местных потребителей с удалением от мест заготовки, например, до 100 км, или, например, до 25% от среднего расстояния вывозки до всех потребителей (кубикометров).

При современной экономико-политической динамике введение санкций, или повышение пошлин, вплоть до заградительных, может существенно снижать спрос на те или иные виды лесопродукции, или всю лесопродукцию, на определенный срок, что будет снижать маржинальность лесозаготовительного и лесохозяйственного производства в определенном районе, или в целом по стране, но в разной степени.

Открытие новых, или модернизация действующих деревообрабатывающих производств может увеличивать спрос на те или иные виды лесопродукции, или даже открывать новые направления спроса [10]. Например, для цветной металлургии – гасильные шесты, часто невостребованная мягколиственная древесина для древоплитных производств, и т.п.

Совокупность природных и производственно-экономических факторов будет обуславливать целесообразность использования тех или иных технологических процессов и систем машин лесозаготовительного и лесохозяйственного производства, исходя из их проходимости, воздействия на лесные экосистемы, в конкретных условиях эксплуатации, возможной и требуемой производительности.

Общую совокупность природных и производственно-экономических факторов целесообразно свести к формализованному (безразмерному) экономическому показателю – себестоимости кубометра заготовленной древесины. Приняв за единицу, например, условия Европейской равнинной части России, определив относительно нее индексы для Северного Кавказа, Урала, Западной Сибири, Восточной Сибири, и Дальнего Востока.

Такая характеристика природно-производственных условий будет служить хорошей поддержкой принятия решений в области освоения лесов для бизнеса и органов власти.

*Работа выполнена в рамках научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства». Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-16-00092, <https://rscf.ru/project/23-16-00092/>.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Типизация природно-производственных условий лесозаготовительных предприятий (Рекомендации), под. ред. Виногорова В.К. М.: Типография ХОЗУ Минлесбумпрома СССР. 1986. – 24 с.
2. Григорьева О.И., Макуев В.А., Барышникова Е.В., Бурмистрова О.Н., Швецова В.В., Григорьев И.В., Иванов В.А. Перспективы импортозамещения систем машин для искусственного лесовосстановления // Системы. Методы. Технологии. 2022. № 3 (55). С. 78-84.
3. Григорьев И.В., Григорьева О.И., Вернер Н.Н. Системы машин для создания и эксплуатации лесных плантаций // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2017. Т. 5. № 5 (31). С. 438-443.
4. Куницкая О.А., Григорьев И.В. Перспективы увеличения объемов лесозаготовки за счет низкотоварной древесины // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. Сборник научных трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции – Воронеж.: ВГЛТА, 2014. Том 2, С. 104 – 107.
5. Хитров Е.Г., Хахина А.М., Дмитриева М.Н., Песков В.Б., Григорьева О.И. Уточненная модель для оценки тягово-сцепных свойств

колесного движителя лесной машины // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2016. № 217. С. 108-119.

6. Никифорова А.И., Хитров Е.Г., Пельмский А.А., Григорьева О.И. Определение осадки при движении лесозаготовительной машины по двуслойному основанию // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2014. № 2 (139). С. 87-91.

7. Сафин Р.Р., Григорьев И.В., Григорьева О.И., Разумов Е.Ю. Технология и машины лесовосстановительных работ. Учебное пособие. М.: Деревообрабатывающая промышленность, 2015. – 230 с.

8. Григорьева О.И. Обоснование использования новых численных методов для моделирования динамики древостоев // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2009. № 189. С. 213-220.

9. Сафин Р.Р., Григорьев И.В., Григорьева О.И., Разумов Е.Ю. Основы лесного хозяйства. М.: Изд-во журнала Деревообрабатывающая промышленность, 2015. 170 с.

10. Тамби А.А., Григорьев И.В., Давтян А.Б., Помигуев А.В., Калита О.Н., Григорьев В.И. Технологическая интеграция лесопромышленных предприятий // Деревообрабатывающая промышленность. 2021. № 1. С. 26-37.

УДК 630\*36

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

И.С. Должиков, доц., канд. техн. наук  
(СПбГАСУ, г. Санкт-Петербург, Россия);

Г.Э. Рего, доц., канд. техн. наук  
(ПетрГУ, г. Петрозаводск, Россия)

### **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗРАБОТОК БЕСПИЛОТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ МАЛОГО КЛАССА ТЯГИ ДЛЯ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА**

В лесном хозяйстве большое количество технологических операций не требует использования мощных и тяжелых транспортных средств [1, 2]. Большие объемы работ в лесном хозяйстве приходится на работы в лесных питомниках и уходы за лесными культурами, что делает достаточно перспективным направление исследований по их автоматизации [3, 4]. Прежде всего, автоматизации транспортных операций [5, 6].

За 2023–2024 гг. коллективом исполнителей НИР по гранту Российского научного фонда № 23-16-00092 «Научное обоснование па-

раметров систем машин на базе средств малой механизации для малообъемного лесопользования и лесохозяйственных работ» был выполнен большой объем теоретических и экспериментальных исследований, результаты которых значительно расширили возможное проблемное поле. В частности, это касается возможности создания беспилотных транспортно-технологических средств, на базе различных двигателей. Помимо обоснования конструктивных параметров, эта большая задача требует разработки оптимальных алгоритмов перемещения таких транспортно-технологических средств в различных природно-производственных условиях. В настоящее время наиболее перспективными направлениями использования беспилотных транспортно-технологических средств на базе средств малой механизации для малообъемного лесопользования и лесохозяйственных работ представляются:

Рубки ухода за лесом, выборочные рубки спелых и перестойных насаждений малой и средней интенсивности [7], для этого предполагается разработать и протестировать алгоритм оптимальной работы (перемещения машин по лесосеке), основанный на «жадном методе».

Лесные питомники для выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой (ЗКС) и открытой коневой системой (ОКС), а также садово-парковые комплексы.

Как известно, в питомниках для выращивания посадочного материала с ЗКС необходимо перемещать поддоны с кассетами от посевных агрегатов к теплицам, из теплиц на площадки закаливания, с площадок закаливания к месту отгрузки. Также необходимо осуществлять подвозку семян, торфа, удобрений, кассе и поддонов со склада [8]. Все такие питомники электрифицированы, что делает возможным использование аккумуляторных транспортных средств. При их использовании погрузочно-разгрузочные работы, как и в настоящее время будут осуществляться вручную, поскольку поддоны с кассетами имеют небольшой вес. После погрузки/разгрузки работник питомника задает точку дальнейшего следования беспилотного транспортного средства – к посевному агрегату, в теплицу, и т. д.

В питомниках для выращивания посадочного материала с ОКС, большая часть которых также электрифицирована, что также позволяет использовать аккумуляторные беспилотные транспортные средства, они могут быть задействованы, помимо доставки семян и удобрений со склада, для подготовки почвы, посева, ухода, возможно выкопки сеянцев. В неэлектрифицированных питомниках предпочтительнее использование беспилотных транспортных средств, оснащенных двигателями внутреннего сгорания.

Для использования беспилотных транспортных средств в питомниках необходимо создать их электронную карту.

В садово-парковом хозяйстве беспилотные транспортные средства также могут быть эффективно использованы для транспортировки инструмента, удобрений, срубленной при проведении уходов древесно-кустарниковой растительности, и т.д. Для их использования в данных условиях потребуются создание электронной карты парка (сада), с дорожно-тропиночной сетью.

Поскольку большая часть садово-парковых хозяйств также электрофицирована, то из них предпочтительным является использование аккумуляторных беспилотных транспортных средств.

Предполагается разработать систему мониторинга и управления движением беспилотных платформ, используемых для ухода за растениями и перевозки материалов. Отслеживание отклонения от заданной траектории может осуществляться с использованием GPS-модулей высокой точности, инерциальных измерительных устройств (IMU), а также энкодеров для контроля расстояния и углов поворота. В случае необходимости, для развития данного направления в плане повышения точности навигации и учета сложного рельефа питомника возможно использовать LIDAR-сканеры и ультразвуковые датчики для определения расстояний до препятствий и проверки соответствия реальной траектории заранее заданному маршруту.

Сценарий работы такой системы предусматривает интеграцию компьютерного зрения для обеспечения безопасности. Камеры высокого разрешения, установленные на беспилотной платформе, анализируют окружающее пространство с использованием алгоритмов машинного обучения, способных распознавать препятствия. Если на пути беспилотной платформы появляется препятствие, система немедленно отправляет сигнал на остановку движения и уведомление оператору через беспроводной интерфейс. В сочетании с другими датчиками система обеспечит точное и безопасное передвижение беспилотной платформы даже в условиях динамически меняющейся обстановки, характерной для лесного питомника, и, особенно, садово-парковых комплексов.

Система будет основываться на использование заранее известной карты местности, что позволит автоматизировать построение маршрутов для беспилотной платформы. Оператор задает начальную и конечную точки через интерфейс управления, после чего беспилотная платформа самостоятельно прокладывает оптимальный маршрут с учетом рельефа, особенностей ландшафта и возможных препятствий. Для построения маршрута возможно использовать алгоритм A\* или его модификации, которые эффективно рассчитывают путь, минимизируя затраты времени и энергии. В процессе движения беспилотная

платформа будет сверять свое местоположение с заданным маршрутом, корректируя траекторию в случае отклонений, что обеспечивает высокую точность и надежность работы в лесных питомниках и в садово-парковых комплексах.

Такой же алгоритм возможно использовать для бирж сырья лесопромышленных складов, и деревообрабатывающих цехов.

Необходимость развития беспилотных транспортно-технологических средств на базе средств малой механизации во многом обоснована острым кадровым дефицитом в лесной отрасли [9]. Беспилотные платформы не только имеют лучшие эксплуатационные показатели, но и позволят высвободить много рабочих рук, прежде всего операторов погрузчиков, и других транспортных средств.

Достаточно важным, не до конца исследованным аспектом является технологическая (эксплуатационная) и экологическая эффективность беспилотных лесных транспортно-технологических средств. В рамках развития этого направления предполагается выполнить технологический анализ, позволяющий выйти на обоснование оптимальных параметров их технологического оборудования.

Работа выполнена в рамках научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства». Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-16-00092, <https://rscf.ru/project/23-16-00092/>.

## ЛИТЕРАТУРА

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

2. Чемшикова Ю.М., Давтян А.Б., Григорьева О.И. Транспортно-технологические системы для лесоразведения на базе гусеничных вездеходов // Транспортные и транспортно-технологические системы. Материалы Международной научно-технической конференции. Отв. редактор Н.С. Захаров. 2020. С. 400-403.

3. Сафин Р.Р., Григорьев И.В., Григорьева О.И., Разумов Е.Ю. Основы лесного хозяйства. М.: Изд-во журнала Деревообрабатывающая промышленность, 2015. - 170 с.

4. Сафин Р.Р., Григорьев И.В., Григорьева О.И., Разумов Е.Ю. Технология и машины лесовосстановительных работ. М.: Изд-во журнала Деревообрабатывающая промышленность, 2015. - 230 с.

5. Григорьева О.И., Давтян А.Б., Гринько О.И. Перспективы импортозамещения в производстве лесохозяйственных и лесопожарных машин в России // Лесозэксплуатация и комплексное использование древесины. Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. Красноярск, 2020. С. 66-69.

6. Григорьева О.И., Макуев В.А., Барышникова Е.В., Бурмистрова О.Н., Швецова В.В., Григорьев И.В., Иванов В.А. Перспективы импортозамещения систем машин для искусственного лесовосстановления // Системы. Методы. Технологии. 2022. № 3 (55). С. 78-84.

7. Григорьева О.И. Перспективные направления повышения эффективности проведения рубок ухода за лесом // Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы третьей Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2017. С. 56-58.

8. Вагвелди А., Фехер Ш., Хорват Б., Коман С., Ковач Г., Сабо Л., Цупи И., Григорьев И.В., Григорьева О.И., Данилов Д., Куницкая О.А., Криваш Е. Выращивание и эксплуатация лесных плантаций. Издательство: University of West Hungary Pres. 2016. -132 с.

9. Григорьева О.И., Григорьев И.В. Повышение эффективности кадрового обеспечения лесного комплекса Российской Федерации // Архитектура университетского образования: построение единого пространства знаний. сборник трудов IV Национальной научно-методической конференции с международным участием. 2020. С. 123-130.

УДК 67.08

Н.Л. Беляев, ИП, канд. техн. наук  
(г. Санкт-Петербург, Россия);

Е.А. Галкина, ст. преп.

(СПбГАСУ, г. Санкт-Петербург, Россия);

О.А. Куницкая, проф., д-р техн. наук

(АГАТУ, г. Якутск, Россия)

## **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ЦИФРОВОГО УЧЁТА КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ**

Дальнейшее повышение точности цифрового учёта круглых лесоматериалов несомненно является актуальнейшей задачей теории и практики лесного сообщества. Говоря о направлениях, следует сказать, что вследствие бурного развития техники, технологии и окружающего предмет исследования информационного «ландшафта», они охватывают многочисленные аспекты учёта лесоматериалов, начиная

с понятий, терминологии и составных частей, включают собственно элементы измерений и учёта во всём их многообразии, и органично затрагивают вопросы системной интеграции новейших технологий, не исключая ключевых понятий единства измерений по всем стадиям процесса от лесосеки до переработки [1, 2].

Разберём основные направления дальнейших исследований с точки зрения их перспектив и возможного влияния на совершенствование подходов и решений по повышению точности как отдельных учётных операций, так и всего процесса учёта в целом.

С целью выстраивания стройного понятийного аппарата, необходимо привести в соответствие с современным состоянием терминологии и составных частей объектов и субъектов исследования. По отношению к предмету исследования, разъяснений и дополнительных толкований требуют многие термины, понятия и определения, приходящие в лесную сферу в т.ч. из смежных наукоёмких отраслей: нейросети, блокчейн, искусственный интеллект, технологии виртуальной и дополненной реальностей, информационные системы, сканирования лесоматериалов в различных волновых диапазонах, 2D и 3D моделирования. Такие понятия как харвестер и его информационная система, базирующаяся на элементах международной системы StanForD2010, различные системы БПЛА, находящие всё более широкое применение в т.ч. и в сфере лесного учёта, переход на электронный документооборот и безбумажные технологии, рентгеновское и лидарное сканирование и моделирование на их основе, цифровые двойники – это уже реально используемые в лесной сфере примеры высоких технологий, к сожалению, пока не нашедшие достойного отражения в нормативной литературе [3-10] и вызывающие множественные и не всегда корректные толкования и разночтения в научной и профессиональной среде. В этой связи, вопрос понятий, терминов и определений являет собой отдельное направление исследовательского интереса.

Стержневым и, вероятно, одним из наиболее перспективных направлений дальнейших исследований по повышению точности учёта можно назвать новейшие методы измерений и автоматизации определения качественных показателей, а также совершенствование существующих методов, в т.ч. на новой элементной базе. К примерам таких новейших методов можно отнести автоматическое распознавание породы древесины, «беспилотное», без участия человека, автоматическое сканирование и определение объёма и качества транспортных и складских партий сортиментов, комбинированные массово-объёмные методы, и пр.

Такое развитие методов измерений и учёта само по себе создаёт вновь генерируемые массивы данных, представляющие отдельную



ценность для дальнейших исследований. Big data, большие массивы данных, в т.ч. генерируемые как новыми, так и уже давно действующими измерительно-учётными системами (харвестеры, измерительно-сортировочные линии, сканеры транспортных партий и т.п.), подвергнутые математическому анализу с использованием регрессионных моделей, позволяют выявить ранее не исследованные закономерности характера соответствия комплексных учётных показателей, принимая во внимание как размерные, так и весовые, качественные, и даже временные атрибуты учётных партий лесоматериалов для нахождения наиболее эффективных методов и инструментов учёта и повышения его точности с растущим потенциалом цифрового охвата. Примерами направлений этой ветви развития учёта можно считать проведённый авторами анализ корреляции объёмов партии из нескольких миллионов брёвен, измеренных по методу [3] и методу концевых сечений [9], выявивший значительные расхождения между этими двумя широко применяемыми методами, что создаёт риск манипуляции учётными данными в интересах той или иной заинтересованной стороны, а также анализ корреляции объёмов неокорённых брёвен и брёвен после окорки, выявивший значимое соответствие одного и другого массива данных, позволившего приблизиться к получению уточнённой модели наличия и распределения коры в зависимости от породы и диаметра, что позволяет получить уточнённый прогноз объёма брёвен без учёта коры по их неокорённым размерным показателям. Кроме того, перспективным следует считать развитие ведения учёта во множественных единицах измерений по нескольким методам измерения одновременно, приоритизируя те или иные единицы/методы в зависимости от потребностей данного производственного/операционного цикла, используя данные во вспомогательных на данный момент единицах измерения для верификации и коррекции данных по основным (приоритетным) единицам. Для примера можно привести наличие данных о количестве и среднем объёме сортимента, полученные с харвестера, позволяющее проверять и при необходимости корректировать оперативные данные геометрического сканирования/измерения штабеля на лесовозе. Другим примером полиметрического ведения учёта и направлений дальнейших исследований можно считать корреляцию объёмно-массовых показателей таких сортиментов, как балансовая древесина. Если лесозаготовительный сегмент производственного цикла традиционно ведёт учёт в кубометрах, то переработчики в своих действиях больше привыкли опираться на массовые показатели сырья, в т.ч. абсолютно сухую массу. Наличие достоверных данных о массовых (весовых) показателях планируемого к поставке сырья на всех стадиях лесобеспечения повысит эффективность и точность за-

благовременного прогнозирования многих производственных величин, включая выход конечной продукции.

Немаловажным направлением дальнейших исследований в сфере цифрового учёта сортиментов является поиск наиболее эффективных мер сведения баланса сырья на различных учётных этапах, и достижение этой цели невозможно без грамотной настройки процедуры контрольного выборочного учёта, позволяющего балансировать инвентаризационные данные в рамках заданных погрешностей, находя соответствия между различными единицами измерения и различными методами измерений в рамках каждой из используемых единиц измерения. Таким образом, в сферу исследовательских интересов попадают контрольно-измерительные процедуры с широчайшим спектром новейших измерительных технологий, включая ИИ.

Не обойтись без научных исследований и в области взаимодействия учётных информационных систем, таких, как ФГИС ЛК, таможенных, транспортных, бухгалтерских, налоговых, управленческих. Пути ускорения передачи и синхронизации необходимых данных между системами с их корректной внутрисистемной и межсистемной обработкой представляют собой одну из важных целевых задач отраслевой науки и практики.

В заключение, нельзя оставить без внимания вопросы единства измерений, опираясь на [1-12], а их решение невозможно без выстроенной нормативной базы, созданию которой должна всемерно способствовать и отраслевая наука. Как упорядочить использование различных единиц измерений в учёте круглых лесоматериалов, какие методы измерений использовать, какие из них признать основными-опорными-арбитражными, какие погрешности и методики контроля считать необходимыми и достаточными – на все эти вопросы предстоит найти ответы как на базе уже проводимых исследований, так и с помощью отдельных перспективных направлений исследований, обозначенных в данной статье.

*Работа выполнена в рамках научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства».*

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-16-00092, <https://rscf.ru/project/23-16-00092/>.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Куницкая О.А., Беляев Н.Л. Измерения и учет круглых лесоматериалов: история и перспективы развития // Вестник АГАТУ. 2023. № 1 (9). С. 58-86.
2. Куницкая О.А., Беляев Н.Л., Швецова В.В., Рудов М.Е., Григорьев В.И. Развитие цифрового учета круглых лесоматериалов // Системы. Методы. Технологии. 2022. № 2 (54). С. 55-63.

3. ГОСТ 2708-75. Лесоматериалы круглые. Таблицы объёмов.
4. ГОСТ 21524-76. Лесоматериалы круглые. Средства для линейных и объёмных измерений. Типы и основные параметры. Технические требования.
5. ГОСТ 17231-78. Лесоматериалы круглые и колотые. Методы определения влажности.
6. ГОСТ 2140-81. Видимые пороки древесины. Классификация, термины и определения, способы измерения.
7. ГОСТ 17461-84. Технология лесозаготовительной промышленности. Термины и определения.
8. ГОСТ 17462-84. Продукция лесозаготовительной промышленности. Термины и определения.
9. ГОСТ 32594-2013. Лесоматериалы круглые. Методы измерений.
10. ГОСТ 32714-2014. Лесоматериалы. Термины и определения.
11. Постановление Правительства РФ от 30.11.2021 № 2128 «О порядке определения характеристик древесины и учета древесины».
12. Федеральный закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ (ред. от 11.06.2021) «Об обеспечении единства измерений» <http://government.ru/docs/all/98785/>.

УДК 630.37

В.М. Дьяченко, асп.;  
В.А. Марков, доц., канд. техн. наук  
(СПбГУПТД, г. Санкт-Петербург, Россия);  
А.Ю. Гурьев, ассист.  
(АГАТУ, г. Якутск, Россия)

## **СРЕДОЩАДЯЩИЕ ГУСЕНИЧНЫЕ ДВИЖИТЕЛИ ЛЕСНЫХ МАШИН ДЛЯ УСЛОВИЙ КРАЙНЕГО СЕВЕРА**

Понятие Крайний Север не следует отождествлять с понятием Арктика. Географически, Арктика меньше, чем Крайний Север, и заканчивается на южной границе тундры. С точки зрения ведения коммерческого лесного хозяйства для условий Крайнего Севера основной интерес представляет зона Северной тайги.

С точки зрения экологии важной для лесного хозяйства является и лесотундровая зона (притундровые леса), которые хотя и не имеют значимых запасов деловой древесины, но играют огромную роль, как в глобальной экосистеме Земли, так и в местной. В таких лесах также необходимо своевременно и в полном объеме проводить требуемые лесохозяйственные мероприятия, что без использования различных машин – транспортных и технологических просто невозможно [1, 2].

Негативное антропогенное воздействие на экосистемы Крайнего Севера значительно быстрее приводит к критическим (необратимым) последствиям, чем такое же воздействие на экосистемы, расположенные южнее Полярного круга. При этом на деформацию почвогрунтов северных лесов, особенно лесов криолитозоны, под воздействием движителей тяжелых лесных машин, преобладающих в лесном хозяйстве и в лесозаготовительном производстве предприятий и организаций Российской Федерации, значительное влияние оказывают особенности их строения, и водно-теплового режима [3-5].

С увеличением тепловой нагрузки на сезоннопротаивающие почвогрунты происходит формирование дестабилизированных посткриогенных образований [6]. Прежде всего, такое явление можно наблюдать при быстром оттаивании льдонасыщенных грунтов промежуточного слоя, имеющих слоисто-сетчатую и атакситовую криоструктуру. При оттаивании почвогрунта со скоростью 0,2 м и более за одно лето образующиеся трещины, пустоты не успевают смыкаться под тяжестью верхнего слоя почвогрунта, и в результате возникают зоны ослабленных грунтов с другой посткриогенной структурой. А именно – зоны рыхлого грунта в сезонно-оттаивающем слое почвогрунта с пустотами и трещинами на месте вытаявших прослоек льда [7].

Лесные насаждения северной тайги, в основном, относятся к низкобонитетным (IV-V класс по хвойным породам, до III класса – по мягколиственным), дающим небольшой ежегодный прирост и небольшой выход деловой древесины. Территории северной тайги также характерны большие заболоченные площади (в основном представленные сфагновыми болотами), образование которых также связано с протаиванием слоя сезонной мерзлоты, которое происходит еще на большую глубину, нежели в лесотундровой зоне. Именно поэтому для таких природно-производственных условий наиболее предпочтительны гусеничные движители лесных машин, которые для отечественных лесных машин являются намного более привычными, чем колесные. С момента создания первого в мире специального трелевочного трактора КТ-12 отечественные лесные машины проектировались и производились, в основном, на гусеничных шасси. Не считая скиддеров на базе мощных колесных «Кировцев», которые не показали высокой надежности в лесных условиях эксплуатации, а также на базе легких колесных тракторов Липецкого тракторного завода, которые были спроектированы НПО «Силава», прошли государственные испытания, но в связи с развалом СССР в серийное производство так и не вышли.

Доминирование гусеничных движителей в отечественном лесном машиностроении связано с несколькими моментами. Прежде всего, они более просты в проектировании, изготовлении, и эксплуатации. Кроме этого, на территории лесного фонда Российской Федерации преобладают (около 60%) почвогрунты III и IV категории, на которых, в теплое время года, гусеничные машины работают значительно лучше, нежели колесные [8, 9].

Вариантов конструкций гусеничных движителей, судя по данным проанализированных литературных и электронных источников, даже больше, чем колесных. На серийных лесопромышленных гусеничных тракторах обычно устанавливаются самые простые и дешевые варианты гусениц - с последовательными открытыми металлическими (сухими) шарнирами, конструкция которых состоит из литых траков, имеющих проушины для соединительных пальцев (по принципу валотверстие). Звенья такой гусеницы последовательно соединяются друг с другом. В ряде случаев, для повышения долговечности гусеницы, могут использоваться резино-металлические шарниры. Они уменьшают трение (сталь по стали), и, соответственно, износ в шарнирах, снижают шум от перекачивания гусеницы, и облегчают переезд через препятствия. Не считая особенностей конструкции подвески, оптимизированной под природно-производственные условия леса, гусеничные движители лесных и сельскохозяйственных тракторов схожи. И тем, и другим необходимо реализовывать достаточную силу тяги, и при этом как можно меньше повреждать поверхность движения.

Для минимизации вредного уплотняющего воздействия движителя на почву, снижения интенсивности колеобразования, в последние годы в гусеничных сельскохозяйственных тракторах, в том числе отечественных, начали использовать резинометаллические (резиноармированные) гусеницы, например, собираемый в Республике Башкортостан трактор Фермер РБ-2103, а также на последних модернизациях широко распространенных промышленных тракторов ДТ-75.

Можно с уверенностью предположить, что резинометаллические гусеницы могут рассматриваться как перспективный вариант оснащения и отечественных гусеничных лесопромышленных тракторов, тем более что примеры использования таких гусениц есть у зарубежных лесных машиностроительных компаний.

Резинометаллические гусеницы конструктивно схожи с шинами колесных тракторов – в их массив завулканизированы металлические армирующие конструктивные элементы. Такая конструкция позволяет реализовывать касательную силу тяги обычным образом и при этом исключать пробуксовку движителя. Резинометаллические гусеницы

обладают высокой морозостойкостью (что весьма важно для машин, работающих в условиях Крайнего Севера), а из-за отсутствия стандартной звенчатости гусеницы они обеспечивают более повышенную скорость передвижения трактора. Кроме этого, они могут перемещаться по дорогам общего пользования, не повреждая асфальтового покрытия, что делает их столь же универсальными, как колесные тракторы, но при этом намного более средоохраняющими.

Как отмечено в [10], для выполнения лесосечных и лесохозяйственных работ также могут использоваться машины на базе гусеничных вездеходов, которые обычно, оснащаются резинометаллическими гусеницами. Это позволяет утверждать, что наиболее перспективным вариантом движителя для лесной машины, предназначенной для работы в условиях Крайнего Севера будут современные резинометаллические (резиноармированные) гусеницы.

Работа выполнена в рамках научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства». Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-16-00092, <https://rscf.ru/project/23-16-00092/>.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьев И.В., Григорьева О.И. Повышение экологической эффективности лесохозяйственного производства // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2. № 3-4 (8-4). С. 51-55.

2. Сафин Р.Р., Григорьев И.В., Григорьева О.И., Разумов Е.Ю. Основы лесного хозяйства. М.: Изд-во журнала Деревообрабатывающая промышленность, 2015. 170 с.

3. Рудов С.Е., Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Куницкая О.А., Григорьева О.И. Особенности взаимодействия трелевочной системы с оттаивающим почвогрунтом // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2019. Т. 23. № 1. С. 52-61.

4. Рудов С.Е., Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Куницкая О.А., Григорьева О.И. Вариационный метод расчета параметров взаимодействия трелевочной системы с массивом мерзлых и оттаивающих почвогрунтов // Системы. Методы. Технологии. 2019. № 1 (41). С. 68-77.

5. Рудов С.Е., Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Куницкая О.А., Григорьева О.И. Математическое моделирование процесса уплотнения мерзлого почвогрунта под воздействием лесных машин и трелевочных систем // Системы. Методы. Технологии. 2018. № 3 (39). С. 73-78.

6. Григорьев Г.В., Дмитриева И.Н., Григорьев И.В., Каляшов В.А., Рудов С.Е., Иванов В.А. Проблемы и перспективы лесозаго-

товительного производства в условиях районов распространения вечной мерзлоты // Системы. Методы. Технологии. 2021. № 3 (51). С. 59-67.

7. Каляшов В.А., Григорьев И.В., Иванов В.А., Юдилевич А.М., Бурмистрова О.Н., Охлопкова М.К., Григорьева О.И. Особенности лесных почвогрунтов криолитозоны как объекта воздействия движителей лесных машин // Системы. Методы. Технологии. 2023. № 4 (60). С. 94-101.

8. Добрецов Р.Ю., Григорьев И.В. Оценка энергоэффективности шасси гусеничных лесных машин // Транспортные и транспортно-технологические системы. материалы международной научно-технической конференции. 2017. С. 145-149.

9. Добрецов Р.Ю., Григорьев И.В., Куницкая О.А., Фам Н.Л. Адаптация принципа низкочастотного импульсного управления поворотом к трансмиссиям лесных и транспортно-тяговых гусеничных машин // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2020. № 11. С. 29-35.

10. Чемшикова Ю.М., Давтян А.Б., Григорьева О.И. Транспортно-технологические системы для лесоразведения на базе гусеничных вездеходов // Транспортные и транспортно-технологические системы. Материалы Международной научно-технической конференции. Отв. редактор Н.С. Захаров. 2020. С. 400-403.

УДК 67.08

П.В. Трушевский, директор  
(ООО «Сибирский биоуголь» г. Калуга, Россия);  
И.В. Григорьев, проф., д-р. техн. наук  
(АГАТУ, г. Якутск, Россия);  
С.А. Войнаш, мл. науч. сотр.  
(РИИ (филиал) АлтГТУ, г. Рубцовск, Россия)

## **ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОРУБОЧНЫХ ОСТАТКОВ НА НЕПОСТОЯННЫХ ЛЕСНЫХ СКЛАДАХ**

При проведении рубок леса, особенно спелых и перестойных насаждений образуется значительно количество порубочных остатков – кроновая часть деревьев, откомлевки, обломки стволов, часть из которых (не менее 10% от объема стволовой древесины при заготовке по наиболее распространенной в настоящее время скандинавской технологии заготовки древесины) может быть собрана и эффективно использована [1]. Одним из перспективных направлений эффективного использования порубочных остатков является энергетическое – получение из них тепловой и электрической энергии после предварительной обработки.

Перевозка порубочных остатков насыпью, или в виде, например, топливной щепы, на дальние расстояния экономически не выгодно. Поэтому наиболее целесообразным вариантом является использование получаемой из порубочных остатков тепловой и электрической энергии непосредственно на месте ее получения. Например, для привода мобильного деревообрабатывающего оборудования, или обогрева мобильных сушильных камер.

В работах [2-6] показано, что наиболее эффективным способом получения тепловой и электрической энергии из порубочных остатков, а также отходов основного производства лесных терминалов является их измельчение и прессование в короткоживущие брикеты, которые в дальнейшем используются в газогенераторе.

Но если объем порубочных остатков, а также отходов основного производства лесных терминалов значителен, то в ряде случаев эффективным будет производство прессованного биотоплива и в качестве готовой продукции [7, 8].

В этом случае встает вопрос оптимального выбора мобильной брикетной (пеллетной) установки, производящей продукцию товарного качества. Такие установки производятся российскими и зарубежными компаниями, в дружественных и в недружественных странах. Часть из них представлена в таблице, материалы для которой получены из презентаций представителей различных компаний-производителей, представленных на лесопромышленных конференциях и форумах последних лет.

**Таблица – Мобильные модульные брикетные и пеллетные линии**

№	Модель	Страна	Производитель	Производительность т/ч	Размеры, м*м*м	Масса, т	Установленная мощность, кВт
1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Для сухого сырья</i>							
1	Мобильный брикетный комплекс	Россия	ООО «Полимер»	до 0,4	40-фут. контейнер	н/д	250
<i>Для сырья влажностью до 30%</i>							
2	Модульная пеллетная линия, «Скарабей»	Россия	«Завод Техприбор»	до 0,5	5,75x2,8x4,7	3,1	69
3	Мобильная линия гранулирования	Китай	Whirlston	до 0,5	3,8x2,0x2,5	6,0	70



Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Для сырья естественной влажности</i>							
4	Модульный мобильный мини-завод пеллет КПГБ-С-400ТТ	Россия	ООО "Портал-Инжиниринг", ООО «СПиКо»	до 0,4	7,0x4,4x4,5	17	125
5	Модульная мобильная линия гранулирования, МЛГД8П	Россия	ООО «БТК ПолиНОМ»	до 0,8	13,7x2,4x5,6	14	125
6	Мобильная линия по производству древесных гранул модель LIT-MLG-WM-1000-2-W	Россия	ООО «ЛесИнТех»	до 1,1	40-фут. контейнер	21,5	260

В таблице приведены лишь несколько примеров мобильных модульных линий, способных быть быстро развернутыми, и выпускать прессованное биотопливо товарного качества.

К основным достоинствам таких мобильных линий принято относить: полную заводская готовность, относительно небольшие габариты и вес, компактность, мобильность, низкие капитальные вложения, относительно низкое электропотребление, небольшое время ввода в эксплуатацию (1-2 рабочие смены), минимальное необходимое количество обслуживающего персонала, что весьма важно в современных условиях работы лесозаготовительных предприятий России.

Произведенное на лесном терминале товарное биотопливо возможно реализовать в ближайшие муниципальные котельные. Топливные брикеты могут успешно, полностью или частично заменять уголь, использоваться вместо дров в печах или каминах местного населения.

Анализ технологии производства и требований к исходному сырью говорит о предпочтительности выпуска именно топливных брикетов. Они значительно проще и дешевле в производстве, по сравнению с топливными гранулами (энергопеллетами) [9]. Кроме того, в Российской Федерации спрос на энергопеллеты достаточно небольшой. Производство высококачественных пеллет (экспортных) в усло-

виях непостоянных лесных складов организовать затруднительно, и, скорее всего, нецелесообразно.

Значительно проблемой использования порубочных остатков для производства прессованного биотоплива, впрочем, как и просто при измельчении в топливную щепу, является их засоренность минеральными частицами почвогрунта. Но технически эта проблем достаточно несложно решается при помощи мобильного отбивочного барабана, аналогичного по конструкции мобильным окорочным барабанам, которые представлены на рынке (производства китайских компаний), или при помощи, например, мобильного виброгрохота.

Для того, чтобы пучки порубочных остатков помещались в отбивочное устройство целесообразно использовать небольшую раскряжевочную установку для пачковой раскряжевки, оснащенную пильной цепью. Сушка исходного измельченного сырья для производства прессованного биотоплива может производиться при помощи части измельченных порубочных остатков, по принципу известной конструкции брикетной станции завода имени Егорова. Упаковка получаемого прессованного биотоплива также больших проблем не вызывает, например, при помощи упаковочных автоматов.

*Работа выполнена в рамках научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства».*

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-16-00092, <https://rscf.ru/project/23-16-00092/>.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Трушевский П.В., Должиков И.С., Григорьев И.В., Григорьева О.И., Ревяко С.И., Баранов А.Н. Определение доступного запаса порубочных остатков на лесосеке после сплошной рубки по скандинавской технологии // Resources and Technology. 2024. Т. 21. № 3. С. 57-74.

2. Помигуев А.В., Куницкая О.А., Тихонов Е.А., Чжан С.А. Математическая модель брикетирования измельченных древесных материалов на лесных терминалах // Системы. Методы. Технологии. 2021. № 3 (51). С. 129-134.

3. Куницкая О.А., Помигуев А.В., Бурмистрова Д., Тихонов Е.А., Стородубцева Т.Н. Результаты экспериментальных выдержек брикетирования лесосечных отходов в условиях лесных терминалов // Лесотехнический журнал. 2021. Т. 11. № 3 (43). С. 109-120.

4. Куницкая О.А., Помигуев А.В., Калита Е.Г., Швецова В.В., Тихонов Е.А. Анализ газогенерирующих систем для автономного

энергоснабжения лесных терминалов // Resources and Technology. 2021. Т. 18. № 3. С. 53-76.

5. Kunickaya O., Pomiguyev A., Kruchinin I., Storodubtseva T., Voronova A., Levushkin D., Borisov V., Ivanov V. Analysis of modern wood processing techniques in timber terminals // Central European Forestry Journal. 2022. Т. 68. № 1. С. 51-59.

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

7. Григорьев В.И., Ермакова Н.А. Региональная конкурентоспособность и задачи эффективного использования лесных ресурсов Дальнего Востока // Инновационная экономика. 2021. № 4 (29). С. 53-68.

8. Григорьев В.И., Беляева Н.Б. Политико-экономические аспекты развития производства древесного биотоплива в России // Инновационные процессы в науке и технике XXI века. Материалы XVIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, ученых, педагогических работников и специалистов-практиков. Тюмень, 2020. С. 116-119.

9. Куницкая О.А., Григорьев И.В., Давтян А.Б., Григорьев В.И., Нгуен Т.Н. Техничко-экономический анализ производства биотоплива из древесины // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2020. № 12. С. 29-35.

УДК 674.07

Е.Г. Соколова, доц., канд. техн. наук  
(СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург, Россия)

## ОСОБЕННОСТИ СКЛЕИВАНИЯ ГНУТО-КЛЕЕНЫХ ЗАГОТОВОК

Производство клееных материалов сложный технологический процесс, требующий тщательного подбора материалов и соблюдения строгих параметров [1–3].

В данном случае, в качестве исходного сырья для производства гнуто-клееных заготовок был использован березовый шпон, известный своей прочностью, гибкостью и относительно невысокой стоимостью. Его выбор обусловлен оптимальным сочетанием механических свойств и способностью хорошо поддаваться гнутью.

Важным аспектом является также качество шпона. Планируемые исследования были направлены на разработку технологии производства гнуто-клееных заготовок повышенной водостойкости. Поэтому клеевой состав, обеспечивающий склеивание слоев шпона, основан на карбамидомеламинаформальдегидной смоле [4–6]. Это терморезистивная смола, образующая прочные и водостойкие клеевые соединения после отверждения.

Механизм отверждения основан на химической реакции полимеризации, катализируемой отвердителем – хлористым аммонием ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ). Концентрация хлористого аммония в клеевом составе является важным технологическим параметром, влияющим на скорость отверждения и свойства клея.

В исследовании в качестве модификатора применялся комплексный активный наполнитель. Комплексный активный наполнитель, представляющий собой легкий микронизированный порошок, обладает высокой адсорбционной способностью. В его основе лежит пирогенная двуокись кремния ( $\text{SiO}_2$ ). Это аморфная форма диоксида кремния, получаемая в результате высокотемпературного процесса газофазного синтеза. Пирогенная двуокись кремния отличается высокой пористостью и огромной удельной поверхностью, что и обуславливает её исключительные адсорбционные свойства – она способна эффективно поглощать влагу, газы и различные органические вещества. Структура её частиц напоминает разветвленные цепочки, образующие трехмерную сеть с множеством микропор. Размер этих пор варьируется в зависимости от метода синтеза и влияет на селективность адсорб-

ции. К пирогенной двуокиси кремния добавлены кремнефтористоводородная кислота ( $H_2SiF_6$ ) и фтористый алюминий ( $AlF_3$ ).

Кремнефтористоводородная кислота – это кислота, образующаяся при взаимодействии фтороводорода с кремнеземом. В данном наполнителе она играет роль модификатора, изменяющего поверхностные свойства двуокиси кремния, и участвует в образовании дополнительных активных центров адсорбции. Фтористый алюминий, в свою очередь, вносит вклад в повышение прочности структуры наполнителя и может дополнительно влиять на адсорбционные характеристики, создавая дополнительные активные центры.

Клеевые составы с использованием активного наполнителя исследовались по основным показателям: вязкость, время желатинизации, возможное время использования. Результаты представлены в табл. 1.

**Таблица 1 – Свойства изученных клеевых композиций**

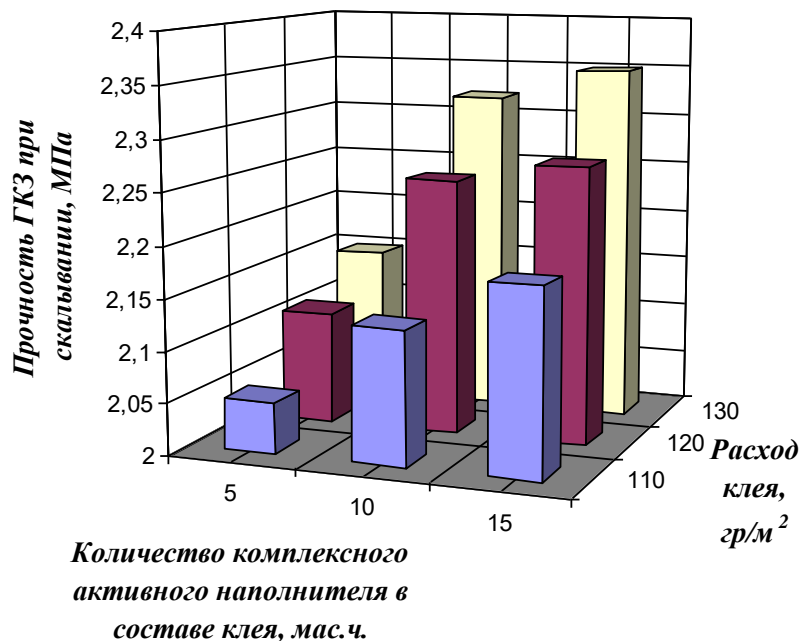
Состав композиции	Условная вязкость, с	Возможное время использования, ч	Время желатинизации при 100°С, с
МКФС – 100 мас. ч. Комп. активный наполнитель – 5–15 мас.ч. Хлористый аммоний – 1,5 мас.ч.	105–130	4–6	60–70

Параметры склеивания шпона с целью получения гнuto-клееных заготовок соответствовали ГОСТ 21178-2006 «Заготовки клееные. Технические условия». Склеивание образцов семислойных гнuto-клееных заготовок с разным расходом клея при содержании наполнителя от 5 до 15 мас.ч. проводилось в течение 5 мин. Так как изготавливались гнuto-клееные заготовки неглубокого профиля, то в качестве физико-механического показателя оценивалась прочность при скалывании по клеевому слою в сухом виде (рис.1).

По полученным данным видно, что расход клеевого состава может быть уменьшен в производственных условиях до 110 г/м<sup>2</sup> с соблюдением требуемых значений предела прочности при скалывании.

Далее были проведены исследования по изменению общего времени склеивания и времени выдержки при максимальном давлении.

В табл. 2 приведены разработанные параметры склеивания для гнuto-клееных заготовок толщиной 8 мм.



**Рисунок 1 – Зависимость предела прочности гнуто-клееных заготовок от расхода клея и количества комплексного активного наполнителя в составе клея**

**Таблица 2 – Параметры склеивания гнуто-клееных заготовок**

Толщина пакета гнуто-клееных заготовок, мм/слойность	Продолжительность горячего склеивания, мин	Продолжительность горячего склеивания при максимальном давлении	Предел прочности при скалывании, МПа
8,4/7	4,0	0,45 $t_{скл}$	2,04
	4,5		2,08
	5,0		2,15

По полученным данным можно установить возможность сокращения времени склеивания до 4 мин.

Проведенные исследования свидетельствуют о перспективности использования инновационных высокопроизводительных клеевых составов для склеивания шпона с целью производства гнуто-клееных заготовок неглубокого профиля. Дополнительные функциональные группы, добавленные в состав клеевой композиции, могут взаимодействовать с карбамидомеламиноформальдегидными смолами во время отверждения, образуя прочные структуры. Применение комплексного активного наполнителя позволяет достичь достаточной прочности при сокращенном времени склеивания.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Варанкина Г.С., Русаков Д.С., Белова О.А. Применение модифицированных шлаками карбамидоформальдегидных смол // В книге: Леса России: политика, промышленность, наука, образова-

ние. Материалы VIII Всероссийской научно-технической конференции. Санкт-Петербург, 2023. С. 729–731.

2. Варанкина Г.С., Русаков Д.С. Модификация фенолоформальдегидной смолы побочными продуктами сульфатно-целлюлозного производства // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2013 № 204 С. 130–137.

3. Русаков Д.С., Варанкина Г.С. Характеристика и свойства модификаторов карбамидо- и фенолоформальдегидных клеев // В сборнике: Технологическая независимость и конкурентоспособность Союзного Государства, стран СНГ, ЕАЭС и ШОС. Сборник статей VI Международной научно-технической конференции. В 3-х томах. Минск, 2023. С. 362–365.

4. Соколова Е.Г. Совершенствование эксплуатационных свойств и технологии фанеры повышенной водостойкости, изготовленной с применением меламинакарбамидоформальдегидных смол // Изв. С.–Петерб. лесотехн. акад. 2017. Вып. 221. С. 282–293.

5. Соколова Е.Г. Модификация фенолоформальдегидной смолы меламинакарбамидоформальдегидной смолой для склеивания фанеры // Системы. Методы. Технологии. 2018. № 2(38) С. 111–115.

6. Sokolova E.G., Varankina G.S., Rusakov D.S. Urea–melamine formaldehyde resin for the manufacture of water-resistant plywood // Polymer Science, Series D. 2022. T. 15. № 4. С. 557–561.

УДК 674.048.3

Т.В. Алехно, зав. НИЛ ОСКиМ;  
Е.В. Дубоделова, доц., канд. техн. наук; И.В. Генюш, инж.  
(БГТУ, г. Минск)

## **УСТАНОВЛЕНИЕ ПОРОГОВОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ЗАЩИТНЫХ СРЕДСТВ**

Древесина, как натуральный материал, подвержена различным внешним воздействиям, таким как влага, насекомые, грибы и ультрафиолетовое излучение. Защитная обработка древесины химическими веществами позволяет значительно увеличить ее долговечность и устойчивость к этим факторам.

Существует множество видов защитных средств, которые могут быть использованы в зависимости от условий эксплуатации древесины: антисептики – препараты, предотвращающие развитие грибов и плесени; антипирены – вещества, которые уменьшают горючесть древесины и замедляют процесс ее сгорания; гидрофобизаторы – средства, которые уменьшают впитываемость влаги древесиной, что помогает предотвратить гниение и деформацию; ультрафиолетовые филь-

тры – добавляются в состав защитных покрытий для предотвращения разрушительного воздействия солнечных лучей; импрегнация – процесс, при котором древесина пропитывается защитными составами под давлением, что обеспечивает глубокое проникновение активных веществ.

Выбор конкретного защитного средства зависит от типа древесины, условий ее эксплуатации и желаемого уровня защиты. Правильная обработка может значительно продлить срок службы древесных изделий и сохранить их эстетические качества.

Защита древесины от биологического разрушения, вызванного грибами, насекомыми и другими организмами, является важной задачей в деревообработке и строительстве. Антисептики играют ключевую роль в этом процессе.

По времени воздействия антисептики разделяют на долговременные и кратковременные.

Долговременные антисептики. Эти средства предназначены для длительной защиты древесины и могут включать в себя такие вещества, как медь, борные соединения и другие химические соединения, которые проникают в структуру древесины и обеспечивают защиту на протяжении многих лет. Они часто используются в строительстве, особенно для наружных конструкций, таких как деревянные дома, мосты и другие сооружения, подверженные воздействию влаги и микроорганизмов.

Кратковременные антисептики. Эти средства обеспечивают защиту на более короткий срок и могут использоваться, например, для обработки древесины перед ее использованием или для защиты временных конструкций. Кратковременные антисептики могут быть менее токсичными и более безопасными для окружающей среды, но требуют регулярного обновления обработки.

По растворимости антисептики делят на водорастворимые; органикорастворимые.

Водорастворимые антисептики. По числу компонентов защитные средства делят на однокомпонентные и многокомпонентные. Однокомпонентные состоят из одного химического вещества, многокомпонентные включают в свой состав два и более веществ.

Грибы являются биоразрушителями древесины. Жизнедеятельность грибов в древесине приводит к ее гниению (деструкции). Гниение проявляется не только в изменении цвета древесины, но и уменьшении объема веса, растрескивании и понижении механической прочности, так как вызывающие ее организмы используют для своего развития целлюлозу, гемицеллюлозу, лигнин и другие составные части древесины.



Можно выделить классификацию грибов, поселяющихся на срубленной древесине: плесневые грибы, деревоокрашивающие грибы, дереворазрушающие грибы.

Плесневые грибы. Это очень большая группа грибов, способных при определенных условиях поселяться на древесине и других материалах, ухудшая их товарный вид и некоторые свойства. На поверхности материалов плесневые грибы заметны в виде налетов голубого, серого, реже розового, малинового и чаще зеленого цвета.

Деревоокрашивающие грибы. Деревоокрашивающие грибы близки к грибам плесени. Они также питаются содержимым живых клеток, что вызывает понижение вязкости древесины.

Дереворазрушающие грибы. Эти грибы развиваются в условиях повышенной или переменной влажности, разрушая древесный материал иногда до полной потери прочности.

Антисептики представляют собой вещества, обладающие той или иной способностью токсичности по отношению к грибам. Их защищающая способность характеризуется пороговым поглощением, то есть количеством антисептика, которое необходимо для того, чтобы предотвратить жизнедеятельность культуры грибов на пропитанной древесине.

В соответствии с ГОСТ 16712-95. «Средства защитные для древесины. Метод испытания токсичности» пороговым является поглощение защитного средства, снижающее потерю массы древесины от воздействия *Coniophora puteana* на 95% (в 20 раз) по сравнению с потерей массы древесины, не содержащей защитное средство. Сущность метода испытания по ГОСТ 16712-95 состоит в выдерживании в течение двух месяцев на чистых культурах дереворазрушающего гриба *Coniophora puteana* образцов древесины, содержащих заданные количества защитных средств, учете потери массы древесины и определении пороговых поглощений защитных средств.

Главным недостатком данного метода является длительный срок проведения испытаний – 2 мес.

Нами разработана методика установления порогового поглощения защитных водорастворимых защитных средств.

Сущность метода определения защищающей способности антисептика состоит в измерении ширины зоны обрастания агарового блока мицелием гриба на образцах древесины, пропитанных защитным средством и установлении порогового поглощения защитного средства.

Метод основан на способности защитных средств, введенных в состав образцов древесины, ингибировать рост тест-культур гриба, в результате чего ширина зоны обрастания агарового блока мицелием

гриба на образце древесины обратно пропорциональна эффективности защитного средства и его концентрации в древесине.

Основным преимуществом данного метода является время проведения испытаний – приблизительно 5 сут.

Результаты испытания водорастворимого методикой изложенной в ГОСТ 16712-95 и методикой установления порогового поглощения защитных водорастворимых защитных средств представлены в табл.

**Таблица – Результаты испытаний**

Защитное средство для древесины	Пороговое поглощение, %	
	ГОСТ 16712-95	разработанная методика
Антисептик на основе комплексоната меди и азолов	2,39 %	2,44 %

При установлении порогового поглощения защитных водорастворимых средств для древесины по разработанной методике результаты воспроизводимы. Для возможности использования разработанной методики в аккредитованной научно-исследовательской лаборатории огнезащиты строительных конструкций и материалов необходимо пройти аттестацию методики в соответствии с Законом об обеспечении единства измерений № 3848-ХП.

УДК 747:684.4.03

Л.Ю. Дубовская, проф., канд. техн. наук  
(БГАИ, г. Минск);

Л.В. Игнатович, доц., канд. техн. наук  
(БГТУ, г. Минск)

## **ИННОВАЦИОННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В ТЕНДЕНЦИЯХ РАЗВИТИЯ ДИЗАЙНА МЕБЕЛИ: НАНОТЕХНОЛОГИИ**

В современном мире, где стремление к уникальности и функциональности играет ключевую роль, инновационные технологии становятся неотъемлемой частью мебельного дизайна. Дизайн мебели – это динамично развивающаяся область, которая отражает изменения в культуре, технологии и потребительских предпочтениях, постоянно адаптируется к меняющимся потребностям общества и технологическим достижениям. Современные тенденции в дизайне мебели направлены на интеграцию функциональности, экологичности и эстетики, что требует внедрения новых материалов и технологий.

Особую роль начинают играть нанотехнологии, открывающие новые горизонты в разработке мебельной продукции. Инновационные

направления развития дизайна мебели демонстрируют значительный сдвиг к использованию новых технологий и материалов. Экологичность, модульность и применение нанотехнологий становятся основными направлениями в этой области.

Сейчас в дизайне активно применяются такие направления как, использование умных технологий, экологически чистых материалов, модульных систем, а также эргономичных и пространственных решений. Модульные системы могут включать в себя элементы, которые легко комбинируются друг с другом, обеспечивая гибкость в использовании. Например, системы, включающие кровати, трансформирующиеся в диваны, или столы, складывающиеся в компактные панели, становятся всё более популярными. Другим примером инноваций являются технологии умной мебели. Современные системы – встроенные датчики и интеллектуальные механизмы, которые могут автоматически регулировать высоту столов, управлять освещением или даже следить за состоянием материалов. Такие функции не только добавляют удобства, но и делают мебель более энергоэффективной и удобной в повседневном использовании. С помощью интеллектуальных алгоритмов можно анализировать предпочтения пользователей выпускать мебель, которая не только соответствует современным трендам, но и придает интерьеру уникальный стиль.

В общественных зданиях, таких как офисы и образовательные учреждения, приоритетом становится эргономика и универсальность. Например, мебель для *coworking*-пространств сочетает мобильность, устойчивость и адаптивность. Гибкость использования таких решений позволяет организациям быстро переоборудовать пространства для новых задач. Исследования показывают, что эргономика мебели напрямую влияет на производительность труда, снижая утомляемость сотрудников и улучшая их общее самочувствие [1].

Современные тенденции в дизайне мебели акцентируют внимание на экологичность и устойчивом развитии. Использование переработанных материалов и древесины с сертификатом FSC (Forest Stewardship Council) позволяет снизить воздействие на окружающую среду вредных веществ. Дизайнеры всё чаще используют материалы, произведённые из отходов, таких как переработанная пластмасса или композиты на основе сельскохозяйственных остатков, а также натуральную древесину, камень и текстиль. Это не только отвечает требованиям потребителей, но и способствует сохранению окружающей среды. Использование вторичных материалов в производстве мебели помогает снизить углеродный след минимизировать отходы и перейти к циркулярной экономике, т.е. экономике замкнутого цикла – рациональ-

ном использовании ресурсов и ограничении вредного воздействия производимой продукции на окружающую среду. Особое внимание уделяется интеграции натуральных материалов с современными композитами. Например, комбинация дерева с металлическими вставками или стеклом создаёт интересные визуальные эффекты и повышает прочность изделий [2].

Инновации в области материалов играют ключевую роль в мебельной индустрии. Среди них выделяются композитные материалы, которые обеспечивают лёгкость конструкции при сохранении прочности и долговечности – панели из стеклопластика или углепластика. Их использование позволяет создавать мебель с улучшенными механическими характеристиками и меньшим весом. Биопластики и переработанные полимеры, которые относят к экологичным материалам, активно внедряются в производство. Эти материалы уменьшают загрязнение окружающей среды, так как являются биоразлагаемыми или полностью перерабатываемыми [2].

Современная мебель постоянно меняется и развивается, следуя за модными тенденциями и потребностями потребителей. Одним из главных трендов современной мебели, является применение нанотехнологий, которые позволяют создавать мебель с уникальными свойствами, такими как самоочищение, антибактериальность, терморегуляция и др. Наночастицы наносятся на поверхность мебели или вводятся в состав материалов, придавая им новые качества. Наиболее перспективным направлением является создание самовосстанавливающихся материалов – особенность нанометрового масштаба (1–100 нанометров) молекул самоорганизовываться в структуры различного функционального назначения, а также порождать структуры, себе подобные (эффект саморепликации). Эти материалы могут самостоятельно устранять мелкие царапины и изменять свои свойства в зависимости от условий окружающей среды, что увеличивает срок службы мебели. Например, разработаны покрытия, которые восстанавливают свою структуру под воздействием тепла или ультрафиолетового света. Методами, так называемого, механосинтеза, реализуются новые, не имеющие аналогов молекулярные соединения. Так, наносеребро обладает антисептическим эффектом и защищает мебель от грибков и бактерий. Нанокерамика увеличивает прочность и износостойкость мебели, а также придает ей глянцевый блеск. Все это появляется благодаря развитию нанотехнологий [3]. В контексте дизайна мебели они открывают новые возможности для улучшения свойств материалов, позволяют создавать новые эстетические решения. Например, с помощью наночастиц можно добиться эффектов глубины цвета или

блеска на поверхности мебели, что делает её более привлекательной для потребителей.

Использование новых материалов и внедрение нанотехнологий не только улучшают эксплуатационные характеристики, но и позволяют разрабатывать продукты, соответствующие современным требованиям устойчивого развития. Эти процессы подтверждают значимость научных и технологических разработок для трансформации мебельной индустрии. В будущем можно ожидать дальнейшего развития этих тенденций, что приведёт к созданию ещё более инновационных решений в дизайне мебели.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Смит, Р., и Джонсон, М. (2019). Адаптивная мебель для общественных пространств. Тенденции дизайна, 28(4), 19-30.
2. Экологическая устойчивость в дизайне мебели // <http://www.interior.ru/design/12073-ustoichivii-dizain-2020-ekologichnih-materialov.html> (дата обращения: 08.01.2025).
3. Умные материалы и их применение. Нанотехнологии сегодня // <http://postnauka.org./video/97044> (дата обращения: 08.01.2025).

УДК 684.4.05:658.512.4

В.В. Громов, асп.;  
Л.В. Игнатович, доц., канд. техн. наук  
(БГТУ, г. Минск)

### **ВОПРОСЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ РАСКРОЯ ПЛИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ КОНЦЕВЫМИ ФРЕЗАМИ**

В настоящее время на деревообрабатывающих предприятиях все интенсивнее растет доля станков с числовым программным управлением (ЧПУ). Это связано, прежде всего, с тем, что станки с ЧПУ и деревообрабатывающие центры способны полностью удовлетворить потребности производства. Данное оборудование обладает высокой производительностью и быстрой переналадкой, а это наиболее важные критерии современного производства [1].

Программирование станков с ЧПУ достаточно сложная задача, требующая сбора большого количества информации, а именно о применяемом оборудовании, его возможностях, технологическом оснащении и самое важное технологическом процессе изготовления детали. Таким образом, вопросы совершенствования автоматизированной технологической подготовки производства являются основной задачей современного производственного процесса [2]. Проектирование

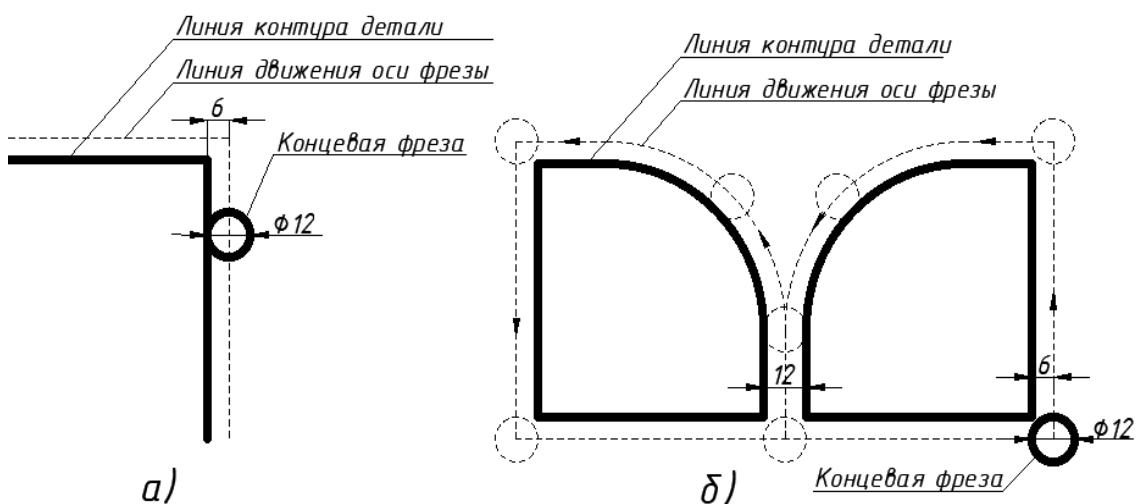
управляющих программ (УП) позволит обрабатывать (раскраивать) достаточно сложные профили деталей, уменьшить время на технологическую подготовку производства.

Рассмотрим, подробнее вопросы совершенствования автоматизированной технологической подготовки с использованием УП раскроя плитных материалов полного формата на детали различной формы концевыми фрезами относительно деревообрабатывающего центра с последующей обработкой деталей до максимальной готовности элементов, из которых собирается изделие [3].

Для эффективного использования оборудования, работающего по такой технологии, необходима автоматизированная подготовка исходных данных.

Проектирование УП для технологического оборудования с ЧПУ при раскрое плитных материалов концевыми фрезами – многоступенчатый процесс, в котором можно выделить, по крайней мере, следующие этапы.

1. Геометрическое моделирование формы и кодирование геометрии деталей (изучение чертежа детали с целью определения технологии обработки, исходя из наличия оборудования, оснастки, оправок и инструмента) (рис. 1). Геометрическое моделирование – процесс создания плоских геометрических объектов (деталей), с расположением отверстий, пазов (при их наличии) [4].



а) создание контура детали и траектории движения фрезы; б) траектория движения инструмента при обработке деталей, расположенных на карте раскроя

**Рисунок 1 – Геометрическое моделирование деталей при обработке концевой фрезой диаметром 12 мм**

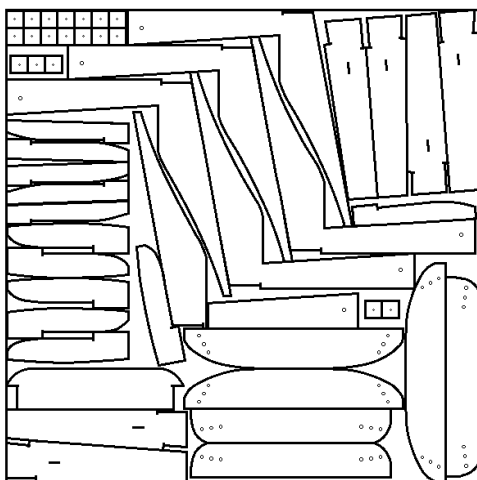
В качестве платформы для разработки может использоваться система AutoCAD, что обусловлено наличием в ней большого количества инструментальных средств для построения проблемно ориенти-

рованных модулей. Кроме этого, обеспечивается высокая совместимость с графическими данными других систем (файлы создаются в формате DXF). Это особенно актуально при создании деталей сложной геометрической формы. Далее детали могут быть переданы из САД-системы в другие САПР [5].

Кодирование геометрии – присвоение имен элементам деталей чертежа в AutoCAD (отрезки, дуги окружностей, по которым перемещается ось концевой фрезы в процессе обработки, а также окружности, соответствующие диаметрам отверстий), которые содержат информацию о выполняемой операции (фрезерование, сверление, раскрой), инструменте.

В других САПР после загрузки информации из файлов формата DXF может использоваться своя система кодирования.

2. Разработка оптимальных карт раскроя листового материала (рис. 2). В настоящее время используется различное программное обеспечение для автоматизированного формирования карт раскроя листовых материалов. После того, как программа выдаст результат, он нуждается в дальнейшей оптимизации.



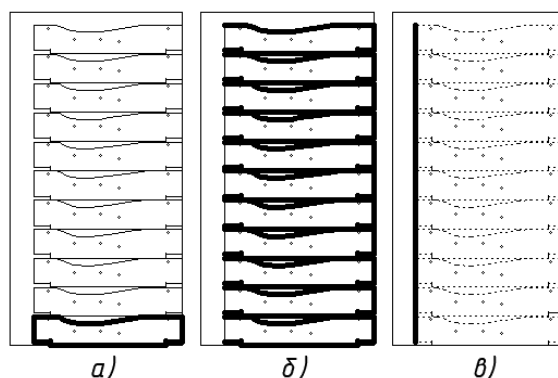
**Рисунок 2 – Пример карты раскроя плитного материала (фанера), сформированной в автоматизированной программе «WoodNest Basic» от компании HOMAG Group**

Для совершенствования автоматизированного размещения деталей на карте раскроя необходимо: иметь возможность учитывать направление текстуры (для облицованных плит); размещать мелкие детали ближе к центру листа; настроить приоритет конкретного критерия (на пример максимального значения коэффициента использования материала), который определяется технологом в зависимости от типа производства и характеристик оборудования.

Кроме этого, после формирования варианта расположения деталей иметь возможность перемещать и поворачивать их на определенный угол на карте раскроя.

3. Проектирование маршрута движения режущего инструмента по раскройной карте. Траектория режущего инструмента может быть задана таким образом, чтобы соседние детали имели общий рез (задается точка входа инструмента и направление движения инструмента).

При необходимости каждая часть УП снабжается технологическими комментариями такими как: выбор деталей, которые будут обрабатываться в первую очередь; определение последовательности их обработки, исключая возможность смещения и запилов уже обработанных деталей; возможность в первую очередь обработки пазов, углублений, отверстий, а затем контуры деталей; выбор режимов обработки и инструмента по отдельным операциям; объединение деталей в блоки, объединение линий (траектории движения фрезы), формирующие последний рез деталей в общую линию (рис. 3).



*a)* обработка последовательно каждой детали; *б)* обработка группы деталей, объединенной в блок; *в)* объединение траекторий движения инструмента в одну линию

**Рисунок 3 – Варианты обработки деталей на карте раскроя**

Это позволит не только повысить производительность оборудования, но и уменьшить количество входов фрезы в материал, что позволит увеличить срок ее службы.

4. Генерирование управляющей программы для конкретного вида станка с ЧПУ. Для этого применяется постпроцессор – программный модуль, предназначенный для преобразования управляющей траектории, сформированной CAD/CAM-системой, в управляющую программу для станка с ЧПУ [4].

Совершенствование автоматизированной технологической подготовки раскроя плитных материалов концевыми фрезами позволит сократить сроки внедрения в производство новых изделий, повысить производительность труда технологов, повысить качество подготовки



управляющих программ, а также усовершенствовать существующие технологические процессы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Киллинг, К. В. К вопросу об автоматизации технологии нестинг в мебельном производстве / К. В. Килинг, П. Ю. Бунаков // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). – М.: 2015. – № 3 (12) 2015 год. – С. 78–80.
2. Падерин, В. А. Некоторые аспекты нестинга / В. А. Падерин // Леспроминформ. – СПб.: – № 2 (92) 2013. – С. 140–142.
3. Барташевич, А. А. Конструирование мебели / А. А. Барташевич, В. И. Онегин, С. П. Трофимов, С. С. Гайдук. – М: ИНФРА-М, 2023. – 334 с.
4. Основы автоматизированного проектирования изделий и техно-логических процессов: учебник / П. Ю. Бунаков, Ю. И. Рудин, А. В. Стариков. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2007. – 193 с.
5. Батырева И. М. Автоматизация конструирования и технологической подготовки производства корпусной мебели: учеб. пособие / И.М. Батырева, П.Ю. Бунаков. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2007. – 392 с. УДК 674.048

Е.К. Лосик, асп.;  
Л.В. Игнатович, доц., канд. техн. наук  
(БГТУ, г. Минск)

### **ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ НАПОЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ**

В мире стремительно развиваются и внедряются инновационные технологии, напольные покрытия не являются исключением. Современные напольные покрытия представляют собой сочетание последних тенденций и инноваций в промышленности и дизайне. Инновации в этой области открывают новые возможности и меняют представление о том, как должен выглядеть и функционировать пол.

Инновационные технологии в производстве напольных покрытий позволяют предложить более прочные, устойчивые и эстетически привлекательные варианты. От умных полов и интерактивных покрытий до экологически чистых материалов и цифровой печати. Технологические новшества в дизайне также оказывают влияние на развитие напольных покрытий [1].

Рассмотрим, некоторые современные тенденции и виды напольных покрытий.

Ламинат. Популярный материал, отличительная особенность которого высокий уровень влагостойкости и износостойкости, обладающий антистатическими свойствами, что объясняется специальным

составом защитного слоя (акриловой или меламиновой синтетической смолы) и позволяет использовать его в помещениях с высокой проходимостью и повышенной влажностью.

По конструкции напольное покрытие из ламината, может состоять из следующих слоев: основание (основная плита) – из МДФ (обеспечивает средние значения прочности и устойчивости к деформации) или ХДФ (обеспечивают высокие прочностные характеристики); стабилизирующий слой – выполняет функцию «амортизатора», который в незначительной степени сглаживает неровности основы и поглощает кинетическую энергию при ударах. Это может быть пластик, несколько листов крафт-бумаги со специальной пропиткой, которые и обеспечивают материалу необходимую жесткость; декоративный слой – от него зависит внешний вид напольного покрытия, обеспечивает материалу его расцветку, рисунок и фактуру. Учитывая уровень развития технологий, появилась возможность «имитировать» практически любые материалы, нанося соответствующие изображения с высоким разрешением. Это может быть камень, металл и другие, не менее эстетически привлекательные решения; верхний защитный слой – прозрачное полимерное покрытие обеспечивает хорошую видимость декоративного слоя и оберегает напольное покрытие от повреждений.

Защитный слой представляет собой прочное покрытие, например, из меламиновой смолы, которое предохраняет всю конструкцию от негативного воздействия внешних факторов [2].

Ярким представителем инновационного напольного покрытия, обладающим высокими физико-механическими свойствами, является ламинат нового поколения – кварцевый ламинат SPC (Stone Plastic Composite). Кварцевый ламинат обладает высокой износостойкостью, твердостью, плотностью, поскольку сделан на основе SPC-плиты (плита на основе молотого камня кальцита), не подвержен сколам и царапинам. Срок службы такого покрытия – 25 лет. Причем без потери цвета и выгорания рисунка от солнечных лучей. SPC плитка – изготовленная из каменной основы, смешанной с винилом, для которой характерно высокое качество и сочетание в себе преимуществ нескольких покрытий одновременно – керамической плитки, ламината, паркета и линолеума.

По конструкции, может состоять из следующих слоев: основной слой (кальциево-полимерная основа высокой прочности, каменно-пластиковый слой с добавлением минеральных компонентов) – это 70% минералов, 30% ПВХ, материал не горит и не боится воды. Имеет плотность  $2000 \text{ кг/м}^3$ , что гарантирует его прочность; декоративный слой (принт), реалистично имитирующий натуральные материалы – древесину (уплотненный шпон), природный камень, текстиль и т.п.; дополнительный слой из лака – прозрачное защитное покрытие (изно-

состойкий защитный слой, UV защита) – 3 слоя акрилового лака, с сушкой под ультрафиолетовыми лампами. Для придания натурального эффекта на последнем этапе с 3-им слоем лака с помощью фактурной плёнки наносится определённая структура; стабилизирующий слой (подложка) – выполняет функцию «амортизатора» [3].

Примером инновационной технологии в мире напольных покрытий так же являются:

– Интерактивные полы. Напольные покрытия, реагирующие на прикосновения и движения. Например, такие полы могут служить интерактивной игровой площадкой для детей. Так называемая живая плитка представляет собой модульное полимерное покрытие, заполненное гелем. При соприкосновении с полом рисунок как будто оживает и меняется.

– Полы с интегрированными световыми элементами. Светодиодные ленты и панели внедряются в напольные покрытия, создавая уникальные эффекты и меняя атмосферу в помещении.

– Умные полы. Системы подогрева, контроля климата и зарядки для устройств – все это может быть встроено непосредственно в пол, делая ваш дом более комфортным и функциональным.

– Модульные системы. Модульные напольные покрытия предлагают гибкость и возможность создания уникальных дизайнерских решений. Они позволяют сочетать различные цвета, текстуры и формы для создания персонализированного интерьера.

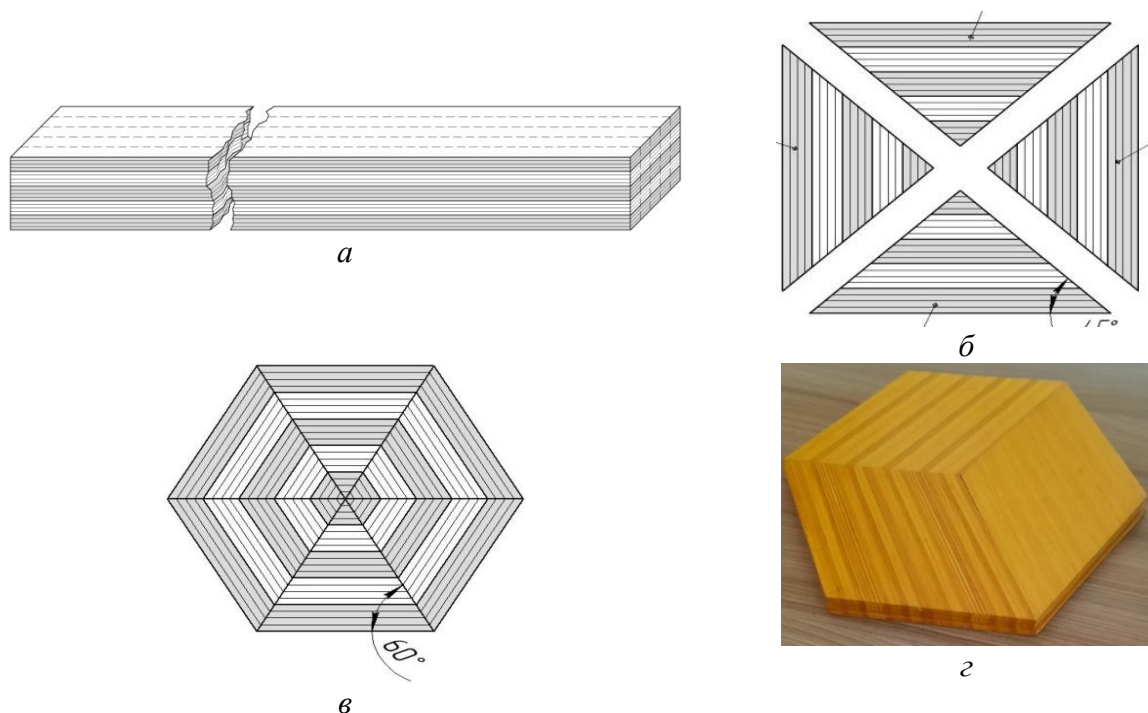
Также стоит отметить инновации в области устойчивых и экологичных напольных покрытий из древесины. Внедрение технических инноваций для создания индивидуальных решений напольных покрытий позволяют создать красивые и оригинальные интерьеры. Например, цифровая печать на паркетной доске – одна из инновационных технологий. Природная красота древесины обогащается необычным современным дизайном. Инновационная методика обеспечивает точное нанесение цвета с мельчайшим подбором нюансов.

Новое решение при изготовлении паркетных изделий может дать производство паркетных покрытий из уплотненного шпона [4].

Применяя технологию изготовления клееной фанеры, рассмотрим способ получения паркетных изделий из уплотненного лущеного шпона мягколиственных пород. Технологический процесс состоит из следующих стадий: раскря лущеного шпона мягких лиственных пород (березы, осины, ольхи) на заготовки необходимого размера; сквозного окрашивания полученных листов; сушки; уплотнения листов шпона по разработанным режимам (время прессования  $t=1$  мин., температура нагрева плит  $T=90^{\circ}\text{C}$ , давление  $P=17$  МПа); подбора листов шпона в композицию; нанесение клеевого водостойкого состава; набора листов шпона в пакеты, подпрессовки пакетов перед склеива-

нием; склеивания пакета в блок; распиливания блока на пластины; раскроя пластин на элементы щита [4]. На рисунке показан способ (конструкция) изготовления паркетного щита из уплотненного луще-ного шпона мягколиственных пород древесины шпона.

Таким образом, инновационные технологии в мире напольных покрытий, позволяют создать красивые и оригинальные интерьеры помещений, предлагают широкий выбор изделий пола с улучшенными свойствами. При использовании экологичных материалов современные технологии напольных покрытий позволяет создать качественную, эстетичную продукцию и защитить окружающую среду.



*а* – уплотненный шпон, склеенный в блок; *б* – паркетный щит четырехугольной квадратной формы; *в* – паркетный щит шестиугольной формы; *г* – элемент паркетного щита, склеенного из уплотненного лущеного шпона

**Рисунок – Конструкция паркетного щита из уплотненного лущеного шпона**

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Тенденции современных покрытий для пола <https://alpinefloor.su/useful/blog/sovremennye-napolnye-pokrytiya> (дата обращения: 10.01.2025).

2. Основные слои ламината <https://parket-step.ru/about/useful-tips/iz-kakikh-sloev-sostoit-laminat> (дата обращения: 10.01.2025).

3. SPC покрытие для пола <https://evroparket.by/news/118-spc-pokritie> (дата обращения: 10.01.2025).

4. Способ изготовления паркетного щита из шпона: пат. № 11601, МПК В 27М 3/04; Е 04F 15/04/ М.О. Невдах, Л.В. Игнатович, С.В. Лежень заявл. 18.05.2006; опубл. 28.02.2009.

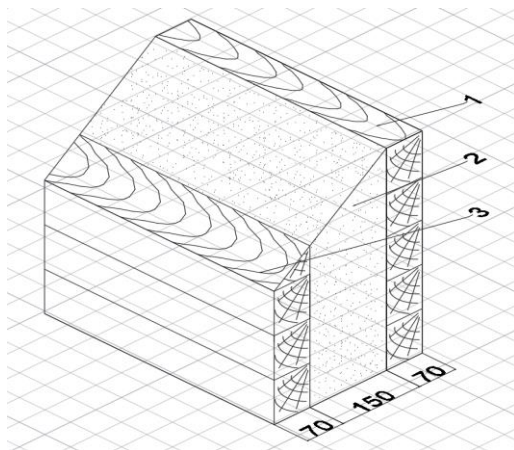
## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ СДВОЕННОГО ТИПА ДЛЯ ДЕРЕВЯННОГО ДОМОСТРОЕНИЯ

Исследовались конструкции представленной деревянной стены из двойного бруса и разработке рекомендаций по улучшению их характеристик, определению характера и схем строительных конструкций, разработке методов исследования их прочностных и теплотехнических свойств.

Деревянные ограждающие конструкции из сдвоенного бруса позволяют использовать тонкомерную древесину в качестве строительного материала.

Для оценки теплотехнических свойств панелей принято расчетное сопротивление теплопередаче  $R_t$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ . Определение этого параметра проводилось по СП 2.04.01-2020.

Конструкция стены приведена на рис. 1. Наружный слой стены – профильный деревянный брус из сосны. Теплоизоляционный слой ваты целлюлозной марки «Стандарт». Внутренний слой – профильный деревянный брус из сосны.



1 – профильный брус; 2 – вата целлюлозная марки «Стандарт»;  
3 – профильный брус

**Рисунок 1 – Стеновая панель дома**

В соответствии с табл. 5.1 СП 2.04.01-2020 расчетная температура внутреннего воздуха составляет  $18^{\circ}\text{C}$ , расчетная относительная влажность – 55%. Влажностный режим помещений в соответствии с табл. 5.2 СНБ 2.04.01-2020 – нормальный, условия эксплуатации ограждающих конструкций – Б.

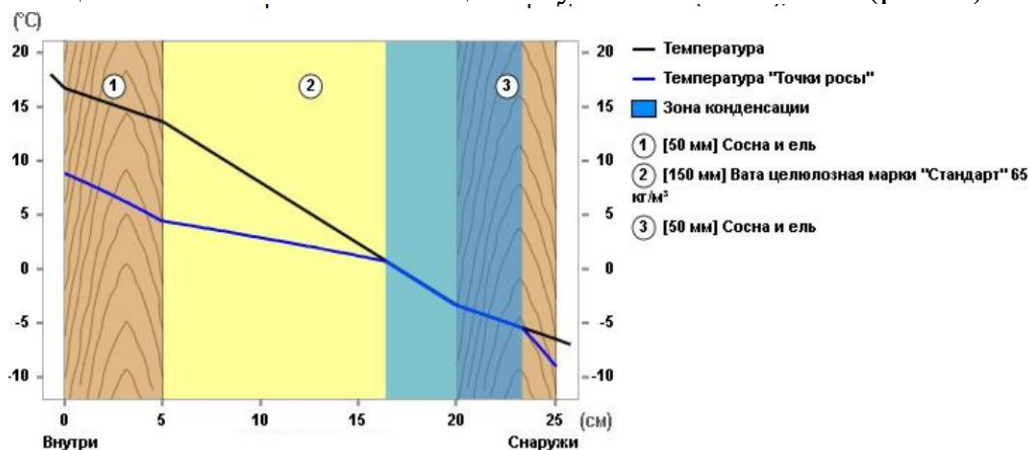
Расчетные значения коэффициентов теплопроводности  $\lambda$ , паропроницаемости  $\mu$  материалов стены приведены в табл. 1.

**Таблица 1 – Тепловые характеристики материалов**

Наименование материала	Плотность в сухом состоянии $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м·°С), при условиях эксплуатации		Коэффициент паропроницаемости $\mu$ , мг/(м·ч·Па)
		А	Б	
Пиломатериалы из древесины сосны	500	0,140	0,180	0,06
Вата целлюлозная марки «Стандарт»	65	0,079	0,099	0,21

Теплотехнических характеристик в ограждающих конструкциях рассчитывались согласно СП 2.04.01-2020.

В соответствии с приложением Е СП 2.04.01-2020 построен график образования точки росы для наихудших условий конструкции с толщиной стены 50х2 и толщиной утеплителя 150 мм (рис. 2).



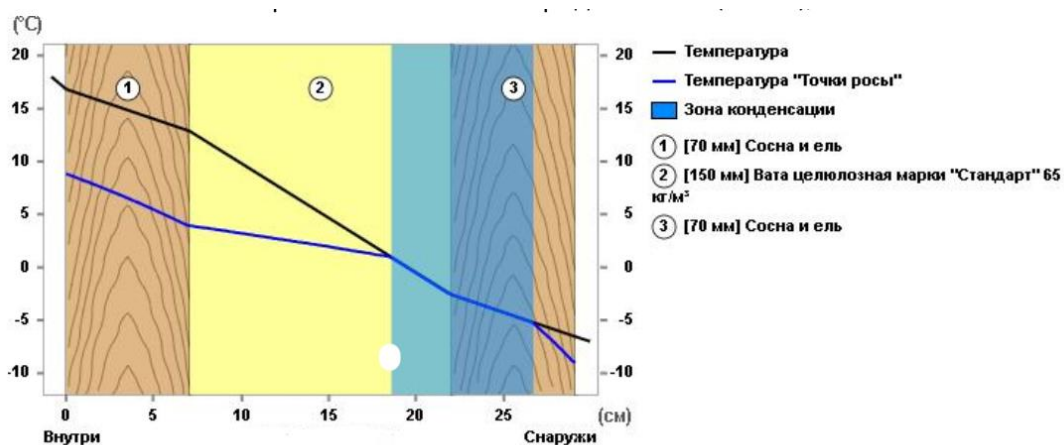
**Рисунок 2 – График образования точки росы в конструкции толщиной стен 50 мм и толщиной утеплителя 150 мм**

В соответствии с приложением Е СП 2.04.01-2020 построен график образования точки росы для наихудших условий конструкции с толщиной стены 70х2 и толщиной утеплителя 150 мм (рис. 3).

Приведенное сопротивление теплопередаче рассматриваемой стеновой панели дома каркасного типа при толщине стен 2х50 мм и теплоизоляционного слоя 150 мм составляет  $R_{т,у} = 2,43 \text{ м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт}$ .

Приведенное сопротивление теплопередаче рассматриваемой стеновой панели дома каркасного типа при толщине стен 2х70 мм и теплоизоляционного слоя 150 мм составляет  $R_{т,у} = 2,51 \text{ м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт}$  что меньше, чем нормируемое СН 2.04.01-2020 значение этого параметра

$R_{т.норм} = 3,20 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ . Таким образом, условие  $R_{т.у} > R_{т.норм}$  не выполняется.



**Рисунок 3 – График образования точки росы в конструкции толщиной стен 70 мм и толщиной утеплителя 150 мм**

В результате проверенного анализа термического сопротивления ограждающей конструкции дома, установлено, что коэффициент термического сопротивления, применяемого при формировании ограждающих конструкций утеплителя, играющего основную составляющую при расчете коэффициента термического сопротивления, при толщине 150 мм составляет 0,099.

Уменьшение толщины стен с 70 до 50 незначительно повлияло на коэффициент термического сопротивления, и не позволило достигнуть экономии затрат на древесину.

Заключение:

1. Для достижения нормируемого показателя термического сопротивления необходимо увеличить толщину утепления до 250 мм.
2. Заменить применяемый утеплитель с коэффициентом термического сопротивления 0,09 Вт/(м·°C) на теплоизолирующие материалы с коэффициентом 0,05 Вт/(м·°C). Например, древесное волокно ОАО «Мозырский ДОК» или другие, такие как каменные ваты и т.д.
3. Дополнить конструкцию вентилируемой воздушной прослойкой снаружи через ригель 50x50, покрытую влагозащитной пленкой и облицованную блок-хаусом или цементно-стружечной плитой.



УДК 662.71

В.П. Голубев, зав. сектором «Технологии утилизации отходов»;

Д.В. Дегтерев, зав. сектором «Биоэнергетика»

(ИЭ НАН Беларуси, г. Минск);

С.В. Василевич, вед. науч. сотр.

(БГАА, г. Минск);

Н.Е. Шевчик, зам. директора;

А.Н. Асадчий, ст. науч. сотр.

(ИЭ НАН Беларуси, г. Минск)

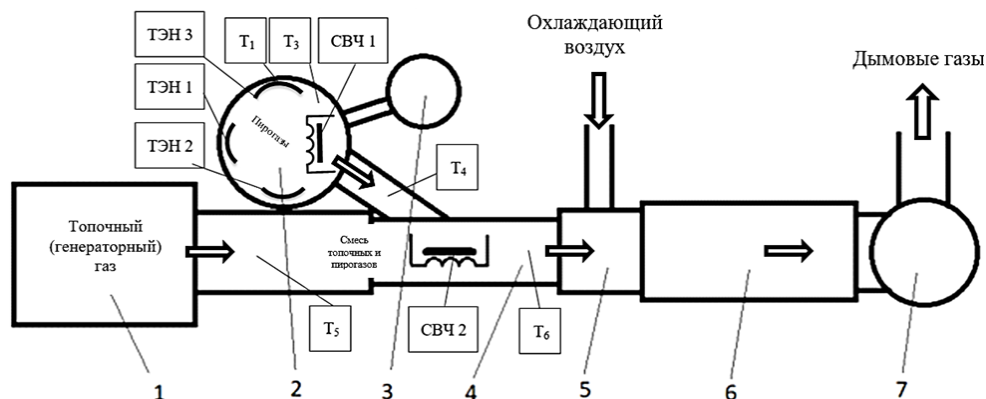
## **ПОЛУЧЕНИЕ ДРЕВЕСНОГО УГЛЯ ПУТЕМ ПИРОЛИЗА ДРЕВЕСИНЫ ТВЕРДОЛИСТВЕННЫХ ПОРОД В ПРИСУТСТВИИ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ**

В Республике Беларусь леса являются одним из основных возобновляемых природных ресурсов. Оценки потенциальных резервов биотоплива в стране колеблются от 6 до 10 млн. т.у.т./год [1], учитывают нестроящую древесину, отходы лесозаготовок, деревообработки, фитомассу быстрорастущих кустарников и трав. Существуют различные способы использования биомассы в качестве источника энергии. Среди современных технологий энергетического использования растительной биомассы наиболее универсальной, эффективной и дешевой, по мнению экспертов Международного энергетического агентства IEA, является термохимическая конверсия методом пиролиза [2]. В результате пиролиза образуется горючий газ, жидкие продукты и древесный уголь. На сегодняшний день древесный уголь является наиболее востребованным целевым продуктом пиролиза древесины, он находит применение в качестве высококачественного возобновляемого твердого топлива (теплота сгорания 30-35 МДж/кг), в промышленности, например, при получении технического кремния [3], а также в производстве углеродных сорбентов, которые применяются в различных технологиях адсорбционной очистки и разделения [4, 5].

В Институте энергетике НАН Беларуси разработана технология производства древесного угля при воздействии СВЧ излучения. На рис. 1, 2 показаны схема и общий вид экспериментального пиролизного стенда, реализующего разработанную технологию.

В блоке пиролиза (реакторе) установлены ТЭН-ы. Блок пиролиза соединен газопроводом с камерой дожигания. В реакторе и камере дожигания установлены СВЧ излучатели (СВЧ 1 и СВЧ 2). Для регулирования и контроля температуры нагрева в основных блоках экспериментального стенда установлены термодатчики (Т).





1 – блок получения генераторного газа; 2 – блок пиролиза (реактор); 3 – блок продувки реактора инертным газом; 4 – камера дожигания; 5 – система воздушного (принудительного) охлаждения горючих газов; 6 – теплообменник; 7 – дымосос

**Рисунок 1 – Схема экспериментального пиролизного стенда**



**Рисунок 2 – Общий вид пиролизной установки**

Блок 1 (рис. 1) получения генераторного газа из органических отходов – газогенератор для сжигания сыпучего топлива, например, древесной щепы, представляет собой топку с установленным сверху бункером подачи биомассы. При горении биомассы в камере топки образуется генераторный газ, который смешивается с пиролизным газом, образующимся в реакторе, и сгорает в камере дожигания. Блок 2 пиролиза древесины (рис. 1) представляет собой пиролизный реактор, включающий в себя камеру реактора, оборудованную ТЭН-ами, устройством создания электромагнитного поля сверхвысокой частоты (СВЧ), загрузочную платформу с вращающимся дном и реторту. Блок 3 продувки реактора инертным газом обеспечивает удаление горючих остатков пиролизного газа из камеры реактора, для дальнейшего остывания и стабилизации готового древесного угля. Камера 4 дожигания газовой смеси (рис. 1) включает в себя устройство смешивания генераторного газа и пирогаза для обеспечения равномерного горения смеси газов. Конструкция камеры дожигания обеспечивает равномерное сгорание газовой смеси при эффективном ее охлаждении. Система

воздушного охлаждения горючих газов 5 (рис. 1) обеспечивает эффективное их охлаждение на выходе из камеры дожига. На выходе из камеры дожига установлен теплообменник 6 системы теплоснабжения производственного объекта.

Выброс дымовых газов в атмосферу, проходящих через рекуперативный теплообменник 6 системы теплоснабжения, производится дымососом 7 с дымовой трубой. Управление и контроль за работой экспериментального стенда осуществляется с рабочего места оператора. В ходе отработки технологии, использовалась древесина твердолиственных пород (колотые дрова клена). Влажность древесины составила 12,2%. Плотность древесины – 590,2 кг/м<sup>3</sup>, зольность 0,23%.

Предварительно взвешенная древесина загружалась в реторту, устанавливалась на загрузочную платформу и помещалась в рабочую камеру реактора. На рис. 3 представлен процесс загрузки реторты в камеру реактора.



**Рисунок 3 – Реторта, установленная на загрузочную платформу**

Нагрев реторты с сырьем осуществлялся по заданной программе (с учетом температуры и скорости нагрева пиролизуемого сырья). В процессе пиролиза производилось снятие данных значений температур в основных точках замера (температуры нагрева ТЭН-ов, газов в камере блока пиролиза (внутри реактора), пирогазов выходящих из реактора, горения генераторных газов в топке, смеси генераторных газов и пирогазов в камере дожига).

Техпроцесс проводился как с использованием сверхвысокочастотного электромагнитного поля (СВЧ), так и без него. После окончания технологического процесса пиролиза производилась прокалка древесного угля, подача инертного газа (СО<sub>2</sub>) для вытеснения горючих газов из рабочей камеры блока пиролиза, дальнейшего остывания готового древесного угля и его стабилизации.

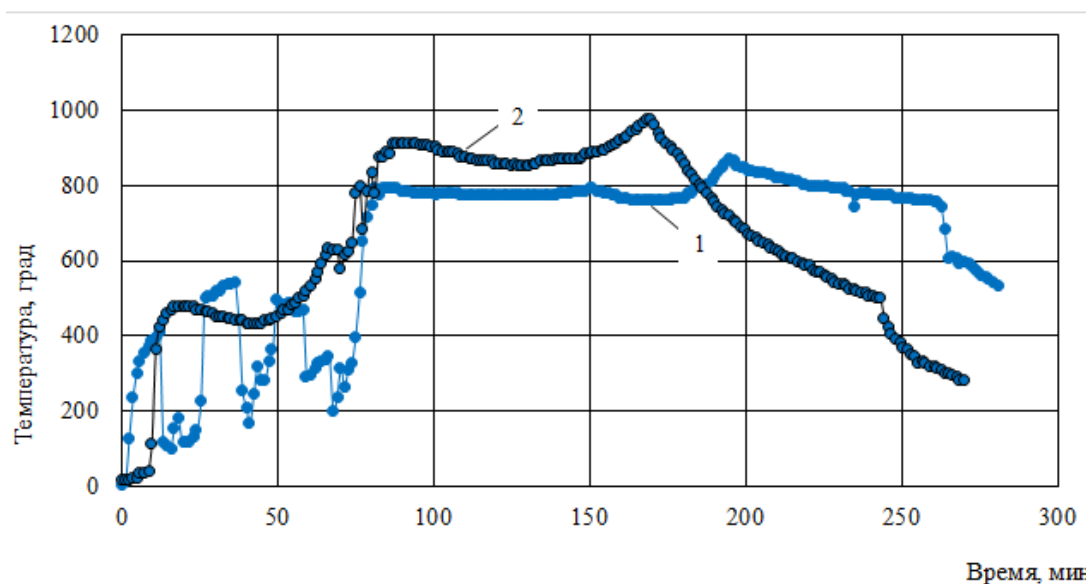
После полного остывания реторта с полученным древесным углем извлекается из камеры реактора и взвешивалась (рис. 4).



**Рисунок 4 – Реторта с древесным углем**

Целью работы являлось исследование процесса пиролиза древесины для получения древесного угля при воздействии сверхвысокочастотного электромагнитного поля (СВЧ). В данной серии экспериментов в качестве генераторного газа использовали смесь пропан-бутан. Температура горения смеси пропан-бутан постоянна, что позволяет создать устойчивые реперные точки для определения вклада пирогаза в суммарную температуру горения смеси пропан-бутан и пирогаза.

На рис. 5 показана зависимость температуры горения пирогазов от времени пиролиза в присутствии и отсутствии сверхвысокочастотного электромагнитного поля СВЧ.



**Рисунок 5 – Зависимость температуры нагрева рабочей среды от времени в камере дожига в отсутствие (1) и в присутствии (2) сверхвысокочастотного электромагнитного поля**

Из экспериментальных данных (рис. 5) видно, что на начальной стадии пиролиза без СВЧ наблюдается энергичный рост температуры до 420°C, затем происходит резкое снижение до 102°C с выходом на небольшое плато. В данном случае происходит досушивание древеси-

ны с образованием значительного количества водяного пара, который и снижает температуру.

После досушивания образца наблюдается резкий рост температуры до уровней более 500°C (интервал 25–50 минут). Имеет место начало высвобождения веществ со слабыми связями (например, остатки уксусной кислоты).

Затем снова наблюдается спад уровня температур ввиду того, что происходит образование в результате химических превращений веществ, поддерживающих и не поддерживающих горение (легкие углеводороды, вода, окислы углерода, азота и т.п.).

С началом экзотермической стадии пиролиза температура поднимается до 800°C и держится около этого уровня с небольшим подъемом до 870°C (196 мин.). Завершается экзотермическая стадия пиролиза и начинается прокалка. Эта стадия характеризуется постепенным плавным снижением температуры.

В присутствии СВЧ начальный этап пиролиза характеризуется отсутствием резких перепадов подъема-падения температур. СВЧ способствует проходить одновременно всем процессам эндотермической стадии пиролиза, что и выравнивает график температур. При этом в процессе работы стенда температура горения в камере дожига достигала 1000°C, что способствовало эффективному дожигу газовой смеси. Время экзотермической стадии с СВЧ меньше, чем аналогичной стадии без СВЧ. Стадия прокалки также сопровождается более быстрым снижением температуры.

Эти данные однозначно свидетельствуют о более высокой скорости пиролиза древесины и высокой температуре дожига газовой смеси в присутствии СВЧ.

В ходе отработки технологии были получены образцы древесного угля при включенных и выключенных устройствах создания электромагнитного поля сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ). Масса загрузки реторты составила около 31 кг (31,0 кг в отсутствии СВЧ и 31,7 кг в присутствии СВЧ). Относительный массовый выход древесного угля при отсутствии СВЧ составил около 22,9% (масса угля составила 7,1 кг). При наличии СВЧ относительный массовый выход составил 24,6% (масса угля составила 7,8 кг). При этом время процесса в присутствии СВЧ на 10% меньше, чем в отсутствии СВЧ. Соответственно, производительность пиролизной установки при отсутствии СВЧ составила 1,42 кг/ч, а в присутствии СВЧ – 1,73 кг/ч, увеличение на 22%.

Указанные в табл. 1 характеристики соответствуют требованиям для древесного угля марки А.

**Таблица 1 – Основные характеристики полученных образцов угля**

	Удельная энергия сгорания, кДж/кг	Зольность, %	Содержание химических элементов, %		Относительный массовый выход, %
В отсутствии СВЧ	30435,31	1,26	C	93,76	22,9
			O	4,71	
			Al	0,03	
			K	0,67	
			Ca	0,50	
			Cu	0,14	
В присутствии СВЧ	32066,77	1,12	C	92,15	24,6
			O	6,08	
			Si	0,06	
			Al	0,07	
			K	0,05	
			Ca	0,65	
			Cu	0,61	

Все вышесказанное указывает на то, что использование предлагаемого устройства с включенным режимом генерации СВЧ позволяет повысить интенсивность дожига газовой смеси за счет достижения более высоких температур в камере дожига, повышения производительности процесса получения древесного угля за счет снижения времени прокалики и повышения качества получаемого угля за счет отсутствия резких изменений температуры в реакторе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Макрокинетика и тепломассоперенос в процессах термохимической конверсии биомассы / Пальченко Г. И., Хутская Н. Г., Янцевич И. В. и др. // Возобновляемые перспективы: материалы Международ. семинара экспертов (Минск, 22–24 февр. 2011 г.) / под ред. А. А. Михалевича. – Минск: Беларус. навука, 2011 – С. 206–220.
2. Панцхава Е. С. и др. Преобразование энергии биомассы. Опыт России // Возобновляемая энергия. – 1998. – № 3. – С. 16–21.
3. Новый Справочник химика и технолога. Сырье и продукты промышленности органических и неорганических веществ, Ч. II, – СПб.: АНО НПО «Профессионал», 2005, 2007. 1144 с.
4. Обзор рынка активированного (активного) угля в СНГ. Объединение независимых экспертов в области минеральных ресурсов, металлургии и химической промышленности. 2019. М., 193 с.
5. Nikolas Hagemann, Kurt Spokas, Hans-Peter Schmidt, Ralf Kägi, Marc Anton Böhler and Thomas D. Bucheli. Activated Carbon, Biochar and Charcoal: Linkages and Synergies across Pyrogenic Carbon's ABCs. Water 2018, No 10, 182; doi:10.3390/w10020182.

И.М. Грошев, нач. ЦЗЛ, канд. техн. наук;  
Ю.В. Дойлин, генеральный директор;  
К.И. Тарутько, зам. нач. ЦЗЛ (ОАО «Витебскдрев», г. Витебск);  
Е.А. Шеремет, доц., канд. техн. наук;  
М.В. Шевцова, доц., канд. техн. наук (ВГТУ, г. Витебск);  
Е.В. Дубоделова, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

## **ОЦЕНКА КАЧЕСТВА НАПОЛЬНЫХ ЛАМИНИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ, РЕАЛИЗУЕМЫХ НА РЫНКЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Ламинат – это используемый во всем мире и очень популярный вид напольного покрытия. Является лидером напольных покрытий благодаря своим техническим характеристикам, дизайну и огромному выбору, совершенствуется с каждым годом. При этом улучшается его качественный состав, предлагается неограниченный выбор цветовой гаммы оттенков, текстурной обработки. В настоящее время производители предлагают и новые идеи дизайна. Однако подобрать ламинированное покрытие для потребителя достаточно сложно. Это связано с широким ассортиментом отделочного материала и значительным количеством его производителей не только в нашей стране, но и за рубежом. Так как напольные покрытия подвергаются, в основном, механическим воздействиям, то существует комплекс испытаний ламинатов на механическую прочность, который позволяет разделить ламинированные напольные покрытия на классы, определяя их функциональное назначение. Условно напольное ламинированное покрытие можно разделить на коммерческий и бытовой.

Оценка качества напольных ламинированных покрытий в соответствии с действующими стандартами осуществляется по широкому кругу показателей. В рамках данной статьи авторами представляются результаты исследований по тем показателям, которые в большей степени характеризуют поведение ламината при эксплуатации и его безопасность для потребителя. Качество продукции по ГОСТ 15467 – совокупность свойств продукции, обуславливающее ее пригодность удовлетворять определенные потребности потребителя. Следует отметить, что отдельные свойства могут быть оценены или измерены, в результате чего определяются показатели качества – количественные характеристики свойств продукции, составляющих ее качество. Количественное измерение показателей качества проводится экспериментально методами метрологии – с применением средств измерений; методами органолептики – с использованием органов чувств человека; методами построения аналитических моделей; расчетными; экспертными (эвристическими) – с учетом мнения специалистов; социологи-

ческими – с применением сбора и анализа мнений потребителей продукции. Свойства продукции могут характеризоваться абсолютным и относительным показателями, которые выявляют пригодность продукции по назначению или соотношение с аналогичным показателем другого продукта с учетом требований технических нормативных правовых актов. Актуальна также оценка коэффициентов весомости показателей качества, что является количественной характеристикой значимости показателя качества среди других показателей.

Количественной характеристикой качества является уровень качества продукции – относительная характеристика качества продукции, основанная на сравнении значений показателей качества оцениваемой продукции с требованиями соответствующих показателей. Значение уровня качества может быть предоставлено как функция относительных значений показателей и коэффициентов весомости, выражающая различные зависимости и представляется в скалярной и векторной формах [1–3]. Выделяют следующие методы оценки уровня качества: дифференциальный, комплексный, смешанный, интегральный и метод экспертной оценки, основанный на опыте, квалификации и интуиции экспертов (специалистов).

В связи с большим разнообразием ассортимента напольных ламинированных покрытий на белорусском рынке провести оценку качества всех видов данной продукции не предоставляется возможным. Поэтому в качестве объектов исследования были взяты лишь некоторые образцы, произведенные предприятиями Республики Беларусь, России, Бельгии и Германии. Исследованию подвергались наиболее востребованные потребителями классы ламинатов – 32 и 33 классов.

Анализ результатов исследований показывает, что практически по всем показателям образцы напольных ламинированных покрытий соответствуют установленным требованиям. Однако наблюдаются некоторые отклонения. Так, например, у образца 32 класса производства Бельгия при испытании роликами стула имело место массовое расслоение в местах соединения элементов, вырывание поверхности и выкрашивание облицовочного слоя, а в образце 33 класса производства Республика Беларусь – наличие расслоений и раскрытие стыков. В образцах №2 32 класса производства Республика Беларусь и №4 33 класса производства Республика Беларусь значение показателя прочности поверхностного слоя на отрыв меньше нормативного. Вместе с тем, следует отметить, что по показателю прочности на удар шариком большого диаметра напольные ламинированные покрытия производства Республика Беларусь превосходят импортные образцы. Существенным достоинством последних является низкое значение показателя набухаемости по толщине, что является хорошим эксплуатационным преимуществом. В связи с тем, что однозначно невозможно



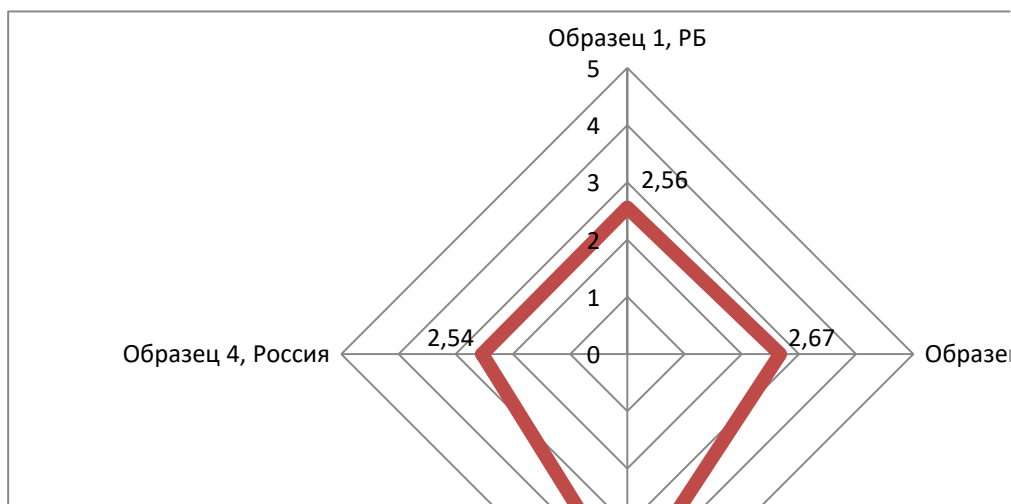
выявить лучший или худший образцы исследуемых напольных покрытий целесообразно осуществить комплексную оценку качества на основе оценки значимости показателей качества специалистами и покупателями с расчетом обобщенного показателя.

Обобщенный показатель качества определялся с учетом коэффициентов каждого из оцениваемых в работе показателей. При этом рассчитывалась его арифметическая величина:

$$K = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot x_{i_{\text{отн}}} , \quad (1)$$

где  $\lambda_i$  – коэффициент весомости  $i$ -го свойства;  $x_{i_{\text{отн}}}$  – относительное значение  $i$ -го показателя качества;  $n$  – число показателей (в нашем случае  $n=8$ ).

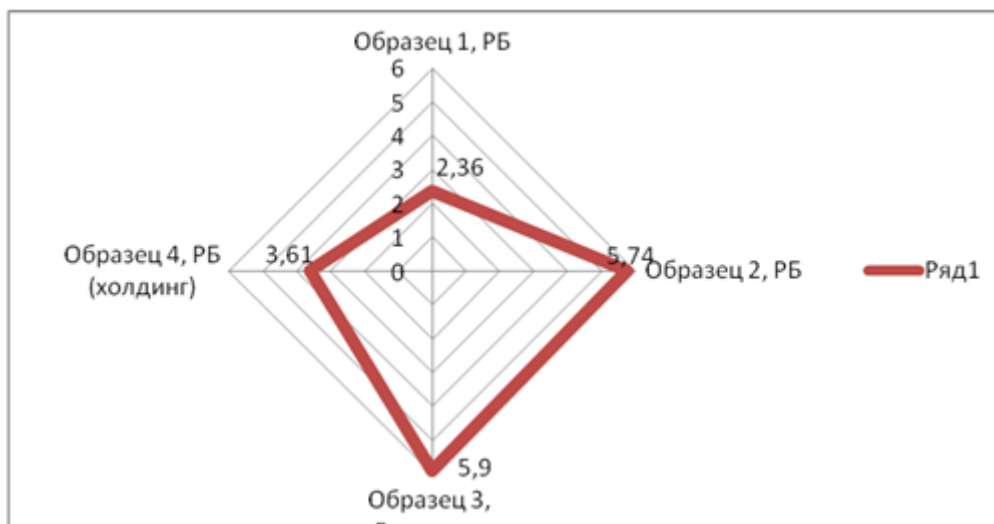
При расчете  $x_{i_{\text{отн}}}$  учитывалось позитивным или негативным является тот или иной показатель. Значения коэффициентов весомости были определены ранее [4] и сделан соответствующий перерасчет их значений с учетом того, что комплексная оценка осуществлялась только по эксплуатационным показателям. Расчету коэффициентов весомости предшествовал опрос реальных и потенциальных потребителей. Значения обобщенных показателей качества ламинированных напольных покрытий 32 класса и 33 класса разных производителей представлены на рис. 1 и 2 соответственно.



**Рисунок 1 – Значения обобщенных показателей качества ламинированных напольных покрытий 32 класса**

Полученные при комплексной оценке значения показателей качества показывают лидирующее положение на современном отечественном рынке продукции импортного производства. Так среди ламинатов 32 класса ведущую позицию занимает продукция бельгийского производства.





**Рисунок 2 – Значения обобщенных показателей качества ламинированных напольных покрытий 33 класса**

Обобщенный показатель качества в 1,52–1,61 раз превосходит аналогичный показатель ламинированных напольных покрытий белорусского и российского производства. Причем существенную роль в этом играет показатель «набухание по толщине».

Аналогичная картина наблюдается и по образцам ламинатов 33 класса. Обобщенный показатель качества продукции отечественного производства по исследуемым показателям уступает импортному образцу (производство Германия) в 1,02–2,5 раза. В этом случае отрицательную роль также сыграл показатель «набухание по толщине», что необходимо принять во внимание отечественным производителям данной продукции.

Результаты анализа результатов испытаний на наш взгляд представляют интерес для производителей покрытий напольных ламинированных Республики Беларусь.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. [https://bstudy.net/609784/ekonomika/kvalimetriceskaya\\_otseuka\\_kachestva\\_produktsii](https://bstudy.net/609784/ekonomika/kvalimetriceskaya_otseuka_kachestva_produktsii).
2. [https://bstudy.net/818523/ekonomika/kvalimetriceskiy\\_podhod\\_kachestvu\\_produktsii\\_tovarov](https://bstudy.net/818523/ekonomika/kvalimetriceskiy_podhod_kachestvu_produktsii_tovarov).
3. <https://studfile.net/preview/5051641/page:13>

Е.В. Ручкина, ст. преп.;  
С.А. Прохорчик, доц., канд. техн. наук; Д.С. Бабей, студ.  
(БГТУ, г. Минск);  
М.Ю. Шашок, технолог (ОАО «Абразивхимсбыт», г. Минск)

## **О СТОЙКОСТИ МАСЛОВОСКОВЫХ ПОКРЫТИЙ К ПЯТНООБРАЗОВАНИЮ**

Популярность масел для отделки деталей мебели и напольных покрытий в последнее время растет. На рынке присутствует огромное количество производителей импортных брендов, так и отечественных.

Компании-производители выпускают материалы на основе натуральных масел (льняное, тунговое, тиковое), которые изготавливаются из растительного сырья (семян льна и тунгового дерева), химически модифицированных натуральных масел с улучшенными физико-механическими свойствами, комбинированных маселоскоковых материалов и синтетических минеральных масел.

ЛКМ на основе масел глубоко проникают в древесину и хорошо впитываются в ее поры. При добавлении воска в такой материал на поверхности покрытия формируется очень тонкий защитный слой. Обработанные поверхности становятся механически и химически стойкими, сохраняют естественную красоту и цвет древесины, «дышат», так как отсутствует изоляционная пленка. А воск, входящий в состав комбинированных маселоскоковых материалов, повышает устойчивость к истиранию и придает поверхности грязе- и водоотталкивающие свойства.

В процессе эксплуатации детали мебели (крышки столов, столешницы модульных кухонь и др.) и напольные покрытия воспринимают воздействия жидкостей и веществ различного химического характера. Такие воздействия воспринимают в первую очередь лакокрасочные покрытия, которые определяют внешний вид и качество изделий. В связи с этим ставилась задача провести лабораторные исследования по изучению влияния воды и различных химических реагентов на стойкость маселоскоковых покрытий к пятнообразованию в течении определенного времени и визуальной оценке степени изменения качества покрытия.

Для проведения исследований были подготовлены две серии образцов из древесины дуба влажностью 8–10%. Размеры образцов для испытаний – 350×450×18 мм. Первая серия образцов была покрыта двумя слоями импортного паркетного масла, представляющего собой смесь модифицированных быстросохнущих растительных масел, воска и алифатического растворителя. Вторая серия – одним слоем

импортного двухкомпонентного масла на основе модифицированных растительных масел, воска, аддитивов и неароматических алифатических растворителей. В качестве отвердителя для данного материала используется жидкость (с концентрацией сухого вещества 88–92%), представляющая собой раствор полиизоцианатов в органических растворителях.

Отделка поверхности образцов производилась по следующей технологии: предварительное шлифование поверхности образцов шлифовальной губкой P180, нанесение первого слоя масла (расход двухкомпонентного масла – 20 г/м<sup>2</sup>, паркетного – 50 г/м<sup>2</sup>), сушка (20°C)

24 ч. Для первой серии образцов после сушки производилось шлифование поверхности шлифовальной губкой P240, нанесение второго слоя масла (50 г/м<sup>2</sup>) и его сушка в течении 24 ч.

По истечении времени сушки образцы кондиционировали трое суток при температуре 20°C и относительной влажности воздуха 60–65%.

В качестве химических реагентов применялись: холодная вода; уксусная кислота (раствор с массовой долей 9%); красное сухое вино; кофе (4 г на 100 см<sup>3</sup> воды); чай (5 г на 100 см<sup>3</sup> воды); сок черной смородины свежесжатый; масло растительное; минеральная вода; молоко; кока-кола. Для одного вида реагента использовалось три образца с размером контролируемой поверхности не менее 75×75 мм. Испытания проводились при продолжительности выдержки реагентов: сначала 1 ч, затем 6 и 24 ч.

Выбранный для испытания реагент в объеме около 1 см<sup>3</sup> наносили шприцем на образец (испытуемую поверхность) на расстоянии от края не менее чем 40 мм и друг от друга не менее чем 60 мм и накрывали чашками. По истечении времени испытания чашку снимали, жидкость осушали мягкой тканью, не допуская трения ее об испытуемую поверхность. Далее испытуемые образцы выдерживали, не накрывая, в течение 24 ч.

После выдержки образцы протирали тканью, смоченной водой и затем тщательно вытирали сухой тканью. После выдержки в течение 30 мин визуально оценивали покрытие. При осмотре сравнивали участок покрытия, который подвергнут испытанию с участком покрытия, не подвергавшемся воздействию реагентов. Оценка результатов испытаний производилась по 5-ти балльной системе согласно ГОСТ 27627-88 [1].

Итоги испытаний определения стойкости к пятнообразованию защитно-декоративных покрытий на древесине дуба сведены в таблицу.

**Таблица – Сравнение результатов испытаний**

Вид химического реагента	Материал лицевой поверхности	Оценка в баллах при продолжительности воздействия химического реагента, ч		
		1	6	24
Сок черной смородины	Паркетное масло (2 слоя)	2	3	4
	Двухкомпонентное масло	1	1	1
Уксусная кислота 9%	Паркетное масло (2 слоя)	1	2	2
	Двухкомпонентное масло	1	1	1
Красное сухое вино	Паркетное масло (2 слоя)	2	3	3
	Двухкомпонентное масло	1	1	1
Подсолнечное масло	Паркетное масло (2 слоя)	1	1	1
	Двухкомпонентное масло	1	1	1
Кофе	Паркетное масло (2 слоя)	1	1	2
	Двухкомпонентное масло	1	1	1
Молоко	Паркетное масло (2 слоя)	2	2	2
	Двухкомпонентное масло	1	1	1
Чай	Паркетное масло (2 слоя)	1	1	2
	Двухкомпонентное масло	1	1	1
Минеральная вода	Паркетное масло (2 слоя)	1	3	5
	Двухкомпонентное масло	1	1	2
Кока-кола	Паркетное масло (2 слоя)	1	1	1
	Двухкомпонентное масло	1	1	1
Холодная вода	Паркетное масло (2 слоя)	1	1	1
	Двухкомпонентное масло	1	1	1

Исследование показало, что при воздействии сока черной смородины, вина, минеральной воды, чая, молока на покрытие, образованное двумя слоями паркетного масла, материал последнего через 6 и 24 ч вступает с ними в реакцию, а на пищевые продукты (подсолнечное масло, кофе, кока-кала, вода) не реагирует. В тоже время покрытие, сформированное одним слоем двухкомпонентного масла, обладает высокой устойчивостью к образованию пятен, сопоставимой с полиуретановыми ЛКМ, и вступило в реакцию только с минеральной водой. Для полной оценки его защитно-декоративных свойств требуются дополнительные исследования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Детали и изделия из древесины и древесных материалов. Метод определения стойкости защитно-декоративных покрытий к пятнообразованию: ГОСТ 27627-88. Введ. 01.01.90. М.: М-во лесной, целлюзно-бумажной и деревообр. пром-ти, 1988. 12 с.

## МЕХАНИЗМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ МЕБЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ

Мебельная промышленность занимает важное место в экономике, обеспечивая потребности населения в комфортной и функциональной обстановке. В условиях быстро меняющегося рынка, растущей конкуренции и стремительного развития технологий, эффективные механизмы управления становятся ключевыми для успешного функционирования предприятий данного сектора. Управление мебельным производством включает в себя не только организацию процессов, но и внедрение инновационных подходов, которые позволяют оптимизировать производство, улучшить качество продукции и повысить уровень обслуживания клиентов.

Рассмотрим основные механизмы управления мебельным производством, их роль в повышении эффективности и конкурентоспособности предприятий, а также практический пример успешного применения данных механизмов на практике [1–2].

Управление производством мебельной продукции представляет собой сложный и многогранный процесс, который включает в себя планирование, организацию, координацию и контроль всех этапов производства (табл.). Анализ использования механизмов управления, приведен в данной таблице, рассмотрим на примере их внедрения на мебельной фабрике «Витебск».

**Таблица – Основные механизмы управления производством**

Этап производства	Механизмы управления
1. Планирование	<p>Оно включает в себя:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Определение ассортимента продукции. На этом этапе необходимо провести анализ рынка, выявить потребности потребителей и определить, какие виды мебели будут производиться.</li> <li>2. Составление производственного плана. Включает установление объемов производства, сроков выполнения заказов и распределение ресурсов.</li> <li>3. Финансовое планирование. Оценка необходимых инвестиций, затрат на материалы, трудозатрат и других расходов.</li> </ol>
2. Организация	<p>Основные аспекты:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Формирование производственных мощностей. Определение необходимого оборудования и технологий для производства мебели.</li> </ol>

1	2
	<p>2. Организация рабочего процесса. Разработка схемы производственного процесса, включая последовательность операций и распределение задач между работниками.</p> <p>3. Управление запасами. Оптимизация запасов сырья и готовой продукции для минимизации затрат и повышения эффективности.</p>
3. Координация	<p>1. Коммуникация. Обеспечение эффективного обмена информацией между различными подразделениями (производство, сбыт, маркетинг).</p> <p>2. Управление проектами. Применение методов проектного управления для реализации новых моделей мебели или модернизации производственных процессов.</p> <p>3. Синхронизация действий. Координация работы различных подразделений для достижения общих целей.</p>
4. Контроль	<p>1. Мониторинг производительности. Оценка эффективности работы оборудования и трудозатрат.</p> <p>2. Контроль качества. Проведение регулярных проверок на всех этапах производства для обеспечения соответствия продукции стандартам качества.</p> <p>3. Анализ результатов. Сравнение фактических результатов с плановыми показателями и выявление причин отклонений.</p>
5. Инновации и автоматизация	<p>1. Использование CAD/CAM-систем. Компьютерное проектирование и автоматизированное управление производственными процессами позволяют повысить точность и сократить время на изготовление мебели.</p> <p>2. Внедрение систем управления предприятием (ERP): Эти системы помогают интегрировать все бизнес-процессы, улучшая планирование, учет и контроль.</p> <p>3. Применение современных материалов и технологий: Использование экологически чистых материалов и новых технологий производства позволяет не только улучшить качество продукции, но и повысить ее конкурентоспособность. [3–4].</p>

1. Внедрение системы управления качеством. Применяет систему управления качеством, соответствующую международным стандартам

ISO 9001. Это включает в себя строгий контроль на всех этапах производства — от выбора сырья до окончательной сборки и доставки продукции. Регулярные внутренние аудиты помогают поддерживать высокие стандарты качества.

2. Автоматизация производственных процессов. На фабрике внедрены современные технологии, такие как автоматизированные линии для резки и обработки древесины. Это позволяет значительно

сократить время производства и повысить точность обработки, что критически важно для создания качественной мебели.

3. Использование бережливого производства. Активно использует принципы бережливого производства (lean manufacturing), что позволяет минимизировать потери и оптимизировать рабочие процессы. Например, внедрение системы "канбан" помогает управлять запасами и оптимизировать логистику внутри предприятия.

4. Гибкое управление ассортиментом. Фабрика адаптирует свой ассортимент в зависимости от потребностей рынка. Проводятся регулярные исследования потребительских предпочтений, что позволяет быстро реагировать на изменения спроса и предлагать актуальные модели мебели.

5. Инновации и дизайн. Инвестируют в разработку новых коллекций, сотрудничая с дизайнерами и архитектурными бюро. Это позволяет создавать уникальные и современные модели мебели, которые соответствуют последним тенденциям рынка.

Анализ результатов исследований показал, что внедрение представленных механизмов управления позволило производителю мебельной продукции увеличить объемы производства, расширить ассортимент продукции и укрепить свои позиции как на внутреннем, так и на внешнем рынках.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ковалев А. И. Управление производственными процессами в мебельной отрасли. СПб.: Питер, 2022. 464 с.
2. Маркушевская, А. В. Инновации в мебельном производстве. Минск: БГТУ, 2019. 267 с.
3. Смирнов Д. А. Механизмы управления качеством продукции на мебельных предприятиях // Экономика и управление. 2023. № 9. С 47–51.
4. Сидоров, А. А. Анализ эффективности управления производственными процессами на примере мебельной отрасли // Вестник науки. 2022. №12, Том 3. С 72–79.

О.К. Леонович, доц., канд. техн. наук; О.В. Коняхина, асп.  
(БГТУ, г. Минск)

## **АДГЕЗИОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КАК КЛЮЧЕВОЙ ФАКТОР ПРИ ВЫБОРЕ АНТИПИРЕНА В ПРОИЗВОДСТВЕ ФАНЕРЫ**

Фанерные плиты являются ценным строительным материалом, обладающим высокими прочностными показателями и низким классом эмиссии формальдегида. Однако горючесть фанеры ограничивает ее применение во многих областях.

Многие научные исследования и разработки в области антипиренов применимы и широко используются для обработки массивной древесины. При этом проблема получения огнезащитенной фанеры обусловлена не только сложностью выбора или синтеза нетоксичных, доступных, эффективных антипиренов, но и способами введения их в древесину. Разрушающее воздействие антипиренов на древесину, высаливаемость на поверхности шпона и химическая несовместимость их со связующим часто приводят к невозможности использования в технологическом процессе. В рамках исследования актуально изучить вопрос возможности применения разработанных составов в производстве фанеры, влияния их компонентов на дальнейшую связь с компонентами клеевой композиции на этапе подпрессовки пакетов, на адгезию и показатели клеевой композиции в процессе желатинизации.

Целью исследования является анализ влияния условно базовых антипиренов на отверждение клеев, используемых для производства фанеры, и подбор наиболее приемлемого сочетания с возможностью промышленной реализации.

В Беларуси наиболее распространены солевые антипирены. Чаще всего это комбинации диаммонийфосфата, хлорида или сульфата аммония, фторида натрия и других компонентов. Составы формируются на основе солей фосфорной и борной кислоты.

Концентрация солей на поверхности, достигающая 30–70% от веса клея в шве, при нормальном его расходе влияет на кинетику отверждения и поэтому требует специального подбора комбинации антипирена и связующего, для которых концентрация антипирена на поверхности не особенно опасна. Вследствие физико-химического взаимодействия компонентов древесины, антипирена и клеевой композиции для нейтрализации определенных химических реакций требуются корректировки режимов производства. Особое место в ряду имеющихся разработок занимают фосфоорганические реакционно-способные



антипирены с алкилфосфорной связью, устойчивой к гидролизу и окислению.

Установлено, что содержание в фенольном клее всего лишь 0,5% фтористого натрия снижает прочность склеивания до 0,01 МПа. Борные антипирены меньше снижают прочность склеивания (при содержании менее 30 % – прочность склеивания не снижается). Эти данные подтверждаются результатами испытания клеевых швов древесины, пропитанной борной кислотой с поглощением 75 кг/м<sup>3</sup> (при содержании его на поверхности более 30% веса клея – прочность склеивания 0,4 МПа). Результаты испытаний прочности склеивания пропитанной древесины подтверждаются результатами испытаний образцов.

Для выяснения причин малой прочности клеевых соединений антипиреной древесины были изучены реологические характеристики и кинетика отверждения клеев КБ-3 и ФР-12 в присутствии антипиренов. Было обнаружено, что добавка 1–2% борной кислоты несколько ускоряет рост вязкости клея КБ-3, не меняя в принципе кинетики его отверждения. Такая же добавка кислоты к фенольной смоле «Б» вызывает постепенное отверждение. Соли аммония существенно меняют кинетику отверждения клея: через 40 мин после добавления антипирена вязкость клея КБ-3 уменьшается до уровня, превышающего вязкость основного компонента (фенолформальдегидной смолы) не более чем на 3–5%, и клей при этом не отверждается. Для фенольной смолы «Б» без отвердителя при добавлении 10% сульфата аммония характерна подобная же картина. Особенно сильно действует на клей КБ-3 фтористый натрий. Уже при содержании последнего в количестве 0,25% скорость отверждения клея увеличивается в 2 раза, а при содержании 0,5% отверждение не наблюдается совсем.

Значительно меньше антипирены влияют на отверждение резорцинового клея ФР-12, что обусловлено его большей стабильностью. Диаммонийфосфат и фтористый натрий не изменяют времени отверждения даже при 50%-ном их содержании в клее.

Исследована возможность склеивания древесины, обработанной антипиреном, используя покрытие склеиваемой поверхности пленкой жидкого полимера с последующим ее отверждением. Так, нанесение пленки клея КБ-3 на поверхность древесины, обработанной борными антипиренами, повысило прочность склейки березового шпона с 0,3 до 0,6 МПа (применяли клей КБ-3). Еще лучше древесину, пропитанную борными антипиренами, склеивает клей УФФ, разработанный в Иркутском политехническом институте. Прочность склеивания достигает 0,9 МПа, разрушение происходит только по древесине. Достаточно высокую прочность склеивания фанеры (0,7 МПа) обеспечивает эпок-

сидный клей на основе смолы ЭД-5; разрушение идет на 27% по древесине.

Проведены работы по пропитке древесины некоторыми огнестойкими полимерами и исследована возможность склеивания пропитанных заготовок. Обнаружено, что огнестойкость древесины существенно повышается при поглощении 0,223 г/см<sup>3</sup> кремнийорганической жидкости ГКЖ-10 и 0,142 г/см<sup>3</sup> жидкости ГКЖ-11.

В качестве антипирена опробована также карбамидная смола КФ-50 (крепитель формовочных смесей). Опыты показали, что пропитанная этими веществами древесина хорошо клеится резорциновыми, фенольными, эпоксидными клеями, специально подбираемыми в зависимости от используемого антипирена. Эксплуатационные свойства клеевых соединений древесины оценивали ускоренным старением и длительным экспонированием. В частности, испытания образцов древесины, обработанной смолой КФ-90 и склеенных клеем КБ-3 и клеем ФР-12, показали, что при ускоренном старении стойкость клеевых швов сравнима со стойкостью контрольных непропитанных образцов.

Прочность клеевых швов древесины, обработанной борными соединениями и склеенной клеем ЭД-5Г, за год экспонирования в комнате уменьшилась на 50%. Проведены испытания на старение образцов древесины, обработанной солями аммония и склеенной клеем ФР-12 с повышенным содержанием параформа. Испытания показали, что конструкции из такой древесины можно эксплуатировать в условиях, включающих непосредственное увлажнение клеевого шва.

Анализ полученных результатов показывает, что можно подобрать несколько комбинаций антипирен – клей, для которых допустима высокая концентрация солей на поверхности древесины. Предельные значения этой концентрации устанавливаются исходя из кинетики отверждения, сопоставляемой с показателями прочности склеивания. Значения предельной концентрации, вызывающие изменения кинетики отверждения, близки по порядку величин к значениям концентрации, существенно влияющим на прочность склеивания. Такая методика оценки влияния концентрации солей помогает предварительно выявить совместимость антипиренов с клеями.

Исследования по этой методике показали, что по действию на клей антипирены можно разделить на следующие группы:

1) Не влияющие на физико-механические характеристики готовой продукции (соли аммония - карбамидный клей К-17).

2) Значительно снижающие прочность склеивания. Эти антипирены могут быть подразделены на 2 группы:

– взаимодействующие с отвердителем клея;

– вступающие в реакцию с полимером.

3) Нейтрально или слабо влияющие на адгезию и прочность клевого шва. При формировании адгезионных связей присутствие этих антипиренов в большом количестве сказывается отрицательно.

Подобное разделение антипиренов и клеев на группы условно, но оно помогает при решении технологических задач по склеиванию древесины, обработанной антипиреном.

Интерес представляет работа по повышению огнестойкости фанеры на основе карбамидоформальдегидной смолы с применением различных клеевых композиций и модификаций деполимеризованным гидролизным лигнином. Авторами установлено, что присутствие в композиции смолы с деполимеризованными лигнинами стабилизирует клеевую композицию, увеличивает срок ее жизнедеятельности и позволяет применять ее при технологии склеивания фанеры, предусматривающей подпрессовку, т. е. адгезия с древесиной не снижается, а прочность клевого шва значительно возрастает. Актуально продолжить исследование в направлении подбора антипирена для модифицированной клеевой композиции и разработки технологической карты для включения в общую технологическую схему изготовления фанеры марки ФК.

На основе анализа научно-технической информации по изучаемой проблеме установлено следующее. Наибольший интерес представляют огнезащитные составы на основе соединений фосфора, азота и галогенов, как наиболее доступные, легко вводимые в древесину, обладающие высокими огнезащитными свойствами и при этом не влияющие на физико-механические характеристики готовой продукции.

Предложено продолжить исследования по повышению огнестойкости фанеры на основе карбамидоформальдегидной смолы с применением различных клеевых композиций и модификаций деполимеризованным гидролизным лигнином и выявить варианты антипиренов, при использовании которых, технологические параметры процесса отверждения возможно скорректировать режимами технологии производства.

В ходе решения многоаспектной проблемы сделать акцент на изыскании возможных преимуществ, которые могут возникнуть при использовании антипирена в сочетании с модификатором.

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

## **ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ПОДАЧИ БРУСЬЕВ ПРИ ИХ РАСПИЛОВКЕ НА МНОГОПИЛЬНЫХ КРУГЛОПИЛЬНЫХ СТАНКАХ**

Скорость подачи является одним из важнейших технологических параметров процесса распиловки древесного сырья на различных видах лесопильного оборудования. Правильная скорость подачи обеспечивает получение пилопродукции хорошего качества, оптимальное использование возможностей оборудования. Кроме того, скорость подачи оказывает существенное влияние на производительность оборудования. Очень важно при расчете производительности лесопильного оборудования правильно определить расчетную скорость подачи, потому что если расчетная скорость подачи не будет равна практической, то рассчитанная производительность не будет равна фактической производительности при эксплуатации оборудования. Это может привести к серьезным проблемам в работе предприятия, поскольку не будут выполняться запланированные экономические показатели. Исходя из вышесказанного, сформулируем цель нашей работы – разработать способ для простого и достаточно точного определения расчетной скорости подачи.

Для определения расчетной скорости подачи существует несколько методик. Мы будем использовать методику расчета скорости подачи, разработанную на основании теории резания древесины профессора Бершадского А.Л. и изложенную в учебнике [1]. Главными факторами, определяющими величину скорости подачи, являются: 1) мощность привода оборудования; 2) производительность режущего инструмента; 3) требуемое качество обрабатываемой поверхности. Таким образом, исходные данные для выполнения расчета должны содержать информацию о применяемом оборудовании и инструменте, а также общую характеристику производимой продукции.

В рамках данной работы был рассмотрен только один тип бревнопильного оборудования, а именно одновальные многопильные круглопильные станки. Выбор этого типа оборудования связан с тем, что такие станки в последнее время получают все большее распространение. Для расчетов были приняты станки трех марок ЦМ-150К, ДК-150 и ЦМР-150. Параметры этих станков, важные для расчета взяты из [2] и представлены в табл. 1.

**Таблица 1 – Технические параметры многопильных круглопильных станков**

Показатели	Марка станка		
	ЦМ-150К	ДК-150	ЦМР-150
Толщина брусьев, мм	20–150	40–150	до 150
Количество пил, шт.	7	5	до 10
Частота вращения пильного вала, мин <sup>-1</sup>	1500	1950	2500
Скорость подачи, м/мин	6; 10; 15; 20	4,5; 12; 16; 20	6–20
Мощность привода пильного вала, кВт	46	30	56

В качестве режущего инструмента приняты круглопильные пилы 94.1-FZ Massive Pilana [3]. Основные характеристики инструмента, необходимые для проведения расчета представлены в табл. 2.

**Таблица 2 – Технические характеристики круглой пилы 94.1-FZ Massive Pilana, принятой для расчетов**

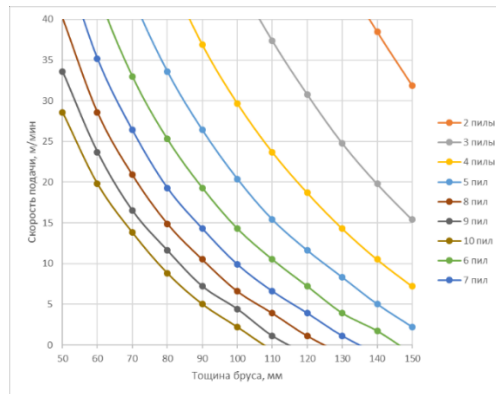
Показатель	Значение
Диаметр пилы, мм	500
Толщина пилы, мм	3,5
Толщина зуба с уширением, мм	5,2
Количество зубьев	22
Зуб из твердого сплава	ВК4
Передний угол	20
Задний угол	15
Угол заточки	55
Максимальный диаметр крепежного фланца, мм	130

При распиловке бревен на пиломатериалы не предъявляется жестких требований к шероховатости поверхности получаемых пиломатериалов, поэтому для расчетов принимаем класс шероховатости поверхности  $\delta_2$ , который соответствует шероховатости  $Rm_{max}$  400–800 мкм.

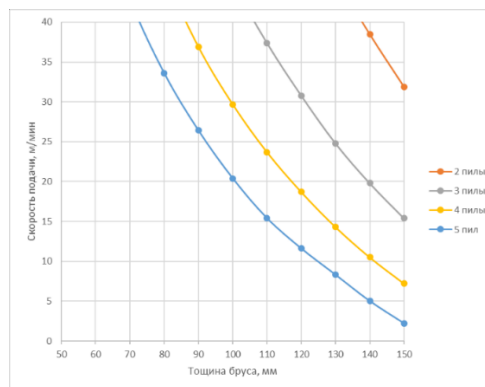
Для исходных данных, приведенных выше, были выполнены расчеты скорости подачи брусьев. При этом скорость подачи рассчитывалась для брусьев толщиной от 50 до 150 мм.

Также переменным фактором при проведении расчетов являлась величина количества пил: от 1 пилы до максимального количества пил доступного по технической характеристике станка (табл. 1).

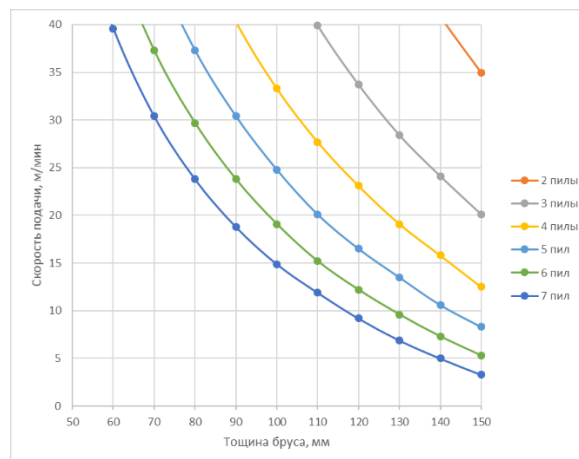
Результаты расчета показали, что определяющим фактором при определении скорости подачи является установленная мощность привода. Опираясь на результаты расчета, были построены графики для определения скорости подачи для различных станков (рис. 1–3).



**Рисунок 1 – График для определения скорости подачи при распиловке брусев на многопильном круглопильном станке ЦМР-150**



**Рисунок 2 – График для определения скорости подачи при распиловке брусев на многопильном круглопильном станке ДК-150**



**Рисунок 3 – График для определения скорости подачи при распиловке брусев на многопильном круглопильном станке ЦМ-150К**

Полученные графики являются основой для определения оптимальной расчетной скорости подачи брусев при их распиловке на многопильных круглопильных станках. Определение скорости производится в два действия: 1) по марке оборудования выбрать нужный

график; 2) по толщине распиливаемого бруса, а также количеству пил определить оптимальную скорость подачи.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гришкевич, А. А. Механическая обработка древесины и древесных материалов, управление процессами резания : учеб.-метод. Пособие для студентов специальности 1-36 05 01 «Машины и оборудование лесного комплекса» специализации 1-36 05 01 03 «Машины и оборудование деревообрабатывающей промышленности» / А. А. Гришкевич. – Минск: БГТУ, 2012. – 111 с.

2. Янушкевич, А. А. Технология лесопильного производства. Курсовое и дипломное проектирование : учеб.-метод. Пособие для студентов специальностей 1-46 01 02 «Технология деревообрабатывающих производств», 1-36 05 01 «Машины и оборудование лесного комплекса» специализации 1-36 05 01 03 «Машины и оборудование деревообрабатывающей промышленности» / А. А. Янушкевич. – Минск: БГТУ, 2015. – 150 с.

3. Пильные диски для многопильных станков [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://pilana.by/index.pl?act=PRODUCT&id=18> – Дата доступа: 15.01.2025.

УДК 621.914:674:004

В.В. Раповец, доц., канд. техн. наук;  
В.Т. Лукаш, доц. канд. техн. наук; М.А. Мазовка, студ.  
(БГТУ, г. Минск)

### **СОВРЕМЕННЫЕ ЭФФЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА ПОВЕРХНОСТЯХ НОЖЕЙ ФРЕЗЕРНОГО ДЕРЕВОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА**

На сегодняшний день повышение износостойкости дереворежущего инструмента является актуальной задачей для Республики Беларусь, поскольку увеличение объемов выпускаемой продукции из древесины ведет к увеличению объемов эксплуатируемого инструмента. А поскольку большую часть дереворежущего инструмента страна закупает у иностранных производителей, это ведет к увеличению затрат валютных средств, тем самым снижая общий объем валютных поступлений от продажи изделий из древесины и древесных материалов. Таким образом, использование современных методов повышения износостойкости дереворежущего инструмента является актуальной задачей для предприятий отрасли.

Износостойкие покрытия (тугоплавкие, алмазоподобные) на поверхностях ножей фрезерного инструмента играют важную роль в обеспечении его долговечности и эффективности. Эти покрытия обладают высокой твердостью, износостойкостью и химической инертностью, что делает их привлекательным выбором для применения в различных отраслях промышленности.

Упрочняющие покрытия, не содержащие Al либо Cr, обладают сравнительно низкой температурной стойкостью. Хорошо известные покрытия нитрида титана как и нитрида циркония [1–4] начинают окисляться при температурах порядка 550°C. При этом допустимая температура понижается при переходе от нитридов к карбонитридам. Для TiCN она составляет лишь 400°C, немного выше у CrCN – 480°C. Такого рода покрытия не могут быть использованы в условиях высоких температур (деревообрабатывающий инструмент, инструмент для высокоскоростной обработки металла, химические реакторы, паровые турбины и др.).

На смену им приходят покрытия, способные формировать на воздухе плотные оксиды, предотвращающие замещение азота кислородом, сохраняя в целом необходимую твердость покрытий. Это в первую очередь относится к покрытиям AlTiN, AlTiSiN и CrN, AlCrN. Именно хром и алюминий могут образовывать плотные, практически беспористые слои оксидов, препятствующие дальнейшей диффузии кислорода вглубь покрытия.

Покрытия нитрида хрома и титана широко чаще используются в металлообработке, благодаря своим хорошим механическим и трибологическим свойствам, а также превосходной коррозионной и температурной стойкости [5–8]. Покрытия AlTiN и AlCrN особенно привлекательны из-за их превосходной стойкости к окислению, отличных механических свойств, а также химической стабильности [9]. Такие покрытия обладают лучшей износостойкостью благодаря образованию постоянных оксидных слоев на изнашиваемых поверхностях, имеющих более низкие коэффициенты трения. Добавление алюминия в нитриды хрома и титана повышает износостойкость при высоких температурах (850–900)°C [6, 7]. AlCrN покрытия показывают очень высокую твердость при повышенных температурах и износостойкость при экстремальных механических нагрузках. Свойства формируемого тонкопленочного материала сильно зависят от концентрации алюминия в покрытиях. При содержании Al в покрытии ниже 75% образуется регулярная фаза c-AlN [8]. Рост содержания алюминия способствует образованию гексагональной фазы h-AlN с кристаллической решеткой типа вюрцита, что приводит к снижению твердости покрытий



и резкому ухудшению прочности. Гексагональная фаза AlN является более стабильной, чем кубическая фаза, таким образом превращение кубической фазы в гексагональную происходит спонтанно. В случае кубической кристаллической структуры наблюдается улучшение износостойкости и термостойкости покрытия по сравнению с гексагональной структурой [9].

Таким образом, можно утверждать, что композиционные покрытия на основе AlTiN и AlCrN показывают хорошие результаты при их использовании на различного рода инструменте и технологической оснастке, эксплуатируемых при высоких нагрузках и температурах.

Кроме тугоплавких композиционных покрытий, известны несколько методов нанесения алмазоподобных покрытий, отличающихся своими эксплуатационными характеристиками, что в свою очередь обусловлено различным соотношением в них характерных для всех углеродных образований  $sp^3/sp^2$  связей, а также наличия (отсутствия) в их составе атомов водорода.

Наибольшее распространение получил метод создания алмазоподобных покрытий путем химического осаждения на подложку из паровой фазы (CVD – chemical vapor deposition) из углеводородов (источником углерода являются газы типа ацетилен, пропан, бутан и др.), подвергаемых термической или разрядной деструкции. Технологические параметры получения покрытий следующие [10]: осуществляется при температурах 700–1000°C; используются газообразные реагенты (метан, ацетилен); давление процесса: 1–100 Па; скорость осаждения: 0,1–10 мкм/ч; возможность получения покрытий толщиной до 10 мкм. Микротвердость покрытия находится в диапазоне от 9 до 40 ГПа. Такие покрытия называются DLC ( $\alpha$ CH) (diamond-like carbon). Эти покрытия обладают низким коэффициентом трения. Используются в основном для увеличения скольжения в трущихся деталях и механизмах, но практически не подходят для использования на металлообрабатывающем инструменте, поскольку обладают недостаточной прочностью и имеют слабую адгезию с напыляемой поверхностью.

Известен также метод получения алмазоподобных покрытий с помощью плазменного распыления графита в вакуумной камере и осаждению ионов углерода с большой энергией на изделия (PVD – physical vapor deposition), например, на металло- и деревообрабатывающий инструмент. Такие покрытия имеют название DLC ( $\alpha$ C). Технология получения алмазоподобных покрытий методом вакуумного импульсного распыления была разработана учеными Уральского отделения РАН [11]. Принципиальное отличие этой технологии состоит в том, что концентрация углерода с алмазоподобными связями типа -

sp<sup>3</sup> доходит в получаемых алмазоподобных покрытиях до максимального возможного значения – 85%, а микротвердость лежит в пределах значений от 50 до 100 ГПа и вплотную приближается по своим показателям к монокристаллическому алмазу. Технологические параметры получения покрытий следующие: осуществляется при температурах 200–500 °С; методы распыления: магнетронное, электродуговое; давление в камере: 0,1–1 Па; скорость осаждения: 1–5 мкм/час; возможность создания многослойных структур. Для повышения износостойкости используются и так называемые гибридные методы: многослойные покрытия при комбинации методов PVD и CVD, плазменно-ассистированные методы, ионно-лучевые и др.

Технология получения алмазоподобных DLC-покрытий сводится к плазменному импульсному распылению графита в вакуумной камере и осаждению ионов углерода с достаточно большой энергией на поверхности режущего инструмента.

Высокое содержание атомов углерода с алмазными связями в присутствии графитоподобных атомов приводит к появлению уникальных характеристик алмазоподобных покрытий, таких как высокая твердость, сравнимая с чистым алмазом; низкий коэффициент трения в диапазоне от 0,04–0,1 характерный для графита; высокая износостойкость; химическая инертность; биосовместимость с живыми тканями; экологическая чистота. При этом из всего многообразия применяемых упрочняющих покрытий алмазоподобные покрытия имеют наибольшую микротвердость и наименьший коэффициент трения. Микротвердость широко используемых DLC ( $\alpha$ CH) покрытий составляет величины от 10 до 45 ГПа, определенные по методу Виккерса. В то же время для покрытий, полученных методом плазменного импульсного распыления графита в вакууме и называемых DLC ( $\alpha$ C), микротвердость лежит в пределах значений от 50 до 100 ГПа и приближается к чистому алмазу.

Покрытие, полученное методом химического осаждения DLC ( $\alpha$ CH) из газовой фазы углеводородов (таких как ацетилен, пропан и т.д.) на упрочняемую поверхность путем их термической или разрядной деструкции, по сравнимым характеристикам значительно ниже. Такой тип покрытия имеет свои преимущества, такие как высокая прозрачность по сравнению с DLC( $\alpha$ C).

Заключение: композиционные тугоплавкие износостойкие и алмазоподобные DLC-покрытия, полученные различными методами на поверхностях дереворежущих инструментов, работающих в условиях вибрационного резания, позволяют улучшить качественные характеристики процесса фрезерования за счет снижения сил трения в зоне

контакта ножа с обрабатываемым материалом, повышения микротвердости и теплопроводности поверхностей ножа. Это позволяет снизить энергоемкость процесса резания древесных материалов, увеличить технологическую стойкость режущего инструмента, применяя комбинации упрочняющих технологий для конкретных условий действующего предприятия.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Veprek S., Veprek-Heijman M.J.G. Industrial application of superhard nanocomposite coatings // *Surface and Coating Technology*. – 2008. – Vol. 202. – P. 5063–5073.
2. Коваленко В.И., Маринин В.Г. Прочность поверхностных слоев циркониевых сплавов и вакуумнодуговых покрытий при микроударном воздействии // *Вопросы атомной науки и техники*. – 2008. – № 1. – С.77-80.
3. Heinrich S. Comparison of ZrN and TiN formed by plasma based ion implantation & deposition // *Surface and Coating Technology*. – 2008. – Vol. 202. – P. 2310–2313.
4. Chen C.S., Liu C.P. Diffusion barrier properties of amorphous ZrCN films for copper metallization. // *Journal of Non-Crystalline Solids*. – 2005. – Vol. 351. – P. 3725–3729.
5. Long Y., Zeng J., Yu D., Wu S. Microstructure of TiAlN and CrAlN coatings and cutting performance of coated silicon nitride inserts in cast iron turning. // *Ceramics International*. – 2014. – Vol. 40. – P. 9889–9894.
6. Michalak M., Michalczewski R., Osuch-Słomka E., Maldonado-Corte's D., Szczerek M. The effect of temperature on wear mechanism of the AlCrN coated components. // *Key Engineering Materials*. – 2016. – Vol. 674. – P.233-238
7. Hörling A., Hultman L., Odén M., Sjöln J., Karlsson L. Thermal stability of arc evaporated high aluminum-content Ti<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N thin films. // *J. Vac. Sci. Technol. A* – 2002. – Vol. 20. – P. 1815–1823.
8. Lin J., Mishra B., Moore J.J., Sproul W.D. A study of the oxidation behavior of CrN and CrAlN thin films in air using DSC and TGA analysis. // *Surface and Coatings Technology*. – 2008. – Vol. 202. – P. 3272–3283.
9. Wang L., Zhang S., Chen Z., Li J., Li M. Influence of deposition parameters on hard Cr-Al-N coatings deposited by multi-arc ion plating. // *Applied Surface Science*. – 2012. – Vol. 258. – P. 3629–3636.
10. Complete Guide To DLC Coating. – Текст: электронный // [www.dekmake.com](http://www.dekmake.com): [сайт].– URL: <https://www.dekmake.com/guide-to-dlc-coating/> (дата обращения: 15.02.2024).
11. RU 2360032 C1, 2009.

## **ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ФРЕЗЕРНОГО ИНСТРУМЕНТА С DLC-ПОКРЫТИЯМИ ПРИ ВИБРАЦИОННОМ РЕЗАНИИ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

На современных деревообрабатывающих и мебельных предприятиях для обработки кромок древесного материала, для обхода по контуру изделия методом цилиндрического фрезерования применяется концевой фрезерный инструмент, оснащенный твердосплавными вольфрамокобальтовыми пластинами. Наиболее распространенными являются марки твердого сплава ВК6, ВК8 и ВК15. Ранее выполненные исследования [1–2] показали, что применение твердого сплава и упрочняющих покрытий на нем для процесса фрезерования древесного материала дает возможность значительно увеличить (в 5–20 раз) технологическую стойкость режущего инструмента в сравнении с износостойкостью ножей из быстрорежущей стали типа Р6М5.

Не маловажную роль в повышении технологической стойкости играют различные упрочняющие покрытия из тугоплавких материалов, и алмазоподобные DLC-покрытия, полученные плазменно-ассистированными методами, ионно-лучевыми или гибридными с получением многослойных покрытий и др. Выполненный анализ литературных источников в области использования износостойких покрытий на поверхностях дереворежущего инструмента показал перспективность применения 2-х основных методов получения алмазоподобных DLC-покрытий: химическим осаждением на подложку из паровой фазы (CVD) и плазменным распылением графита в вакуумной камере и осаждением ионов углерода на изделия (PVD).

Технология получения алмазоподобных DLC-покрытий сводится к плазменному импульсному распылению графита в вакуумной камере и осаждению ионов углерода с достаточно большой энергией на поверхности режущего инструмента. В результате такого напыления углерода образуется аморфное покрытие, состоящее из атомов углерода как с алмазными  $-sp^3$ , так и с графитодобными  $-sp^2$  связями. Такие аморфные покрытия можно получать в широкой области температур, вплоть до комнатной на различных материалах: металлах, керамике, стекле, пластических материалах.

Для получения DLC-покрытий алмазоподобного углерода на ножах концевой фрезы использовался метод физического вакуумного осаждения (PVD), основанный на создании высокоэнергетичных по-

токов углеродной плазмы, формируемой импульсными дуговыми генераторами из графитовых электродов. Осаждение DLC-покрытий алмазоподобного углерода осуществлялось в вакууме. Метод позволяет получать покрытия АПУ с максимальным содержанием атомов углерода с  $sp^3$ -гибридизацией валентных электронных оболочек (т.е. с алмазным типом связи), имеющие аморфную структуру и свойства близкие к алмазу. Производственные испытания технологической стойкости фрезерных ножей с алмазоподобными DLC-покрытиями в составе конструкций концевой инструмента проводились в условиях ОАО «Слониммебель» при выполнении технологической операции контурного вибрационного фрезерования материала МДФ на машине Biesse Rover A 4.30 (рис. 1).



**Рисунок 1 – Машина Biesse Rover A 4.30 с числовым программным управлением**

Обоснованным технологическим режимом обработки материала ножами DLC-покрытиями (рис. 2) по критерию требуемой производительности принят следующий: обрабатываемый материал MDF толщиной 22–44 мм; диаметр резания 25 мм; частота вращения инструмента 18000 мин<sup>-1</sup>, скорость подачи 4 м/мин; частота осевого перемещения 10 Гц и амплитуде колебаний 0,2 мм.



**Рисунок 2 – Ножи с износостойким алмазоподобным DLC-покрытием для вибрационного резания древесных материалов**

Результаты экспериментальных исследований показали значительное повышение технологической стойкости ножей с алмазоподобными DLC-покрытиями. В табл. 1 приведены результаты сравнения

технологической стойкости ножей с алмазоподобными DLC-покрытиями и без них.

**Таблица 1 – Сравнительная характеристика износостойкости ножей**

Наименование экспериментального образца	Суммарный путь резания, м.п.
Нож BK8 без покрытия	1052
Нож BK8 с DLC-покрытием 1	3216
Нож BK8 с комбинированным DLC-покрытием 2	2401

Из таблицы видно, что использование алмазоподобных покрытия увеличивает технологическую стойкость ножей в 2,4–3,2 раза. Кроме того, за счет снижения коэффициента трения на поверхности ноже снижается мощность на резание, что согласуется с наблюдениями о повышении производительности обработки. Обычно повышенная долговечность и эффективность процесса резания имеют прямое влияние на экономические показатели предприятий [3].

Заключение: исследование показало, что применение алмазоподобных DLC-покрытий на ножах дереворежущего инструмента значительно повышает их технологическую стойкость и эффективность работы. Увеличение суммарного пути резания до 3216 пог. м в сравнении с 1052 пог. м без покрытия является убедительным показателем эффективности применяемой технологии использования DLC-покрытий на ножах дереворежущего инструмента. Дальнейшие исследования могут быть направлены на использование различных комбинация алмазоподобных DLC-покрытий и их сочетаний с другими методами обработки, что позволит углубить понимание физических процессов, происходящих при резании древесины.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гришкевич, А.А. Эффективность применения TiN-, ZrN-, Ti–Zr–N- и Ti-покрытий на твердосплавных резцах при обработке ламинированных древесно-стружечных плит концевыми фрезами / А.А. Гришкевич [и др.] // Труды БГТУ. Сер. VI, Физ.-мат. науки и информатика. – 2008. – Вып. XVI. – С. 52–54.

2. Kuleshov, A.K. Properties of coatings based on Cr, Ti, Mo nitrides with embedded metals deposited on cutting tools / A.K. Kuleshov, V.V. Uglov, V.V. Chaevski, V.M. Anishcik // Journal of Friction and Wear – V. 32, №3 – 2011. – P. 192–198.

3. Раповец В. В. Методика расчета мощности в программной среде LS-DYNA через мгновенные значения сил и скоростей резания при фрезеровании древесины / В.В. Раповец, И.К. Клепацкий, С.В. Медведев, Г.Г. Иванец // Труды БГТУ. – 2018. – Сер.1, №2 (210): Лесная и деревообаб. пром-сть. – С. 290–295.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ СТРУННОГО НАРОДНОГО МУЗЫКАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА - ЙОУХИККО

Древесина была и остаётся одним из важнейших конструктивных материалов для изготовления музыкальных инструментов.

Музыкальные инструменты производятся из древесины с резонирующими свойствами высокого качества, как правило, выдерживающихся в природной среде в течение многих лет для сохранения акустических качеств и стабильной структуры. Резонансная древесина заготавливается исключительно в холодное время года. Выдержанная в естественных условиях древесина особенно ценится в производстве музыкальных инструментов. Например, Амати, Страдивари, Гварнери и другие мастера староитальянской школы, а также французские мастера при изготовлении музыкальных инструментов (скрипок) использовали выдержанную в течение не менее 14 лет древесину ели для верхней деки [1].

Деки инструментов чаще всего изготавливают из ели с резонансными свойствами. Разные подвиды ели растут почти повсеместно в России. В качестве резонансной берут ель, выращенную преимущественно в центральной части России. Для изготовления корпусов и других частей музыкальных инструментов используются сосна, клён, бук, красное дерево и др. [1–3].



Рисунок 1 – Йоухикко

Многолетний опыт изготовления струнных народных музыкальных инструментов [4, 5] позволил разработать (воссоздать на основе музейного экспоната) в учебных мастерских университета йоухикко, конструкция которого представлена на рис. 1. Йоухикко – карело-финский смычковый музыкальный инструмент (15–16 в), имеющий 2 или 3 струны, с корпусом в форме корытца с широким фигурным грифом со специальным вырезом для руки. Корпус сверху закрыт еловой декой с резонирующим отверстием. Для натяжения струн в верхнюю часть (гриф) инструмента устанавливаются деревянные колки. На инструменте играют, проводя по струнам смычком.

Общая технология изготовления йоухикко включает следующие этапы.

1. Изготовление шаблона по чертежу.
2. Перенос шаблона на массив древесины.
3. Изготовление корпуса инструмента (материал: сосна). Корпус инструмента может быть выполнен в 2 исполнениях: долблённый (в этом случае он закрывается одной верхней декой) и клеёный (приклеиваются обе деки).
4. Изготовление верхней (материал: ель) и нижней (материал: сосна) дек.
5. Приклеивание дек к корпусу (клей ПВА – поливинилацетатный).
6. Изготовление колков, мостика (подставки) и площадки (струнодержателя) – материал: твёрдые лиственные породы, например, берёза.
7. Изготовление смычка (из кленового или орехового хлыстика (или составной вариант из трёх отдельных заготовок твёрдых лиственных пород, как представлено на фото) и пучка конского волоса). В исполнении на йоухикко также хорошо себя зарекомендовали и скрипичные смычки. Смычок должен быть хорошо обработан канифолью для максимального сцепления со струнами.
8. Защитно-декоративная отделка инструмента [5].
9. Установка колков, подставки, струнодержателя и струн (материал струн: конский волос, синтетические или металлические).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Федюков, В.И. Резонансные акустические и колориметрические характеристики древесины из ретроооружений [Электронный ресурс] / В.И. Федюков, В.Ю. Чернов, М.С. Чернова, О.В. Цой // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – Йошкар-Ола, 2022. – № 6. – С. 164–177. Режим доступа: <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-6-164-177>
2. Федюков, В.И. Ель резонансная: отбор на корню, выращивание, сертификация [Текст] / В.И. Федюков; М-во общ. и проф. образования РФ. Мар. гос. техн. ун-т. - Йошкар-Ола: МарГТУ, 1998. – 202 с.
3. Когогин, А.В. Акустические свойства древесины клёна как материала для изготовления музыкальных инструментов [Электронный ресурс] / А.В.Когонин, Е.Ю.Салдаева // Стратегии развития региона на основе модернизации приоритетных отраслей его экономики: материалы II Международной научно-практической конференции. – Йошкар-Ола, 2018. – С. 146–148. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35285592>
4. Талых, А. А. Из опыта проектирования и изготовления



народных музыкальных инструментов-кантеле в вузе [Электронный ресурс] / А.А. Талых // Проблемы современного педагогического образования. – Ялта, 2017. – № 54–3. – С. 198–205. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28150387>

5. Талых, А.А. О выборе защитно-декоративных покрытий для отделки корпусов и дек струнных музыкальных инструментов из древесины [Электронный ресурс] / А. А. Талых, А. Д. Гаврилова, Д. А. Шишигин // Технология органических веществ: материалы 88-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием). – Минск, 2024. – С.403–406. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=67330322&pff=1>.

УДК 674.02: 006.036

С.П. Трофимов, член ТКС, канд. техн. наук  
(РУП «Стройтехнорм», Минск);  
А.Я. Найчук, д-р. техн. наук  
(БрГТУ, Брест)

## **ТЕХНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ ДЕРЕВООБРАБОТКИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

Нормативно-технические документы разрабатываются и применяются в соответствии с Законом Республики Беларусь о техническом нормировании и стандартизации 2004 г., [1]. Головной организацией и полномочным представителем Республики Беларусь в 84 межгосударственных технических комитетах является Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации БелГИСС.

Объектами технического нормирования являются: продукция (сырье, материалы, изделия, конструкции, оборудование) и связанные с техническими требованиями к ней процессы разработки, проектирования, изысканий, производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации (использования), хранения, перевозки (транспортирования), реализации и утилизации. Охрана труда и здоровья, взрывопожарная и экологическая безопасность также сопровождаются требованиями соответствующих нормативно-технических документов.

На территории Республики Беларусь действуют около 2300 технических нормативных правовых актов, включая обязательное и добровольное применения. Последние указываются заказчиком в договоре, задании на проектирование или в проектной документации.

В Республике Беларусь применяются следующие виды технических нормативных правовых актов (ТНПА) [1, 2].

ГОСТы – межгосударственные стандарты добровольного применения при наличии соответствующего решения органов стандартизации и ГОСТы EN – межгосударственные стандарты, идентичные европейским стандартам.

СТБ – государственные стандарты Республики Беларусь, утвержденные Государственным комитетом по стандартизации Республики Беларусь, а также СТБ EN – идентичные стандартам EN, утвержденные в установленном порядке в Республике Беларусь.

ТР РБ, ТР ТС и ТР ЕАЭС – технические регламенты, соответственно Республики Беларусь, Таможенного Союза и Евроазиатского Экономического Союза. Согласно Закону «О техническом нормировании», они являются обязательными для соблюдения всеми субъектами технического нормирования и стандартизации.

СН – строительные нормы Республики Беларусь, разрабатываются и вводятся с 2019 г., обязательны к исполнению.

СП – строительные правила Республики Беларусь, разрабатываются и вводятся с 2019 г., рекомендательны к исполнению.

ТКП – технические кодексы установившейся практики нашей страны, являются, добровольными для применения, за исключением случаев, предусмотренных Законом Республики Беларусь [1].

ТУ – технические условия на продукцию, предназначенную для реализации иным юридическим или физическим лицам, либо на выполняемые работы и оказываемые услуги, обязательность соблюдения их требований, либо добровольность применения самостоятельно определяет юридическое лицо Республики Беларусь или индивидуальный предприниматель, утвердившие этот документ.

СТО – стандарты организаций, утвержденные юридическим лицом Республики Беларусь или индивидуальным предпринимателем, зарегистрированным в нашей стране и содержащий технические требования к объектам стандартизации, действие которых распространяется только на юридическое лицо Республики Беларусь или индивидуального предпринимателя, утвердивших этот стандарт [1].

Кроме того, в деревообработке принят ряд других в сфере охраны труда, обеспечения экологической и пожарной безопасности, включая санитарные правила, нормы и гигиенические нормативы, например: экологические нормы и правила ЭкоНИП [3], и отраслевые правила охране труда [4].

В Республики Беларусь имеется 40 технических комитетов стандартизации, включая действующие в области деревообработки:

ТКС-13 – «Светопрозрачные ограждения в различных конструктивных исполнениях, двери и ворота и приборы к ним», в составе его специалисты РУП «Стройтехнорм», других организаций и предприятий;

ТКС-16 – «Деревянные конструкции и изделия», в составе его специалисты РУП «Стройтехнорм», других организаций и предприятий;

ТК-23 ВУ – «Лесоматериалы» в составе его специалисты УП «Белгипролес», некоторых других организаций и предприятий;

ТК-39 ВУ – «Мебель и деревообработка (в части, не относящейся к строительной продукции)», в составе его специалисты концерна «Беллесбумпром», некоторых других организаций и предприятий.

Технические комитеты стандартизации в строительстве РУП «Стройтехнорм» ТКС-13 и ТКС-16 разрабатывают ТНПА, рассматривают проекты межгосударственных документов и принимают решения о применении их в нашей стране, например:

СТБ 1912-2008 «Элементы остекления балконов и лоджий. Технические условия», разработан впервые в отсутствие аналога;

СТБ 2433-2015 «Блоки дверные. Общие технические условия», вместо СТБ 1138-98 «Двери и ворота для зданий и сооружений. Общие технические условия»;

ГОСТ 23166-2021 «Конструкции оконные и балконные светопрозрачные ограждающие. Общие технические условия» не принят в нашей стране;

СТБ EN 16351 «Деревянные конструкции. Древесина клееная с перекрестным расположением слоев. Технические условия» начата разработка;

СН 2.02.06-2020 «Склады лесных материалов» вместо ТКП 45-2.02-84-2007 «Склады лесных материалов. Пожарная безопасность. Строительные нормы проектирования»;

СП 5.05.01-2021 «Деревянные конструкции» вместо ТКП 45-5.05-146-2009 «Деревянные конструкции. Строительные нормы проектирования».

В 2024 году на совещании БелГИСС и Концерна «Беллесбумпром» обсуждались вопросы актуализации отраслевой нормативной базы. В частности, о пересмотре ТКП 510-2014 «Системы пневмотранспорта и аспирации в деревообрабатывающем производстве, включая производство древесных топливных гранул (пеллет) и древесных брикетов. Нормы проектирования». Разработка может быть выполнена ТКС 06 «Теплоэнергетическое оборудование зданий и сооружений» в 2026 г.

ТК-39 ВУ УП «Белгипролес» Министерства лесного хозяйства РБ разрабатывает и актуализирует стандарты на круглые лесоматериалы, пиломатериалы и некоторые другие взамен соответствующих ГОСТ, например:

СТБ 1711-2007 «Лесоматериалы круглые хвойных пород. Технические условия» взамен ГОСТ 9463-2016;

СТБ EN 387-2009 «Лесоматериалы клееные. Универсальные зубчатые соединения. Требования к эксплуатационным характеристикам и минимальные требования к производству», введен впервые;

ТУ ВУ 100195503.015-2016 «Изделия деревянные фрезерованные».

Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций разработал ТКП 474-2013 «Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» с отменой ранее действовавших НПБ 5-2005.

Примеры технических регламентов Республики Беларусь, Таможенного союза и Евразийского экономического союза, действующих в нашей стране: ТР 2009/013/ВУ «Здания и сооружения, строительные материалы и изделия. Безопасность»; ТР ТС 025/2012 «О безопасности мебельной продукции»; ТР ЕАЭС 043/2017 «О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения».

Межгосударственные стандарты – принятые Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации Содружества Независимых Государств, например:

ГОСТ 12.3.042-88. ССБТ. Деревообрабатывающее производство. Общие требования безопасности;

ГОСТ 34478.2-2018 (EN 1807-2:2013) «Безопасность деревообрабатывающих станков. Станки ленточнопильные. Часть 2. Станки ленточнопильные для распиловки бревен».

Нормативная база актуализируется на основе предложений технических комитетов, организаций и предприятий. Имеется тенденция к введению межгосударственных документов ЕАЭС и стандартов идентичных или аутентичных европейским стандартам. Разработка и актуализация ТНПА нередко требует проведения НИР, а введение ГОСТ EN и СТБ EN согласования с нашими документами в части нормативных ссылок и терминологии.

К трудностям разработки ТНПА можно отнести: отсутствие некоторых специалистов и сотрудничества с комитетами стандартизации других стран, а также единой межгосударственной программы в области стандартизации, недостаточные объемы финансирования и обновления лабораторной базы для проведения исследований и испытаний материалов, изделий и оборудования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Закон Республики Беларусь от 28 июня 2024 г. № 15-3 (Нац. правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 03.07.2024, 2/3101). [Электронный ресурс] Режим доступа : <https://pravo.by/document> : Дата доступа : 15.10.2024.

2. ТКП 45-1.01-4-2005 «Система технического нормирования и стандартизации Республики Беларусь. Национальный комплекс технических нормативных правовых актов в области архитектуры и строительства. Основные положения».

3. ЭкоНИП 17.08.06-002-2018 «Правила эксплуатации газоочистных установок», Пост. Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь 08.11.2018 № 6-Т.

4. Правила по охране труда при ведении лесного хозяйства, обработке древесины и производстве изделий из дерева: Пост. Министерства труда и социальной защиты и Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь, 30.03.2020 г., №32/5 // Нац. правовой Интернет портал. – 2020. – 8/35383 [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://www/pravo.by/document](https://www.pravo.by/document) : Дата доступа 10.06.2021.

УДК 674.06

И.М. Батырева, доц., канд. тех. наук;  
А.М. Иванов, ст. преп., канд. тех. наук;  
С.В. Бикетова, маг.; Н.И. Трифонов, студ.;  
Д.С. Русаков, доц., канд. тех. наук  
(СПбГЛТУ, г. Санкт-Петербург, Россия)

### **АНАЛИЗ ПРИЧИН ПРИ УСТАНОВКЕ ЧЕТЫРЕХШАРНИРНЫХ ПЕТЕЛЬ, ПРИВОДЯЩИХ К БРАКУ**

Современные конструкции мебельной фурнитуры должны обеспечивать комфорт потребителям мебели при ежедневном ее использовании, надежность конструкции, поэтому улучшению характеристик и показателей качества при разработке новых изделий мебели и применяемой фурнитуры уделяется значительное внимание [1].

Качество и долговечность большинства видов мебели определяются качеством и долговечностью применяемой фурнитуры, особенно четырехшарнирных петель для корпусной мебели [2].

К сожалению, хоть и использование специального программного обеспечения для проектирования мебели снизило в разы количество брака, получаемого по вине конструктора, о полном исключении ошибок при проектировании говорить не приходится. Конечно, большинство программ для проектирования мебели предупреждают о возможных ошибках (рис. 1), например, пересечение деталей, пересечения фурнитуры, неверная установка фурнитуры и т.д., однако из-за постепенного усложнения конструкций, увеличения ассортимента фурнитуры возникают ошибки совершенно иного рода. Также, к сожалению, уровень компетенции конструкторов находится на относительно низком уровне.

#### Анализ модели

Проверить модель Показать скрытые ошибки

- > Пересечение фурнитуры:
- > Пересечение объектов:
- > Неправильная установка фурнитуры:
- > Панель не закреплена:
- > Несовпадающие позиции:

### Рисунок 1 – Пример ошибок, получаемых при анализе модели

Рассмотрим основные проблемы, возникающие при проектировании изделий, в конструкции которых присутствуют четырехшарнирные петли (рис. 2). В первую очередь это ошибки, которые происходят при использовании выкатных ящиков, установленных внутри мебельного изделия (шкафа) с распашными фасадами. Без использования проставок (рис. 3), уменьшающих ширину ящика, или без использования специальных петель трансформеров, позволяющих отводить дверь из проема корпуса (рис. 4) такие ящики при открывании фасадом будут упираться в торец открытой двери, поскольку обычные четырехшарнирные петли из-за их конструктивных особенностей при открывании смещают дверь внутрь изделия (рис. 5).

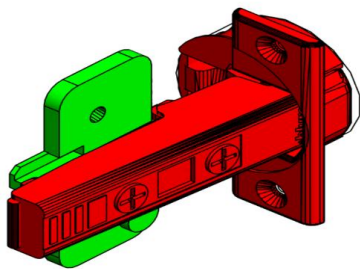
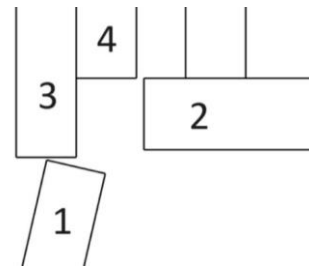
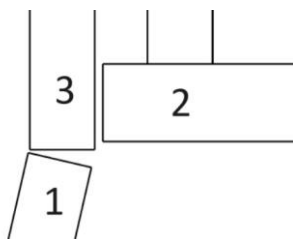


Рисунок 2 – Четырехшарнирная петля



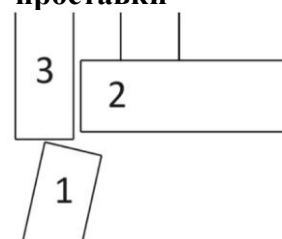
1 – открытая дверь; 2 – фасад ящика; 3 – боковина, к которой крепится петля; 4 – проставка

Рисунок 3 – Использование проставки



1 – открытая дверь; 2 – фасад ящика; 3 – боковина, к которой крепится петля

Рисунок 4 – Смещение двери при установленной петле трансформер



1 – открытая дверь; 2 – фасад ящика; 3 – боковина, к которой крепится петля трансформер

Рисунок 5 – Смещение фасада в открытом положении

Однако надо понимать, что использование проставки ухудшает эстетические качества изделия, а специальные петли стоят в несколько раз дороже обычных.

Распространённой ошибкой является некорректный расчет количества петель, устанавливаемых на дверь. Необходимое количество петель зависит от массы двери и ее высоты. В случае недостаточного количества петель со временем происходит перекося двери, теряется геометрическая точность, и зазоры между фасадами уменьшаются, что негативно влияет на внешний вид изделия и эксплуатационные свойства. Большинство изготовителей петель рекомендуют количество петель выбирать по определенным характеристикам (таблица).

**Таблица – Рекомендуемое количество петель**

Количество петель, шт.	Высота двери, мм	Масса двери, кг
2	200...800	0...6
3	800...1500	6...12
4	1500...2100	12...17
5	2100...2500	17...22
6	2500...3000	22...27

Если масса двери при определенном размере больше табличной, то количество петель берется не по ее высоте, а по ее массе. Так, например если высота двери 1400 мм, а масса 13 кг, то устанавливать следует 4 петли. Также не рекомендуется использовать двери шириной более 600 мм, а также двери, у которых высота меньше ширины. Все ограничения связаны с возможным перекося двери.

В современных программах существует возможность поставить фурнитуру в автоматическом режиме, однако при использовании такой функции возможны случаи, при которых, петля будет пересекаться с полкой или ящиком, царгой или другим элементом, поэтому необходима проверка проекта конструктором (технологом) перед сдачей заказа в работу. Также стремясь снизить стоимость заказа, часть петель с доводчиком заменяют на более дешевые петли без доводчика, что приводит к преждевременной поломке доводчика в петле.

Из всего многообразия петель, которые предлагают производители, мебельщики используют лишь небольшое количество, ориентируясь преимущественно на цену, особенно при изготовлении мебели эконом-класса. Изучение конструкций петель, их особенностей и глубокое понимание принципов и вариантов применения могут привести новые идеи по совершенствованию конструкций мебели.

#### ЛИТЕРАТУРА

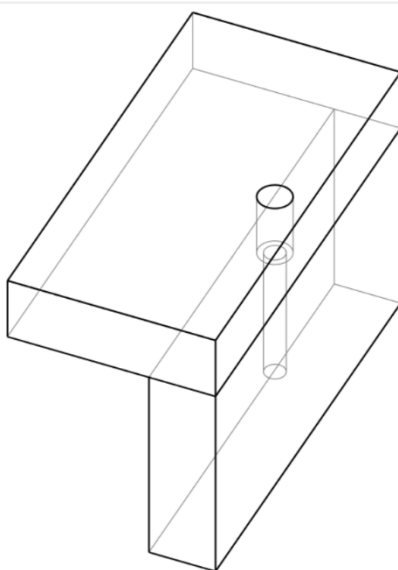
1. Кошелева Н.А., Барабанова В.А. Повышение надежности мебели // Леса России и хозяйство в них. – 2014. – № 1 (48). – С. 60–64.
2. Чубинский А.Н., Батырева И.М., Русаков Д.С. Основы управления качеством: учебное пособие – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2018. – 84 с.

А.М. Иванов, ст. преп., канд. тех. наук;  
С.В. Бикетова, маг.; Н.И. Трифонов, студ.;  
Д.С. Русаков, доц., канд. тех. наук  
(СПбГЛТУ, г. Санкт-Петербург, Россия)

## **ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФУРНИТУРЫ ДЛЯ СБОРКИ КОРПУСНОЙ МЕБЕЛИ**

В настоящее время для сборки корпусной мебели в основном используется такая сборочная фурнитура как: стяжка-конфирмат (евровинт), эксцентриксовая стяжка (минификс) и рафикс (WB). В России на эту и другие виды сборочной фурнитуры отсутствуют нормативные документы, ГОСТы, техническая документация [1]. Поэтому при проектировании мебели нет рекомендаций по ее практическому использованию, нет четкой регламентации о количестве фурнитуры, приходящейся на длину стыка для надежного соединения [2]. Так, снижение себестоимости, повышение технологичности и других эксплуатационных характеристик невозможно без специализированной документации и стандартов [3, 4].

Наиболее распространенным видом сборочной фурнитуры является стяжка-конфирмат. Основным ее достоинством является низкая стоимость фурнитуры, а также низкая себестоимость сверления отверстий под ее установку. Сборка мебели на такую фурнитуру наименее трудозатратна, а последовательность сборки деталей может быть вариативной. Главным недостатком является то, что при эксплуатации такая фурнитура будет видима (рис. 1).

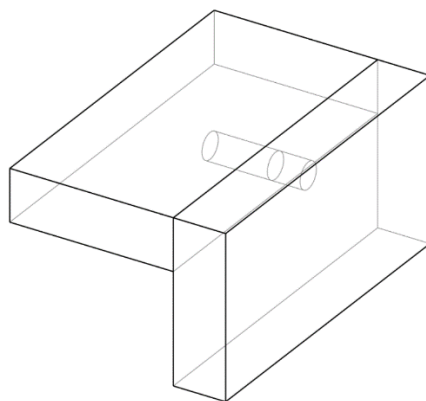


**Рисунок 1 – Конфирмат**



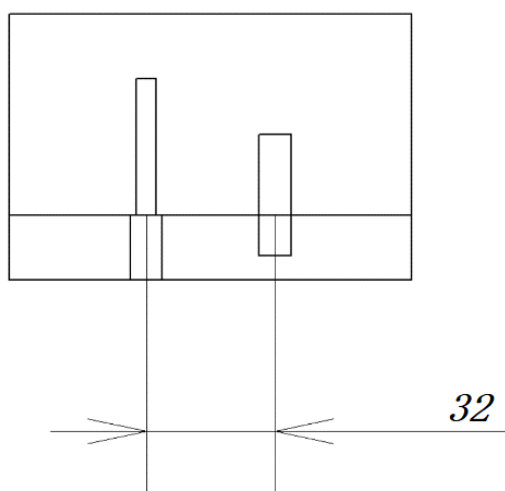
Для скрытия головки конфирмата используются заглушки на самоклеящейся бумаге в цвет материала или пластиковые заглушки. Однако такие заглушки все равно ухудшают эстетические показатели изделия, самоклеящиеся – отклеиваются, а пластиковые – выпадают.

Из-за особенностей листового материала (ЛДСП, ЛМДФ и др.) соединение на конфирматах рассчитано только на несколько циклов сборки-разборки изделия. Данная фурнитура стягивает детали, однако для увеличения прочности изделия и увеличения его эксплуатационных характеристик необходимо совместно с конфирматом использовать дополнительную фурнитуру – шкант (рис. 2).



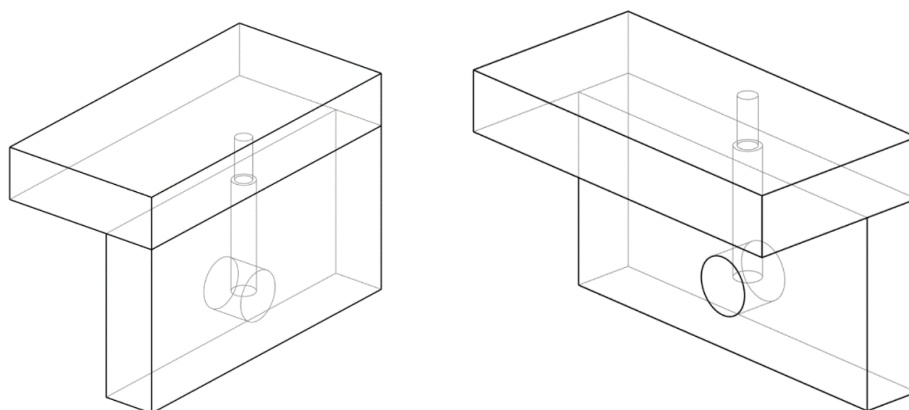
**Рисунок 2 – Шкант**

При сборке мебели рекомендуется совместно с основной фурнитурой (конфирмат, минификс) устанавливать шкант, при этом ставить основную фурнитуру и шкант следует на минимальном расстоянии друг от друга – 32 мм (рис. 3). Установка шканта повышает прочность соединения деталей, следовательно, изделия в целом.



**Рисунок 3 – Межосевое расстояние**

Если при эксплуатации изделия соединяемая деталь будет видимой (например, крышка стола, боковина шкафа и т.п.), то следует использовать стяжку минификс (рис. 4). Однако такая фурнитура стоит значительно дороже конфирмата, присадка также усложняется, т.к. вместо двух отверстий необходимых для установки конфирмата, для установки данной фурнитуры требуется уже три отверстия. Увеличиваются требования к точности соединяемых деталей. Сборка изделия будет более трудоемкой, а последовательность сборки изделия менее вариативной. Отверстие под эксцентрик также возможно закрыть самоклеящейся или пластиковой заглушкой. Поскольку эксцентрик скрепляет деталь за металлический шток, то мебель, собранная на эту фурнитуру, перенесет большое количество циклов сборки-разборки.

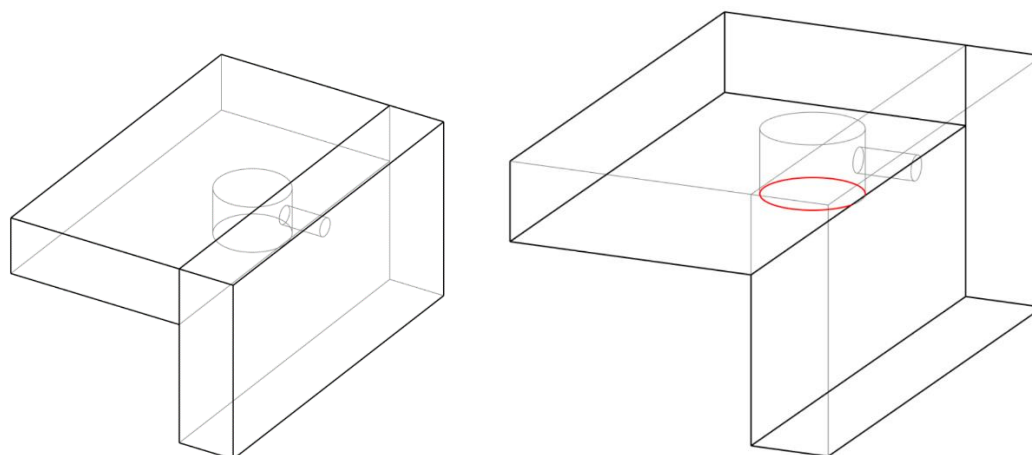


**Рисунок 4 – Минификс**

Рафикс – это фурнитура, позволяющая собирать мебельные детали в ограниченном, труднодоступном пространстве (рис. 5). При сборке мебели на конфирматы или минификсы требуется дополнительное пространство для установки и сборки деталей (при толщине соединяемой детали 16 мм – 50 мм для конфирмата длиной 50 мм и стандартного минификса).

Также рафикс позволяет устанавливать детали, например полки в уже собранное изделие, что также упрощает сборку мебели. Однако устанавливать на такую фурнитуру детали, на которые крепятся петли или подъемные механизмы не рекомендуется, поскольку прочность соединения на такую фурнитуру невысокая.

Из-за особенностей установки фурнитуры не рекомендуется собирать мебель с окрашенными деталями, т.к. установить шкант в качестве дополнительной фурнитуры невозможно. Мебель, собранную на рафикс можно отнести к сборно-разборной. Рафикс относительно дорогая фурнитура.



**Рисунок 5 – Рафикс**

Инженер-конструктор мебели обязан знать все особенности использования данной фурнитуры, поскольку от этого зависит качество, стоимость, удобство сборки и эстетическая привлекательность мебели.

#### ЛИТЕРАТУРА

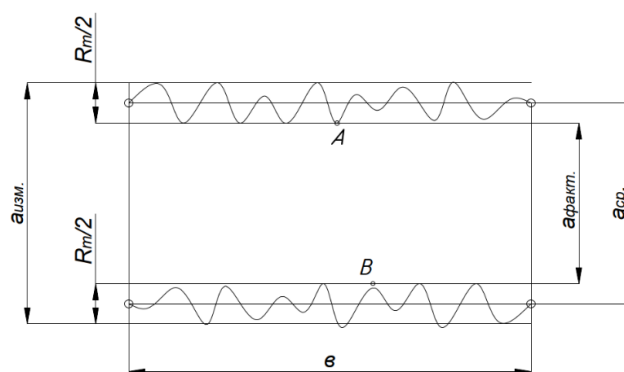
1. Кошелева Н.А., Барабанова В.А. Повышение надежности мебели // Леса России и хозяйство в них. – 2014. – № 1 (48). – С. 60–64.
2. Чубинский А.Н., Батырева И.М., Русаков Д.С. Основы управления качеством: учебное пособие – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2018. – 84 с.
3. Иванов А.М., Русаков Д.С., Юрков А.Р. Композитные плитные материалы в производстве корпусной мебели. В сборнике: Молодая мысль: наука, технологии, инновации. Материалы XVI (XXII) Всероссийской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых. Братск, 2024. С. 243–246.
4. Иванов А.М., Русаков Д.С. Предварительный расчет стоимости корпусной мебели. В сборнике: Инновационное развитие современной науки: новые подходы и актуальные исследования. Сборник материалов Международной научно-практической конференции. Москва, 2023. С. 234–238.

А.А. Борозна, доц., канд. тех. наук;  
 А.В. Сергеевичев, проф., д-р техн. наук;  
 И.И. Костюков, доц., канд. тех. наук;  
 М.А. Дедерер, асп.  
 (СПбГЛТУ, г. Санкт-Петербург, Россия)

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ НА ПРОЧНОСТЬ АРМИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ДРЕВЕСНО-СЛОИСТЫХ ПЛАСТИКОВ

Изделия, изготавливаемые из древесно-слоистого пластика, имеют ту особенность, что они калибруются на очень малую толщину 0,2–0,5 мм. При такой толщине деталей шероховатость поверхности, входящее в допуск на обработку, оказывает заметное влияние на прочность армирующих полос и в конечном итоге на прочность и жесткость готового изделия [1, 2].

Известно, что прочность составных деталей малого сечения из древесно-слоистого пластика сильно зависит от шероховатости поверхности. На прочность массивных деталей шероховатость поверхности оказывает меньшее влияние [3, 4]. Однако, если размеры деталей и высота неровностей микропрофиля поверхностей находятся в сравнимых пределах, то влияние шероховатости поверхности таких деталей на их статическую прочность, как показывают проведенные нами исследования, становятся весьма значительными.



**Рисунок 1 – К определению влияния шероховатости поверхности на прочность армирующих элементов изделий**

Теоретически это можно объяснить следующим образом. При измерении толщины откалиброванной детали (рис. 1) мы получаем размер детали по выступам неровностей микропрофиля -  $a_{изм}$ . Чистый или воспринимающий нагрузку размер детали по впадинам микропрофиля можно получить методами вычислений:

$$a_{\text{факт}} = a_{\text{изм}} - 2R_m, \quad (1)$$

где  $a_{\text{факт}}$  – фактическая чистая толщина детали по впадинам микропрофиля;  $a_{\text{изм}}$  – измеренная толщина детали – размер детали по выступам микропрофиля;  $R_m$  – максимальная высота неровностей микропрофиля; 2 – учитывает, что деталь имеет одинаковую шероховатость с двух сторон.

Допустим, что по длине детали найдется хотя бы одно такое сечение, в котором максимальные величины впадин микропрофиля будут находиться друг напротив друга.

Например, точки А и В на рис. 1.

Таким образом, при расположении впадин шероховатости поперек направления действия нагрузки сечение А-В фактическая толщина детали, воспринимающая нагрузку и задающую ее прочность будет меньше от измеряемой толщины на удвоенную величину максимальной высоты неровностей микропрофиля поверхности  $R_m$ . Прочность детали (усиление, выдерживаемое деталью) в общем случае будет равно:

$$P = [\sigma]S, \quad (2)$$

где  $P$  – усилие, выдерживаемое деталью;  $[\sigma]$  – допустимое напряжение для материала, из которого изготовлена деталь;  $S$  – площадь сечения детали.

Рассмотрим образец шириной равной единице, тогда:

$$S = b \cdot a_{\text{факт}}, \quad (3)$$

где  $b$  – ширина детали.

Рассмотрим образец с шириной равной единице, тогда:

$$S = 1 \cdot a_{\text{факт}} = a_{\text{факт}}, \quad (4)$$

Подставляя (1) в (4) и (4) в (2) и учитывая, что  $b = 1$ , сила, выдерживаемая единицей ширины детали при постоянной толщине, выразится формулой:

$$P = [\sigma] \cdot (a_{\text{изм}} - [\sigma] \cdot 2R_m). \quad (5)$$

Если принять формулу (5) постоянным, а  $R_m$  изменяющимся, то нетрудно заметить, что прочность детали линейно зависит от  $R_m$ . Влияние шероховатости поверхности на прочность будет тем сильнее, чем меньше толщина детали, так как в этом случае практически небольшая шероховатость повлечет за собой большое относительное уменьшение фактического размера детали по впадинам микропрофиля по сравнению с измеряемым размером.

Покажем это на примере. Пускай имеем две детали с пределом прочности при растяжении  $[\sigma_p] = 50 \text{ Н/мм}^2$ , обработанные в одинаковый размер 0,40 мм. Первая имеет шероховатость 10 мкм, вторая – 40 мкм. Фактическая толщина детали в первом случае, согласно формуле (2), будет равна:

$$a_{\text{факт}} = a_{\text{изм}} - 2R = 0,4 - 2 \cdot 0,010 = 0,38 \text{ мм.} \quad (6)$$

А усилие, выдерживаемое деталью согласно (2) при ее ширине равно 10 мм, составит:

$$P = 5 \cdot 0,38 \cdot 10 = 190 \text{ Н.} \quad (7)$$

Во втором случае фактическая толщина детали составит:

$$a_{\text{факт}} = 0,4 - 2 \cdot 0,040 = 0,32 \text{ мм.} \quad (8)$$

А выдерживаемое ею усилие будет равно:

$$P = 5 \cdot 0,32 \cdot 10 = 160 \text{ Н.} \quad (9)$$

Если принять, что  $R_m$  стремится к 0, то тогда фактический размер будет равен измеряемому, т.е.  $a_{\text{факт}} = a_{\text{изм}} = 40 \text{ мм}$ , а выдерживаемое усилие будет равно 200 Н. Следовательно, в первом случае при  $R = 10 \text{ мкм}$  относительное ослабление:

$$\Delta p = \frac{20 - 19}{20} \cdot 100\% = 5\%. \quad (10)$$

А во втором случае, при  $R_m = 40 \text{ мкм}$ :

$$\Delta p = \frac{20 - 16}{20} \cdot 100\% = 20\%. \quad (11)$$

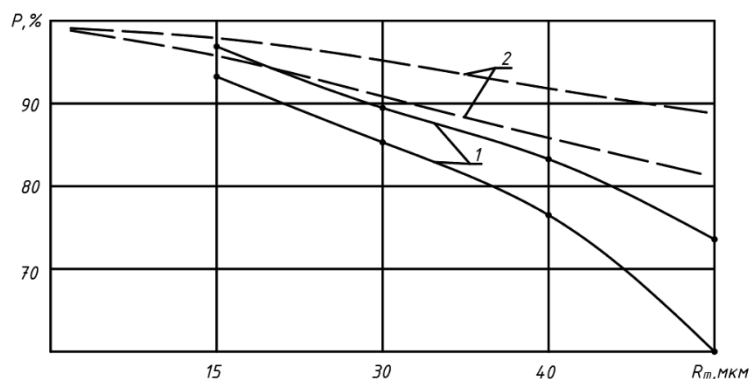
Аналогично при  $R_m = 60$ ;  $\Delta p = 30\%$ ;  $P = 140 \text{ Н}$ .

Из приведенного примера видно, насколько большое влияние оказывает шероховатость поверхности на прочность таких тонких деталей, каковыми являются армирующие элементы изделий из древесно-слоистых пластиков. Таким образом, чтобы получить максимальную прочность армирующих полос из древесно-слоистых пластиков, необходимо обработать их с минимальной шероховатостью.

Если впадины микропрофиля располагаются вдоль направления действия нагрузки, в этом случае площадь, воспринимающая нагрузку, будет равна произведению ширины детали на размер  $a_{\text{факт}}$  (рис.1), рассчитанной по средним линиям микропрофиля поверхности.

И поскольку:

$$a_{\text{ср}} = a_{\text{изм}} - R_z. \quad (12)$$



1 – экспериментальная зависимость; 2 – теоретическая зависимость

**Рисунок 2 – Зависимость прочности армирующих элементов древесно-пластиковых материалов от шероховатости при испытании на растяжении вдоль направления армирования**

Подставляя в формулу (12) при постоянном  $[\sigma]$  и фиксированных значениях  $a_{изм}$  текущее значение  $0 \leq R_z \leq 60$  мкм, получим графики теоретической зависимости прочности армирующих элементов изделий от шероховатости обработанной поверхности при разной толщине этих деталей (рис. 2). Эти графики имеют линейный характер, поскольку в формулу (12) все величины входят в первой степени.

В результате проведенных экспериментов установлено, что качество обработанной поверхности оказывает существенное влияние на прочность армирующих элементов и прочность их клеевых соединений с древесиной.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Братан С. Идентификация параметров съема при комбинированном шлифовании // Материалы международной научной конференции ДонГТУ. «Современные технологии и системы механической обработки древесины». Донецк, 2000. С. 24–32.
2. Новоселов Ю.И. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке. Севастополь: СевНТУ, 2012. 304с.
3. Sergeevichev, A., Vlasov, E., Lebedev, A., Bogatova, E. Investigation of the Surface Quality and Tool Wear When Forming the Edges of Wood Materials // Guda, A. (eds) Networked Control Systems for Connected and Automated Vehicles. NN 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, 2023. vol 509. Springer, Cham. doi.org/10.1007/978-3-031-11058-0\_155.
4. Сергеевичев А.В., Костюков И.И., Михайлова А.Е., Войнаш С.А. Абразивный инструмент из сферокорунда для обработки древесины // Известия высших учебных заведений «Лесной журнал» №5. Архангельск: АГТУ, 2022. С.131-142. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-5-131-142.

А.А. Борозна, доц., канд. тех. наук;  
А.В. Сергеевичев, проф., д-р техн. наук;  
Е.Г. Соколова, доц., канд. тех. наук;  
М.А. Дедерер, асп. (СПбГЛТУ, г. Санкт-Петербург, Россия)

## **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОНТАКТНЫХ МИКРОРАЗРУШЕНИЙ И ВОРСИСТОСТИ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДРЕВЕСНО-СЛОИСТЫХ ПЛАСТИКОВ НА ПРОЧНОСТЬ АРМИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Преимуществом абразивной обработки является безусловное обеспечение качества обработки без сколов, вырывов и отщепов, свойственных процессу фрезерования. Абразивные инструменты не надо затачивать, как режцовый инструмент, они легко устанавливаются на рабочих органах станков, отличаются безопасностью и производят при работе меньше шума [1].

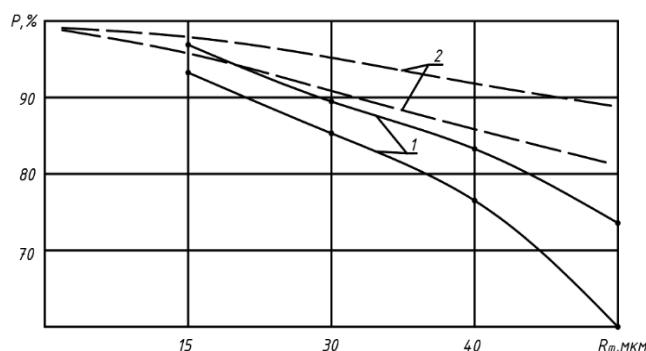
Процессы поверхностной и размерной абразивной обработки одинаковы по содержанию при установившихся условиях. Однако в практике имеют место изменяющиеся во времени условия: непостоянство механических и физических свойств материала; непостоянство припуска на обработку, то есть глубины шлифования; изменения режущей способности абразива по мере его затупления или засаливания. То есть, единый, по существу, процесс шлифования древесины распадается на два технологически разных направления [2].

Применение для шлифования армирующего стеклопластика крупнозернистых кругов снижает прочность и жесткость изделий; мелкозернистых – повышает эти показатели. С увеличением скорости резания при шлифовании армирующих элементов прочность и жесткость изделий повышается, а с увеличением скорости подачи – снижается. Увеличение глубины шлифования также приводит к снижению механических характеристик готового изделия. Объяснить это можно, по-видимому, тем, что режимы резания оказывают влияние на прочностные и адгезионные свойства стеклопластиковых армирующих полос. Поэтому было исследовано влияние режимов резания и характеристик абразивного круга на прочность клеевого соединения этих деталей с древесиной основного изделия [3–5].

Проведенные экспериментальные исследования влияния шероховатости обработанной поверхности на прочность армирующих элементов изделий из древесно-слоистых пластиков показали, что увеличение шероховатости приводит к падению прочности армирующих элементов, и чем выше шероховатость, тем интенсивнее падает проч-



ность. На рис. 1 приведены графики экспериментальной зависимости прочности армирующих элементов (сплошные линии) от шероховатости поверхности.



1 – экспериментальная зависимость; 2 – теоретическая зависимость

**Рисунок 1 – Зависимость прочности армирующих элементов древесно-пластиковых материалов от шероховатости при испытании на растяжении вдоль направления армирования**

Как видно из рисунка, с ростом шероховатости экспериментальные кривые «падают» интенсивнее, чем теоретические. Объяснить это можно, по-видимому, тем, что с увеличением шероховатости контактные разрушения распространяются в материал на большую глубину. Кроме того, чем выше шероховатость поверхности, тем выше ее мшистость, а это свидетельствует о том, что тем больше волокон армирующего слоя получили повреждения – разрывы, что также способствует ослаблению изделий.

Анализируя рис. 1, видим, что чем меньше толщина обработанных деталей, тем сильнее влияет шероховатость поверхности на прочность армирующих элементов – графики прочности при толщине образцов 0,35 мм (кривые 1) находятся ниже соответствующих графиков при толщине образцов 0,50 мм (кривые 2).

Контактные нарушения нарушают целостность приповерхностных слоев обрабатываемого материала и таким образом ослабляют его. Адекватная количественная оценка контактных разрушений затруднена практической невозможностью точно измерить их объем. Для оценки количества контактных разрушений нами использовался визуальный «метод сравнения с эталоном». Весь возможный диапазон контактных разрушений оценивался 5-ю степенями контактных разрушений. Предварительно выбирались по несколько образцов каждой степени с наиболее характерными признаками, и в дальнейшем испытываемые образцы сравнивались с эталонными. Этот метод далек от совершенства и имеет низкую точность, однако он все же позволяет судить о характере влияния контактных разрушений на прочность арми-

рую-щих элементов армирующих элементов изделий из древесно-слоистого пластика.

Применять более точные методы оценки количества контактных разрушений в наших исследованиях не возникало острой необходимости, так как этот показатель является промежуточным между режимами механической обработки и прочностью обработанных образцов. А эти показатели – режимы и прочность имеют строгие цифровые значения. Нас интересовало, прежде всего, влияние режимов резания и характеристик инструмента на прочность обработанных деталей и измерение количества контактных разрушений не было самоцелью и не являлось выходным результатом исследований.

Контактные разрушения всегда сопровождаются ворсистой обработанной поверхностью армирующего слоя, поэтому при оценке качества обработки эти два показателя, по-видимому, можно учитывать вместе.

В результате испытаний откалиброванных образцов на растяжение установлено, что в зависимости от количества контактных разрушений прочность образцов может меняться в значительных пределах. Так образцы, обработанные с минимальной шероховатостью – порядка 12–15 мкм и не имеющие контактных разрушений, имеют более чем в два раза большую прочность по сравнению с образцами таких же размеров, только обработанных с шероховатостью 80–85 мкм и с большим числом контактных разрушений.

Таким образом, вследствие того, что контактные разрушения приповерхностных слоев значительно уменьшают прочность армирующих элементов изделий, на практике при выборе режимов резания и характеристик инструмента необходимо исходить из того, чтобы не допустить появления вышеуказанного дефекта, так как он приводит к неисправному браку. Шероховатость и ворсистость обрабатываемой поверхности напрямую влияет на прочность армирующих элементов и их клеевых соединений с древесиной.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Островский В.И. Теоретические основы процесса шлифования. Л. 1984. 142 с.
2. Переладов А.Б., Камкин И.П. Определение режима изнашивания инструмента при шлифовании // Известия ВолгГТУ, 2015. №3. С. 24–29.
3. Санев В.И., Каменев Б.Б., Сергеевичев А.В. Резание древесины и древесных материалов. СПб, 2018. 456 с.
4. Sergeevichev A. Investigation of the influence of certain factors on the quality of processing during hard grinding / A. Sergeevichev [et all]

// IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 5th Pan-Russian Scientific Technical Conference on Forests of Russia: Policy, Industry, Science and Education; St. Petersburg. State Forest Technical University. FR. IOP Publishing Ltd. Vol. 574(1), 2020. 9 p. DOI: 10.1088/1755-1315/574/1/012072.

5. Хватов Б. Н., Зубков Д. В., Родина А. А. Исследование производительности шлифования абразивным инструментом с самозатачивающимся зерном // Вестник ТГТУ, 2012. Т.18. №4. С.1031–1037.

УДК 630\*61:674

А.М. Сумароков, советник-консультант, канд. техн. наук,  
(фирма «Springer», Австрия);

Е.П. Карпов, журналист историк  
(г. Санкт-Петербург, Россия);

С. П. Трофимов, эксперт, канд. техн. наук  
(Ассоциация «Лестех», г. Санкт-Петербург, Россия)

## **ТЕХНИКА, ТЕХНОЛОГИЯ И КАДРЫ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА**

Из всех видов природного сырья, которые люди используют с давних времен, древесина является самым верным и надежным, универсальным материалом, способным дать нам не только крышу над головой, но и топливо, строительные изделия, предметы интерьера, мебель, а благодаря достижениям химии бумагу, хирургические нити, посуду и многое другое (более 20 тыс. расширяющихся сфер применения). Древесина является одним из немногих возобновляемых ресурсов, а леса благотворно влияют на экосистему нашей планеты.

Основой развития производств лесопромышленного комплекса (ЛПК) является совершенствование технологии и техники, которые базируются на производственном опыте, результатах научных исследований, конструкторских разработок и их внедрении, при соответствующем кадровом обеспечении.

Исследовательские и конструкторские работы в 60–80-е годы активно проводились в Центральном научно-исследовательском институте механической обработки древесины (ЦНИИМОД), отраслевых ЦНИИФ, СвердловНИИдрев, УкрНИИМОД, Минскпроектмебель, а также в лесотехнических институтах Архангельска, Москвы, Свердловска, Минска и ряде других организаций. Это период подъема в промышленности, включая отечественный ЛПК.

К успешным проектам, реализованным нашими учеными, конструкторами и машиностроителями относятся разработка в

ЦНИИМОД линии агрегатной переработки бревен ЛАПБ (1971 г., канд. техн. наук Сумароков А.М. и докт. техн. наук Лурье Л.З.), других видов техники и инструмента способных вывести отечественный ЛПК на уровень стран значительно опережавших нас то время. Это оборудование, повышающее производительность лесопиления и качество вырабатываемых пиломатериалов начало серийно выпускаться и для внедрения в России, Белоруси и на Украине. Технические решения патентовались в СССР, Канаде и Чехословакии и других странах.

В БТИ им. С.М. Кирова осуществлена разработка теории оптимального раскроя в лесопилении (докт. техн. наук Батин Н.А.), конструкции фрезерно-брусующей линии для тонкомерного сырья и фрезерной головки с внедрением их в производство (канд. техн. наук Лахтанов А.Г. и канд. техн. наук Бурносов Н.В.). Совершенствованием дереворежущего инструмента и оборудования для его подготовки, которые патентовались, демонстрировались на международных выставках и получили применение в промышленности активно занимался докт. техн. наук Моисеев А.В. Авторами прогрессивных технических и технологических решений были канд. техн. наук. Сацура В.М. (более 200 патентов) и выпускник института инженер ПО «Витебскдрев» Годзданкер С.Б. (около 300 патентов).

Подготовка научных кадров обычно осуществлялась через аспирантуру. Интересен факт, что не каждый из соискателей тогда мог с первого раза пройти защиту и получить ученую степень кандидата наук, настолько был строг отбор в научную элиту в те годы. Диссертационные советы существовали в лесотехнических институтах Москвы, Ленинграда, Минска ряда других крупных городов. Количество защит диссертаций было значительным, например, в БТИ им. С.М. Кирова за 1985–1995 годы – 50.

Соискатели, которые заработали заслуженные степени кандидатов технических наук, вошли в сложную и интересную атмосферу лесной науки и некоторые из них со временем подготовили докторские диссертации стали профессорами отраслевых вузов страны. Научный энтузиазм и атмосфера постоянного поиска решения проблем, существовавших в ЛПК страны, был характерен в те годы. Но случилось то, что кандидатские и некоторые докторские диссертации талантливых ученых оказались невостребованными в наступившем хаосе науки и промышленности после крушения СССР.

Что и как помешало лесопромышленному комплексу нашей страны, активно развивавшемуся в 60–80 годы прошлого века, стать самодостаточным, независимым от импортного оборудования и технологий в последнее время?

У промышленного отставания ЛПК наших стран есть ряд причин, например: перенос ЦНИИМОД из Москвы в Архангельск – необходимость создания материальной базы, поиска и добора специалистов; постперестроечная ликвидация большинства отраслевых научно-исследовательских институтов страны в условиях сохранения таковых за рубежом.

ЦНИИМОД был преобразован в научно-производственное объединение «Союзнауцдревпром», в него вошло более 2000 предприятий различных регионов страны. Эта организация отвечала за развитие и техническое перевооружение всех предприятий Минлесбумпрома СССР, но позже произошла постперестроечная ликвидация ее и большинства отраслевых научно-исследовательских институтов (в условиях сохранения таковых за рубежом), а также многих государственных проектных организаций страны.

По прошествии нескольких десятилетий, в нашей постперестроечной стране в условиях наступившего дикого капитализма ловкачи смогли в короткий срок разорить и довести до банкротства некоторые вполне преуспевающие деревообрабатывающие и машиностроительные предприятия.

Оценивая невозможность быстрого преодоления отставания, в период перестройки предлагалось создавать совместные предприятия (СП) с наиболее развитыми странами. Это позволило бы завозить передовые станки и линии, изучать их и на основе полученной информации разрабатывать отечественные аналоги, без затрат средств на патенты и лицензии. Таким путем пошли китайцы, которым за сравнительно короткий срок удалось перейти от примитивного копирования к созданию собственных моделей. Одним из эпизодов, нашего не удачного сотрудничества с зарубежьем, стала покупка и эксплуатация финским лесопромышленником ЛАПБ, но он был разорен в урок другим – покупайте оборудование где угодно, кроме СССР!

Были и успешные проекты в ЛПК, включая советско-японское СП «Игирма-Тайрику» в Иркутской области. Японская компания в короткий срок построила и запустила современный деревообрабатывающий завод, по оснащению явившийся на тот момент едва ли не самым современным и высокопроизводительным в мире.

Был реализован, но не полностью еще один проект уникального и эффективного решения по использованию лесного сырья, детища советских лесных ученых под названием «Усть-Илимский ЛПК». Равного ему по своим масштабам не было ни в одной стране мира. Была разработана реалистичная производственная программа на 100 лет вперед. Нашим ученым, экономистам и лесникам впервые в истории

удалось воплотить принцип непрерывного и неистощимого пользования лесом, но не совсем – в результате развала СССР рухнула и стройная, разработанная авторами проекта, система, которая определяла стабильный процесс работы ЛПК на десятилетия.

Историки утверждают, что изучать прошлое надо обязательно, потому что, уходя, оно всегда влечет за собой какие-либо последствия. Иначе говоря, если в нашем настоящем что-то неблагополучно, то чаще всего причина этого неблагополучия находится именно в прошлом. И для исправления сегодняшних проблем нам крайне важно достоверно знать свое прошлое, чтобы его последствия не перешли в наше будущее.

При посещении отраслевых выставок лесной промышленности мы уже не удивляемся изобилию импортной техники, материалов, научно-технической литературы и практически полному отсутствию отечественной. И надо просто вспомнить, насколько важна в истории нашего государства роль его руководителей.

Сейчас, когда мы стремимся поддержать науку и развитие производств в условиях осложнения межгосударственных отношений и санкций должны быть решены задачи воссоздания отраслевых научно-исследовательских организаций (в ЕС они имеются и не прекращали работы), конструкторских бюро, опытных производств ЛПК и обеспечения подготовки квалифицированных специалистов всех уровней образования, а также осуществления повышения квалификации научных, педагогических работников и инженеров (ранее существовали программы для преподавателей на базе существовавшего Института повышения квалификации Минлеспрома СССР в Москве, престижных организаций России и развитых стран). Безусловно, сейчас является актуальным совершенствование организации работы высшей инженерной школы, а это открытие новых и восстановление некоторых утраченных специальностей, укрепление технической базы учебного процесса, научных и практических связей с производством.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Карпов, Е. Капитан отечественного ЛПК / Е.Карпов. – Санкт-Петербург: 2024. – 208 с.

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДИЗАЙН СРЕДЫ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОГО АРТ-ПРОСТРАНСТВА ДЛЯ ДЕТЕЙ**

Современные подходы к воспитанию и образованию детей требуют создания среды, которая бы способствовала их всестороннему развитию. Проектирование развивающих пространств требует учёта особенностей развития, их физиологических, психологических и социальных потребностей. Особое место занимают полифункциональные арт-пространства, которые объединяют творческие, образовательные и игровые функции. Они способствуют всестороннему развитию детей, формированию их творческого потенциала, когнитивных способностей и социальной адаптации. В дизайне арт-пространства для детей важно учитывать потребности детей такие как их физические и психологические особенности, социальный аспект.

В создании развивающих пространств важным является адаптация их к физическим особенностям детей. Дети младшего возраста находятся в стадии активного роста, их антропометрические параметры сильно отличаются от взрослых. Это накладывает особые требования на дизайн мебели, высоту и форму объектов, выбор материалов и структурное зонирование. Например, столы и стулья для рисования должны иметь регулируемую высоту, подходящую для детей разного возраста. Мебель должна быть выполнена из устойчивых и экологически безопасных материалов с закруглёнными углами, чтобы минимизировать риск травм. Высота столов и стульев должна соответствовать росту детей, а игровые зоны должны предусматривать достаточно пространства для свободного передвижения, учитывая их моторную активность и возможность падений.

Не менее важный аспект психологического воздействия среды. Дети обладают ярким воображением, и дизайн пространства должен стимулировать их к исследованию и творчеству. Для этих целей применяются яркие цветовые решения, текстуры и формы. Дети, особенно дошкольного возраста, в первую очередь полагаются на зрение, чтобы воспринимать, различать и выбирать предметы [1]. Цвет является основным фактором, привлекающим их визуальное внимание, и дети более чувствительны к нему, чем взрослые. Оптимальным решением является сочетание мягких базовых тонов с акцентами, выполненными в ярких, но гармоничных оттенках. Стоит избегать чрезмер-

но яркие, насыщенные цвета, которые могут вызывать усталость и раздражение.

При проектировании необходимо уделять внимание выбору материалов для детских арт-пространства. Различное распределение материалов в интерьере может формировать особую атмосферу и напрямую влиять на восприятие пространства детьми. Материалы улучшают тактильные ощущения детей, помогая им лучше понимать и запоминать многофункциональное пространство, в котором они находятся.

В процессе проектирования важно ориентироваться на интересы ребёнка. Арт-пространства должны быть оборудованы разнообразными художественными инструментами и материалами для удовлетворения всесторонних потребностей детей в творчестве. Следует предусмотреть шкафы для хранения и выставочные полки, чтобы дети могли хранить и демонстрировать свои работы. В пространстве должно обеспечиваться достаточное и равномерное освещение. Регулируя его цвет и яркость, можно создать атмосферу, вдохновляющую детей на творчество. В современных концепциях дизайна пространства для детей больше внимания уделяется взаимодействию детей с окружением. Дети предпочитают более естественные игровые пространства, разнообразные элементы окружающей среды и авантюрные формы игр. Существует большой спрос как на природные элементы, так и на виртуальных персонажей [2].

Арт-пространства для детей должны быть интерактивными, чтобы стимулировать их когнитивное и социальное развитие. Использование элементов, которые дети могут исследовать, трогать, перемещать или видоизменять, играет ключевую роль в этом процессе [3].

Дизайн детских многофункциональных арт-пространств должен учитывать и социальные аспекты. Пространство должно способствовать взаимодействию между детьми, обучению навыкам сотрудничества и укреплению их коммуникативных способностей. Создание зон для коллективной работы, таких как общие мастерские, театральные уголки или игровые площадки, позволяет детям развивать навыки общения, учиться слушать других и работать в команде. Дизайн и планировка развивающих помещений должны включать принцип гибкости и учитывать различные виды деятельности и возрастные группы детей.

Проектирование детских арт-пространств также требует соблюдения строгих стандартов безопасности: планирование эвакуационных выходов, наличие антикоррозийных и противоскользящих покрытий, использование материалов, устойчивых к повреждениям. Все матери-



алы должны быть экологически чистыми и безопасными для здоровья детей.

Многофункциональные художественные пространства для детей не ограничиваются традиционными зонами рисования и рукоделия. Сегодня в них есть зоны технического взаимодействия, ролевые игры, уголки для чтения и многое другое. Некоторые современные пространства даже включают такие технологии, как виртуальная реальность (VR) и дополненная реальность (AR), чтобы обеспечить более полное погружение в художественное творчество.

Детский сад Mengdefeir в Шаосине (КНР) является примером интеграции всех вышеперечисленных подходов. Его входной холл оформлен в зелёных оттенках с использованием деревянных материалов, создавая уютную атмосферу, способствующую эмоциональному комфорту детей. Визуально изогнутые углы создают у детей ощущение безопасности и визуальный комфорт. Желто-зеленый цвет, напоминающий о природе, дополняет деревянные материалы в помещении, помогая детям сосредоточиться и расслабиться. Использование желто-зеленого в коридоре контрастирует с цветом деревянных материалов, благодаря чему даже без каких-либо указателей направления детей естественным образом направляет в коридор, ведущий в гардероб. Коридоры оборудованы интерактивными элементами, которые делают пространство динамичным и стимулируют детское воображение. Дизайн интерьера помогает детям в познавательном процессе с помощью различных физических ощущений и способов перемещения в пространстве, делая процесс увлекательным. Внутренние помещения зонирование таким образом, чтобы каждая область имела чёткое назначение.



**Рисунок 1 – Пример позитивной колористической ориентации в интерьере детского сада в Mengdefeir**

Помимо цвета на поведение и психологию детей влияет использование форм и материалов в пространстве. В дизайне прихожей детского сада используются большие иллюстрации на потолке и созданный ландшафт в помещении создают сценарий леса для детей. Высокий потолок создаёт у детей ощущение открытости. Проектирование холла с высоким потолком в качестве первой функциональной зоны

при входе в детский сад может ослабить беспокойство детей по поводу расставания с родителями и поступления в детский сад. Эти элементы дизайн-проектирования создают комфортную среду обитания для детей, способствуя их физическому и психическому здоровью. В Mengdefei используются мобильные модули и регулируемая мебель, которая позволяет адаптировать пространство под разные активности и возрастные группы. Дети могут менять расстановку мебели в соответствии со своим желанием, тем самым меняя зоны в пространстве. Эта гибкость особенно важна для полифункциональных пространств, где в одном помещении могут проводиться творческие мастер-классы и подвижные игры. Пространство сада активно использует природные элементы: в заднем дворе располагается миниатюрный пруд, рядом с которым дети могут наблюдать за растениями и животными. Это создаёт атмосферу близости к природе и помогает детям изучать основы экологии. Просторные игровые зоны включают модули для лазания, качели и песочницы для физического развития и удовлетворения потребности в активности.

Дизайн детского сада Mengdefei, удовлетворяет визуальные и пространственные когнитивные потребности детей, спроектированные комнаты для культурно-массовых занятий, спортивная баскетбольная площадка, небольшой кинотеатр, кафе для родителей и детей, библиотека иллюстрированных книг, танцевальная студия и бассейн. Проектирование среды полифункционального арт-пространства для детей должно базироваться на глубоком понимании потребностей. Успешные проекты, такие как Mengdefei, демонстрируют, что гармоничное сочетание концепции, ориентированной на потребности детей, интерактивности, функциональности, эстетики и безопасности может создать среду, которая будет способствовать всестороннему развитию детей. Приведённые в статье принципы могут стать основой для проектирования новых многофункциональных арт-пространств, которые будут отвечать современным требованиям и способствовать формированию гармоничных творческих личностей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Du Yuxia. Research on interior design of kindergarten based on the perspective of five senses experience / Du Yuxia. – [D]: Nanjing Forestry University, 2023.
2. Jiachen Li [et al.] Research on the demand of urban outdoor children's play space based on participatory design / Li Jiachen, Wang Xia, Wang Qianna, et al. – и [J]: Central China Architecture, 2024,42(05). 11-15.
3. Mark Dudek. School and kindergarten building design manual / Dudek Mark. – [M]. Hubei: Huazhong University of Science and Technology Press, 2008.

В.С. Печень, зам. директора; Н.Л. Вишневская, преп.  
(филиал УО БГТУ «Бобруйский государственный  
лесотехнический колледж», г. Бобруйск)

## **МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДИЗАЙНА СРЕДОВОГО ПРОСТРАНСТВА ВЫСТАВОЧНОЙ ЗОНЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ**

Методы проектирования в дизайне – порядок достижения проектной цели, решения, поставленных перед дизайнером художественной, технологической и функционально-пространственной задач и последовательность выполнения операций. В дизайне существуют различные методы проектирования. Методы по типологии аспектов формообразования делятся на морфологические, технологические, функциональные и художественно-образные. Выделяют эмпирические, алгоритмические, эвристические и интуитивно-чувственные методы проектирования. Выделяют методы: целевое моделирование, методику футуродизайна, перевоплощение или заимствование позиции, сценарное моделирование, игровое ситуационное моделирование, математическое и физическое моделирование динамики объекта в среде.

Каждый метод проектирования индивидуален и выполняет свою функцию по воплощению проекта. Например, морфологический метод проектирования позволяет раскрыть принципиальные возможности, которыми обладает материальная форма относительно задачи воплощения функции; метод технологического проектирования направлен на воплощение дизайн-образа в материальную форму и технологию; метод функционального проектирования базируется на моделировании объекта исходя из его функции и в соответствии с вторичной функцией вещи; метод художественно-образного проектирования заключается в выделении и применении средств и приемов художественного освоения и моделирования объектов действительности.

Эмпирический метод основан на опытном познании мира и заключается в освоении проектирования через опыт создания проекта и отслеживания его жизнеспособности в существующих условиях или смоделированных. Алгоритмический метод заключается в построении процесса проектирования от начала до конца, с разбивкой его на части, уровни, этапы.

Эвристический метод направлен на поиск нестандартных решений. К эвристическим методам относятся методы «мозгового штурма», наводящих операций, аналогий.

Метод аналогий базируется на использовании четырех типов аналогий: прямые (из области знаний, очевидные), личные (дизайнер

входит в образ объекта проектирования), символические (сравнения, метафоры) и фантастические (наделение вещей нереальными способами). Метод целевого моделирования основывается на создании целевых моделей, поскольку объект проектирования представляется как множество целей и задач, требующих воплощения в форме. Метод сценарного моделирования – разработка сценариев для испытания макетов и действующих моделей. Метод перевоплощения или заимствования позиции имеет сходство с известным методом актерского вхождения в образ. Методика футуродизайна – прогнозирование смыслов будущего.

В дизайне средового пространства рассмотрение методов проектирования дает понимание роли научного, инженерного и художественного подхода. Эти типы творчества находятся в гармоничном взаимодействии при решении дизайнерских задач. Ориентация только на инженерно-конструкторскую часть проекта делает его сухим, образно не выразительным, не побуждающим интерес и не вызывающим чувств [1].

Методическая работа состоит в выделении общей цели, выделении основных направлений работ, выделении группы частных задач, построении общей схемы в форме графических построений и текстовых пояснений. В процессе работы над дизайном средового пространства возникает необходимость учитывать все условия как особенности, связанные с конкретной проектной задачей, технологические, функциональные и художественные аспекты решаемой проблемы в форме составления дизайн-программы.

Дизайн-программа – метод, соединяющий в целостный процесс разработку проектно-художественной концепции. Программа объединяет конструктивно-технологическим единством продукцию и организованные средовые целостности мест ее использования, обеспечивая взаимосвязь системы продукции и системы потребления.

**Проектный анализ** (project analysis) – один из основных видов работ (метод исследования), выполняемый инициатором проекта на прединвестиционной стадии проекта с целью определения социально-экономической эффективности проекта, комплекса рисков, целесообразности реализации проекта и организации его финансирования.

Для разработки концепции дизайна средового пространства выставочной зоны производственной продукции использование метода проектного анализа ведет к выработке идеи проекта, ее реализации в процессе продуктивной проектной деятельности, которая состоит из целого ряда последовательных шагов – этапов работы над проектом.

Первый этап включает в себя сбор всех данных, касающихся будущего объекта, а именно: данные о месте строительства или ре-

конструкции, качествах среды, объективные физические условия (рельеф, климат), знания об историческом развитии существующей, сложившейся среды, выраженные в форме обмеров, зарисовок, фотофиксаций, вычерчивании генерального плана местности, макетирования или графической фиксации подосновы, схематичного или подробного изображения инфраструктуры участка. К этому этапу относится и изучение социально-утилитарных условий. Социально-утилитарный анализ факторов осуществляется с помощью анкетирования, опроса. Опрос – простой, часто единственно приемлемый метод прогнозирования с привлечением экспертов для сбора фактических данных по рассматриваемой проблеме и определения тенденций развития проектируемого объекта на основе их профессионального опыта и интуиции.

Опросы делятся на две группы: элементарные (наблюдения, симуляционный метод, прямая анкета, интервью, свободная беседа, тест, психофизиологические исследования, изучение документов, анализ содержания) и синтетические (косвенная анкета). Выбор метода сбора данных зависит от программы исследований и наличия источников информации. Существенную роль в отборе нужного материала играет личность самого проектировщика. Личностный подход – взгляд на задачи творческого процесса, определяемый опытом, духовной культурой, системой понятий, оценок и предпочтений автора и, наконец, его творческой установкой. Результатом этапа анализа является выработка задания на проектирование, которое составляется автором будущего проекта или является результатом совместной работы архитектора-дизайнера и заказчика.

Второй этап – выработка творческой проектной установки авторской ориентации в системе целей и приоритетов при формировании архитектурно-дизайнерских объектов. Системообразующим фактором, обеспечивающим свойство целостности условиям особенного функционирования архитектурной среды, выступает творческая, авторская установка. Можно выделить четыре типа установки ситуативный, эстетизированный, прагматический, профессиональный (противоположный прагматическому).

Исходные положения проектной установки – это комплекс функциональных требований и объективная ситуация, которые определяют деятельность. Проектная установка реализуется, в первую очередь, в компоновке плана и общих объемных построениях. На практике эта задача чаще всего решается путем разделения пространства деятельности людей на зоны и размещения в них предметов, объектов и вещей в зависимости от их назначения, значимости, частоты использования и прочего. Зоны выделяются с помощью объемно-

пространственных и композиционных построений компонентов среды. Однако зонирование как метод компоновки учитывает только требования определенной организации использования и взаиморасположения укрупненных функциональных, планировочных и других элементов средового пространства.

Методика дизайна средового пространства выставочной зоны, как и в архитектурном проектировании, опирается на методы и приемы творческой деятельности, использующие эвристическое мышление.

Рассмотрев все условия формирования будущего объекта проектирования на этом этапе, дизайнер формирует несколько вариантов решения проекта, удовлетворяющих требованиям, определенные в техническом задании на предыдущем этапе, реализованных в художественных формах и образах. На этой стадии проектирования определяются причины и цели разработки проекта, место проектируемого объекта в инфраструктуре (города, района, комплекса или другого образования), место в комплексе объектов, функционально связанные с ним, и другие данные социально-экономического и эстетического характера.

Третий этап – наиболее важный и определяющий в общей цепочке работ – заключается в поиске концепции проекта. В нем сосредотачиваются наиболее специфичные методы и приемы, обеспечивающие максимальную эффективность всех последующих разработок. Поиск проектной идеи может быть либо процессом сугубо личностным, либо коллективным. Коллективная форма работы особенно продуктивна, когда проектирование касается прогностических проектов, большого по объему проектирования, не имеющего аналогов. Дизайн-концепция средового пространства, отражая принцип функционально-образного построения объекта, может быть выражена как графическими формами, так и описаниями, но в любом случае смысл этой стадии работы – своего рода материализация выбранного решения. Наиболее законченной формой подачи концептуальных предложений является эскизный проект, который рождается в результате использования в проектной деятельности целого ряда проектных технологий.

Четвертый этап – проектная разработка, результатом которой является технический проект, в котором уже определены основные метрические и пространственные характеристики объекта, его габариты, пропорции, колористическое решение, стилистика, технология, материалы, способ функционирования. Эта стадия разработки выражена в виде графических наглядных изображений, чертежей, макетов, коллажей и т. п.

Последний этап – разработка рабочих чертежей, подготовка всех материалов для возможной будущей реализации принятого проекта в конкретной форме и материалах – представляет собой своеобразный творческий этап, на котором происходит классификация, выделение специальных проблем, обособление понятий технической эстетики, таких как массовость, технологичность, качество, проектирование отдельных предметов. Задача этого проектного этапа отвечает в рамках определенной выбранной системы всему комплексу требований, предъявляемых проекту в соответствии с техническим заданием на проектирование. В реальной жизни этот этап сопряжен с большой долей работ, формально включенных в проектный процесс средового дизайна – взаимодействие со смежниками, производителями работ, строителями и т.д., которые осуществляют ту самую обратную связь – деформация принятых решений условиями действительности, которая завершает проектирование [2]. В соответствии с концепцией устойчивого развития эффективность любого объекта оценивается с экономической, социальной и экологической точек зрения соответствующим набором индикаторов (рис.). Эти показатели являются важнейшими для мониторинга эффективности проекта в процессе его реализации.



**Рисунок – Критерии эффективности концепции устойчивого развития**

экономическую целесообразность прекращения проекта при возникновении условий, не предусмотренных проектными материалами.

По мере реализации проекта и поступления новой информации о проектируемом объекте и окружающей экономической среде может выявиться нерациональность ранее предусмотренных проектных решений и необходимость их корректировки. На этом основании рекомендуется периодически оценивать ожидаемую эффективность продолжения реализации проекта, рассматривать новые варианты такого продолжения и выбирать лучшие из них, а также выявлять

#### 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, 2021, 132 с.

## **КОНСТРУКЦИЯ ФРЕЗЕРНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ПРОФИЛИРУЮЩИХ УЗЛОВ ФРЕЗЕРНО-БРУСУЮЩИХ МАШИН**

Режущий инструмент придает заготовке нужную форму и размеры. Его работоспособность и надежность оказывают существенное влияние на экономическую эффективность производства. Основные требования, предъявляемые к режущим инструментам, определяются их служебным назначением: способностью выполнять требуемые функциональные действия. Возможности процесса резания обрабатываемой заготовки обеспечиваются материалом режущей части инструмента, а также правильным выбором его геометрических параметров. Получение требуемой формы, размеров и качества обработанной поверхности детали обеспечивается конструкцией инструмента, и особенностями крепления, базирования и регулирования инструмента на размер. Экономическая эффективность режущего инструмента определяется производительностью обработки и ее себестоимостью. Производительность определяется режимом обработки, т. е. уровнем скорости резания, подачи, глубины резания. Себестоимость обработки детали зависит как от конструктивных особенностей инструмента, так и от трудоемкости его изготовления и возможности восстановления режущих свойств в ходе эксплуатации. На многих крупных предприятиях лесной и деревообрабатывающей отрасли Республики Беларусь установлены линии агрегатной переработки древесины. Как правило, в технологический процесс переработки сырья на данном оборудовании входит операция профилирования. Профилирование представляет собой процесс механической обработки двух или четырехкантных брусков цилиндрическими фрезами с целью придания им ступенчатой формы, упрощающей процесс дальнейшей переработки. Последующая распиловка ступенчатого бруса позволяет получить обрезные материалы без применения специализированного оборудования [1].

Профиляторы представляют собой фрезерные агрегаты, расположенные с двух сторон перерабатываемого материала и формирующие ступенчатую поверхность методом продольно-торцевого цилиндрического полузакрытого фрезерования. Режущим инструментом профиляторов являются цилиндрические фрезы с плоскими ножами. Проведенный авторами литературный обзор не выявил влияние осевого угла на мощностные и силовые параметры процесса фрезерования



и также конструкций инструмента применяемого на профиляторах с возможностью изменения угловых параметров.

Обзор конструкций режущих элементов фрез для агрегатной переработки древесины позволил установить угловые параметры ножей: угол заострения  $\beta = 320\text{--}360$ , передний угол  $\gamma = 400\text{--}450$  [1].

На процесс резания древесины плоскими ножами на фрезерно-брусующих станках оказывают влияние много факторов, среди которых можно выделить три основные группы:

1) факторы, относящиеся к исследуемому материалу (физико-механические свойства породы древесины – предел прочности при сжатии, скалывании вдоль волокон, твердость, ударная вязкость, влажность, анизотропия и др.);

2) факторы, относящиеся к режущему инструменту (геометрические параметры ножа, углы резания, марка стали и пр.);

3) режимы резания или обработки (скорость главного движения, скорость подачи) [2].

На рис. 1 представлена конструкция фрезерного инструмента для профилирующих узлов фрезерно-брусующих машин.



**Рисунок 1 – Фрезерный инструмент фрезерно-брусующих машин**

### **Выводы**

1. Углы резания и осевой угол приводят к уменьшению силы и мощности резания.

2. Разработанная конструкция сборного фрезерного инструмента имеет возможность изменять угловые параметры.

3. Проведенные теоретические расчёты новой конструкции фрезы, позволяющую воспроизводить технологические режимы машины VPS 22, отвечают требованиям техники безопасности.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Раповец В.В. Комплексная обработка древесины фрезами со спиральным расположением сборных двухлезвийных ножей, обеспечивающая качество продукции и снижение энергозатрат: дис. канд. техн. наук: 05.21.05 / В.В. Раповец. Минск, 2011. 187 с.

2. Боровиков Е.М., Фефилов Л.А., Шестаков В.В. Лесопиление на агрегатном оборудовании. М.: Лесная пром-сть, 1985. 216 с.

Б.В. Войтеховский, ст. преп.;  
 С.А. Гриневич, доц., канд. техн. наук;  
 А.Ф. Аникеенко, зав. кафедрой, канд. техн. наук;  
 В.Т. Лукаш, доц., канд. техн. наук  
 (БГТУ, г. Минск)

## ИЗНОС РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА И КРИТЕРИИ ЕГО ОЦЕНКИ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ КРОМОК ЛАМИНИРОВАННЫХ ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ

Ламинированные древесностружечные плиты имеют неоднородное строение по толщине (рис. 1). Плотность поверхностных слоев в несколько раз больше, чем в средней части плиты. Поверхностные слои содержат большее количество связующего (смолы). Указанные особенности строения в значительной степени отражаются на характере износа режущего инструмента и его стойкости [1].

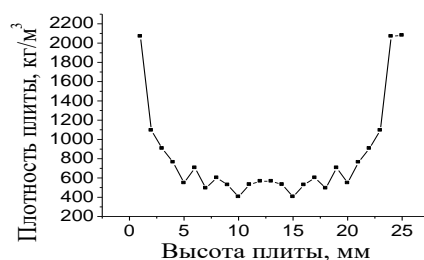


Рисунок 1 – Распределение плотности плиты по толщине

Интенсивность и характер затупления режущего элемента зависит от обрабатываемого материала, материала режущего элемента и режима обработки. Для обработки древесностружечных плит из-за их высоких абразивных свойств применяют твердые сплавы марки ВК [2]. На рис. 2. представлен резец из твердого сплава ВК6, обрабатывающий кромку ламинированной ДСтП толщиной 25 мм. Если рассмотреть непосредственно саму режущую кромку (рис. 2), можно увидеть, что для восстановления режущей способности резца нужно удалить значительный объем твердого сплава. Экономия твердого сплава и абразивного алмазного инструмента, является одной из приоритетных задач деревообрабатывающей промышленности.

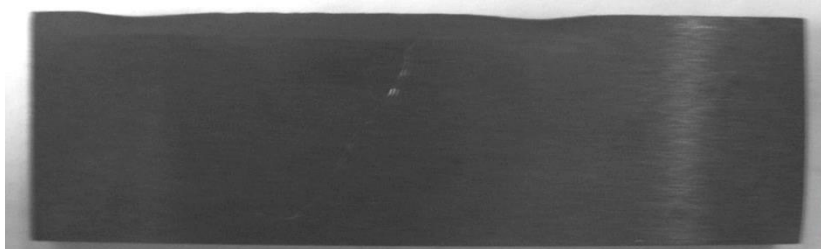


Рисунок 2 – Фото резца обрабатывающего кромки ДСтП

Цель работы установить влияние основных технологических параметров на величину износа режущего инструмента при фрезеровании кромок ламинированных ДСтП, рекомендовать рациональные режимы обработки. Объектом исследования является процесс фрезерования кромок ламинированной ДСтП (толщина  $b=25$  мм, средняя плотность  $760 \text{ кг/м}^3$ , количество связующего 12%) твердосплавными ножами (ВК6). Для проведения опытов использовалась экспериментальная установка на базе станка марки С26-2М. Данная установка позволяет плавно изменять частоту вращения режущего инструмента и скорость подачи обрабатываемого материала.

Условием останова эксперимента выбран критерий качества обработки, т. е. опыт продолжался до тех пор, пока на поверхности облицованной плиты не появлялись сколы ламината.

Для определения износа режущего инструмента по задней грани использовался метод слепков (рис. 3).

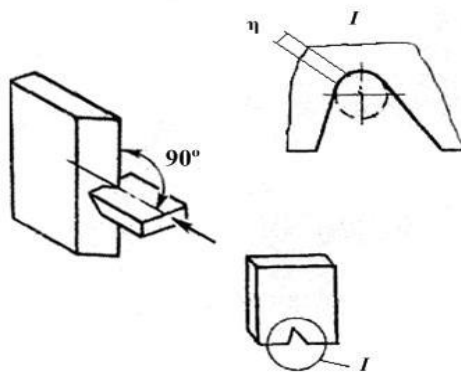


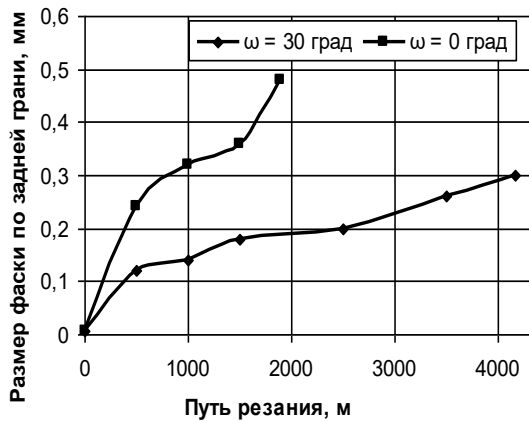
Рисунок 3 – Схема к методу слепков

Достоинством этого метода является возможность получения информации о динамике затупления твердосплавной пластины без ее снятия и последующего повторного базирования, что гарантирует чистоту проведения эксперимента. Во время проведения эксперимента делались слепки режущей кромки резца через каждые 500 м пути резания, и на основе этих данных строились кривые износа, позволяющие визуально определить динамику износа резца по задней поверхности.

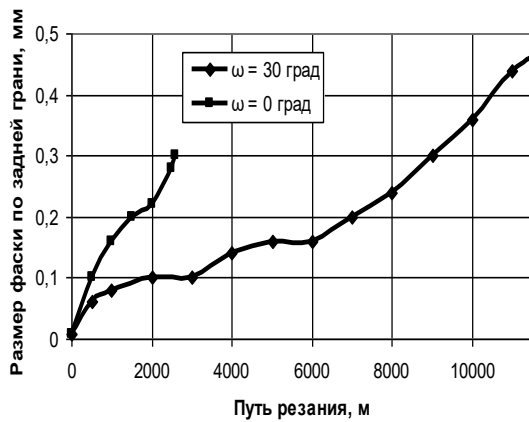
Данные, полученные в ходе проведения экспериментов, представлены в виде графических зависимостей затупления режущего инструмента от пути резания.

На рис. 4 и 5 представлены зависимости величины фаски износа по задней поверхности от пути резания, полученные при фрезеровании прямым резцом (кривая обозначенная квадратами) и при наклоне режущей кромки под углом  $30^\circ$  (кривая, обозначенная ромбами). Результаты исследования (рис. 4), получены при обработке материала в области микростружки и следующем режиме резания: толщина

стружки  $a = 0,05$  мм; толщина срезаемого слоя  $h = 4,5$  мм; скорость резания  $V = 50$  м/с; угол резания  $\delta = 80^\circ$ .



**Рисунок 4 – Влияние угла наклона режущей кромки на стойкость режущего элемента в области микростружки**

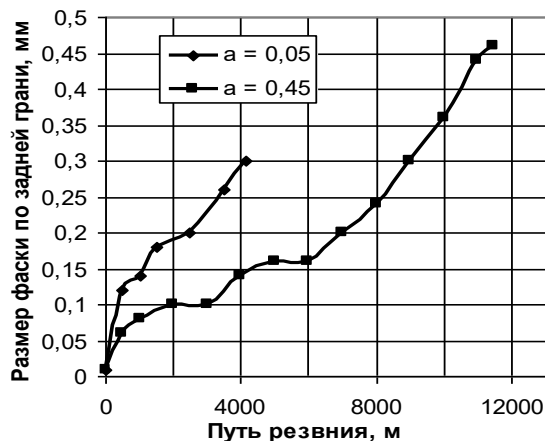


**Рисунок 5 – Влияние угла наклона режущей кромки на стойкость режущего элемента в области макростружки**

На рис. 5 представлены аналогичные зависимости, но полученные в области макростружки при следующих параметрах режима фрезерования: толщина стружки  $a = 0,45$  мм; толщина срезаемого слоя  $h = 4,5$  мм; скорость резания  $V = 50$  м/с; угол резания  $\delta = 80^\circ$ .

Анализ графиков, представленных на рис. 4 и рис.5 показывает, что угол наклона режущего лезвия положительно влияет на стойкость реза. В области микростружки (при  $a = 0,05$  мм) он позволяет увеличить стойкость инструмента по критерию качества в 2,19 раза, а в области макростружки (при  $a = 0,45$  мм) в 4,4 раза.

На рис. 6 представлены зависимости величины фаски от пути резания полученные при угле наклона режущей кромки  $\omega = 30$  град; толщине срезаемого слоя  $h = 4,5$  мм; скорости резания  $V = 50$  м/с; угле резания  $\delta = 80^\circ$ . Переменной величиной являлась толщина стружки.



**Рисунок 6 – Влияние толщины стружки на стойкость режущего элемента**

Кривая, построенная при толщине стружки  $a = 0,05$  мм, обозначена ромбами, а кривая, построенная при толщине стружки  $a = 0,45$  мм, обозначена квадратами.

Из графика видно, что обработку ламинированных ДСтП лучше производить в области макростружки. По опытным данным при толщине стружки  $a = 0,45$  мм сколы на ламинате появились после прохождения пути резания более 11000 м, а при толщине стружки  $a = 0,05$  мм путь резания составил чуть больше 4100 м.

Уменьшение стойкости резца в области микростружки объясняется тем, что при работе на малых толщинах стружки в результате многократного прохождения резца по обрабатываемой поверхности образуется деформированный, уплотненный слой, обладающий высокой абразивной способностью. Воздействие этого слоя вызывает повышенный износ режущего элемента, что приводит к увеличению сил резания и давления на ламинат.

#### **Выводы.**

1. Критерием оценки износа фрезерного инструмента может являться величина фаски по задней поверхности, а критерием качества обработки – появление сколов на поверхности ламината.

2. Придание угла наклона режущей положительно сказывается на стойкости режущего инструмента и качестве обработанной поверхности. При создании угла наклона режущей кромки  $30^\circ$  стойкость резца по критерию качества увеличивается в 2,19 в области микростружек и в 4,4 раза в области макростружек.

3. С увеличением толщины стружки с 0,05 мм до 0,45 мм путь резания до появления сколов на ламинате увеличивается 2,75 раза.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Войтеховский Б.В. Особенности обработки ламинированных древесностружечных плит методом фрезерования // Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии: материалы конф. / БГТУ. – Минск, 2005. – с. 276.

2. Цуканов Ю.А. Обработка резанием древесностружечных плит / Ю. А. Цуканов, В. В. Амалицкий – М.: Лесная пром., 1966. – 95 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ НАЧАЛЬНОГО ПРОГРЕВА ДРЕВЕСИНЫ В НЕНАСЫЩЕННОЙ СРЕДЕ

Начальный прогрев пиломатериалов является ключевым этапом в подготовке влагопроводящей системы древесины к последующему испарению влаги. Прогрев древесины производят перед собственно сушкой для повышения температуры пиломатериалов до уровня температуры сушильного агента, для предупреждения образования в последующем внутренних напряжений, а также для сохранения целостности пиломатериалов в начальный период процесса [1].

Совершенствование существующих или разработка новых технологий прогрева древесины невозможно реализовать без проведения экспериментальных исследований и решения научно-практических задач.

Целью данного исследования является получение закономерностей изменения температуры и влажности древесины в период прогрева в ненасыщенной среде (или кинетики прогрева).

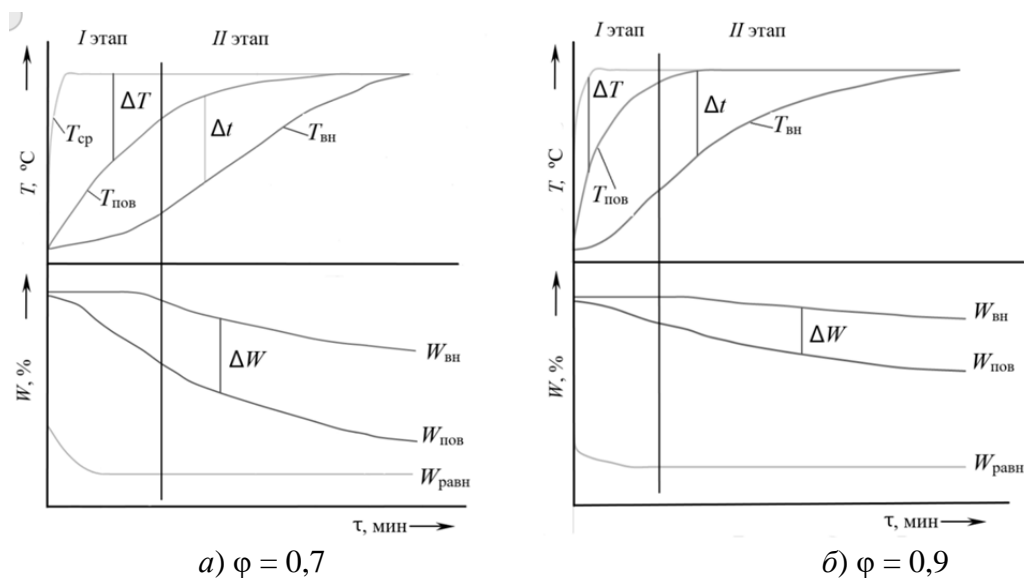
Экспериментальные исследования [2] проводились в два этапа:

1. Для начальной температуры образцов  $t_0 > 0$  °С.
2. Для начальной температуры образцов  $t_0 < 0$  °С.

В качестве постоянных факторов выступали: геометрические размеры сечения экспериментальных образцов из древесины сосны сечением 20 (40,60) × 250 мм, начальная влажность образцов  $W_{нач}$ , % и начальная температура древесины  $t_0$ , °С. Переменными факторами являлись основные параметры режима прогрева – это температура  $T_{ср}$ , °С и степень насыщенности обрабатываемой среды  $\phi$ .

Графические зависимости, построенные по результатам опытов, однозначно свидетельствуют о наличии перепада как температур ( $\Delta t$ ), так и влажности ( $\Delta W$ ) по толщине образца. Также стоит отметить, что скорость изменения температуры поверхностных ( $V_{пов}$ ) слоев древесины и внутренних ( $V_{вн}$ ) – различна.

Начальная температура образцов  $t_0 > 0$  °С. Особенности протекания процесса прогрева и нелинейный характер изменения температуры и влажности поверхностных и внутренних слоев древесины по объему (или толщине образца) и во времени идентичны для всех условий проведения эксперимента и в общем виде представляют собой следующий вид кинетических кривых (рис. 1).



**Рисунок 1 – Кинетика начального прогрева древесины при разных значениях степени насыщенности обрабатывающей среды**

Анализируя характер изменения кинетических кривых, представленных на рис. 1а, следует отметить, что закономерности изменения температуры на поверхности и внутри образца разные. Изменение температуры внутренних слоев древесины при прогреве происходит по закону функции  $y = a \cdot x^2 + b \cdot x + c$  (парабола или квадратичная функция). В то же время температурная кривая поверхностных слоев близка к закону логарифмической функции  $y = a \ln(x) + b$ . Также замечено, что при  $\varphi = 0,7$  и поверхностные слои и внутренние изменяют температуру по квадратичной функции.

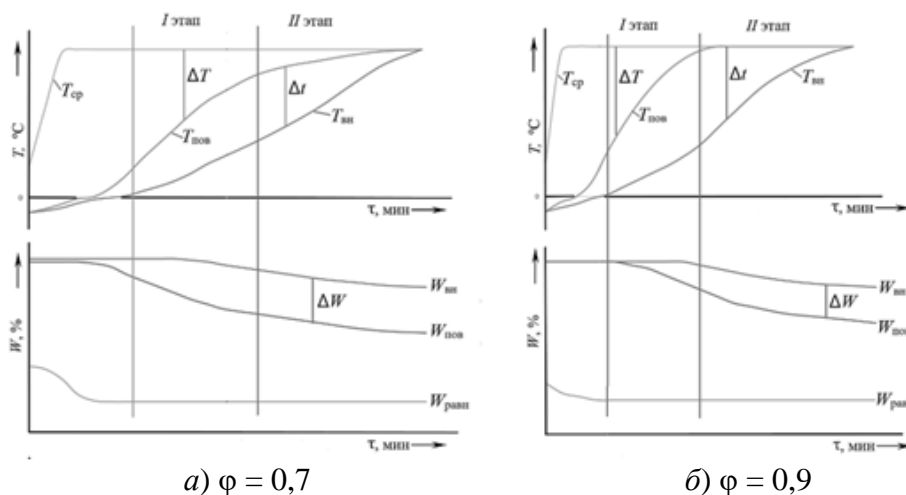
Обращает на себя внимание то обстоятельство, что начальный прогрев древесины в ненасыщенной среде проходил в 2 этапа:

- на I-ом этапе наблюдается заметный перепад температур, как по сечению образца, так и между температурой обрабатывающей среды и поверхности древесины, а перепад влажности по толщине меньше, чем перепад температур; скорость изменения температуры и влажности внутренних слоев образца заметно меньше, чем поверхностных;

- на II-ом этапе перепад влажности по толщине образца значительнее, чем перепад температур; скорость изменения температуры внутренних слоев увеличивается, а поверхностных уменьшается; скорость изменения влажности поверхностных слоев образца выше, чем внутренних.

Проведенные экспериментальные исследования позволяют утверждать, что процессы тепломассопереноса, протекающие в древесине в период прогрева в ненасыщенной среде достаточно сложные. Классические дифференциальные уравнения, описывающие процессы переноса тепла и влаги в данном случае требуют дополнений.

Начальная температура образцов  $t_0 < 0^\circ\text{C}$ . Закономерности изменения температуры и влажности древесины по толщине образца и во времени представлены на рис. 2. Исследование кинетики прогрева показало, что при нагреве замороженной древесины в ненасыщенной среде имеет место значительное отставание в росте температуры внутреннего слоя от повышения температуры поверхностных слоев, сохраняющееся в течение практически всего периода прогрева. Тем не менее, эксперимент не выявил стабилизации температуры внутреннего слоя на отметке  $0^\circ\text{C}$ , что соответствовало бы плавлению свободной замороженной влаги в полостях клеток древесины. Это подтверждает теорию о том, что содержание льда в древесине с температурой до  $(-10)^\circ\text{C}$  крайне мало ввиду того, что свободная влага представляет собой раствор органических и минеральных веществ.



**Рисунок 2 – Кинетика начального прогрева замороженной древесины при разных значениях степени насыщенности обрабатывающей среды**

Как и в случае прогрева древесины с начальной температурой  $t_0 > 0^\circ\text{C}$ , закономерности изменения температуры и влажности образца носят нелинейный характер. Однако, отличительной особенностью кинетики прогрева замороженной древесины является наличие дополнительного этапа нагревания, продолжительность которого зависит от времени достижения внутренними слоями древесины температуры  $T_{\text{вн}}$  выше  $0^\circ\text{C}$ .

Анализ результатов исследований показал, что нагревание поверхностных слоев образцов древесины начинается сразу, а внутренних – с некоторым опозданием. При дальнейшем нагревании различие температур поверхностных и внутренних слоев древесины постепенно убывает вплоть до момента достижения температуры поверхностных слоев температуры прогрева. Далее при постоянной температуре по-



верхностных слоев увеличивается только температура внутри образца, что приводит к их полному выравниванию.

Обращает на себя внимание тот факт, что в процессе нагревания древесины возникает и длительное время поддерживается значительная разность температур  $\Delta T$  обрабатываемой среды и поверхности образца. Это однозначно свидетельствует о том, что прогрев сопровождается испарением влаги с поверхности древесины, т. е. об одновременном протекании тепло- и влагопереноса.

Оценивая влияние переменных факторов на характер изменения температуры и влажности образцов в период прогрева следует отметить, что именно величина степени насыщенности обрабатываемого агента  $\phi$  оказывала наибольшее действие на них.

Характер изменения температуры поверхностных слоев древесины при прогреве с  $\phi = 0,9$  близок к нагреванию в насыщенной среде ( $\phi \approx 1$ ). Также интересен тот факт, что продолжительность прогрева при  $\phi = 0,9$  меньше, чем при  $\phi = 0,7$ . Данное явление можно объяснить тем, воздух, насыщенный водяным паром не способен воспринимать дополнительное количество влаги, испарившейся из древесины. Соприкасаясь с образцом, он расходует свою тепловую энергию только на нагревание. По мере уменьшения степени насыщенности воздуха возникают два параллельно протекающих процесса: нагревание и сушка древесины.

Проведенные исследования кинетики начального прогрева пиломатериалов в ненасыщенной среде позволили получить общие закономерности изменения температуры и влажности древесины во времени и по объему образца.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Серговский П. С., Рассев А. И. Гидротермическая обработка и консервирование древесины. Москва: Лесн. пром-сть, 1987. – 360 с.
2. Рудак, О. Г. Исследование механизмов начального прогрева древесины сосны в ненасыщенной среде / О. Г. Рудак // Вестник Гомельского государственного университета имени П. О. Сухого. – 2021. – № 2. – С. 69-77.

## **ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ В ПЕРИОД ПРОГРЕВА В НЕНАСЫЩЕННОЙ СРЕДЕ**

Производство конкурентоспособной продукции из древесины невозможно без наличия качественного древесного сырья. Одним из самых важных и сложных технологических этапов подготовки сырья к производству изделий является камерная сушка древесины, отличающаяся не только разнообразием параметров, их сложной взаимосвязью, наличием внешних воздействий, но и большой продолжительностью процесса. Непосредственно процесс сушки древесины нагретым воздухом состоит из трех последовательных этапов: нагревания влажных пиломатериалов, собственно сушки и охлаждения высушенной древесины.

Отсутствие в технологическом процессе сушки этапа начального прогрева, либо неэффективная технология его проведения приводят к резкому снижению качества высушенного материала, что в последствии приводит к громадному перерасходу древесины на стадии механической обработки.

Для повышения качества высушенных пиломатериалов требуется проведение исследований механизмов начального прогрева, позволяющих прогнозировать динамику изменения тепловых свойств древесины, что в дальнейшем позволит получить конкурентоспособную продукцию при минимальных затратах энергии.

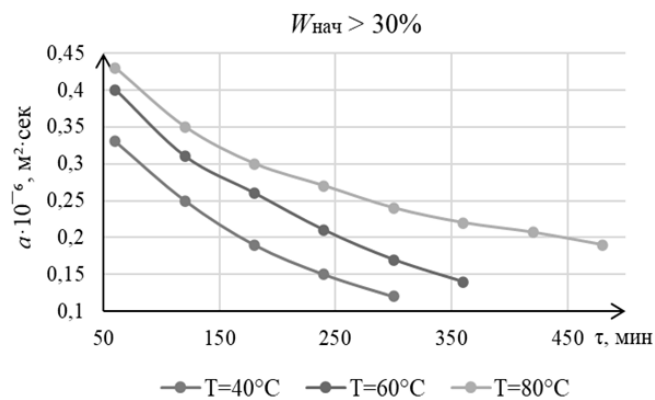
Результаты исследований особенностей прогрева в ненасыщенной среде однозначно свидетельствуют об изменении как температуры, так и влажности образцов в период нагревания, что, в свою очередь, повлечет за собой изменение и других физических свойств древесины, зависящих от температуры и влажности.

Существующие методы исследования тепловых свойств древесины дают возможность их определения лишь в конкретных стационарных условиях, т.е. в условиях, когда тепловой поток, проходящий через древесину, сохраняется постоянным во времени. Начальный прогрев древесины относится к нестационарным процессам, поскольку имеет место изменяющаяся во времени и по сечению температура самого сортамента и температура агента обработки. В данной работе был применен метод исследования, основанный на способе комплексного определения теплофизических характеристик при теплообмене тел в среде с линейно изменяющейся температурой [1].

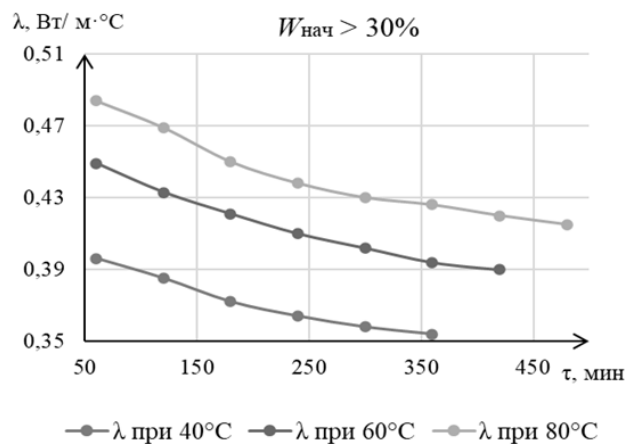
Один из способов комплексного определения теплофизических характеристик в режиме линейного нагрева состоит в использовании системы тел, одно из которых имеет известные теплофизические свойства. Описанный способ позволяет определить в любой выбранный момент времени перепады температур по толщине металлических пластин  $\Delta T = T_1(l_1, \tau) - T_2(0, \tau)$  и образца из древесины  $\Delta T_0 = T_4(l_1 + l_2, \tau) - T_3(l_1, \tau)$ . Используя результаты измерений, по специальным формулам были рассчитаны тепловые характеристики древесины в выбранный момент времени в период прогрева.

Проведенные вычисления позволили выявить закономерности изменения теплофизических свойств древесины сосны в период прогрева в ненасыщенной среде с учетом совместного влияния технологических факторов.

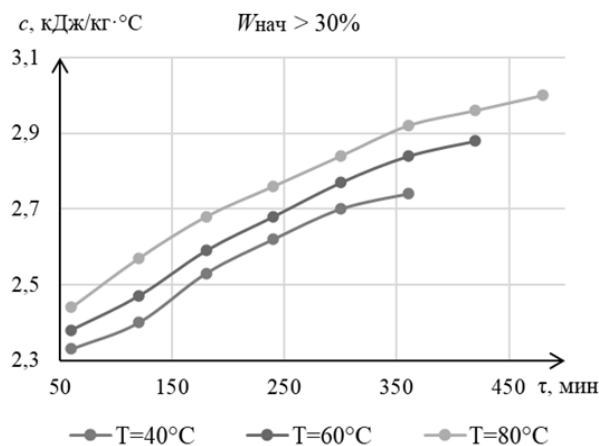
Закономерности изменения тепловых свойств древесины в период прогрева в ненасыщенной среде отражены в виде графических зависимостей на рис. 1–3.



**Рисунок 1 – Закономерность изменения коэффициента температуропроводности  $\alpha$  при прогреве древесины с  $W_{нач} > 30\%$**



**Рисунок 2 – Закономерность изменения коэффициента теплопроводности  $\lambda$  при прогреве древесины с  $W_{нач} > 30\%$**



**Рисунок 3 – Закономерность изменения коэффициента теплоемкости  $c$  при прогреве древесины с  $W_{нач} > 30\%$**

Анализируя результаты исследования [2], отметим, прежде всего, что полученные значения всех теплофизических характеристик древесины не противоречат сведениям, известным в литературе [3]. При этом, удельная теплоемкость ( $c$ ) и коэффициент теплопроводности ( $\lambda$ ), измеренные у древесины с начальной влажностью  $W_{нач} > 30\%$ , больше, чем у более сухой древесины ( $W_{нач} < 30\%$ ), что также согласуется с современными представлениями о тепловых свойствах древесины.

Прогрев древесины сопровождается увеличением удельной теплоемкости ( $c$ ) на 18% и снижением коэффициента теплопроводности ( $\lambda$ ) в 1,1–1,3 раза. Коэффициент температуропроводности ( $a$ ) также уменьшается в 2,3–2,8 раз.

Следует отметить, что характер изменения величины тепловых коэффициентов в период прогрева носит нелинейный характер. В начале процесса, когда перепад температур по толщине древесины достаточно велик, наблюдается заметное падение величины коэффициентов теплопроводности и температуропроводности (рис. 1 и 2).

В период прогрева, когда при постоянной температуре поверхностных слоев увеличивается только температура внутри образца как рост удельной теплоемкости, так и снижение коэффициентов теплопроводности и температуропроводности замедляется.

Поскольку теплоемкость характеризует способность древесины поглощать теплоту от обрабатывающей среды при нагревании, то увеличение значения удельной теплоемкости древесины  $c$  во времени в период прогрева отражает повышение затрат тепловой энергии, необходимой для нагревания древесины.

Характер изменения коэффициента теплопроводности и температуропроводности во времени в период прогрева свидетельствует о

снижении способности древесины проводить теплоту и снижении скорости нагревания. Данный факт подтверждает гипотезу о том, что начальный прогрев древесины происходит за два этапа – быстрого и медленного нагревания.

Анализируя закономерности изменения тепловых свойств древесины в период прогрева, следует обратиться к знаниям о ее строении. В общем древесина состоит из трех фаз: твердой, жидкой и газообразной. Твердая фаза – древесинное вещество (клеточные стенки), жидкая – связанная и свободная влага, газообразная – воздух (паровоздушная смесь) в полостях клеток [3]. Каждая фаза имеет свою величину коэффициента теплопроводности ( $\lambda$ ):

- древесинное вещество – 0,5 Вт/м °С,
- вода – 0,58 Вт/м °С,
- паровоздушная смесь полостях клеток – 0,025 Вт/м °С.

Коэффициент теплопроводности сухой древесины составляет  $\approx 0,2$  Вт/м °С. Во время прогрева в ненасыщенной среде влажность поверхностных слоев образцов уменьшается, соответственно влага в клетках древесины частично заменяется воздухом, теплопроводность которого в более чем 20 раз ниже.

Исследование характера изменения удельной теплоемкости имеет практическую значимость, поскольку тепловая энергия, необходимая для нагревания, является важным ресурсом. Рост величины коэффициента теплоемкости на протяжении всего периода начального прогрева свидетельствует об увеличении затрат теплоты на данный процесс. Результаты исследований закономерностей теплофизических свойств древесины в период прогрева в ненасыщенной среде следует учитывать при разработке новых и совершенствовании существующих технологий сушки пиломатериалов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Рудак, О. Г. Изменение тепловых свойств древесины в период прогрева в ненасыщенной среде / О. Г. Рудак, В. Б. Снопков // Труды БГТУ. – Минск : БГТУ, 2012. – № 2 (149). – С. 161–164.
2. Рудак О. Г., Снопков В. Б. Изменение тепловых свойств древесины в период прогрева в ненасыщенной среде / Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды VII междунар. евразийского симпози. / под науч. ред. В.Г.Новоселова. Екатеринбург, 2012. С. 141–148.
3. Болдырев П. В. Сушка древесины. Практическое руководство. С.-Петербург: Профикс, 2002. – 158 с.

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ НА ОПЕРАЦИЮ  
НАЧАЛЬНОГО ПРОГРЕВА ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ  
В НЕНАСЫЩЕННОЙ СРЕДЕ**

Современная деревообрабатывающая промышленность ориентирована на развитие высоких технологий, в первую очередь направленных на повышение качества готовой продукции, снижение ее себестоимости, снижение энергозатрат и использование современных цифровых технологий.

Эффективность технологии начального прогрева древесины сосны в ненасыщенной среде заключается в оптимизации расхода тепловой энергии и минимизации внутренних напряжений, возникающих в пиломатериалах в процессе нагревания.

Целью данной работы являются экспериментально-аналитические исследования зависимости величины расхода тепловой энергии, необходимой для проведения операции начального прогрева древесины в ненасыщенной среде, от технологических факторов.

Определения величины расхода тепловой энергии при прогреве древесины производилось по специальным формулам [1]. Основными факторами, влияющим на расход тепловой энергии, являются параметры режима, по которому производится прогрев пиломатериалов.

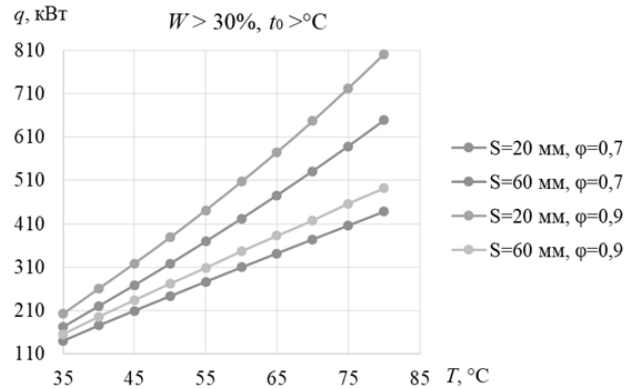
Следует обратить внимание на то, что при прогреве древесины в ненасыщенной среде имеет место испарение влаги с поверхности пиломатериалов [2]. Данный факт свидетельствует о том, что тепловая энергия тратится не только на прогрев, но и на испарение влаги.

Результаты аналитического исследования закономерностей изменения энергетических затрат на операцию начального прогрева древесины в ненасыщенной среде представлены в виде графических зависимостей на рис. 1–3.

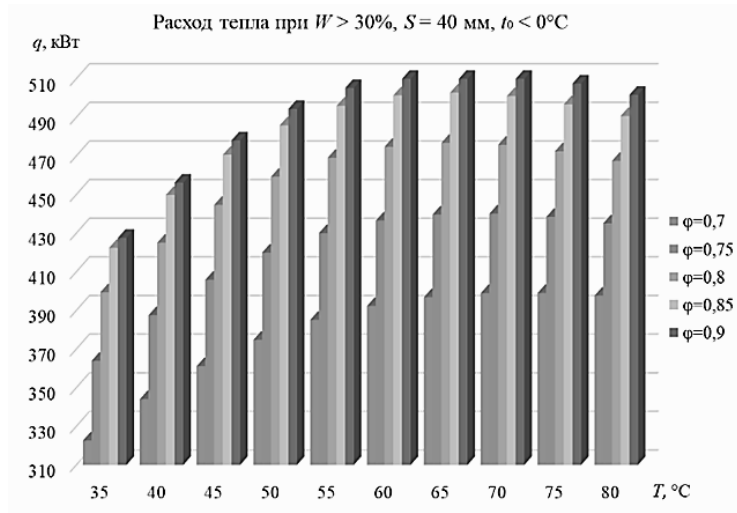
Анализ результатов исследований свидетельствует, что наибольшее влияние на величину расхода тепловой энергии оказывает температура прогрева  $T_{\text{прог}}$ , °С; толщина  $S$ , мм, начальная влажность  $W$ , % и начальная температура  $t_0$ , °С пиломатериалов.

Изменение величины расхода тепловой энергии  $q$ , кДж при увеличении степени насыщенности обрабатываемой среды  $\phi$  от 0,7 до 0,9 оказалось незначительным – в 1,1–1,2 раза. А вот увеличение тем-

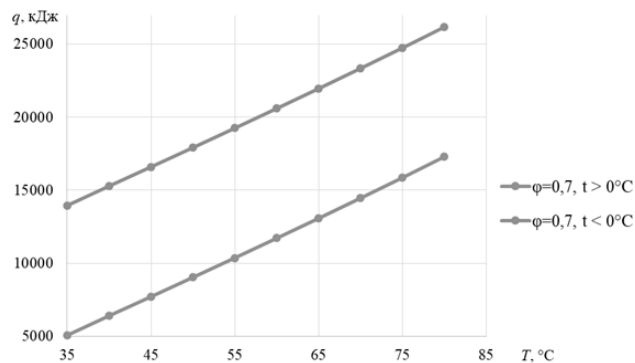
пературы обрабатывающей среды  $T_{cp}$  от  $35^{\circ}\text{C}$  до  $80^{\circ}\text{C}$  выявило увеличение расхода тепловой энергии в 2,5–2,7 раза.



**Рисунок 1 – Зависимость величины расхода тепловой энергии  $q$  от параметров обрабатывающей среды (температуры прогрева  $T$ ,  $^{\circ}\text{C}$ , степени насыщенности  $\varphi$ ) и толщины прогреваемого пиломатериала  $S$ , мм**



**Рисунок 2 – Зависимость величины расхода тепловой энергии  $q$  от параметров обрабатывающей среды для пиломатериалов с  $t_0 > 0^{\circ}\text{C}$**



**Рисунок 3 – Зависимость величины расхода тепловой энергии  $q$  от начальной температуры пиломатериала  $t_0$ ,  $^{\circ}\text{C}$**

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.

Немаловажен и тот факт, что характер зависимости величины расхода энергии при прогреве замороженных пиломатериалов отличается от прогрева пиломатериалов с начальной температурой  $t_0 > 0^\circ\text{C}$ . Для первого случая – это нелинейная зависимость с заметным максимумом функции, а для второго случая зависимость носит линейный характер. Расход теплоты  $q$  для пиломатериалов с  $t_0 > 0^\circ\text{C}$  в 2 раза меньше, чем для таковых с начальной температурой  $t_0 < 0^\circ\text{C}$ .

Наибольшие затраты тепловой энергии  $q$  при прогреве древесины с начальной температурой  $t_0 > 0^\circ\text{C}$  характерны для условий с  $T = 80^\circ\text{C}$  и  $\varphi = 0,9$ , а для замороженных пиломатериалов – с  $T = 65\text{--}75^\circ\text{C}$  и  $\varphi = 0,9$ .

Использование результатов исследования закономерностей изменения величины энергетических затрат позволит разрабатывать новые энергоэффективные режимы начального прогрева древесины сосны в ненасыщенной среде.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Рудак, О. Г. Исследование зависимости величины расхода тепловой энергии от технологических факторов при прогреве древесины в ненасыщенной среде / О. Г. Рудак, Д. П. Бабич // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн : материалы 88-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, Минск, 24 января – 16 февраля 2024 г. – Минск : БГТУ, 2024. – С. 218–220.

2. Рудак, О. Г. Анализ изменения влажности пиломатериалов по толщине при прогреве в ненасыщенной среде / О. Г. Рудак, Д. П. Бабич // 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. 184–186.



С.В. Киселев, доц., канд. техн. наук;  
В. Т. Лукаш, доц., канд. техн. наук;  
Н.О. Азовская, канд. с.-х. наук  
(БГТУ, г. Минск)

## **ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ VR-ТЕХНОЛОГИЙ В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ**

В последнее десятилетие виртуальная реальность (VR) стала неотъемлемой частью информационных технологий и все шире применяется во многих сферах деятельности человека, включая производство и промышленную безопасность. Использование VR является частью концепции Индустрии 4.0 – качественного развития промышленности объединяющая автоматизацию, интернет вещей (*IoT*), искусственный интеллект (*AI*), цифровые двойники (*digital twin*) и цифровые технологии, для повышения эффективности производства [1].

Одним из направлений использования VR-технологий является обеспечение безопасности производственных процессов, что в первую связано с обучением и повышением квалификации работников, а именно моделировании опасных ситуаций дополнительного без риска для людей и оборудования.

Используя тренажеры виртуальной реальности, в которых загружена цифровая модель оборудования, цеха или даже предприятия, можно практиковаться в стрессовых условиях, приближенной к реальным производственным условиям находясь при этом в безопасной среде. Например, отрабатывать действия в чрезвычайных ситуациях с выбросом или утечки химически опасных веществ, при возгораниях и пожарах, аварийных отключениях на энергосистемах, обучению безопасным методам работы на высоте и работе на тяжелой технике, при работе с высокотемпературными материалами.

Важной особенностью технологии VR является возможность совместной работе в виртуальной среде, что способствует улучшению коммуникации и координации между различными структурными подразделениями предприятия.

Однако несмотря перечисленные выше перспективы использования, существуют и объективные сложности с массовым внедрением VR-технологии в промышленную безопасность.

Для внедрения данной технологии требуются значительные первоначальные затраты. Современные VR-устройства, требуют мощного аппаратного обеспечения для работы с высококачественной графикой и сложными симуляциями и поэтому такие компоненты как

шлемы, контроллеры и платформы, требуют значительных финансовых вложений. Но стоимость оборудования не является основной статьёй расходов при внедрении технологии виртуальной реальности. Главной проблемой является разработки программного обеспечения – цифрового виртуального окружения, моделирование процессов, сценариев и пр.

Создание программного обеспечения для VR-систем на данном этапе требует очень больших финансовых и человеческих ресурсов. Основные проблемы включают в себя следующие аспекты.

Высокая сложность моделирования процессов. Для создания эффективных симуляций требуется учитывать множество переменных реальной физической среды, таких как физические свойства объектов, способы взаимодействия человека с оборудованием и поведение системы в различных условиях, что требует значительного времени и экспертного знания как в области моделирования так и в области производственных процессов. Отсюда возникает вторая проблема - недостаток квалифицированных специалистов, которые могут разрабатывать виртуальные сценарии, обеспечивать интеграцию VR с существующими системами, специалистов способных разрабатывать методологию обучения сотрудников работе с новой технологией. Параллельно возникает вопрос ответственности за возможные вероятные ошибки в случае несоответствия результатов симуляции реальным условиям.

Все большее применение цифровых систем в промышленности ставит еще один важный вопрос о безопасности от внешних угроз, таких как хакерские атаки, утечка данных и пр. Использование VR связано с обработкой больших объемов информации, включая данные о персонале и производственных процессах [2].

Необходимость регулярных обновлений и актуализации. Меняющиеся нормативные требования, модернизация технологий вызывают необходимость обновления программного обеспечения, а значит и наличие штата специалистов, решающих данную задачу.

Суммарно высокие затраты на внедрение данной технологии приводят к тому, что на сегодняшний день малые предприятия не могут позволить себе такие технологии, а внедряются они в первую очередь на крупных высокорентабельных предприятиях или предприятиях с высокой стоимостью ошибки, например, в медицине, предприятиях автомобилестроения, нефтегазовой, металлургической, химической, аэрокосмической промышленности.

Психофизиологические факторы и проблемы взаимодействия человека с виртуальным окружением. Для некоторых людей долгое

использование *VR* может вызывать головокружение, тошноту и другие неприятные симптомы, другие пользователи испытывают сложности с восприятием виртуальных объектов и их соотношения с реальным миром, что особенно характерно для людей старшего поколения.

Виртуальная реальность замещает для человека физическую реальность, но при этом человек продолжает взаимодействовать с физической реальностью. Чем меньше виртуальная реальность отличается от физических сигналов, получаемых телом, тем сильнее погружение и восприятие виртуальной реальности. Однако современные методы взаимодействия с виртуальной реальностью достаточно примитивны. Основным способом взаимодействия являются контроллеры, которых достаточно для перемещения объектов и некоторого взаимодействия с внутри виртуальной реальности, но в то же время контроллер не дает точного ощущения для виртуального инструмента. Проблему пытаются решать, создавая специализированные контроллеры, повторяющие форму инструмента, либо проводя модернизацию существующих контроллеров обеспечивающую необходимую обратную физическую связь. Все это удорожает и усложняет контроллеры, что также не способствует широкому распространению подобных устройств.

Использование *VR*-технологий в обеспечении безопасности производственных процессов обладает определенным потенциалом. В первую очередь она позволяет улучшить обучение сотрудников, а значит снизить риски аварий, повысить эффективность взаимодействия людей и оборудования. Успешное внедрение данной технологии требует преодоления ряда значительных технических проблем. Однако авторы считают, что с дальнейшим развитием технологий, *VR* станут частью современных производственных процессов, делая их более безопасными и эффективными.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. The Fourth Industrial Revolution. Geneva: World Economic Forum (2016). URL: [https:// law.unimelb.edu.au /data/ assets/ pdf\\_file/ 0005/ 3385454/Schwab-The\\_Fourth\\_Industrial\\_Revolution\\_Klaus\\_S.pdf](https://law.unimelb.edu.au/data/assets/pdf_file/0005/3385454/Schwab-The_Fourth_Industrial_Revolution_Klaus_S.pdf) (дата обращения: 10.01.2025).

2. Риски безопасности и конфиденциальности в виртуальной и дополненной реальности. – URL: <https://www.kaspersky.ru/resource-center/threats/security-and-privacy-risks-of-ar-and-vr> (дата обращения: 10.01.2025).

## ВЛИЯНИЕ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ ОБРАБОТКИ НА УДАЛЕНИЕ ТОНЕРА ОТ ВТОРИЧНЫХ ВОЛОКОН

Наиболее перспективный и эффективный способ снижения химикатов при очистке макулатуры на сегодняшний день является ферментативная обработка. Ферментная обработка осуществляется совместно с флотацией, она позволяет существенно сократить расходы химикатов и энергозатраты [1–3]. На сегодняшний день известно применение ферментов в целлюлозно-бумажной промышленности: амилазы (для улучшения процесса роспуска бумажной массы, деинкинга); ксиланазы (при отбелке целлюлозных волокон, а также для улучшения процесса роспуска бумажной массы); целлюлазы (деинкинг, при обезвоживании волокнистого материала, модификация поверхности, повышение эффективности размола волокнистой суспензии); липазы (при удалении смоляных затруднений, очистка); эстеразы (блокирует процессы налипания); протеазы (удаление слизи) [2]. В составе офисной бумаги содержится целлюлоза, при взаимодействии с ферментами происходит частичная деструкция макромолекулы целлюлозы до целлобиазы, а в дальнейшем до глюкозы. Для того чтобы понять химическое взаимодействие целлюлозы с ферментами, нужно рассмотреть строение самой целлюлозы. Целлюлоза – это линейный полисахарид, макромолекулы которой представляют собой длинные, не имеющие разветвлений цепи. Макромолекулы построены из мономерных звеньев ангидро  $\beta$ -D-глюкопиранозы (остатков  $\beta$ -D-глюкозы), соединенных гликозидными связями 1–4 (рис. 1).

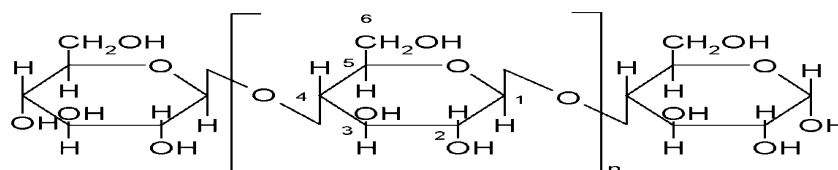
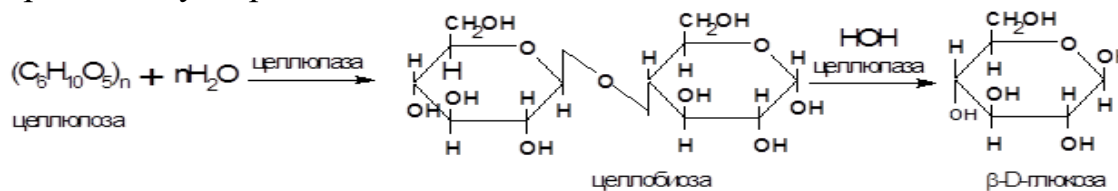


Рисунок 1 – Строение макромолекулы целлюлозы [4]

Разрушающие целлюлозу ферменты (целлюлазы) образуются в результате биосинтеза микроорганизмов. К целлюлазам относится целый комплекс ферментов, которые поэтапно гидролизуют целлюлозу до глюкозы (рис. 2). Ферментативный гидролиз целлюлозы постоянно осуществляется в природе при разложении растительных остатков микроорганизмами. Но этот процесс идет медленно, что объясняется, прежде всего, сложностью строения целлюлозы. В отличие от других типов ферментативных реакций, которые протекают в растворе, целлюлазы действуют на разделе фаз раствора ферментов и нерас-

творимой поверхности субстрата. На скорость ферментативного гидролиза целлюлозы оказывают прямо пропорциональную зависимость концентрация фермента, сорбированного на субстрате, и площадь поверхности субстрата.



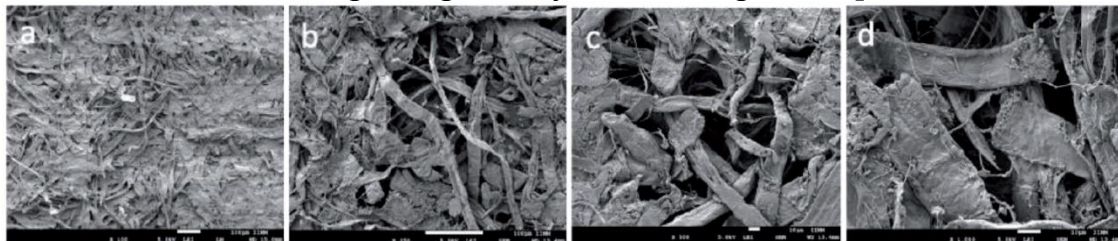
**Рисунок 2 – Гидролиз целлюлозы до глюкозы под действием фермента**

В настоящее время ферментативный гидролиз древесного растительного сырья в промышленном масштабе пока не проводится. Это объясняется отсутствием высокоактивных препаратов, способных превращать нативную целлюлозу в реакционноспособный продукт, доступный для действия гидролитических ферментов. Ферментативная обработка – это еще одно направление в области очистки целлюлозных волокон от тонера, которое сегодня используется на промышленных предприятиях Европы и Америки. С недавнего времени европейские страны прекратили поставку ферментов, и развитие системы очистки вторичных волокон с использованием ферментов в России остановилось на стадиях предварительных опытно-промышленных испытаний. Однако появились ферменты отечественного производства, которые требуют исследования, оценки их влияния на оптические и механические свойства производимой продукции.

В целом ферменты имеют ряд преимуществ перед обычными химическими реагентами: ускоренный роспуск макулатуры, отказ от традиционных химикатов, лучшее обезвоживание макулатурной массы, повышение механической прочности бумаги, снижение эксплуатационных расходов, снижение затрат на очистку оборотной воды за счет снижения потребления небiorазлагаемых химикатов и поверхностно-активных веществ.

Некоторые ферменты позволяют повысить оптические свойства волокнистого материала, за счёт удаления тонера вместе с фибриллами либо путём делигнификации целлюлозных волокон [5–9]. Такие механизмы воздействия ферментов на целлюлозные волокна снижают механические свойства, так как прочные водородные связи между целлюлозными волокнами в большинстве случаев возникают между фибриллами, количество которых заметно снижается при ферментативной обработке. Одними из наиболее распространённых ферментов, которые используются при флотации, являются целлюлазы и α-амилазы. Механизм воздействия связан с разрушением фибрилл, которое осуществляется при взаимодействии с ферментом. Печатная

краска при этом удаляется вместе с фибриллами. После обработки ферментами волокна претерпевают значительные изменения в своей морфологии, в частности уменьшение фибрилляции (рис. 3). Важно отметить, что, хотя удаление фибрилл с частицами краски может повысить белизну, это также может привести к значительному снижению механических параметров. Поэтому в большинстве исследований, связанных с переработкой макулатуры ферментами, анализируются механические параметры получаемых образцов [10–13].



**Рисунок 3 – Влияние фермента на фибрилляцию волокон**

Использование ферментов при очистке макулатуры вызывает интерес, несмотря на то, что это направление достаточно новое. В нашей стране исследование физико-химических явлений, связанных с ферментативной обработкой макулатуры, не так много, и они касаются решения конкретных научно-технических задач. Практически все научные разработки, связанные с влиянием ферментов на обработку целлюлозного материала, проводятся на зарубежном материале и целью исследования является их влияние на организованные у нас технологические условия. Эффективность использования ферментов зависит во многом от технологии производства.

Как показывает практика использования ферментов на предприятии, результаты научных испытаний в лаборатории могут существенно отличаться от производственных. Поэтому, прежде чем, приступить к использованию ферментов, необходимо рассмотреть существующие технологии очистки макулатуры от тонера в условиях наших предприятий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Новожилов, Е. В. Применение ферментных технологий в целлюлозно-бумажной промышленности: монография / Е. В. Новожилов. – ИПЦ САФУ. – Архангельск, 2013. – 364 с.
2. Кондаков, А. В. Ферментные технологии для подготовки макулатуры к изготовлению бумаги и картона. Специальность 05.21.03. «Технология и оборудование химической переработки биомассы дерева; химия древесины»: автореф. дис. канд.техн.наук. / А.В. Кондаков: ГОУ ВПО «САФУ». – Архангельск, 2009. – 16 с.
3. Новожилов, Е. В. Определение содержания крахмала в волокнах макулатурной массы и оборотной воде / Е. В. Новожилов,

Е. В. Смирнов, И. В. Тышкунова // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов. II Междунар. науч.-техн. конф. г. Архангельск, 10-12 сентября 2013 г. С.139-145.

4. Терентьева, Э. П. Химия древесины, целлюлозы и синтетических полимеров: учебное пособие / Э. П. Терентьева, Н. К. Удовенко, Е.А. Павлова. – СПб., 2014. – Часть 1. – 54 с.

5. Ванчаков, М. В. Интенсификация роспуска макулатуры в воде / М.В. Ванчаков, А.С. Смолин, А.В. Канарский // Вестник технологического университета. – 2017. – Т. 20. – №16. – С. 27–30.

6. Lipin, V. Effect of the enzyme lipase on delignification of kraft pulp / V. Lipin, I.A. Fedoskin, O. Dergacheva, E.Y. Demiantseva // Fibre Chemistry. – 2022. – No. 2. – Vol. 54. – P. 170-152.

7. Fedoskin, I. A Optimization by a Response Surface Method of Delignification of Kraft Pulp Using Lipase Enzyme / I. A. Fedoskin, D. D. Ernandes Garcia, V. Lipin, M. N. Tarachenkova // Fibre Chemistry. – 2022. – No. 7. – Vol. 54. – P. 209–213.

8. Осовская, И. И. Гидрофильность природных полимерных материалов. Кислотный и ферментативный гидролиз при отбелке целлюлозы: учеб. пособие / И. И. Осовская, И. А. Федоскин – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2022. – 58 с.

9. Sharma, A. A Xylanase and laccase based enzymatic kraft pulp bleaching reduces adsorbable organic halogen (AOX) in bleach effluents: A pilot scale study / A. Sharma, V. V. Thakur, A. Shrivastava, R. K. Jain, R. M. Mathur, R. Gupta, R. C. Kuhad // Bioresource Technology.– 2014. – No. 169. – P. 96–102.

10. Thakur, V. V. Studies on xylanase and laccase enzymatic prebleaching to reduce chlorine-based chemicals during cen ecf bleaching / V. Thakur, R. K. Jain, R. M. Mathur // Bioresources. – 2012. – Vol. 7. – No. 2. – P. 2220-2235.

11. Escudero, G. R. Deinking of Mixed Office Waste (MOW) Paper Using Enzymes / G. R. Escudero, G. P. Jeovani, Ch. R. Páez // IntechOpen. – 2021. – 10 p.

12. Pathak, P. Optimization of chemical and enzymatic deinking of photocopier waste paper / P. Pathak, N. K. Bhardwaj, A. K. Singh // Bio-Resources. – 2011. – Vol. 6. – No. 1. – P. 447–463.

13. Tsatsis, D. E. Enzymatic deinking for recycling of office waste paper / D. E. Tsatsis, D. K. Papachristos, K. A. Valta, A. G. Vlyssides, D. G. Economides // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2017. – No. 5. – Vol. 2. – P. 1744–1753.

## Подсекция «ОБЩЕТЕХНИЧЕСКАЯ»

УДК 621.921.34

И.Е. Григорьев, асп.,  
Н.А. Свидунович, проф., д-р техн. наук (БГТУ, г. Минск);  
В.Т. Сеньюць, вед. науч. сотр., доц., канд. техн. наук  
(ОИМ НАН Беларуси, г. Минск)

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОДИФИЦИРУЮЩЕЙ ДОБАВКИ ДЕТОНАЦИОННЫХ НАНОАЛМАЗОВ НА СВОЙСТВА КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ ВОЛЬФРАМА**

Вольфрам и его соединения занимают важное место в современных высокотехнологичных отраслях благодаря уникальному сочетанию физико-механических свойств: высокая твердость, плотность, износостойкость, устойчивость к экстремальным температурам и теплопроводность. Эти характеристики делают вольфрам незаменимым материалом в авиа- и машиностроении, инструментальном производстве, а также в военной промышленности. Среди всех чистых элементов вольфрам обладает самой высокой температурой плавления (3422 °С), что открывает широкие возможности для его использования в условиях высоких температур. Однако существенным ограничением его применения является высокая хрупкость, которая снижает надежность изделий на его основе в процессе эксплуатации.

Одним из перспективных подходов к улучшению механических свойств вольфрама является управление его микроструктурой, в частности, уменьшение размеров зерен. Исследования показали, что мелкозернистая структура вольфрама способствует повышению пластичности, обрабатываемости и устойчивости к абляции. Для предотвращения рекристаллизации и роста зерен вольфрама при высоких температурах используются дисперсные частицы оксидов ( $\text{La}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CeO}_2$ ) и карбидов ( $\text{TiC}$ ,  $\text{ZrC}$ ,  $\text{HfC}$ ), которые стабилизируют структуру материала [1]. В связи с этим актуальной задачей является поиск новых модифицирующих добавок, способных сохранить мелкозернистую структуру вольфрама и улучшить физико-механические характеристики материалов на его основе. В данной работе в качестве такой добавки был использован детонационный наноалмаз (ДНА), который широко применяется в качестве структурообразователя при получении объемных материалов и покрытий [2]. Настоящее исследование направлено на изучение влияния ДНА на микроструктуру и свойства спеченного материала на основе вольфрама, что может открыть новые возможности для создания высокопрочных и устойчивых к экстремальным условиям материалов [2, 3].



При выполнении работы применялись следующие материалы:

1. Микropopoшok вольфрама марки ППВ, изготовленный в соответствии с ТУ 48-19-72-92 «Порошок вольфрамовый» дисперсностью в рамках 0,8–1,7 мкм.

2. Синтезированный из тетрила ДНА [2], который соответствует ТУ 3974-456-05121441-2008 «Детонационные наноалмазы» (производитель и фирма-разработчик данного ТУ – ФГУП «СКТБ «Технолог», г. Санкт-Петербург, РФ). Дисперсность ДНА составляет 3,5–6,5 нм, а удельная поверхность находится в пределах  $310 \pm 10$  м<sup>2</sup>/г. Использовали ДНА двух видов:

2.1. ДНА после глубокой очистки от примесей и неалмазного углерода с содержанием несгораемого остатка порядка 0,6–1,5 мас. %.

2.2. ДНА, очищенный от примесей и неалмазного углерода и легированный аморфным бором в количестве 2 мас. %.

В работе изучали образцы, полученные на основе следующих составов:

1. Эталонный образец, состоящий только из только из микropopoшka вольфрама.

2. Образец с добавкой 0,3% ДНА.

3. Образец с добавкой 0.3% ДНА, легированного бором.

Составы для изготовления образцов №2 и №3 подвергались механической активации, которая заключалась в их интенсивном помоле в атриторе стальными шарами диаметром 5 мм. Затем из активированных порошков методом прессования в стальной прессформе получали цилиндрические заготовки диаметром 4,5 мм и высотой 5–6 мм, которые спекали в аппарате высокого давления (АВД) при давлении 4,5 ГПа. Температура спекания в ячейке АВД варьировалась диапазоне 1200–1500 °С (температурный шаг – 100 °С) при выдержке в 10 с.

Для измерения микротвёрдости полученных композитов применялся микротвердомер модели ПМТ-3. Метод измерения – метод Виккерса при нагрузке 1,96 Н. Результаты исследования представлены ниже в табл.

**Таблица – Результаты исследования**

Состав композита, мас. %	Давление спекания $P$ , ГПа	Температура спекания $T$ , °С	Время спекания, с	Микротвёрдость $H_v$ , ГПа
1	2	3	4	5
100% W	4,5	1300	10 с	3,3
		1400		3,8
		1500		5,5–5,7
99,7% W + 0,3% ДНА	4,5	1200	10 с	6,0–7,0
		1300		9,0–11,0
		1400		8–9,7
		1500		6,5–7,5

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5
99,7% W + 0,3% ДНА (легирован бором)	4,5	1200	10 с	7,0–8,0
		1300		11,5–15,5
		1400		11,5–12,7
		1500		8,5–10,0

По предоставленным результатам видно, что микротвёрдость образца из композиционного материала с добавкой 0,3 мас. % ДНА превышает микротвёрдость эталонного образца из микропорошка исходного вольфрама в 2,5–3 раза. Также можно увидеть уменьшение микротвёрдости при увеличении температуры спекания, что связано с ростом зерна вольфрама [3].

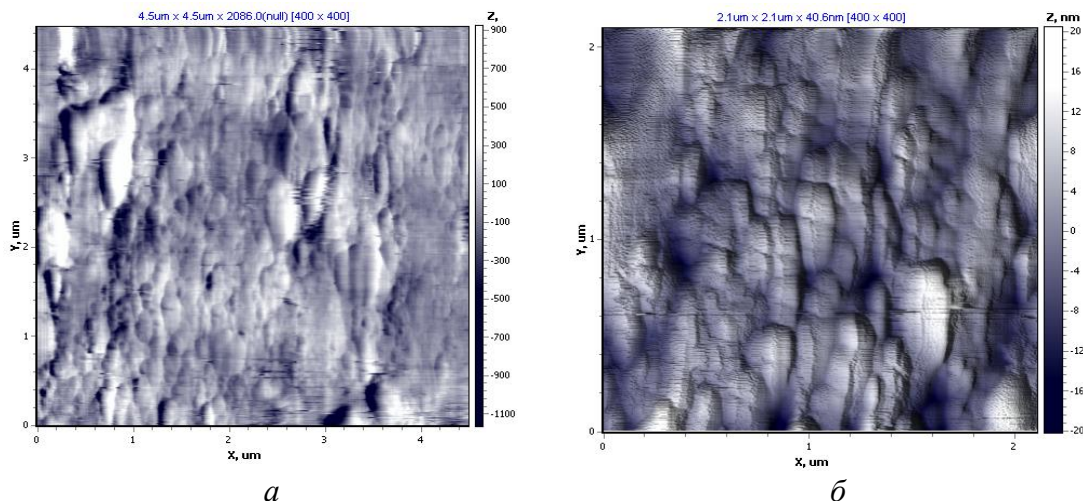
Образцы с добавкой ДНА, легированного бором, имеют более высокий показатель микротвёрдости во всем температурном диапазоне спекания. При этом разброс полученных значений микротвёрдости более широкий, что может быть связано со значительной гетерогенностью структуры полученного композита. При температурах спекания, превышающих 1400 °С, наблюдается резкий рост хрупкости материала, что приводит к образованию трещин при нагрузке 1,96 Н.

Оценка трещиностойкости производилась инденторным методом при сравнении с эталонным образцом. Так, при нагрузке в 1,96 Н на поверхности образцов не наблюдалось образования трещин, что свидетельствует о повышении трещиностойкости композиционного материала.

В результате изучения морфологии поверхности образцов на атомно-силовом микроскопе (модель NT-206, производитель ОДО «Микротестмашины», г. Гомель, Республика Беларусь) в контактном режиме установлено, что зерна вольфрама вытянуты и имеют размер в диапазоне 100–500 нм. На границах зёрен можно увидеть включения размером не более 30 нм (рисунок 1).

Таким образом, в результате проведенной работы был получен материал с ультрамелкозернистой структурой на основе вольфрама с размером зерен 0,1–0,5 мкм. Установлено, что введение малых добавок ДНА в сочетании с режимами термобарического спекания оказывает значительное влияние на микроструктуру и физико-механические свойства полученного материала.

Эксперименты показали, что добавка как нелегированного, так и легированного бором ДНА приводит к существенному увеличению микротвердости образцов. В частности, при использовании нелегированного ДНА их микротвердость возрастает в 2,5–3 раза, а при введении добавки легированного бором ДНА – в 3–4 раза.



*a* – изображение латерального контраста; *б* – топография субмикроструктуры  
**Рисунок 1 – Изображения поверхности образца, полученные на атомно-силовом микроскопе**

Также было выявлено, что влияние добавки ДНА на механические свойства материала имеет разнонаправленный характер. Нелегированный ДНА способствует повышению трещиностойкости, что делает материал более устойчивым к разрушению. В то же время использование легированного бором ДНА приводит к увеличению хрупкости образцов, что требует дальнейшего изучения и оптимизации условий его применения.

Полученные результаты подчеркивают перспективность использования ДНА в качестве модифицирующей добавки для улучшения свойств вольфрамсодержащих композитов, а также необходимость проведения дальнейших исследований для определения оптимальных параметров легирования и спекания таких материалов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. SHS Synthesis, SPS Densification and Mechanical Properties of Nanometric Tungsten / S. Dine [et al.] // Metals, 2021.-Vol. 11. – №2. – 252 p. DOI: 10.3390/met11020252.
2. Долматов. В. Ю. Детонационные наноалмазы. Получение, свойства, применение / В. Ю. Долматов. СПб: НПО «Профессионал», 2011. – 536 с.
3. Жарченкова, М. И. Исследование физико-механических свойств наноструктурированного вольфрама модифицированного углеродными нанокластерами / М. И. Жарченкова, С. А. Перфилов, Р. Л. Ломакин // Химия и химическая технология, 2014. – Т. 57. вып. 5. С. 74-76.

УДК (628.393.614.8)

В.Е. Левкевич, проф., д-р. техн. наук (БНТУ, г. Минск);

Г.И. Касперов, доц., канд. техн. наук;

А.Г. Чернышова, студ. (БГТУ, г. Минск)

## **ТЕХНОГЕННЫЕ АВАРИИ НА ВОДНЫХ ИСКУССТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ**

На сегодняшний день на территории Республики Беларусь расположены 85 водохранилищ с максимальным объемом водных масс до 260 млн. м<sup>3</sup> [1]. В случае разрушения инженерных сооружений и воздействия волны прорыва на территории, население, объекты и окружающую среду в нижнем бьефе делает эти водохранилища потенциально опасными объектами [2].

В качестве подпорных конструкций на значительной части водохранилищ обычно используются земляные плотины. В процессе эксплуатации таких гидротехнических сооружений создается угроза возникновения чрезвычайных ситуаций с образованием волн прорыва, катастрофических затоплений и прорывного паводка [3]. Аварии на гидротехнических сооружениях отрицательно влияют на прилегающую территорию, деятельность многих отраслей промышленности и сельского хозяйства. За 1968-2024 гг. в мире произошло более 300 аварий на гидротехнических сооружениях.

Наибольшее количество аварийных ситуаций происходит на земляных плотинах. Ошибки при проектировании, перелив воды через гребень плотины, фильтрационные деформации тела плотин и грунтов основания, оползания и деформации откосов являются наиболее частыми причинами аварий земляных плотин. Следствием аварий являются катастрофическое затопление территории и таранное воздействие волны прорыва на людей и сооружения. Такие чрезвычайные ситуации часто приводят к тяжелым последствиям с человеческими жертвами и большим материальным ущербом. Ниже приведено описание некоего техногенных аварий на искусственных водных объектах.

Так, при техногенной катастрофе, произошедшей 17 августа 2009 года на Саяно-Шушенской ГЭС, погибло 75 человек, оборудованию и помещениям станции нанесён серьёзный ущерб (рис. 1). Работа станции по производству электроэнергии была приостановлена. Последствия аварии отразились на экологической обстановке акватории, прилегающей к ГЭС, на социальной и экономической сферах региона. Причиной аварии стало разрушение шпилек крепления крышки турбины гидроагрегата, вызванное дополнительными динамическими

нагрузка-ми переменного характера, которому предшествовало образование и развитие усталостных повреждений узлов крепления, что привело к срыву крышки и затоплению машинного зала станции [4].

В 2009 году крупное отключение электроэнергии, известное как бразильское и парагвайское затмение, продолжавшееся в течение десяти дней, поразило только в Бразилии около 60 миллионов человек (рис.2). Проливные дожди и сильные ветры привели к короткому замыканию трех трансформаторов на высоковольтной линии электропередачи, прервав работу линии и автоматически вызвав общую потерю 14 ГВт и остановив плотину Итайпу впервые за ее 25-летнюю историю. Перерыв в производстве электроэнергии, по словам бразильских чиновников, сильно затронул 18 из 26 округов страны [5].



**Рисунок 1 – Авария на Саяно-Шушенской ГЭС**



**Рисунок 2 – Авария на ГЭС в Бразилии**

В июне 2010 на дамбе Чаньгкай, Китай, в результате продолжительных дождей образовалась крупная пробоина шириной 347 метров (рис. 3). В результате этого река вышла из берегов. Из зоны аварии были эвакуированы около 100 тысяч человек. Всего же в десяти территориальных единицах Южного и Восточного Китая из-за проливных дождей, вызвавших наводнения, переполнения водохранилищ и сходы оползней, погибли 199 человек, считаются пропавшими без вести 123 человека (по официальной версии). Из опасных районов было эвакуировано почти два с половиной миллиона человек. Экономический ущерб составил около 6,2 миллиарда долларов США [6].

Оровилльская плотина расположена на реке Фитер к востоку от города Оровилл в штате Калифорния, США (рис. 4). Земляная насыпь плотины достигает высоты 230 метров, дамба является самой высокой в США 22 июля 2009 года работники гидроузла проводили испытания речного клапана. Когда поток воды через клапан достиг 85 % от максимального была обрушена и увлечена в поток разделительная перегородка. Трех рабочих сбilo с ног всасываемым в тоннель воздухом, двое из них были увлечены за край рабочей площадки. Один из рабо-



чих серьёзно пострадал от летящих инструментов и частей оборудования. Сумма штрафа составила 76 125 долларов [6].



**Рисунок 3 – Прорыв дамбы  
Чаньгкай, Китай**



**Рисунок 4 – Авария на  
Оровильской плотине, США**

Прорыв плотины в Кызылагаше, Казахстан (рис. 5) произошёл в ночь с 11 на 12 марта. Вследствие 2-метровой волной была затоплена значительная территория. Вода также смыла мост на трассе Алма-Ата – Усть-Каменогорск. В результате паводка 43 человека погибли, в том числе восемь детей; 300 получили ранения разной степени тяжести и около 1000 были эвакуированы; 146 домов было снесено полностью, 251 разрушены и 42 повреждены [7].

Прорыв плотины Кокпектинского водохранилища (рис. 6) произошёл в ночь на понедельник, 31 марта 2014 г., спустя полтора часа уровень воды начал спадать. Спасателям удалось спасти 125 жителей села, при этом, по данным МЧС, четверо жителей погибли [8].



**Рисунок 5 – Прорыв плотины  
Кызыл-Агашского водохранилища**



**Рисунок 6 – Прорыв плотины  
Кокпектинского водохранилища**

В 1993 году в Свердловской области Российской Федерации произошел прорыв плотины длиной 2 километра и высотой 17 метров на Киселёвском водохранилище. От наводнения пострадало 6,5 тысячи человек, погибли 12 человек. Причинен большой материальный ущерб, были разрушены железнодорожный и 5 автомобильных мо-

стов. В 2013 году в Беларуси произошли две аварии на плотинах на реке Припять в результате прорывов дамб – вблизи д. Мордвин и г. Турова. Подтоплены подворья, улицы в населенных пунктах, пойменные территории. В 2006 году на реке Зарежанка произошел прорыв земляной плотины во время паводка из-за неисправности механизма водосливного пролета.

Приведенные данные свидетельствуют о серьезной опасности, представляемой водохранилищами для населения, территории и объектов экономики. Вероятность наводнений будет существовать всегда, но управление рисками может существенно снизить предполагаемые негативные последствия. Предотвращение аварий на водохранилищах, минимизация негативных последствий наводнений является актуальной задачей обеспечения безопасности населения и территорий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Водоохранилища Беларуси: справочник / М.Ю. Калинин [и др.]; под общ. ред. М.Ю. Калинина. – Минск : Полиграфкомбинат им. Я. Коласа, 2005. – 183 с.

2. Широков, В. М. Водоохранилища Белоруссии: природные особенности и взаимодействие с окружающей средой / В. М. Широков, П. С. Лопух. – Мн. : Университетское, 1991. – 207 с.

3. Dams and development. The Report of the World Commission on Dams. EARTHSCAN. London and Sterling, VA. November 2000. P. 404.

4. Википедия [ Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nevsedoma.com> – Дата доступа: 14.12.2024.

5. Википедия [ Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.electronic-sirens.com> – Дата доступа: 14.12.2024.

6. Википедия [ Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.myenergy.ru> – Дата доступа: 14.12.2024.

7. Википедия [ Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nevsedoma.com> – Дата доступа: 15.12.2024.

УДК (574:594)

В.Е. Левкевич, проф., д-р. техн. наук (БНТУ, г. Минск);  
Г.И. Касперов, доц., канд. техн. наук; А.Г. Чернышова, студ.  
(БГТУ, г. Минск)

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ОПАСНОСТИ ВОДОХРАНИЛИЩ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Аварийные ситуации на водохранилищах (рис. 1) являются одним из видов техногенных чрезвычайных ситуаций (ЧС), поэтому общие методологические и методические подходы по оценке потенциальных опасностей и последствий ЧС техногенного характера, представленные ниже будут справедливы для всех видов аварийных ситуаций.



**Рисунок 1 – Авария на гидроузле Млынокского водохранилища  
Гомельской области**

Практика регистрации и анализа ЧС на гидроузлах водохранилищ позволила выделить в методологическом плане определенные подходы для оценки их потенциальной опасности.

Укрупненно эти подходы сводятся к следующим этапам:

- общей оценке состояния гидротехнических сооружений с высокой степенью - классом надежности, а именно, подпорные, ограждающие и водопропускные;
- определение макро и микро деформаций на ответственных бетонных и металлических узлах несущих конструкций;
- оценка масштабов и динамики развития деформаций конструктивных элементов сооружений на основе данных объективного оперативного контроля службы эксплуатации объекта;
- оценка и возможности возникновения риск-ситуаций после



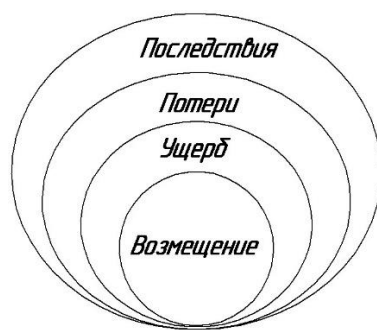
возникновения и прохождения экстремальных метеоявлений – сильного ветра, ливней, интенсивного таяния ледового покрова с дождевыми осадками и т. д.;

– определение возможных ущербов с разработкой предварительного перечня и номенклатуры инженерно-организационных мероприятий по предупреждению и ликвидации ЧС.

В общем случае угроза для жизнедеятельности человека от природных и техногенных опасностей реализуется в виде негативных воздействий, которые могут привести к стихийным бедствиям на определенных территориях, авариям и катастрофам на объектах техносферы. Эти события связаны с ущербом и последствиями от ЧС природного и техногенного характера:

- сокращение основных производственных мощностей в результате полного или частичного их разрушения;
- выбытие сельскохозяйственных, лесных и водных угодий из хозяйственного оборота;
- потери объектов социально-культурной сферы;
- сокращение трудовых ресурсов и рабочей силы;
- снижение уровня жизни населения;
- косвенные убытки и ущерб упущенной выгоды в сфере материального производства и услуг;
- расходы общества на ликвидацию ЧС и т. п.

В общем случае воздействия природных и техногенных ЧС могут привести к следующей цепочке: последствия - потери - ущерб - возмещение. Качественное соотношение между элементами цепочки показано на рис. 2.



**Рисунок 2 – Соотношение между натуральными и экономическими последствиями ЧС**

Потери – часть последствий, которые связаны с негативными изменениями в основных сферах жизнедеятельности государства, в том числе санитарными и безвозвратными потерями в виде жертв от ЧС.

Ущерб – это результат негативного изменения вследствие каких-то событий, явлений, действий состояния объектов, выражающийся в нарушении их целостности или ухудшении других свойств, фактические или возможные социальные и экономические потери (отклонение здоровья человека от среднестатистического уровня, нарушение процесса нормальной хозяйственной деятельности, утрата того или иного вида собственности, других материальных, культурных, исторических или природных ценностей) в случае ухудшения состояния природной среды.

При рассмотрении последствий от ЧС различают следующие виды ущерба: прямой, косвенный, упущенная выгода, полный.

К прямому экономическому ущербу от какого-либо воздействия относятся выраженные в стоимостной форме затраты, потери и убытки, обусловленные именно этим воздействием в данное время и в данном конкретном месте. Это единовременные затраты, направленные на проведение спасательных работ; затраты по эвакуации, временному размещению, переселению людей из зоны бедствия, оказанию им срочной медицинской помощи; единовременные выплаты пострадавшим и их семьям; стоимость разрушенных или нарушенных природных ресурсов; остаточная стоимость всего движимого и недвижимого имущества (жилищного фонда, коммунально-бытовой инфраструктуры, коммуникаций, товаров и нереализованной продукции, основных и оборотных фондов предприятий всех форм собственности).

К косвенному экономическому ущербу от какого-то действия относятся вынужденные затраты, потери, убытки, обусловленные вторичными эффектами (действиями или бездействиями, порожденными первичным действием) природного или техногенного характера.

Подпорные гидротехнические сооружения при авариях и разрушениях вызывают затопление обширных территорий вследствие прохождения волны прорыва не только в долинах рек и на водоразделах. Поэтому неблагоприятные последствия повреждения гидроузлов требуют оценки ущерба, являющегося экономической количественной величиной, представляемой в стоимостном выражении, т.е. ущерб – это оцененные последствия. В данный момент нет единой методики учета ущербов, поэтому их оценка производится во многих случаях лишь для прямых потерь, связанных с непосредственным разрушительным влиянием, например, естественных и прорывных наводнений. Значение величины ущерба необходимо для его возмещения и страхования риска; обоснования мероприятий по предупреждению и ликвидации последствий ЧС; обоснование ассигнований из государственного бюджета; обоснование макроэкономического анализа и

прогнозирования социально-экономического развития государства с целью учёта возможных ЧС природного и техногенного характера.

Основными факторами, определяющими размеры бедствий и ущерба при прохождении катастрофических наводнений и волн прорыва, являются: высота подъёма уровней воды, скорость передвижения гребня волны и площадь затоплений. Для определения ущерба вследствие возникших аварий необходимо учитывать все сферы человеческой деятельности, которые затрагивают функционирование водохранилища в процессе его нормальной (безаварийной) эксплуатации.

Последствия ЧС на водохранилищах характеризуются величиной социально-экономического ущерба, обусловленного этими ситуациями. Под социально-экономическим ущербом в данном случае понимаются материальные и нематериальные потери и утраты, влияющие на жизнь людей. В общем же случае социально-экономические последствия аварийных ситуаций на водохранилищах носят разноплановый характер, что обусловлено многообразием условий и определяющих факторов возникновения, протекания и ликвидации таких аварийных ситуаций. В целом структура социально-экономического ущерба от аварийных ситуаций на водохранилищах может быть проиллюстрирована в виде, приведенном на рис. 3.

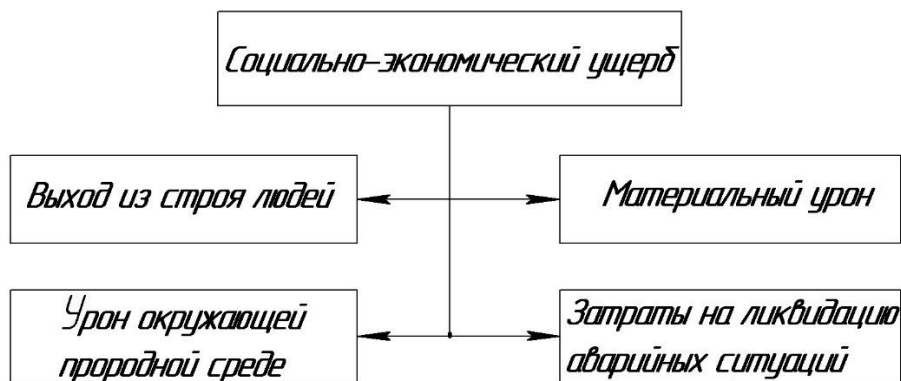


Рисунок 3 – Структура социально-экономического ущерба от аварийных ситуаций на водохранилищах

С учетом изложенного задача оценки социально-экономического ущерба от аварийных ситуаций на водохранилищах сводится к анализу характера и содержания составляющих социально-экономического ущерба и определению количественных значений уровня отдельных составляющих социально-экономического ущерба.

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

## АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕШИВАНИЯ СУХИХ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ В РОТОРНО-ЦЕНТРОБЕЖНОМ СМЕСИТЕЛЕ ПРИ ПОМОЩИ ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ COSMOS FLO WORKS

Результатом математического моделирования процесса перемешивания сухих сыпучих материалов в новой конструкции роторно-центробежного смесителя [1], подробно изложенном в работах авторов [2, 3], было определение характера движения частиц основного компонента смеси в межлопастном пространстве и в кольцевом зазоре между выходной кромкой лопаток и стенкой цилиндрической обечайки смесителя.

Для проверки адекватности, представленной в работах [2, 3] математической модели, в среде программного продукта Solid Works была разработана трехмерная твердотельная модель полупромышленного образца роторно-центробежного смесителя [1] и при помощи модуля COSMOS Flo Works проведен комплексный аэродинамический анализ процесса перемешивания сухих сыпучих материалов в данном аппарате.

Основные результаты аэродинамического расчета смесителя в программной среде COSMOS Flo Works представлены на рис. 1–3.

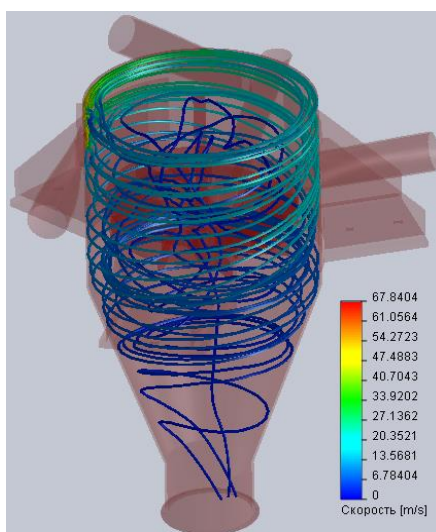
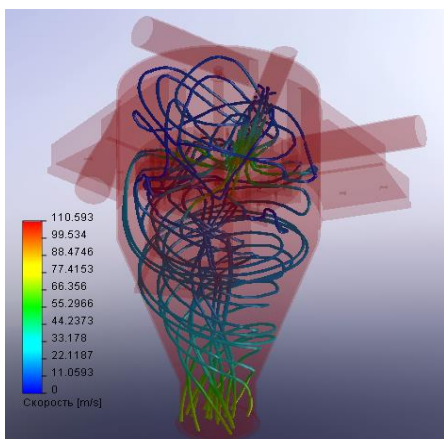


Рисунок 1 – Схема движения потока материала через тангенциальный патрубок смесителя при  $n = 1500$  об/мин



**Рисунок 2 – Схема движения потока материала через центральный патрубок смесителя при  $n = 1500$  об/мин**



**Рисунок 3 – Траектория движение одиночной частицы материала в межлопастном пространстве ротора и в кольцевом зазоре между лопатками и корпусом смесителя при  $n = 1500$  об/мин**

Сравнительный анализ результатов аэродинамического расчета смесителя в программной среде COSMOS Flo Works с результатами математического моделирования процесса перемешивания сухих сыпучих материалов в роторно-центробежном смесителе [2, 3] показал, что расхождение характера движения (траектории) и численных значений скорости движения частицы материала в межлопастном пространстве смесителя и в кольцевом зазоре между выходной кромкой лопаток и стенкой цилиндрической обечайки аппарата не превышает 5–8%.

Таким образом можно отметить, что разработанная авторами и представленная в работах [2, 3], математическая модель является достаточно пригодной для оценки характера протекания процесса перемешивания сухих сыпучих материалов в роторно-центробежном смесителе [1] и для последующего инженерного расчета его оптимальных конструктивно-технологических параметров.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гарабажиу А. А., Исаченков В. С., Клоков Д. В., Трусков В. С. Основные параметры роторно-центробежного смесителя, влияющие на степень перемешивания в нем сухих сыпучих материалов / Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: материалы 86-й науч.-техн. конф. профес.-препод. состава, науч. сотрудников и аспирантов (с междунар. участием), Минск, 31 января - 12 февраля 2022 г. [Электронный ресурс] / отв. за издание И. В. Войтов; УО БГТУ. – Минск: БГТУ, 2022 – С. 302-304.

2. Гарабажиу А.А., Исаченков В.С., Клоков Д.В., Лощакова М.П. Определение оптимального характера движения частиц материала в межлопастном пространстве роторно-центробежного смесителя / Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: материалы 87-й науч.-техн. конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 31 января – 17 февраля 2023 г. [Электронный ресурс] / отв. за издание И. В. Войтов; УО БГТУ. – Минск: БГТУ, 2023. – С. 275-278.

3. Гарабажиу А.А., Исаченков В.С., Клоков Д.В., Жук А.В. Определение оптимального характера движения частиц материала в кольцевом зазоре между выходной кромкой лопаток и цилиндрической обечайкой роторно-центробежного смесителя / Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: материалы 88-й науч.-техн. конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 29 января – 16 февраля 2024 г. [Электронный ресурс] / отв. за издание И. В. Войтов; УО БГТУ. – Минск: БГТУ, 2024. – С. 352-356.

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)

### **ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОГО СЛОЯ НА ТИТАНЕ ВТ1 И СПЛАВЕ ВТ6 ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ ЭЛЕКТРОЛИТА**

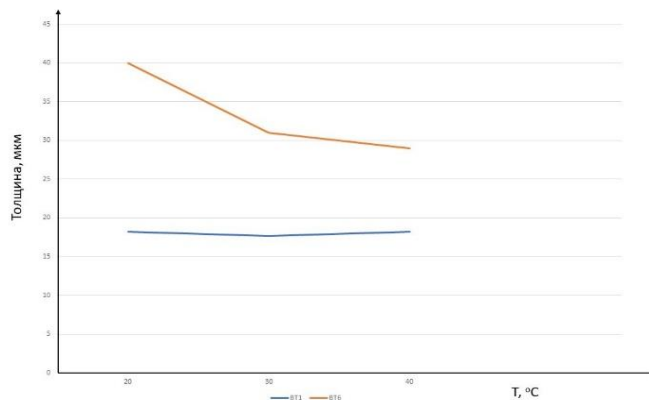
Производство изделий медицинского назначения является в последнее время одной из важнейших сфер применения титана и его сплавов благодаря их биологической совместимости к человеческим тканям. В связи с тем, что титановые сплавы характеризуются низкой износостойкостью и усталостной прочностью, плохими антифрикционными свойствами, важной задачей является модифицирование поверхности титановых изделий для преодоления упомянутых недостатков [1]. Модификация поверхности титановых изделий реализуется за счет внедрения в поверхностный слой титановых изделий атомов углерода или азота, которые образуют с титаном соединения с высокими антифрикционными свойствами. Одним из перспективных методов формирования износостойких слоев является электролитно-плазменная обработка (ЭПО) [2].

Толщина модифицированного слоя при ЭПО зависит от многих факторов (марка обрабатываемого сплава, состав и температура электролита, подаваемое напряжение на анод и др.) [3].

Одним из параметров, оказывающим влияние на характер модифицирования поверхностного слоя является температура электролита, которая влияет и на формирование паро-газовой оболочки вокруг образца. Для анализа влияния температуры электролита на формирование модифицированного слоя исследовались образцы из технически чистого титана ВТ1 и титанового сплава ВТ6, содержащего 5,5–7,0 алюминия и 4,2–6,0 ванадия. Сплав ВТ6 по структуре относится к  $(\alpha+\beta)$ -мартенситному классу ( $K_{\beta} = 0,3-0,9$ ), а технически чистый ВТ1 имеет  $\alpha$ -структуру.

Эксперименты велись с использованием электролита, содержащего хлорид аммония (10%), аммиак водный (5%) и глицерин (10%), что позволило осуществить процесс электролитно-плазменной нитроцементации. При этом в поверхностном слое формируются карбиды и нитриды титана. Время обработки образцов в экспериментах составляло 5 минут при напряжении 240–250 В и поддерживались постоянными. Температура электролита изменялась от 20 до 40 °С с интервалом 10 градусов.

Измерения толщины модифицированного слоя показало, что температура электролита проявляется различно на чистом титане и его сплаве (рис. 1).



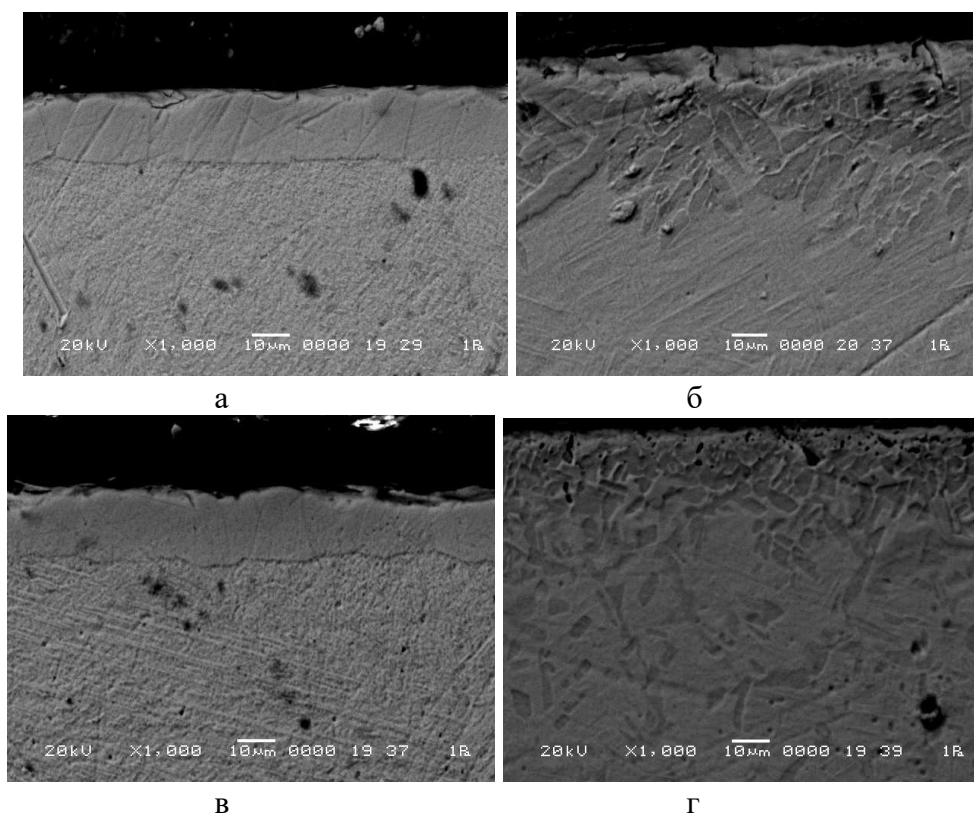
**Рисунок 1 – Влияние температуры электролита при ЭПО на толщину модифицированного слоя**

Видно, что для чистого титана температура электролита, практически, не оказывает влияния на толщину модифицированного слоя. При обработке сплава ВТ6 картина существенно меняется. Толщина модифицированного слоя значительно больше, особенно при температуре электролита равной 20 °С. С ростом температуры электролита происходит существенное уменьшение толщины модифицированного

слоя, хотя она почти в 1,5 раза больше, чем для чистого титана. Это может быть связано с влиянием парогазовой оболочки, которая с повышением температуры электролита легче образуется и имеет большую толщину.

Для анализа этого влияния рассмотрим структуры образцов. На рисунке 2 приведены структуры образцов после ЭПО для температуры 20 °С и 40 °С.

Технически чистый титан ВТ1 имеет гомогенную  $\alpha$ -структуру. При ЭПО поверхностный слой преобразуется в модифицированный, содержащий нитриды и карбиды титана. При режимах проведения ЭПО нитриды титана препятствуют диффузии атомов азота в глубину. Формируется модифицированный слой с четкой границей раздела модифицированного слоя и основы (рис. 1 а, в).



**Рисунок 2 – Микроструктура образцов из титана ВТ1 (а, в) и сплава ВТ6 (б,г), обработанных при температуре 20 °С (а,б) и 40 °С (в, г)**

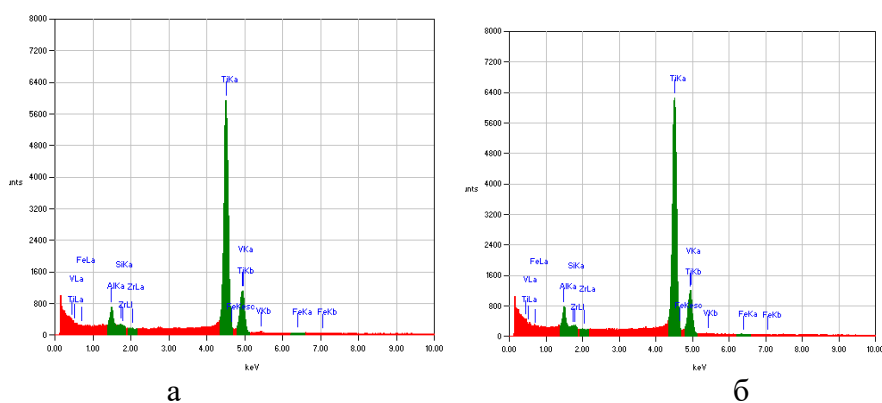
Поскольку сплав ВТ6 по структуре относится к  $(\alpha+\beta)$ -мартенситному классу, то модифицирование поверхности при ЭПО отличается существенно от обработки чистого титана (рисунок 2 б, г). Наличие межфазных границ способствует более глубокому проникновению атомов азота и углерода в образец. При этом видно сохранение мартенситной структуры (рис. 2, б). Формирование нитридов и карбидов происходит внутри зерен, а по границам отсутствует накопление



атомов азота и углерода. Поэтому зерна имеют более темный вид, а границы зерен проявляются очень четко.

Как и для технически чистого титана, элементный состав основного сплава и модифицированного слоя очень близки, что подтверждается спектрами (рис. 3).

Проведенные эксперименты подтвердили, что химический состав образцов оказывает существенное влияние на характер и структуру модифицированного слоя. Исследования показали возможность формирования модифицированного покрытия на титановых сплавах, который имеет лучшие антифрикционные свойства в сравнении с титаном без модифицированного слоя.



**Рисунок 3 – Спектры для образца из сплава ВТ6 для основного сплава (а) и модифицированного слоя (б)**

Установлено, что температура электролита оказывает существенное влияние на глубину модифицированного слоя для ВТ6, и меньше влияет при ЭПО чистого титана.

#### 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. Куликов И. С., Ващенко С.В., Каменев А.Я. Электролитно-плазменная обработка материалов. – Минск: Беларуская навука, 2010. – 232 с.
3. Е. В. Краснова, Ю. А. Моргунов, Б. П. Саушкин, И. А. Слюсарь, С. А. Смян, Влияние состава водного электролита на эффективность электрохимической обработки изделий аддитивного производства из сплава Ti-6Al-4V // Электронная обработка материалов, 2024, Т. 60. №5. – С. 1–12.

А.М. Лось, ст. преп.;  
А.В. Блохин, доц., канд. техн. наук;  
А.И. Сурус, доц., канд. техн. наук;  
М.Н. Пищов, доц., канд. техн. наук;  
И.С. Игнатович, студ.  
(БГТУ, г. Минск)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАПАСА ПРОЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ РАМНОЙ КОНСТРУКЦИИ ПРИЦЕПНОГО ТРАНСПОРТНОГО УСТРОЙСТВА**

Известно, что прочность является наиболее важным критерием работоспособности различных конструкций. Для рамных конструкций прочность характеризуется способностью материала сопротивляться пластическим деформациям, возникающим под воздействием внешних сил. Прочность зависит от таких факторов как: химический состав материала; технология изготовления и применяемый способ термообработки; вид напряжённого состояния (растяжение, сжатие, изгиб и другие); условия эксплуатации.

Несущая система прицепных средств автопоездов является одним из основных элементов, определяющих надёжность специализированного транспорта для перевозки грузов. Прочность и жесткость рамы в значительной мере влияют на работоспособность транспортного средства. Рама воспринимает все нагрузки, возникающие при движении по транспортным путям, а также является основанием для размещения и крепления специализированного технологического оборудования. Поэтому в силовой схеме автомобильного транспорта несущая система является одним из важнейших узлов при оценке ее прочности.

Конструкция исследуемого транспортного средства с прицепным рамным устройством изложена на рис. 1, с. 272 [1].

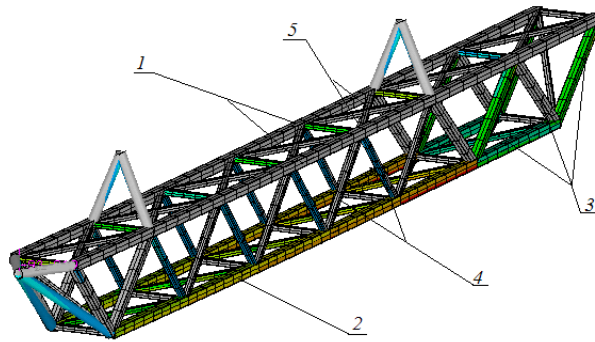
Исследования напряженно-деформированного состояния различных вариантов рамной конструкции позволили выбрать такую компоновочную схему, у которой эквивалентные напряжения в стержнях минимальны. Такая конструкция (рис. 1) состоит из верхних поясов 1, нижних поясов 2, наиболее нагруженных раскосов 3, слабонагруженных раскосов 4 и поперечных связей 5, выполненных в виде симметричной крестообразной решетки. В такой компоновочной схеме рамы использовались коробчатые элементы прямоугольного поперечного сечения со следующими размерами: для стержней верхнего и нижнего пояса – 90×90×5 мм; для наиболее нагруженных раскосов –

80×80×4 мм; для решетки горизонтальных поперечных связей и раскосов – сечением 50×50×3 мм.

Оценка напряженно-деформированного состояния исследуемой конструкции производится по фактическому коэффициенту запаса прочности согласно условию:

$$n = \frac{\sigma_{\text{lim}}}{\sigma_{\text{max}}} \geq [n],$$

где  $\sigma_{\text{lim}}$  – предельные напряжения материала изготовления конструкции, Н/мм<sup>2</sup>;  $\sigma_{\text{max}}$  – максимальные фактические напряжения, возникающие в конструкции, Н/мм<sup>2</sup>;  $[n]$  – минимально допустимый коэффициент запаса прочности конструкции, зависящий от степени ответственности.



1 – верхние пояса; 2 – нижние пояса; 3 – наиболее нагруженные раскосы;  
4 – слабонагруженные раскосы; 5 – поперечная решетка

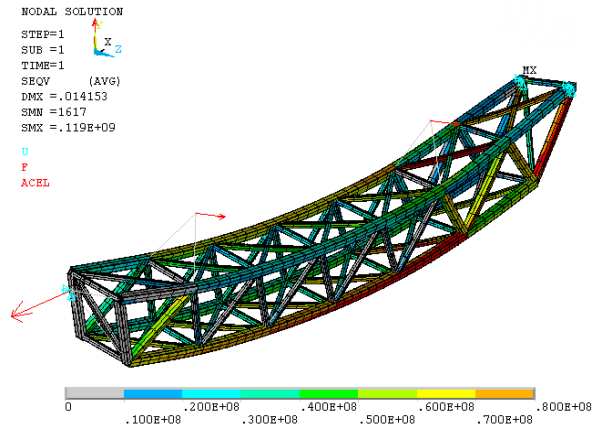
**Рисунок 1 – Конструкция рамы**

При использовании для изготовления рамы пластичных материалов, в качестве предельного напряжения принимается предел текучести, т. е.  $\sigma_{\text{lim}} = \sigma_{\text{T}}$ . Наиболее распространенным материалом, применяемым в машиностроении для изготовления рамных конструкций, является сталь 09Г2 с пределом текучести  $\sigma_{\text{T}} = 310$  Н/мм<sup>2</sup>. Предыдущими исследованиями установлено, что в таком случае при статически нагруженной раме вертикальными силами от погруженных транспортируемых материалов минимальный коэффициент запаса прочности составит  $n = 4,4$ .

Распределение напряжений, возникающих в элементах рамы под воздействием вертикальных, продольных и дополнительных боковых нагрузок, представлено на рис. 2.

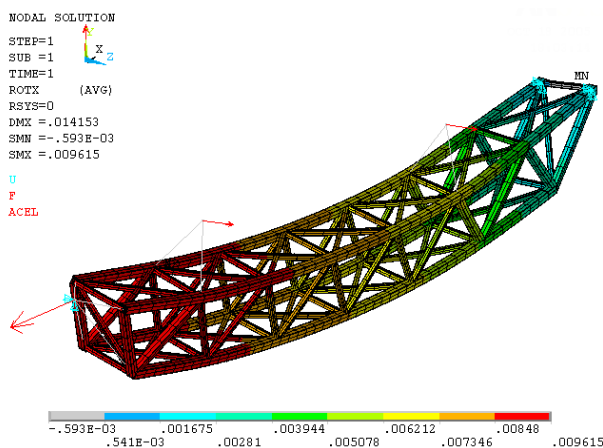
Максимальные эквивалентные напряжения здесь достигают величины  $\sigma_{\text{max}} = 119$  Н/мм<sup>2</sup>. Проведенные исследования показывают, что напряжения в стержнях нижнего пояса имеют значение  $\sigma_{\text{max}} = 95$  Н/мм<sup>2</sup>, в то время как при отсутствии боковых нагрузок они не превышали 70,3 Н/мм<sup>2</sup>. При этом фактический коэффициент запаса

прочности конструкции будет  $n = 2,6$ , что больше минимального допустимого значения, следовательно, исследуемая несущая конструкция сохраняет работоспособность при воздействии на нее дополнительных боковых внешних сил.



**Рисунок 2 – Напряженное состояние рамы под воздействием вертикальных, продольных и боковых нагрузок**

Диаграмма углов поворота элементов рамы относительно продольной оси приведена на рис. 3. Наибольший поворот элементов рамы зафиксирован в левой части, так как здесь предусмотрено шарнирное крепление рамы относительно всех геометрических осей, в то время как правые шарниры крепления рамы к тележке прицепа дают ей возможность вращаться только относительно поперечной горизонтальной оси. Максимальный угол перемещения элементов рамы достигает значения  $\varphi = 0,09615$  рад, что соответствует величине  $2,75^\circ$ . Расчетами установлено, что при длине рамы 11 м допустимое значение угла перемещения  $[\varphi] = 3,2^\circ$ , следовательно, жесткость рамы обеспечена.



**Рисунок 3 – Диаграмма углов закручивания рамы относительно продольной оси**

Колебательные процессы, происходящие при движении транспорта, характеризуются частотами до 15-20 Гц [2]. Проведенные нами исследования позволили установить формы и частоты собственных колебаний рамы. На рис. 4 показана форма собственных резонансных колебаний, имеющих частоту 4,496 Гц.

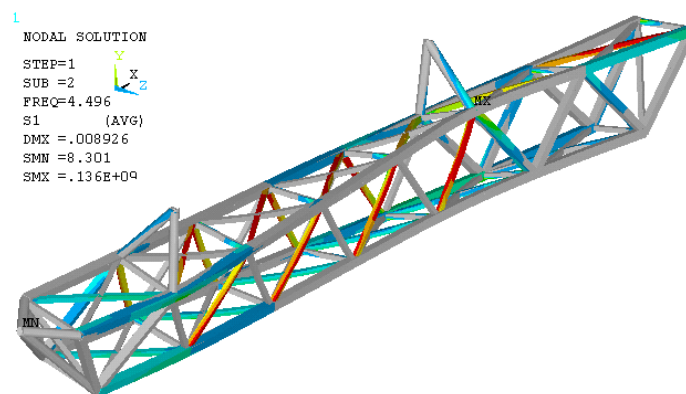


Рисунок 4 – Собственные колебания рамы частотой 4,5 Гц

Максимальные эквивалентные напряжения в элементах рамы при поперечно-угловых колебаниях с частотой 4,496 Гц составляют  $136 \text{ Н/мм}^2$  и возникают в стержнях горизонтальной решетки и некоторых раскосах (отмечены на рис. 4 наиболее темным цветом).

Также проведенные исследования показали, что при колебаниях рамы с частотой 4,7 Гц в элементах верхнего пояса рамы возникают максимальные напряжения величиной  $156 \text{ Н/мм}^2$ . Вторая форма собственных резонансных колебаний рамы происходит при частоте 12,705 Гц и максимальные эквивалентные напряжения, возникающие в раскосах и верхнем поясе несущей конструкции, составляют в таком случае  $304 \text{ Н/мм}^2$ .

Все исследование проводилось с применением системы конечно-элементного анализа, что позволило выполнить расчеты прочности элементов, определить собственные частоты и формы колебаний узлов, оценить напряженно-деформированное состояние модели и запас прочности. Такие методы исследований значительно снижают срок проектирования новых машин и конструкций.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лось, А. М. Повышение надежности и долговечности сварных соединений элементов несущей рамы проектируемого сортиментовоза / А. М. Лось, Н. П. Вырко, А. А. Малиновский // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2007. – Вып. XIV. – С. 271–274.

2. Жуков, А. В. Теория лесных машин. Учебное пособие для студентов вузов / А. В. Жуков. – Мн.: БГТУ, 2001. – 640 с.

А.В. Блохин, доц., канд. техн. наук;  
А.М. Лось, ст. преп.; А.Д. Клишанец, студ.  
(БГТУ, г. Минск)

## РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ «ДЕТАЛИ МАШИН – СОЕДИНЕНИЯ С НАТЯГОМ»

**Введение.** В структуре аудиторных занятий по техническим дисциплинам особое место занимают лабораторные занятия, правильная организация и проведение которых позволяет не только на практике применить знания, полученные теоретически, но и повысить в целом эффективность образовательного процесса и глубину подготовки будущих специалистов.

Целью данной работы являлось обоснование конструктивных конструкции приспособления для модернизации лабораторной установки «Детали машин – соединения с натягом», с целью расширения области его применения и совершенствования лабораторной базы. Указанный лабораторный комплекс предназначен для проведения лабораторных работ по изучению цилиндрического соединения с натягом. Позволяет в реальном времени производить запись диаграммы «усилие-перемещение» при прессовой сборке и разборке соединения и определения максимального передаваемого соединением крутящего момента. Предлагаемая конструкция приспособления позволит проводить испытания заклепочных соединений на срез с записью диаграммы «усилие-перемещение» и определять в ходе эксперимента уровня разрушающей нагрузки.

**Основная часть.** Общий вид лабораторной установки «Детали машин – соединения с натягом» приведен на рис. 1 и 2.

Основные элементы базового лабораторного стенда: 1 – мотор-редуктор; 2 – пульт управления; 3 и 8, соответственно, левая и правая опорные плиты; 4 и 5 – левый и правый датчики конечного положения пятки 9 (рис. 2) нагрузочного устройства 6 (винтовая пара); 7 – динамометрическая пружина с тензодатчиком.

Анализ конструкции и технических характеристик базовой лабораторной установки позволил установить:

– максимальное допускаемое усилие нагружения составляет  $F = 5$  кН;

– расстояние между пяткой 9 устройства нагружения (подвижной опорой) и правой опорной плитой 8 (неподвижной опорой) составляет 65-68 мм.

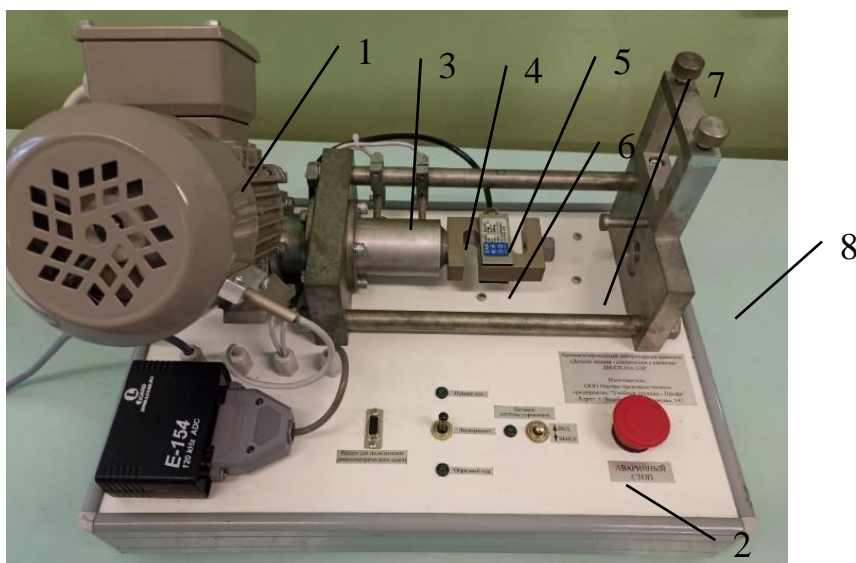


Рисунок 1 – Общий вид лабораторной установки

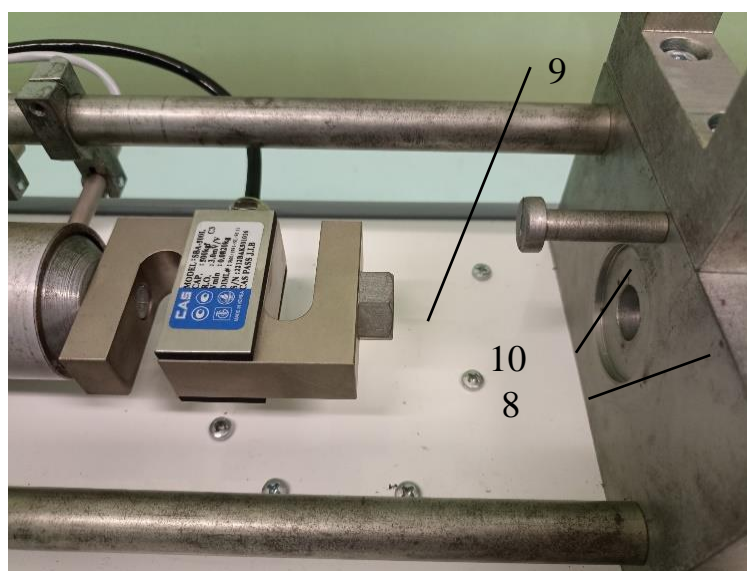


Рисунок 2 – Устройство нагружения и правая опорная плита лабораторной установки

Для разрабатываемой конструкции приспособления, позволяющего проводить испытание заклепочных соединений, предложено использовать заклепки трубчатые ГОСТ12639-80, ГОСТ 12638-80 (DIN7340). Преимуществами таких заклепок (рис. 3) является простота их монтажа, особенно для заклепок, изготовленных из сплавов цветных металлов; меньшая площадь поперечного сечения в сравнении с другими разновидностями такого крепежа, что позволит проводить испытания при меньших значениях разрушающей силы (максимальное допускаемое усилие  $F = 5$  кН).

К основным геометрическим параметрам таких заклепок (рис. 4) можно отнести:  $d$  – диаметр заклепки;  $l$  – длина заклепки;  $s$  – толщина стенки заклепки;  $D$  – диаметр закладной головки заклепки.





Рисунок 3 – Общий вид трубчатой заклепки

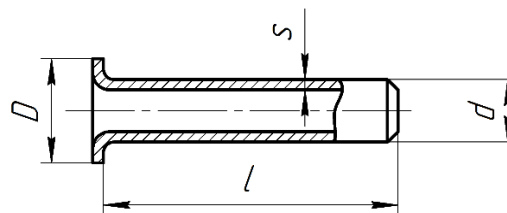


Рисунок 4 – Основные геометрические параметры трубчатой заклепки

Анализ силы нагружения, необходимой для разрушения заклепочного соединения, проводился для соединения с двумя плоскостями сдвига с одной, двумя и тремя заклепками. В качестве материалов изготовления заклепок предложены сплавы на основе алюминия и латунь. Основные механические характеристики таких материалов приведены в табл. 1 [1].

Таблица 1 – Механические характеристики некоторых сплавов, используемых для изготовления трубчатых заклепок

Материал (марка)	$\sigma_T$ , МПа	$\tau$ , МПа
Л62	110	33
В65	220	66
АМг5П	150	45
Д18П	170	51
Д19П	250	75

Расчет разрушающей нагрузки велся на прочность по напряжениям среза для 1, 2 или 3 заклепок [1]:

$$\tau = \frac{F}{A} \leq [\tau],$$

где  $F$  – разрушающая нагрузка, Н;  $A$  – площадь среза, мм<sup>2</sup>;  $[\tau]$  – допускаемые напряжения среза, МПа (табл. 1).

Площадь среза определялась как площадь кольца с учетом двух поверхностей среза (как для стыкового соединения с двумя накладками):

$$A = 2 \left( \frac{\pi d^2}{4} - \frac{\pi (d - 2s)^2}{4} \right).$$

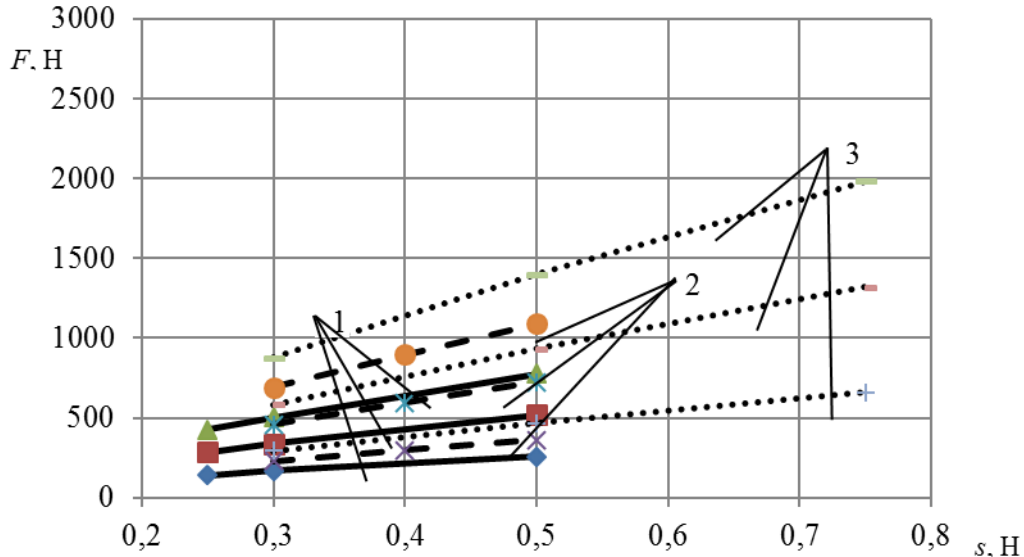
В соответствии с ГОСТ12639-80, ГОСТ 12638-80 (DIN7340) диаметры заклепок  $d$  принимались 3, 4 и 5 мм, толщина стенки которых приведена в табл. 2.

Таблица 2 – Механические характеристики некоторых сплавов для трубчатых заклепок

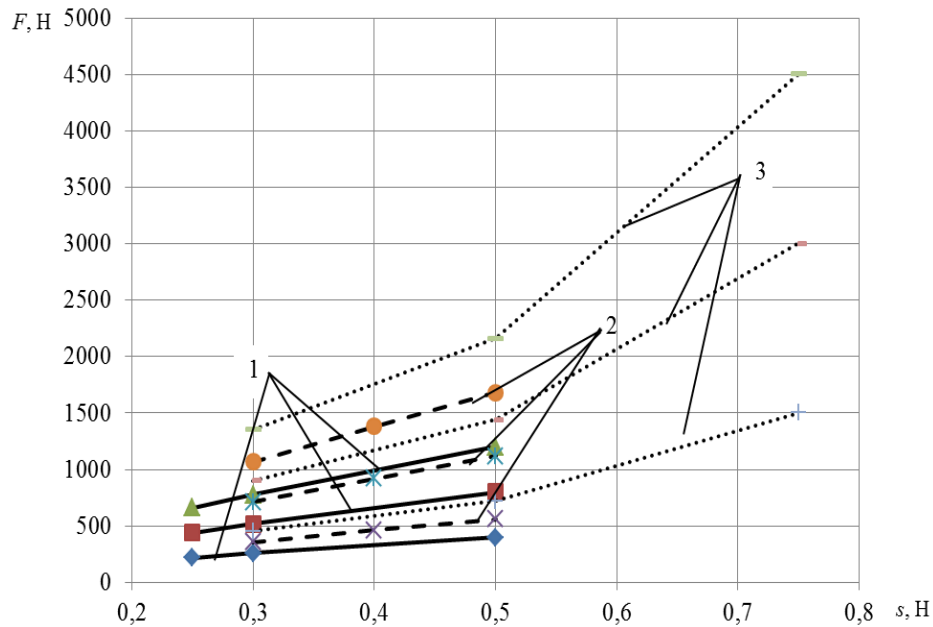
Диаметр заклепки $d$ , мм	Толщина стенки заклепки $s$ , мм
3	0,25, 0,3, 0,5
4	0,3, 0,4, 0,5
5	0,3, 0,5, 0,75



В результате теоретического анализа полученных зависимостей (см. рис. 5 и 6) было установлено, что для всех материалов в соответствии с табл. 1 и размеров заклепок (табл. 2) значение разрушающей нагрузки не превышает 5 кН.



**Рисунок 5 – Значение разрушающей нагрузки для различного числа заклепок из латуни Л62 (1, 2 или 3 заклепки) и диаметра заклепок (сплошная линия  $d = 3$  мм, штриховая линия  $d = 4$  мм, точечная линия  $d = 5$  мм) в зависимости от толщины стенки заклепки**

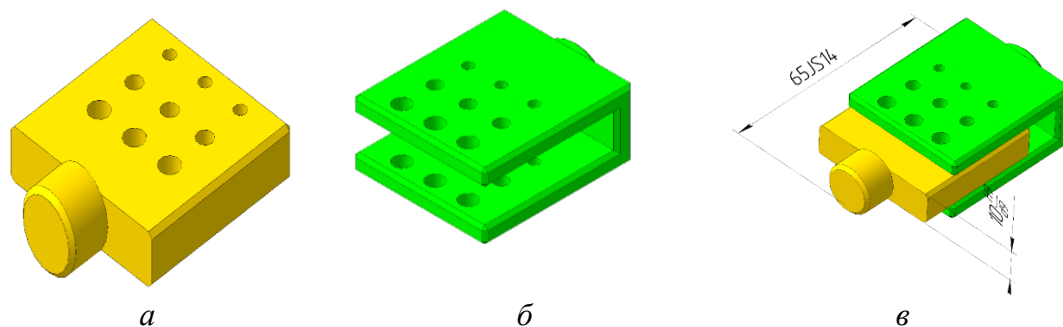


**Рисунок 6 – Значение разрушающей нагрузки для различного числа заклепок из сплава Д19П (1, 2 или 3 заклепки) и диаметра заклепок (сплошная линия  $d = 3$  мм, штриховая линия  $d = 4$  мм, точечная линия  $d = 5$  мм) в зависимости от толщины стенки заклепки**

На рис. 6 приведена конструкция приспособления для испытания заклепочных соединений. Оно включает: П-образную вилку (рис. 6, б) и пластину (рис. 6 а), имеющих по три группы (в каждой группе по три отверстия соответствующего диаметра) соосных отверстий диаметром 3, 4 и 5 мм.

Приспособление работает следующим образом: после совмещения отверстий пластины и П-образной вилки, как показано на рис. 6 в, производится постановка выбранного числа заклепок (1, 2 или 3) необходимого диаметра (заклепки условно не показаны).

Далее, в собранном виде, приспособление устанавливается между пяткой 9 (рис. 2) и правой опорной плитой 8 таким образом, чтобы цилиндрический выступ пластины (рис. 6 а) соединился с отверстием 10 (рис. 2) правой опорной плиты. Далее производится нагружение соединения с фиксацией разрушающей силы.



**Рисунок 6 – Общий вид приспособления для проведения испытаний заклепочных соединений**

**Выводы.** На основании проведенных теоретических исследований предложена конструкция приспособления, позволяющего производить испытания заклепочных соединений с различным количеством заклепок, их диаметром (3, 4 или 5 мм), изготовленных из различных материалов.

#### ЛИТЕРАТУРА

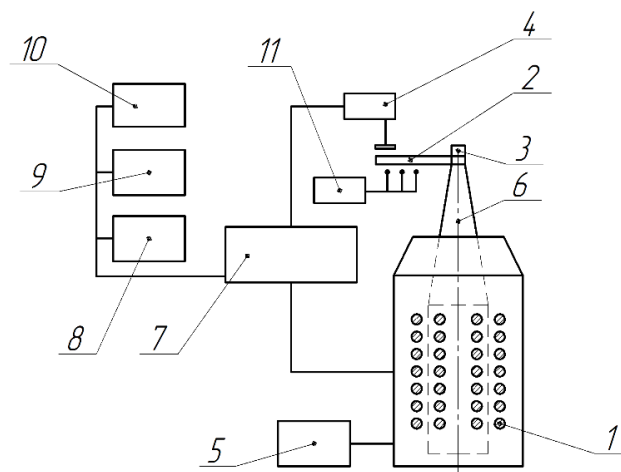
1. Кузмин, А.В. Расчеты деталей машин: Справочное пособие / А.В. Кузьмин, И.М. Черник, В.С. Кузнецов. – 3-е изд., перераб. и доп. – Мн.: Выш. шк., 1986. – 400 с.

А.В. Блохин, доц., канд. техн. наук;  
С.А. Сурус, доц., канд. техн. наук; А.А. Мартос, студ.  
(БГТУ, г. Минск)

## СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УСКОРЕННОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК УСТАЛОСТИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО НАГРУЖЕНИЯ ЗНАКОПЕРЕМЕННЫМ ИЗГИБОМ ПЛОСКИХ БАЛОЧНЫХ ОБРАЗЦОВ

**Введение.** Разработка новых материалов на основе металлов и совершенствование технологии получения известных, требует значительных материальных затрат. При этом, весомый вклад в такие затраты вносят расходы на определение механических характеристик материалов, а одним из самых затратных исследований в этой области является установление характеристик усталости, что объясняется значительным временем наработки требуемой базы нагружения.

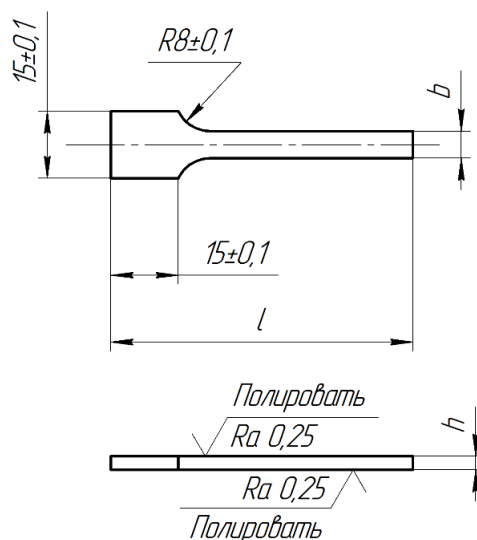
Существенно снизить время проведения таких исследований позволяет повышение частоты нагружения [1-3]. Для таких испытаний можно использовать установки, в основу работы которых положены магнестрикционные преобразователи [3, 4]. Принципиальная схема такой установки показана на рис. 1. Возбуждение изгибных колебаний в образце 2 происходит через заделку, реализованную посредством устройства крепления 3.



1 – магнестрикционный преобразователь с катушками возбуждения и подмагничивания; 2 – образец; 3 – устройство крепления; 4 – виброметр МРТИ;  
5 – модуль подмагничивания; 6 – концентратор-волновод; 7 – прибор стабилизации амплитуды ПСА; 8 – частотомер; 9 – осциллограф; 10 – устройство вывода на печать;  
11 – контроллер температуры

**Рисунок 1 – Принципиальная схема высокочастотного испытательного стенда**

Как показывает практика использования такой схемы нагружения плоских балочных образцов, устройство крепления 3 может испытывать значительные нагрузки [5, 6]. Для повышения жесткости и надежности крепления была предложена конструкция крепления [6], позволяющая использовать плоские балочные образцы без отверстия в месте крепления (рис. 2).



**Рисунок 2 – Геометрические параметры образцов для усталостных испытаний на различных частотах нагружения**

Целью данной работы являлось определение статистических характеристик результатов высокочастотных усталостных испытаний при использовании предложенной конструкции крепления.

**Основная часть.** Испытания проводились для двух партий плоских балочных образцов, изготовленных из стали 75Н2А. Первая партия образцов не подвергалась упругопластическому деформированию, вторая – подвергалась. Основные механические характеристики приведены в табл. 1.

**Таблица 1 – Основные механические характеристики**

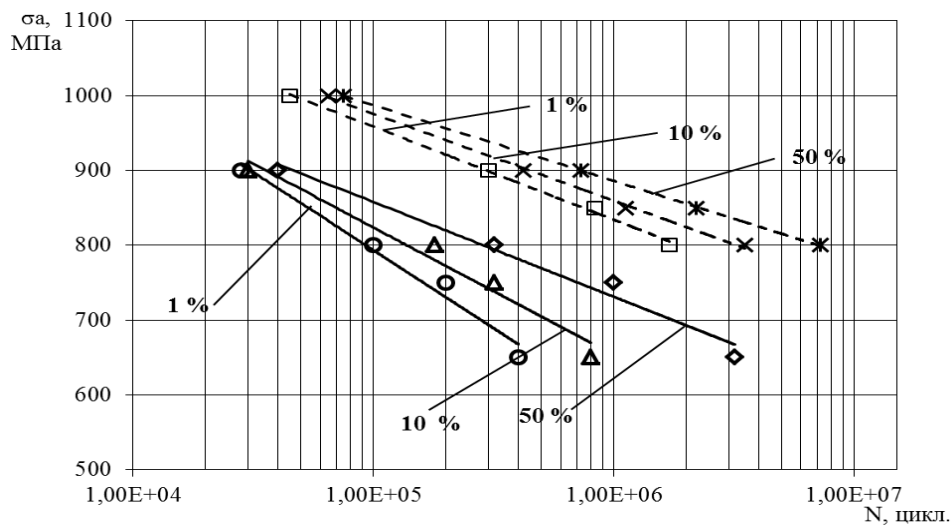
Материал Сталь 75Н2А	Твердость HRC	Модуль упругости $E$ , МПа	Предел текучести $\sigma_T$ , МПа	Предел прочности $\sigma_B$ , МПа
1. Без обработки (без упругопластического деформирования)	45–47	208 000	1480	1525
2. С обработкой (с упругопластическим деформированием)	47–50	–	1490	1605

Для оценки средних значений и среднеквадратических отклонений логарифма долговечности (табл. 2), построения кривых распределения долговечности и семейства кривых усталости по параметру ве-

роятности разрушения (рис. 3) результаты испытаний подвергались статистической обработке по методике, изложенной в ГОСТ 25.502-79.

**Таблица 2 – Статистические характеристики вариационных рядов для стали 75Н2А**

Обозначение параметра	Без обработки		С обработкой		
	900 МПа	800 МПа	900 МПа	800 МПа	
$\overline{\lg N}$	3,51	4,12	6,02	6,85	
$R$	1,19	1,53	0,61	0,79	
$S_{\overline{\lg N}}$	0,325	0,432	0,192	0,263	
$v_{\overline{\lg N}}$	0,062	0,064	0,032	0,041	
Доверительные интервалы	$\overline{\lg N} \min$	3,22	3,91	5,63	6,72
	$\overline{\lg N} \max$	3,61	4,35	5,89	6,85
	$S_{\overline{\lg N}}^2 \min$	0,08	0,12	0,03	0,06
	$S_{\overline{\lg N}}^2 \max$	0,29	0,47	0,11	0,19
Минимальное число образцов $n$	7	9	6	7	



$a$  – без упругопластического деформирования;  $\bar{b}$  – с предварительным упругопластическим деформированием

**Рисунок 3 – Кривые усталости образцов из Стали 75Н2А по параметру вероятности разрушения**

Сравнивая кривые усталости образцов (рис. 3), построенные по результатам испытаний, было установлено, что плотность кривых усталости равной вероятности образцов предварительно обработанных – существенно выше, по сравнению с кривыми, полученными после испытаний образцов без обработки. Также отмечается смещение первых в область большей долговечности по сравнению с аналогичными кривыми, полученными при испытании образцов без обработки.

**Выводы.** Использование предложенной конструкции крепления за счет повышения его надежности позволило сократить не только время, необходимое для осуществления нагружения образцов при исследовании характеристик усталости конструкционных материалов на высоких частотах нагружения с высокой точностью, а также не оказало существенного влияния на разброс характеристик усталости. Так, среднеквадратическое отклонение составило не более 15% для всех уровней напряжений исследованного материала, как в состоянии поставки, так и после проведения упругопластического деформирования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. 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.

2. 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.

3. Кузьменко В.А., Матохнюк Л.Е., Ордынский В.С. Автоматизированная высокочастотная испытательная установка для исследования кинетики развития усталостных трещин // Пробл. прочности. – 1981. – №6. – С. 124–126.

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. Блохин, А.В. Расчет необходимого усиления прижима образца, нагружаемого знакопеременным изгибом, методом конечных элементов / А.В. Блохин, А.М. Лось // Ремонт. Восстановление. Реновация: мат. VI международной научно-практической конференции, Уфа, 3–5 марта 2015 г. / отв. за издание М.Н.Фархшатов; Башкирский ГАУ. – Уфа, 2015. – С. 16-19.

6. Блохин, А. В. Разработка конструкции крепления образца для усталостных испытаний в условиях знакопеременного изгиба / А.В. Блохин, А. М. Лось, К. Д. Кучинский // 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]. – Минск : БГТУ, 2024. – 367 с. (С. 313-316).

А.И. Сурус, доц., канд. техн. наук;  
С.Е. Бельский, доц., канд. техн. наук; А.М. Лось, ст. преп.;  
А.В. Блохин, доц., канд. техн. наук;  
М.Н. Пищов, доц., канд. техн. наук  
(БГТУ, г. Минск)

## **ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ НА ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ДЕТАЛЕЙ**

Эксплуатационные свойства и долговечность деталей в процессе работы в значительной степени определяются состоянием их рабочих поверхностей, т.е. качеством поверхностного слоя, которое оценивается совокупностью всех служебных свойств поверхности и, в первую очередь, износостойкостью, усталостной прочностью, коррозионной стойкостью, и др.

Эти свойства определяются и оцениваются геометрическими характеристиками поверхностных слоев деталей – параметрами отклонения поверхности от идеальной заданной (макронеровности, волнистость, шероховатость) и физико-механическими (микроструктура, микротвердость, напряжения на поверхности детали). Обе эти характеристики качества поверхности в значительной степени влияют на эксплуатационные свойства деталей.

В свою очередь 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, что влияет на усталостную прочность, долговечность и надежность отдельных деталей и механизмов и машин в целом.

В связи с этим для повышения надежности и срока службы подобных изделий возникает необходимость использования различных способов поверхностного упрочнения. Основные способы повышения долговечности деталей машин можно условно подразделить на: конструкционные, технологические, материаловедческие и эксплуатационные.

Каждый способ предполагает свою технологию, которая предусматривает различные технологические параметры, необходимые для получения желаемого результата.

К конструкционным способам поверхностного упрочнения (повышения износостойкости и долговечности) можно отнести уменьше-

ние количества различных концентраторов напряжений, оптимизацию макрогеометрии поверхностей трения и параметров шероховатости поверхности.

Из практики эксплуатации различных механизмов известно, что первоначальная форма сопрягаемых поверхностей и ее изменения в процессе изнашивания влияют на работоспособность деталей. Поэтому оптимизация формы направлена на достижение более равномерного распределения напряжений в зоне контакта, снижение фрикционного нагрева. При наличии оптимальной формы сопрягаемых поверхностей темп износа поверхностей отдельных деталей после приобретения ими формы после естественного износа замедляется.

В связи с этим важное место при конструировании деталей занимает поиск оптимальной формы.

При выборе формы сопрягаемых поверхностей деталей на стадии проектирования изначально следует стремиться задавать такую форму, какую она имеет в период установившегося трения.

При изготовлении деталей следует учитывать, что режимы обработки влияют на отклонения формы от заданной. Экспериментальными исследованиями установлено, что отклонение от круглости поверхности уменьшается при снижении продольной подачи и увеличении частоты вращения заготовки или рабочего инструмента. При этом существует рациональная глубина внедрения инструмента, при которой обеспечивается наименьшее отклонение от круглости поверхности.

Из множества исследований и опыта эксплуатации деталей машин известно, что параметры шероховатости поверхности оказывают существенное влияние на работоспособность деталей и их соединений.

Начальный износ поверхностей в подвижных соединениях при неправильно выбранной шероховатости может достигать 65-75% высоты неровностей шероховатости. Точность таких соединений (посадок) и их стабильность так же зависит от шероховатости поверхностей, Дополнительный зазор за счет начального износа может сразу нарушить заданный характер соединения.

Прочность соединений при применении посадок с натягом снижается при увеличенной высоте неровностей шероховатости за счет смятия неровностей.

Усталостная прочность при повышенной шероховатости снижается.

Антикоррозионная стойкость повышается с понижением шероховатости.



В связи с этим для увеличения долговечности следует на стадии проектирования задавать обоснованные параметры шероховатости, при изготовлении и при последующем упрочнении обеспечить необходимые режимы обработки. Так, например, известно, что при продольном точении увеличение подачи приводит к росту высотных параметров шероховатости. На параметры шероховатости влияет изменение величины скорости резания.

Как показывает практика физические свойства поверхностного слоя в большей степени влияют на эксплуатационную характеристику данной поверхности.

При этом следует отметить, что в процессе изготовления (обработки) детали под влиянием механических и тепловых воздействий поверхностный слой материала детали приобретает свойства, существенно отличающиеся от физико-механических свойств основной части материала. В зависимости от условий, режимов обработки и степени воздействия тепла глубина деформированного поверхностного слоя различна и колеблется от нескольких микрон до нескольких сотен микрон. Физически нарушенный поверхностный слой материала при различных методах обработки составляет, примерно от 5 (чистовое шлифование) до 120 мкм (черновое точение). Характеристика поверхностного слоя получается разной при разных методах обработки и для разных по вязкости обрабатываемых материалов.

Одним из простых и наиболее экономичных способов упрочнения деталей машин является механическое упрочнение поверхностей (пластическая деформация). Помимо упрочнения поверхность детали выглаживается, снижается ее шероховатость. Все это повышает износостойкость и усталостную прочность детали, снижает срок приработки.

Наряду с другими методами широкое применение получили химико-термические (цементация, азотирование, цианирование, нитроцементация, борирование и др.).

В результате реализации этих процессов упрочнения износостойкость деталей, а для ряда из них и циклическая прочность, повышается в несколько раз.

Исследования влияния технологических параметров жидкостной карбонитрации на результаты упрочнения показали, что оптимальной (при времени обработки от 0,5 до 5 ч) для всех исследуемых сталей является температура 843 °К.

При более низких температурах процессы в расплаве, и особенно диффузия в стали замедляются, что снижает скорость образования упрочненного слоя.

С увеличением времени и температуры процесса наблюдается рост общей толщины упрочненного слоя, однако, при большей продолжительности процесса снижается твердость.

Зависимость глубины слоя от температуры подчиняется экспоненциальному закону, а от времени – параболическому. Легирование стали приводит к уменьшению глубины диффузионного слоя при упрочнении.

Использование знакопеременных колебаний, вводимых в насыщающую среду (расплав), наряду с увеличением толщины поверхностного нитрокарбидного слоя обеспечивает повышение его плотности. Величина прироста твердости по такой схеме упрочнения (с использованием колебаний) зависит от их частоты.

Результаты исследований показывают, что, шероховатость поверхности по параметру  $R_a$  после диффузионного насыщения ухудшается на всех образцах. С повышением времени обработки свыше 3,0-3,5 часов величина  $R_a$  начинает быстро возрастать. Применение колебаний существенно снижает негативное влияние диффузионного насыщения на шероховатость поверхности.

Для оценки эксплуатационной долговечности упрочненных слоев при различных режимах обработки проведено исследование кинетики их износа.

Использование энергии колебаний существенно повышает износостойкость поверхностного слоя. Наиболее существенно это проявляется при времени обработки до 2 часов.

Сравнительная оценка износостойкости образцов, упрочненных методами борирования, боросилицирования и цементированных по заводской технологии поверхностных слоев, полученных на образцах из различных сталей, проводилась по потере массы при пути трения между измерениями 10 км. Для кривой износа, полученной при упрочнении методом цементации характерно также как и для жидкостной карбонитрации наличие трех основных участков, соответствующих основным стадиям развития процесса изнашивания и разрушения поверхностного слоя образца.

В отличие от цементации, при упрочнении образцов боросилицированием интенсивность изнашивания на всем протяжении пути трения остается практически постоянной. При этом на некоторых участках пути трения наблюдается ее уменьшение, что вероятно связано со стабильностью поверхностной твердости и остаточных напряжений сжатия.

С.Е. Бельский, доц., канд. техн. наук; Адель Рашид;  
М.Н. Пищов, доц., канд. техн. наук;  
А.В. Блохин, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

## **ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ НА ТРАНСФОРМАЦИЮ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УПРОЧНЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Повышение усталостных характеристик упрочненных материалов требует проведения комплексных исследований влияния параметров нагружения на развитие процессов усталостного повреждения.

Для реализации данной цели осуществлено изучение кинетики изменений таких структурно-чувствительных свойств материалов как микротвердость и плотность дислокаций. Усталостные испытания проводились на оборудовании и по методикам, приведенным в работах [1-4].

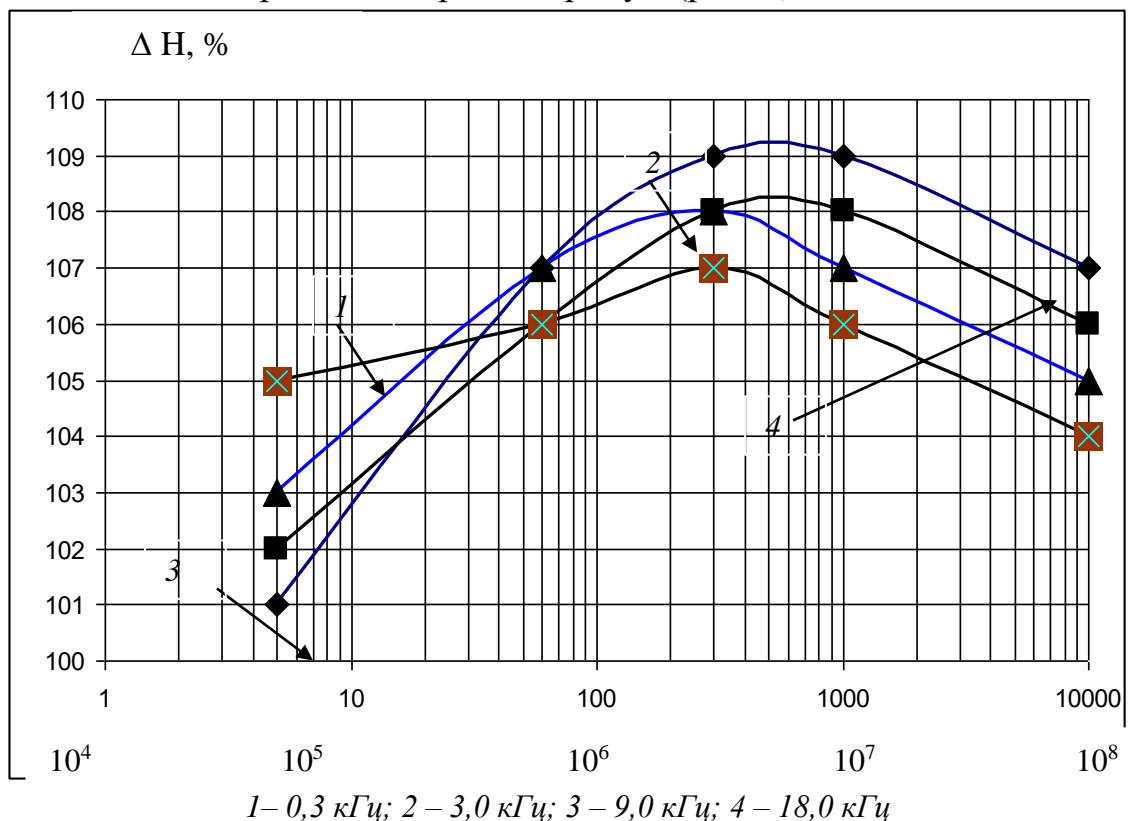
Использование для испытаний изгибных колебаний не только имитирует режим эксплуатационных нагрузок, но значительно повышает точность исследований физико-механических характеристик благодаря наличию циклических напряжений различной величины, закономерно расположенных вдоль оси образца.

Изучение влияния частоты на кинетику процессов развития усталостной повреждаемости материалов осуществлялось путем прослеживания за изменением микротвердости исследуемых материалов в процессе циклического нагружения с различными амплитудами напряжений. Для этого предварительно определялась величина исходной микротвердости перед испытанием, а затем проводились измерения  $H_{\mu}$  в зоне действия циклических напряжений выбранной величины. Микротвердость материалов измеряли с помощью прибора ПМТ-3М и Duramin 5 (Struers, Дания) по стандартной методике (ГОСТ 9450-76) при нагрузке на индентор 0,49 Н материалов с одинаковыми относительными ошибками измерений благодаря примерно одинаковым размерам диагоналей отпечатка. Наименьшее расстояние между уколами составляло не менее двух диагоналей.

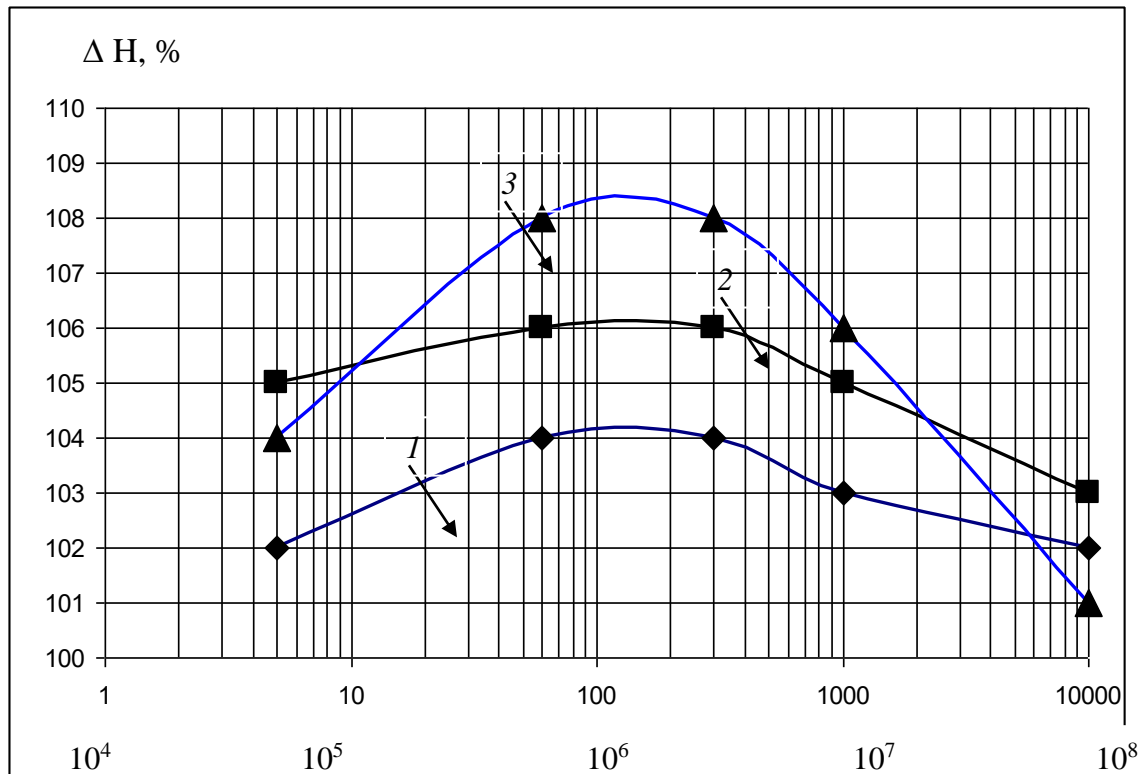
Для изучения характера протекания процессов усталостного повреждения материалов на микроуровне при циклическом деформировании в широком диапазоне частот проводились исследования кинетики структурно-чувствительных характеристик с помощью рентгеновского дифрактометра ДРОН-3 и дифрактометра фирмы Bruker.

Из полученных результатов по влиянию амплитудно-частотных и временных параметров нагружения на кинетику физико-

механических свойств исследованных материалов видно, что наиболее интенсивно изменения структурно-чувствительных характеристик для выбранных уровней переменных напряжений происходят при циклическом нагружении до  $10^7$  циклов. Так, например, увеличение микротвердости штамповой стали 5ХНМ прошедшей упрочнение боросилицированием (температура процесса  $920^{\circ}\text{C}$ , время 2–5 часа) отличалась уже после  $10^5$  циклов нагружения при различных частотах испытаний и различном уровне циклических напряжений (рис. 2). Однако, при испытании сталей, прошедших поверхностное упрочнение уровень возрастания микротвердости ниже, а разброс экспериментальных значений значительно больше, чем при использовании однородных образцов, что связано с особенностями структуры поверхностных слоев, прошедших диффузионное насыщение. Для тонкой структуры исследованных материалов также характерно наиболее существенное изменение относительной плотности дислокаций в течение первых циклов нагружения. В дальнейшем, с наработкой циклов наступает насыщение, сменяющееся на стадии развития микротрещин постепенным переходом через экстремум (рис. 3).



**Рисунок 1 – Влияние частоты знакопеременного изгиба на кинетику микротвердости стали 5ХНМ**



*1 – 346 МПа; 2 – 254 МПа; 3 – 135 МПа*

**Рисунок 2 – Влияние величины циклических напряжений знакопеременного изгиба на кинетику микротвердости стали 5ХНМ**

Следует отметить, что в связи с высокой чувствительностью величины плотности дислокаций к действию циклических напряжений, процесс упрочнения протекает на базе до  $10^6$  циклов, и в последующем после  $2 \cdot 10^6$  циклов преобладают процессы разупрочнения.

В трансформации физико-механических характеристик материалов просматриваются определенные закономерности. При циклическом деформировании происходит упрочнение материалов на начальных этапах нагружения, что находит свое отражение в повышении микротвердости, увеличении плотности дислокаций и микронапряжений. Затем наступает стадия насыщения, сменяемая на больших базах испытаний стадией разупрочнения, характеризующейся падением значений вышеперечисленных характеристик.

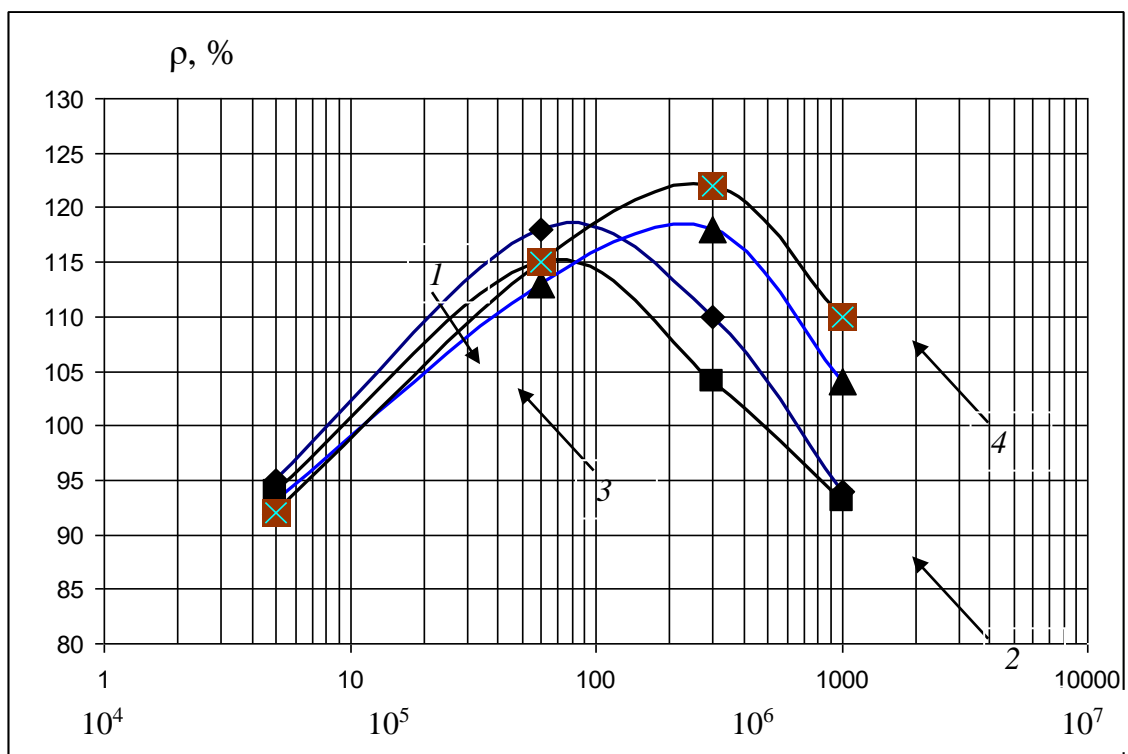
Плотность дислокаций на первой стадии испытаний возрастает на всех исследованных частотах, что свидетельствует о начале протекания процесса упрочнения материала. В начальной стадии нагружения имеет место лишь колебательное перемещение сегментов закрепленных дислокаций около положения равновесия.

Последующее наложение знакопеременных напряжений с высокой частотой полупериода колебаний приводит к активации имею-

щихся в материале дислокаций, подъему их из энергетических ям, способствует преодолению ими потенциальных барьеров и передвижению через препятствия, вызывая тем самым пластическую деформацию.

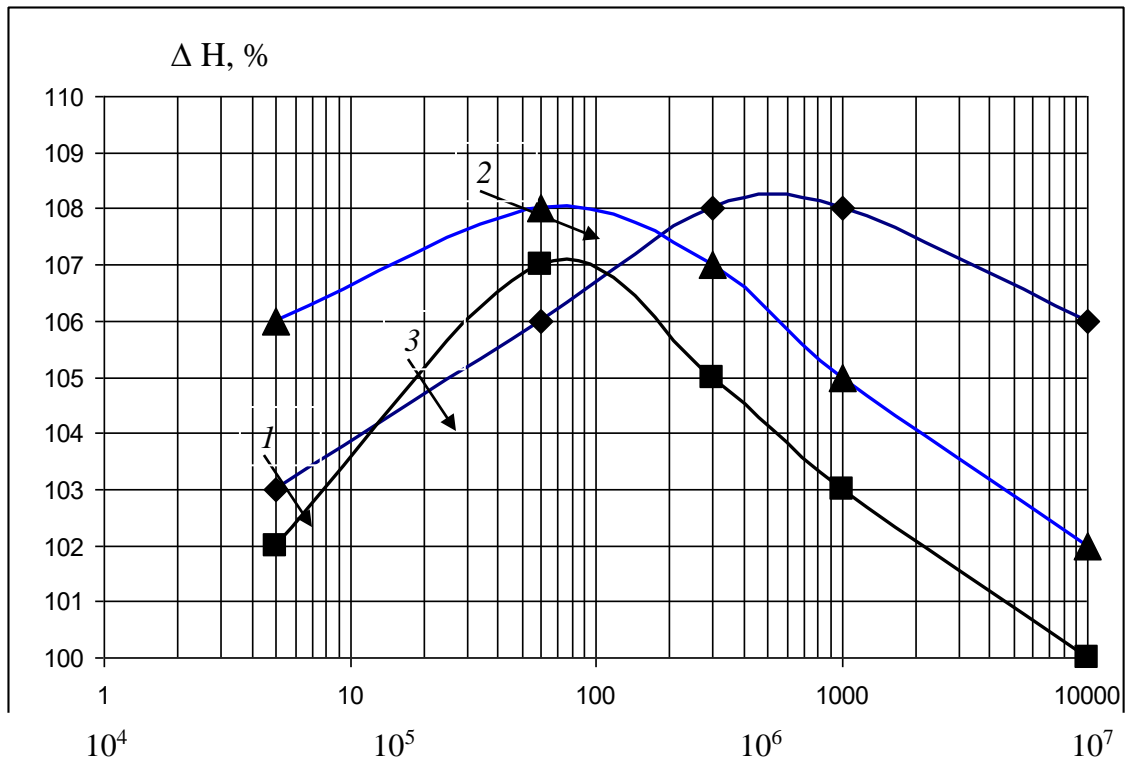
Продолжение циклического нагружения вызывает появление новых дефектов за счет действия источников дислокаций, активизированных в первые циклы нагружения, а также источников, возникающих за счет взаимодействия за счет взаимодействия дислокаций, расположенных в соседних параллельных плоскостях скольжения.

В результате этого существенно возрастает плотность дислокаций и точечных дефектов (междуузельных атомов и вакансий). При определенной концентрации дефектов, как дислокаций, так и вакансий, происходит их массовый срыв с препятствий, вызывая нарушение межатомных связей. Определяющим фактором при этом является увеличение плотности дислокаций с ростом числа циклов нагружения, что подтверждено проведенными рентгеноструктурными исследованиями (рис. 3).



1 – 0,3 кГц; 2 – 3,0 кГц; 3 – 9,0 кГц; 4 – 18 кГц

**Рисунок 3 – Влияние частоты знакопеременного изгиба на кинетику плотности дислокаций стали 5ХНМ**



*1 – 20 °C; 2 – 200 °C; 3 – 300 °C*

**Рисунок 4 – Изменение микротвердости стали 5ХНМ при различных температурах испытаний (частота нагружения 18,0 кГц)**

Рост плотности дислокаций объясняется не только поступательным движением раскрепленных дислокаций, но и их размножением преимущественно путем работы источников Франка–Рида.

Прекращение возрастания плотности дислокаций связано с торможением действия источника их размножения напряжениями от испущенных ранее дислокаций. Также возможен процесс аннигиляции дислокаций противоположного знака, выпускаемых в процессе циклического нагружения источниками, расположенными в параллельных атомных плоскостях. По мере нарастания пластического деформирования материала развивается процесс разупрочнения, характеризующийся уменьшением плотности дислокаций, снижением уровня микронапряжений и микротвердости. Отсутствие существенных различий в характере развития дислокационной структуры при высоких и низких частотах нагружения приводит к аналогии кинетики изменений рассматриваемых величин в исследованном диапазоне частот (см. рис. 3).

Очевидно, что с увеличением частоты происходит возрастание скорости деформации металлов при одном и том же числе циклов нагружения. Тем самым, релаксационные процессы, играющие существенную роль при статическом нагружении, с ростом частоты нагру-

жения замедляются. Пропорционально частоте нагружения увеличивается и количество циклов до начала протекания процесса разупрочнения. Увеличение частоты, приводящее к повышению скорости упругой деформации, способствует и росту скорости движения дислокаций; при этом повышается эффективность их размножения.

Следует отметить, что подобные зависимости характерны и для повышенных температур испытаний штамповой стали 5ХНМ (рисунок 4). Повышение температуры способствует более раннему протеканию процессов упрочнения–разупрочнения в связи с активацией взаимодействия дислокаций и точечных дефектов, а также передвижения дислокаций.

Приведенные исследования показали, что, несмотря на определенные количественные различия кинетики физико–механических характеристик рассматриваемых материалов, процесс усталостного разрушения у них развивается по одним и тем же закономерностям, характеризуясь сочетанием процессов упрочнения–разупрочнения. Это подтверждает единую физическую природу развития усталостной повреждаемости в рассмотренном диапазоне частот и, следовательно, принципиальную возможность реализации ускоренных усталостных испытаний с использованием высоких частот нагружения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Блохин А.В., Царук Ф.Ф., Гайдук Н.А. Комплекс оборудования для усталостных испытаний элементов технологического оборудования //Труды БГТУ, серия П. – Мн.,2002. Вып.Х. – С.213–215.

2. Блохин А.В. Развитие комплекса оборудования для усталостных испытаний конструкционных материалов //Труды БГТУ, серия П. – Мн.,2004. Вып.ХII. – С.263–267.

3. Капсаров А.Г., Бельский С.Е., Чигринова Н.М. Особенности расчета элементов испытательного оборудования для получения сложного напряженного состояния в широком диапазоне частот//Современные методы проектирования машин: Труды II Межд. конференции. – Мн., 2004. – Т.4. – С.242–245.

4. Блохин, А.В. Электросопротивление как структурно–чувствительная характеристика при усталостных испытаниях металлических конструкционных материалов / А.В.Блохин, С.Е. Бельский //Труды БГТУ. Серия П 2 Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – 2006. – Вып. XIV. – С.248–250.



М.Н. Пищов, доц., канд. техн. наук;  
Адель Рашид,  
С.Е. Бельский, доц., канд. техн. наук;  
(БГТУ, г. Минск)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАЛОСТНЫХ СВОЙСТВ КОРРОЗИОННОСТОЙКОЙ СТАЛИ ПОСЛЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ**

Предварительная пластическая деформация обеспечивает получение ультрамелкозернистых материалов с высокими прочностными характеристиками, однородной структурой как в продольном, так и в поперечных сечениях.

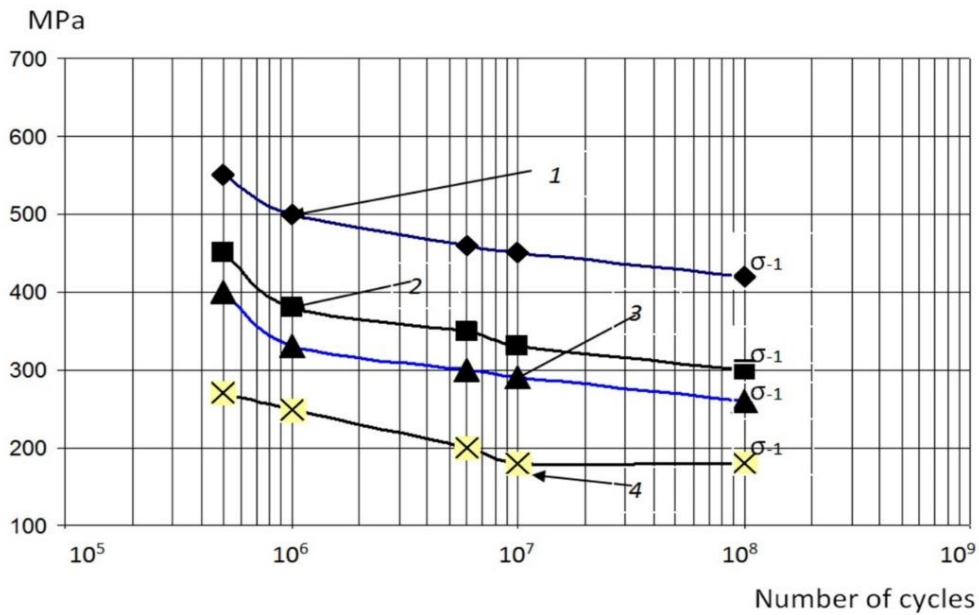
Предварительная пластическая деформация образцов методом кручения под высоким давлением (КВД) проводилось при криогенной и комнатной температурах. Исходная заготовка имела кольцевую форму диаметром 76 мм, шириной 3,5 мм и толщиной 3 мм. Для материала образцов выбрана сталь аустенитного класса AISI 316. Эксперимент проводился в лаборатории на одностоечном горячештамповочном кривошипном прессе модели ПБ 6330-02. Количество циклов деформирования – 8. Деформирование проводилось в среде жидкого азота (криогенная температура) и для сравнения при комнатной температуре.

Предыдущие работы [1, 2] показали положительные результаты влияния данного процесса на микроструктурные свойства и механические характеристики стали. Однако не были исследованы характеристики усталостной прочности, которые являются важными критериями оценки стабильности структурного состояния металла и его работоспособности в условиях циклических нагрузок. Поэтому целью данной работы является исследование усталостных свойств стали AISI 316 после кручения под высоким давлением при криогенной и комнатной температурах.

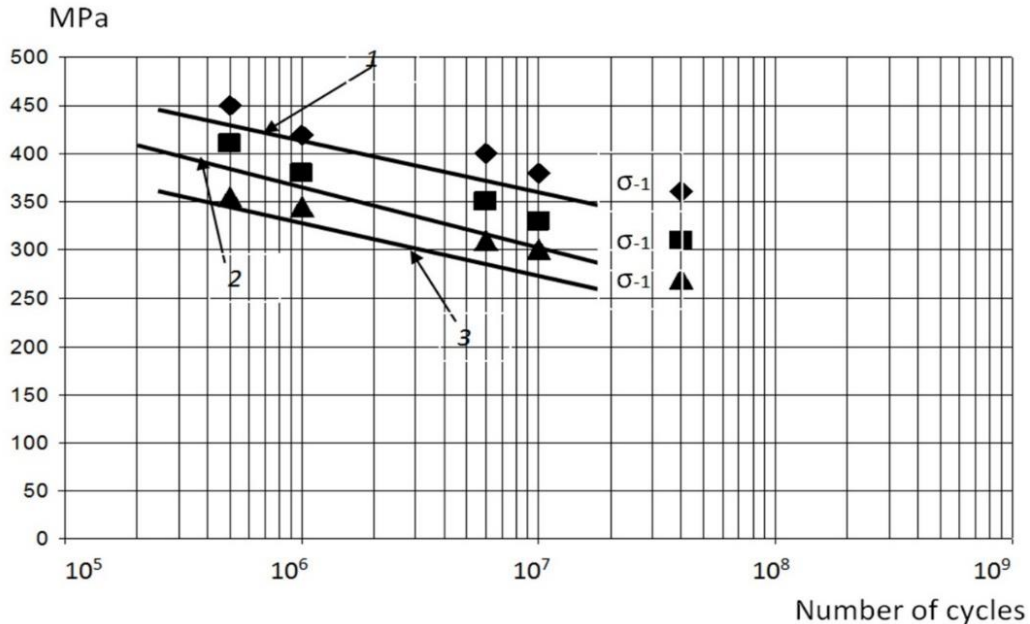
Усталостные испытания проводились на оборудовании и по методикам, приведенным в [3-4]. Результаты усталостных испытаний при реализации знакопеременного изгиба на частоте 18 кГц представлены на рис. 1–3.

Результаты испытаний показали, что интенсивная пластическая деформация, проведенная методом КВД при криогенной температуре, привела к более существенному повышению усталостных характеристик стали AISI 316 (при различных температурах и условиях нагружения), чем при деформировании при комнатной температуре. При

этом было установлено, что возрастание нагрузки до 346 МПа не изменяет характер усталостных кривых (см. рис. 1).

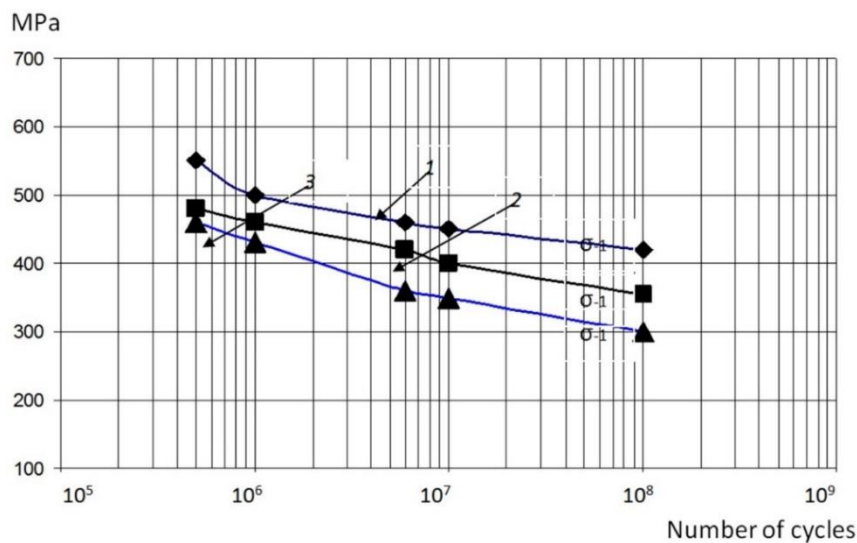


1, 3 – с обработкой КВД, 2, 4 – без проведения обработки  
**Рисунок 1 – Влияние обработки КВД на характеристики усталости стали AISI 316 при различных уровнях нагружения (1, 2 –уровень нагружения 254 МПа, 3, 4 –уровень нагружения 346 МПа)**



1 – 20 °C, 2– 200 °C, 3–250 °C

**Рисунок 2 – Усталостные кривые стали AISI 316 после деформирования методом КВД при комнатной температуре при различных температурах усталостных испытаний**



1 – 20 °С, 2 – 200 °С, 3 – 250 °С

**Рисунок 3 – Усталостные кривые стали AISI 316 после деформирования методом КВД при криогенной температуре при различных температурах усталостных испытаний**

Подобное повышение усталостных характеристик объясняется в первую очередь получением мелкозернистой структуры в результате интенсивной пластической деформации методом КВД. Следует отметить, что подобные зависимости характерны и для повышенных температур испытаний (рис. 2, 3).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ситкевич М.В., Пищов М.Н., Бельский С.Е. Структура и свойства поверхностных слоев зубчатых передач, упрочненных комплексным борированием // Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки: материалы 10-й Междунар. науч.–практ. конф., Санкт–Петербург, 15–18 апреля 2008 г. СПб., 2008. Ч. 2. С. 346–353.

2. Ситкевич М.В., Пищов М.Н., Бельский С.Е. Структура и свойства поверхностных слоев зубчатых передач, упрочненных комплексным борированием // Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки: материалы 10-й Междунар. науч.–практ. конф., Санкт–Петербург, СПб., 2008. Ч. 2. С. 346–353.

3. Ляхович Л.С., Ворошнин Л.Г., Панич Г.Г. Многокомпонентные диффузионные покрытия // Минск: Наука и техника, 1974. 289 с.

4. Ситкевич М.В., Пищов М.Н., Бельский С.Е. Влияние комплексного боридного упрочнения на структуру и свойства поверхностных слоев сталей для изготовления деталей зубчатых передач трелевочных лесных машин // Литье и металлургия. 2008С. 140–146.

## **ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АМПЛИТУДЫ СМЕЩЕНИЯ ДИСЛОКАЦИОННОГО СЕГМЕНТА ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

Влияние акустических волн на прочностные свойства материалов широко используется в современных технологиях обработки для придания образцу требуемых свойств. Кроме того, в процессе эксплуатации различные детали и узлы технических систем могут подвергаться длительному вибрационному воздействию, что приводит к так называемым усталостным процессам с последующим снижением прочностных свойств и разрушением. Именно поэтому, ввиду прикладной значимости указанного явления, изучение механизмов, вызывающих изменение физических характеристик кристаллических сред при воздействии на них высокочастотной нагрузки, в том числе ультразвукового диапазона, является важной задачей физического материаловедения.

Многие работы, как правило, представляли собой непрерывные описания ультразвукового разупрочнения [1-4], однако, микроструктурные исследования на уровне дислокаций в металлах, возбужденных ультразвуком, проводились очень редко.

Целью данной работы является анализ процессов, происходящих на микроуровне в поликристаллической модельной среде, содержащей протяженные дефекты в сочетании с точечными атомами примесей, под действием упругого поля стоячей акустической волны.

В качестве объекта был выбран модельный материал с гранцентрированной кристаллической структурой. Исходный материал находится в мелкокристаллическом состоянии и подвергается знакопеременным нагрузкам, которые в области низких частот могут соответствовать режиму усталостных испытаний, а во всем диапазоне акустического спектра могут вызывать дополнительное изменение дефектной структуры с изменением прочностных характеристик.

Фактически с помощью метода цифрового моделирования анализируется динамика дефектной структуры модельного материала, содержащего взаимосвязанные конгломераты протяженных и точечных дефектов. Дефекты, по мере изменения амплитуды и частоты силового знакопеременного воздействия в данной локальной области среды, могут претерпевать изменение своего состояния, тем самым влияя как на локальные, так и на макроскопические интегральные свойства прочностного характера. Разработанная модель основана на

выявлении вязкой динамики сегмента дислокации в поле примесных атомов, влияние которых на сегмент представлено в приближении сил трения со стороны окружающей среды. Другими словами, движение сегмента дислокации представлено в модели Франка-Рида под действием переменного упругого напряжения.

Движение отрезка анализируется в одночастичном приближении, а исходное уравнение имеет традиционный вид движения упругой струны с распределенной массой и силами упругого самовоздействия на фоне действия вязких сил:

$$A \frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} + B \frac{\partial \zeta}{\partial t} - C \frac{\partial^2 \zeta}{\partial y^2} = b\sigma \exp(i\omega t) \quad (1)$$

где  $\zeta$  – смещение отрезка из положения равновесия по его длине;  $\lambda$  – длина дислокационного сегмента;  $A = \rho b^2 / \pi$  – эффективная масса сегмента дислокации на единицу длины;  $\rho$  – объемная плотность;  $b$  – определение векторов;  $B$  – коэффициент динамической вязкости;  $C = \frac{2Gb^2}{\pi(1-\nu)}$  – коэффициент эластичности сегмента;  $G$  – модуль упругости среды;  $\nu$  – коэффициент Пуассона;  $\sigma$  – амплитудное значение переменного напряжения в поле акустической волны;  $\omega$  – круговая частота акустической волны;  $t$  – время.

Для формализации задачи уравнение движения отрезка можно представить в виде, приведенном к единице массы отрезка:

$$\frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} + 2\beta \frac{\partial \zeta}{\partial t} - \omega_0^2 \zeta = \sigma' \exp(i\omega t) \quad (2)$$

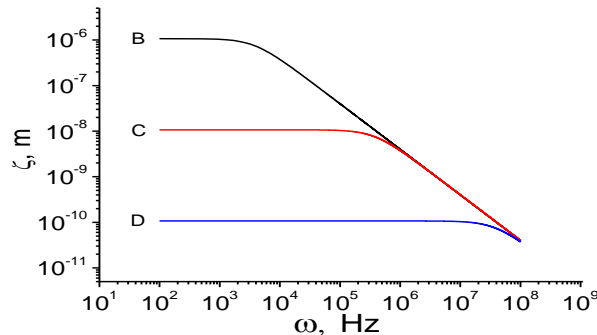
где  $\beta$  – модифицированный индекс вязкости;  $\omega_0^2$  – квадрат собственной частоты упругого сегмента;  $\sigma'$  – переопределенная амплитуда упругого воздействия на единицу длины.

Анализ движения дислокационного сегмента проводился с акцентом на выявление динамики и величины смещения сегмента из положения равновесия. Учет перемещения сегмента включает в себя и то, что само движение дислокаций в среде уже приводит к пластичности и некоторому дефекту упругости. В заданном представлении нет смысла анализировать смещение отрезка от состояния равновесия на величину порядка длины самого отрезка, что обычно используется в оценках при статическом нагружении. Действительно, генерация новых дефектов по сценарию Франка-Рида при статическом нагружении все же отличается от условий при воздействии переменных упругих полей, где необходимо учитывать фазовые ограничения. При этом само уравнение (1) соответствует малым колебаниям отрезка как упруго закрепленной струны. То есть изгиб сегмента и его динамика при предельных отклонениях не соответствуют (1). По этой причине значение

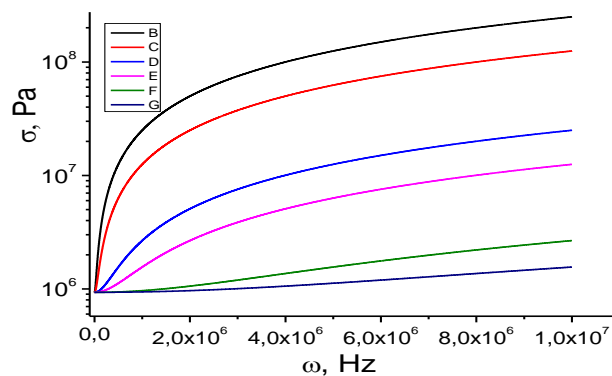
амплитуды малого смещения в центре сегмента можно принять в качестве основного для последующего анализа состояния среды при воздействии знакопеременной нагрузки. В общем случае решение уравнения, как известно, представляет собой суперпозицию двух вкладов, то есть вклада в движение в режиме свободных колебаний и вклада в перемещение на частоте внешней вынуждающей силы по формуле (3).

$$\zeta = \frac{\sigma'}{\left[ (\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2 \omega^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \exp \left[ i \left( \omega t - \arctan \frac{2\beta\omega}{\omega_0^2 - \omega^2} \right) \right] + \left[ C_1 \exp \left[ i(\omega_0^2 - \beta^2)^{\frac{1}{2}} t \right] + C_2 \exp \left[ -i(\omega_0^2 - \beta^2)^{\frac{1}{2}} t \right] \right] \exp(-\beta t) \quad (3)$$

Следуя решению (3), можно представить среднюю амплитуду смещения дислокационного сегмента различной длины в поле упругого нагружения (рис. 1).



**Рисунок 1 – Усредненная амплитуда смещения дислокационного сегмента длиной (м):  $10^{-5}$  (B),  $10^{-6}$  (C),  $10^{-7}$  (D) в модельном материале с коэффициентом вязкости  $B = 10^{-1}$  Па с при действии знакопеременного нагружения с амплитудой упругого напряжения  $10^6$  Па. Модуль упругости материала принят  $2,6 \cdot 10^{10}$  Па, объемная плотность  $2,7 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, вектор Бюргерса  $4 \cdot 10^{-10}$  м**



**Рисунок 2 – Амплитуда переменного упругого напряжения, необходимая для того, чтобы среднее значение амплитуды смещения сегмента достигло 10 % длины сегмента. Длина сегмента дислокации  $10^{-5}$  м, коэффициент вязкости  $B$ , (Па с):  $10^{-2}$  (B),  $5 \cdot 10^{-3}$  (C),  $10^{-3}$  (D),  $5 \cdot 10^{-4}$  (E),  $10^{-4}$  (F),  $5 \cdot 10^{-6}$  (G). Модуль упругости материала принят  $2,6 \cdot 10^{10}$  Па, объемная плотность  $2,7 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, вектор Бюргерса  $4 \cdot 10^{-10}$  м**

Таким образом, на примере смещения сегмента дислокации, представленного на рисунке 1 показано влияние среды при заданной амплитуде колебаний упругих напряжений на перемещение отрезков различной длины при конечной силе вязкого трения. То есть для некоторого реалистического приближения среды, содержащей дислокационные сегменты нескольких характерных длин, усредненное смещение сегмента соответствует уменьшению по вязкости.

Из рис. 1 следует, что из выбранного диапазона значений длины сегментов относительно небольшие по перемещению дислокационные сегменты не подвержены изменению частоты акустического упругого поля в достаточно широком диапазоне. Это связано с высоким значением резонансной частоты и действием фактора вязкости.

На частотах порядка десятков мегагерц еще реализуются эффекты частотной зависимости амплитуды смещения, а также для более длинных отрезков, для которых амплитуда смещения уменьшается, начиная с частот порядка сотен герц. Такое поведение характерно для динамики в условиях преобладания сил вязкого трения. При этом резонансная частота является максимальным параметром, а для отрезков относительно большой длины смещение максимально и достигает примерно 10% длины самого отрезка по мере уменьшения сил вязкости при малых упругих напряжениях (рис. 2).

Такое поведение дислокационного сегмента типично в диапазоне частот ниже резонансного диапазона. Однако даже на частотах порядка резонанса коэффициент демпфирования за счет вязкого трения может быть подавлен за счет эффекта поглощения энергии отрезком при совпадении частот. Таким образом, можно предположить, что возбуждаемые в образце ультразвуковые колебания могут приводить к снижению пороговых напряжений, необходимых для деформации данного уровня. Следует отметить, что подобные зависимости сочетаются с результатами ранее проведенных теоретических и экспериментальных исследований влияния амплитудно-частотных параметров нагружения на изменения усталостных характеристик и физико-механических свойств материалов [5].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. B.N. Mordyuk and G.I. Prokopenko, J. Sound Vibrat. 308 (2007) p. 855.
2. H. O. K. Kirchner, W. K. Kromp, F. B. Prinz, P. Trimmel, Mater. Sci. Eng. 68 (1985) p. 197.
3. K. V. Sapozhnikov, S. N. Golyandin, S. B. Kustov, J. Van Humbeeck, R. De Batist, Acta Mater. 48 (2000) p. 1141.
4. H. Huang, A. Pequegnat, B. H. Chang, M. Mayer, D. Du, Y. Zhou, J. Appl. Phys. 106 (2009) p. 113514.

5. Соболев В.Р. О влиянии сил вязкости на движение дислокационного сегмента и распространение упругих колебаний в металлах /В.Р.Соболев, О.Н. Мазуренко, П.Н.Логвинович, С.Е. Бельский, А.В.Блохин // Доклады национальной академии наук Беларуси. –2007. – Т.51. – № 3. – С.121–124.

УДК 621.165.532

М.Н. Пищов, доц., канд. техн. наук;  
С.Е. Бельский, доц., канд. техн. наук;  
Адель Рашид,  
А.И. Сурус, доц., канд. техн. наук;  
(БГТУ, г. Минск)

### **ПОВЫШЕНИЕ УСТАЛОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБРАЗЦОВ ПОВЕРХНОСТНЫМ УПРОЧНЕНИЕМ**

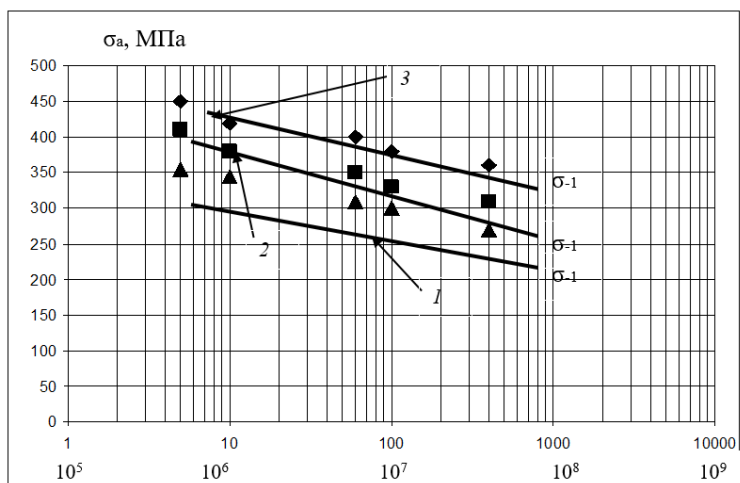
Большинство теоретических и экспериментальных исследований развития процесса усталостного разрушения выполнено без учета структурных и металлургических факторов, наличия упрочненных слоев и покрытий; тем самым затрудняется подбор оптимальных технологических параметров процессов поверхностного упрочнения. Исследования, проводимые в этом направлении, могут обеспечить совершенствование составов и режимов поверхностного упрочнения и следовательно повышение эксплуатационной долговечности изделий.

Усталостные испытания образцов из конструкционных сталей, упрочненных по различным режимам, проводились на оборудовании, описанном в работах [1-3]. Результаты усталостных испытаний при реализации знакопеременного изгиба на частоте 18 кГц представлены на рис. 1–2.

В ходе проведения исследований было установлено увеличение усталостных характеристик для образцов, упрочненных борированием и боросилицированием (рис. 2) по сравнению с цементированными. Связано это главным образом с образованием в поверхностных упрочненных слоях остаточных напряжений сжатия. С увеличением времени и температуры насыщения наблюдается снижение усталостных характеристик образцов при упрочнении борированием (при содержании Si в сплаве до 5 %). При боросилицировании (содержание Si от 20%) отмечается их незначительное уменьшение при времени насыщения

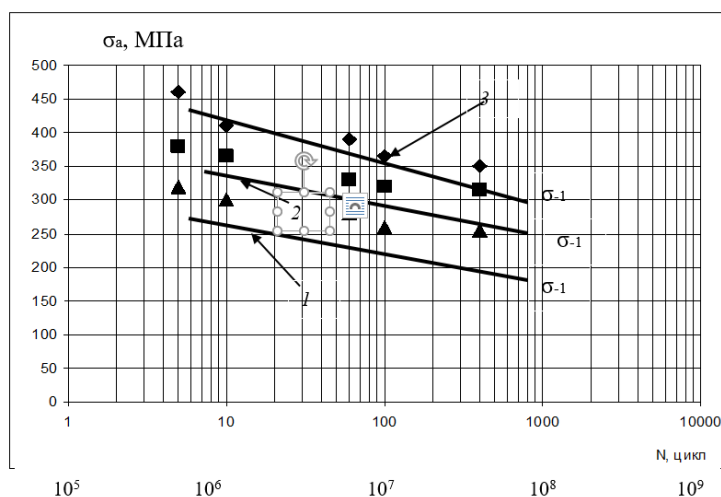
2,5–4 часа и температуре обработки 1020 °С (см. рис. 3–4).





1 – 5 %; 2 – 15 %; 3 – 20 %

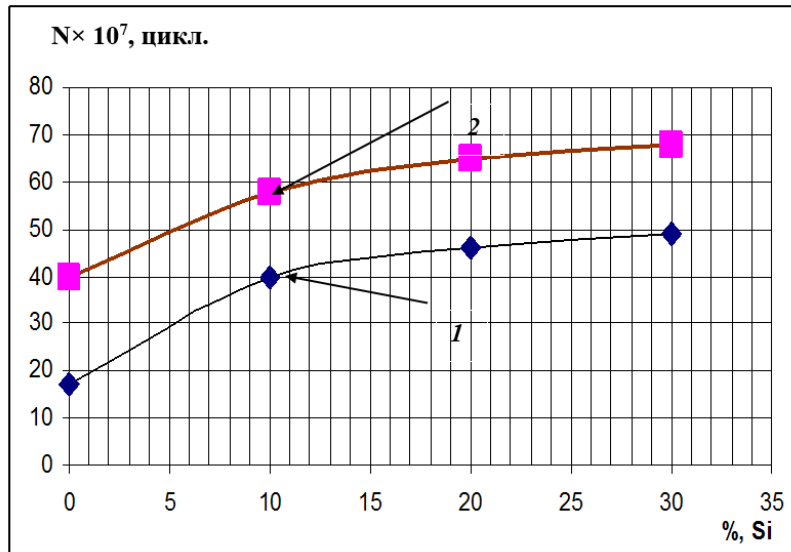
**Рисунок 1 – Влияние содержания кремния в смеси при боросилицировании на характеристики усталости стали 25ХГМ**



1 – цементация; 2 – борирование; 3 – боросилицирование

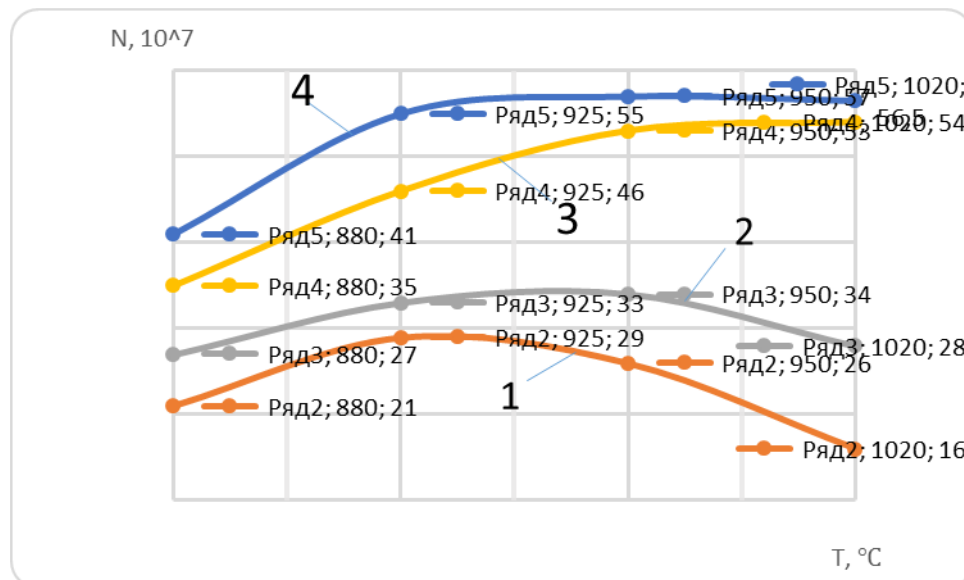
**Рисунок 2 – Усталостные кривые образцов из стали 25ХГМ при поверхностном упрочнении в различных составах**

Снижение усталостных характеристик образцов при борировании (с возрастанием температуры и времени насыщения) связано с образованием в упрочненном слое хрупкой фазы FeV. Повышение времени обработки свыше 2,5 часов приводит к постепенному снижению величины числа циклов до наступления разрушения  $N_{ц}$  вследствие коагуляции фазы Fe<sub>2</sub>V, а также, как уже отмечалось образования в поверхностном слое фазы FeV. По этой причине при использовании традиционного процесса борирования (без дополнительного введения кремния) существенное снижение усталостной долговечности наблюдается уже после обработки в насыщающей смеси в течение 3,0 часов.



**Рисунок 3 – Влияние содержания кремния в диффузионной смеси для насыщения комплексным борированием на усталостную прочность сталей 20X(1) и 20XНЗА (2)**

Повышение плотности поверхностного слоя, получаемого при боросилицировании, а также отсутствие фазы FeV приводит к существенному снижению по сравнению с борированием его микрохрупкости [4], что обеспечило возрастание его усталостных характеристик.

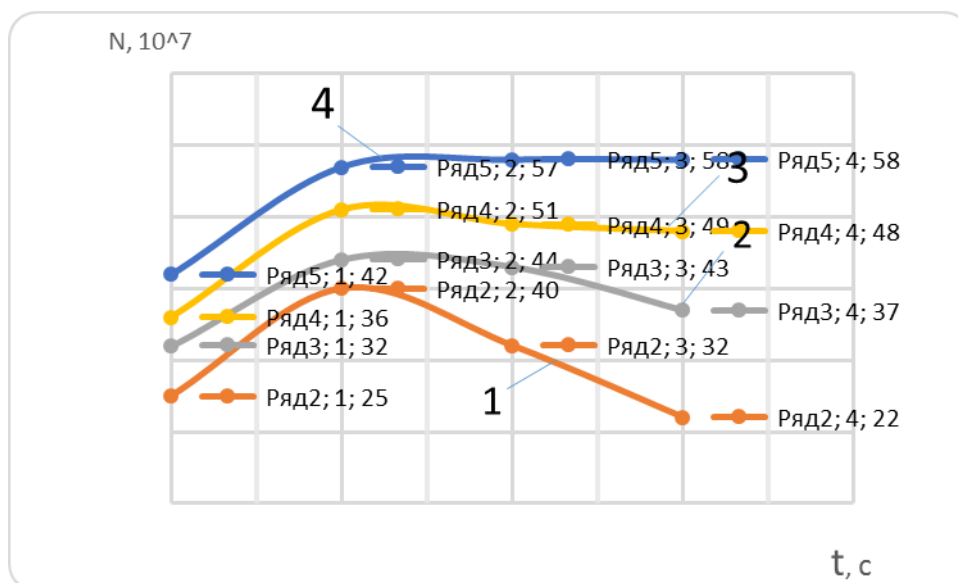


1 – борирование; 2–4 – боросилицирование (2 – 5%Si; 3 – 15%Si; 4 – 20%Si)

**Рисунок 4 – Влияние температуры насыщения и состава смеси при комплексном борировании на усталостную прочность стали 25ХГМ**

Преобладание в поверхностном слое фазы Fe<sub>2</sub>V способствовало как существенному повышению N<sub>ц</sub>, так и стабильности данной

характеристики при возрастании времени упрочнения до 3–4,5 часов (рис. 2–5).



1 – борирование; 2–4 – боросилицирование (2 – 5% Si; 3 – 15%Si; 4 – 20%Si)

**Рисунок 5 – Влияние состава смеси и времени насыщения на усталостную прочность стали 25ХГМ**

При исследовании усталостных характеристик образцов из стали 20ХМ3А было установлено их увеличение по сравнению со сталью 20Х. Связано это, в первую очередь, с различным содержанием в составах исследуемых сталей легирующих элементов. Установлено, что с увеличением времени и температуры насыщения при боросилицировании повышаются усталостные характеристики образцов стали 25ХГМ (рисунки 4–5). Увеличение усталостных характеристик объясняется образованием в поверхностных слоях при боросилицировании остаточных напряжений сжатия.

Как видно из приведенных данных, боросилицирование обеспечивает значительный рост усталостной долговечности при различных уровнях нагружения. Следует отметить, что данный процесс благоприятно влияет на усталостные характеристики ряда традиционно цементуемых сталей 20Х, 20ХМ3А, 25ХГМ, что свидетельствует о его универсальности и возможности замены некоторых сталей на менее дорогие и дефицитные.

Результаты испытаний позволили установить повышение предела выносливости  $\sigma_{-1}$  боросилицированных образцов (содержание Si от 20 %) по сравнению с цементованными в 1,6–1,7 раза и по сравнению с борированными в 1,4–1,6 раза при меньшем разбросе долговечности благодаря более однородной структуре упрочненного слоя.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Блохин А.В., Царук Ф.Ф., Гайдук Н.А. Комплекс оборудования для усталостных испытаний элементов технологического оборудования //Труды БГТУ, серия П. – Мн.,2002. Вып.Х. – С.213-215.
2. Блохин А.В. Развитие комплекса оборудования для усталостных испытаний конструкционных материалов //Труды БГТУ, серия П. – Мн.,2004. Вып.ХІІ. – С.263-267.
3. Капсаров А.Г., Бельский С.Е., Чигринова Н.М. Особенности расчета элементов испытательного оборудования для получения сложного напряженного состояния в широком диапазоне частот//Современные методы проектирования машин: Труды II Межд. конференции. – Мн., 2004. – Т.4. – С.242-245.

УДК 621.833.01

М.Н. Пищов, доц., кан. техн. наук;  
С.Е. Бельский, доц., кан. техн. наук; А.М. Лось, ст.преп.  
(БГТУ, г. Минск)

### **ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ИЗНАШИВАНИЯ УПРОЧНЕННЫХ КОМПЛЕКСНЫМ БОРИРОВАНИЕМ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ДЕТАЛЕЙ**

Условия эксплуатации ряда сложнагруженных 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 определения эксплуатационных характеристик упрочненных слоев в разработанных насыщающих составах и оптимизации температурно-временных параметров процесса упрочнения исследована кинетика изнашивания экспериментальных образцов после проведения различной ХТО. Необходимо отметить, что как показали проведенные исследования, диффузионные слои характеризуются неоднородностью структуры и химического состава, наличием дефектов в виде пор, микротрещин, а также значительными колебаниями по толщине и твердости. В связи с этим сопротивление изнашиванию является важным критерием физико-механических и эксплуатационных

свойств, так как позволяет оценить служебные свойства материалов, упрочненных при различных условиях.

Исследования износостойкости упрочненных различными составами экспериментальных образцов проводились в лабораторных условиях. Созданная на кафедре деталей машин и ПТУ БГТУ установка для проведения испытаний по сопротивлению изнашиванию экспериментальных образцов частично моделирует реальные условия работы инструментальной оснастки.

Режим испытаний при возвратно-поступательном движении был следующий: величина амплитуды – 110 мм; максимальная скорость скольжения  $V_{max}=0,67$  м/с; число циклов – 452 тысяч, что соответствует 59,72 км пройденного пути; температура в месте контакта поддерживалась не выше 70–100°C. При этом удельная нагрузка на поверхности трения изменялась от 1,5 МПа до 5,5 МПа, что позволило в достаточно широком диапазоне оценивать параметры износостойкости упрочненных образцов.

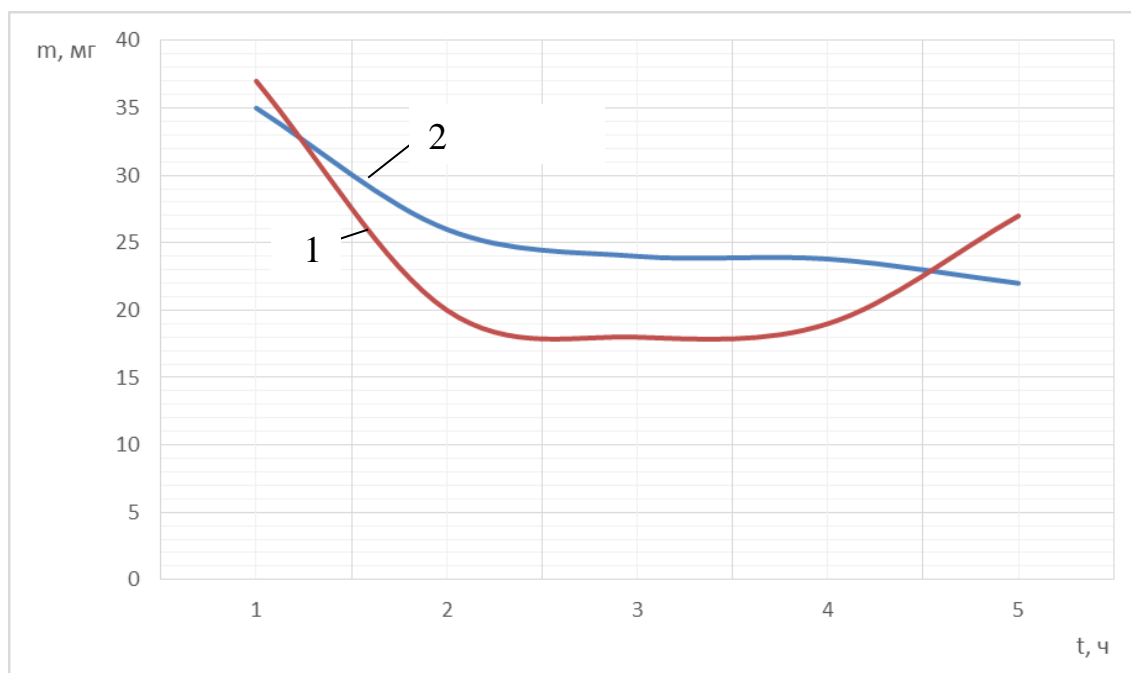
Исследования упрочненных образцов проводились в режиме сухого трения с минимальным добавлением индустриального масла 20 для исключения явления задира. Испытывались образцы размеров 10x10x10 мм из стали 45ХЗВЗМФС прошедшей цементацию по различным режимам.

В связи с тем, что структура и фазовый состав поверхностных слоев по глубине в значительной степени отличаются неоднородностью, показатели износостойкости различных слоев существенно отличаются друг от друга. Для получения достоверных результатов испытаний, в отличие от традиционно применяемых методик, отсутствовал период приработки образца и контртела. Поэтому при проведении исследований шероховатость контртела, выполненного из инструментальной быстрорежущей стали Р6М5 с твердостью HRC 64–66, поддерживалась постоянной в пределах Ra 1,25 мкм. После испытаний трех образцов рабочая поверхность контртела периодически перешлифовывалась на заданную шероховатость; для более интенсивного износа неровности выполнялись в направлении перпендикулярном движению образца.

Для определения рациональных параметров процесса поверхностного упрочнения технологической оснастки определено их влияние на сопротивление изнашиванию экспериментальных образцов. Так было установлено, что с увеличением времени борирования образцов из стали 25ХГТ от 1 часа до 2 часов сопротивление изнашиванию возрастает в 1,8–1,9 раза (рис. 1) и стабилизируется при времени обработки до 4 часов. Дальнейшее увеличение времени (до 5 часов)

приводит к возрастанию потери массы, что очевидно связано с коагуляцией фазы FeВ и увеличением размера ее игл на поверхности [4, 5].

Потеря массы боросилицированных образцов больше, чем у борированных образцов до времени обработки 4,5 часа. Однако, с дальнейшим увеличением ее продолжительности изнашивание снижается (рис. 1). Это можно объяснить как более плотным поверхностным слоем боросилицированных образцов, так и существенно меньшей микрохрупкостью [6, 7].



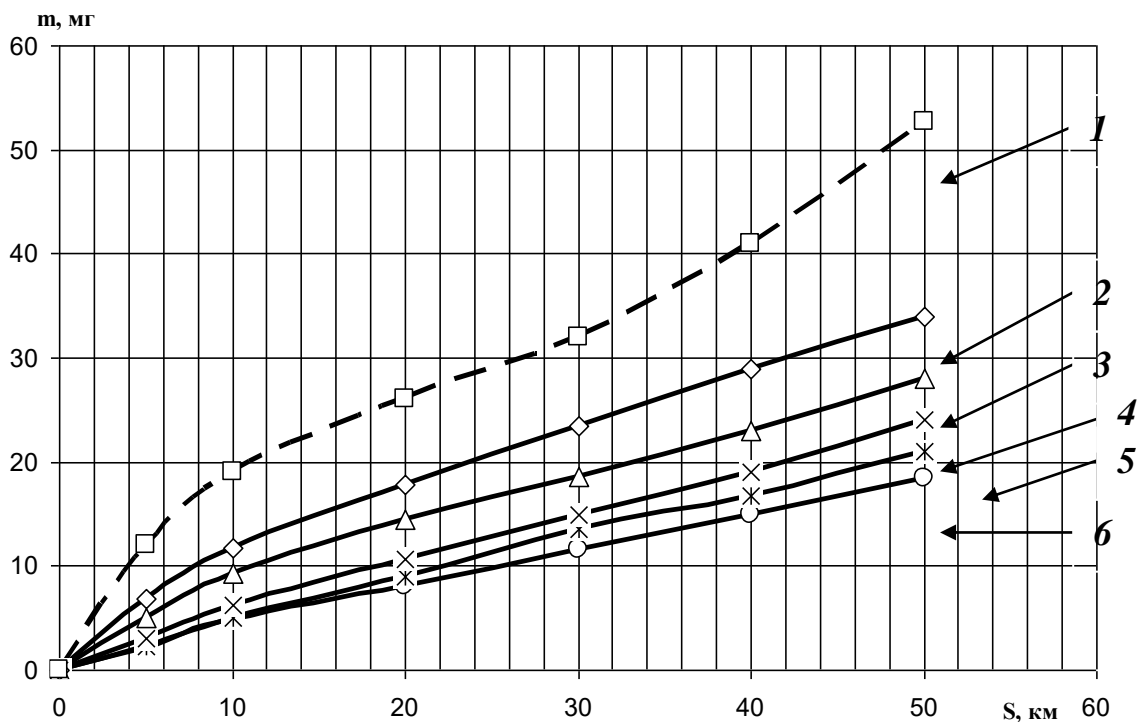
**Рисунок 1 – Влияние времени процесса борирования (1) и боросилицирования (2) на сопротивление изнашивания образцов стали 25ХГТ (путь трения 50 км)**

Для исследования влияния составов и параметров процессов упрочнения на сопротивление изнашиванию поверхностного слоя проведено исследование остаточных напряжений после поверхностного упрочнения. Установлено, что после борирования и боросилицирования возникают остаточные напряжения сжатия, возрастающие с повышением как времени, так и температуры обработки [8]. Поскольку напряжения сжатия в пределах поверхностного слоя благоприятны для повышения износостойкости, контактной выносливости и усталостной долговечности, следует предположить повышение эксплуатационной надежности упрочненной боросилицированием технологической оснастки, например штампов.

Сравнительная оценка износостойкости упрочненных методами борирования, боросилицирования и цементированных по заводской технологии поверхностных слоев полученных на образцах из различ-

ных сталей проводилась по потере массы при пути трения между измерениями 10 км. Следует отметить, что полученные кривые износа (рис.2) в целом соответствуют общепринятым представлениям и зависимостям характерным для эксплуатации деталей, работающих в условиях интенсивного нагружения [6-7].

Для кривой износа, полученной при упрочнении методом цементации (традиционная технология при изготовлении зубчатых колес трансмиссии) характерно наличие трех основных участков, соответствующих основным стадиям развития процесса изнашивания и разрушения поверхностного слоя образца. На первом этапе (до 20 км пробега), соответствующем периоду приработки, наблюдается более интенсивное изнашивание с потерей массы около 50% за весь период испытаний.



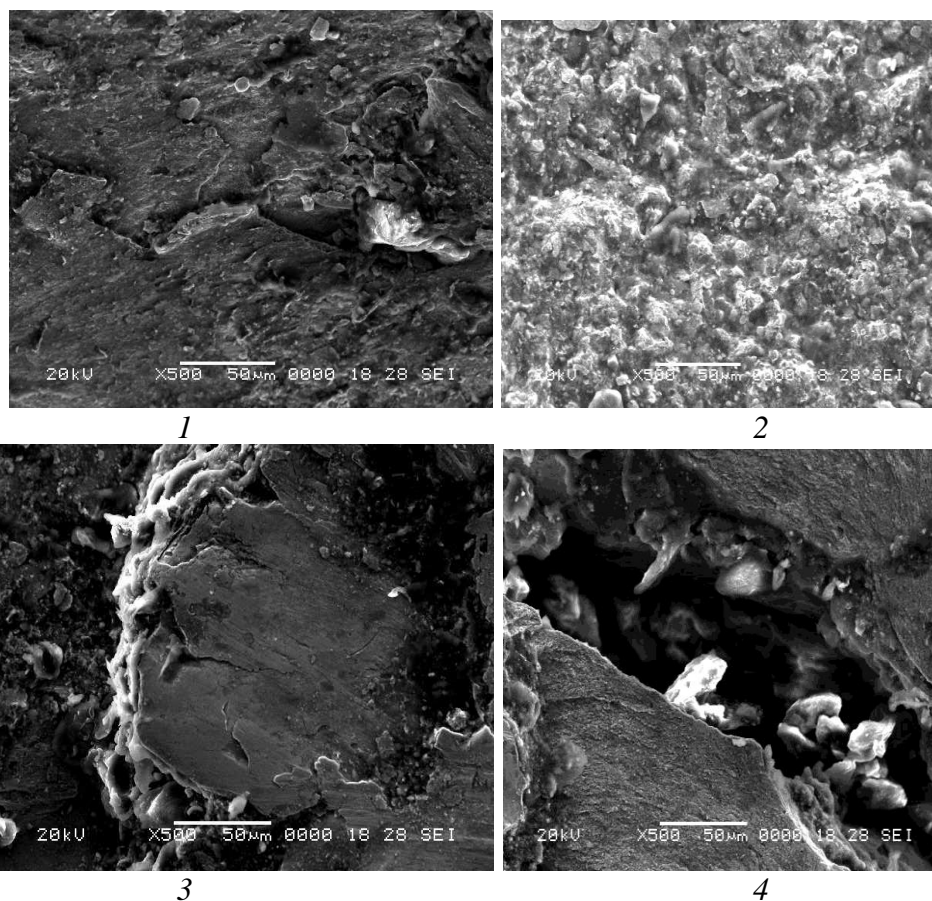
1 – цементация; 2 – боросилицирование 2 ч; 3 – 3,5 ч; 4 – 4 ч;  
5 – борирование 3 ч; 6 – 4 ч

**Рисунок 2 – Изменение зависимости величины изнашивания образцов из стали 25ХГТ от пути трения при разных составах сред и времени насыщения (нагрузка 1,155 МПа)**

В отличие от цементации, при упрочнении образцов боросилицированием интенсивность изнашивания на всем протяжении пути трения остается практически постоянной [8].

При этом на некоторых участках пути трения наблюдается ее уменьшение, что вероятно связано со стабильностью поверхностной твердости и остаточных напряжений сжатия.

Характер кривых изменения величины изнашивания исследованных образцов из конструкционных сталей 40Х и 45 аналогичен приведенным на рис. 1 результаты для стали 25ХГТ при более высокой количественной оценке интенсивности износа. Также было установлено, что с увеличением времени обработки до 10 ч изменяется и картина разрушения поверхности. Элементы смятия участков поверхности и выкрашивания отдельных ее фрагментов наблюдаются только при пути трения 50 км (рис. 3), что подтверждает результаты испытаний на сопротивление изнашиванию.



1 – путь трения 5 км; 2 – 20 км; 3 – 40 км; 4 – 50 км

**Рисунок 3 – Кинетика изнашивания образцов стали 25ХГТ, упрочненных цементацией при времени 5 ч при нагрузке 3,5 МПа**

Полученные результаты исследований позволяют определить рациональные параметры процесса поверхностного упрочнения, обеспечивающие требуемую износостойкость поверхностного упрочненного слоя деталей трансмиссий лесных мобильных машин.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Пищов М.Н. Кинетика изнашивания деталей трансмиссии лесных машин, упрочненных комплексным борированием // Инновационная деятельность предприятий по исследованию, обработке и получению современных конструкционных материалов и сплавов: материалы Междунар. научн. конф., Москва, 2009. – М., 2009. – С. 179–187.
2. Макаревич С.С. Модель напряженного состояния зубьев деталей трансмиссий трелевочных тракторов // С.С. Макаревич, М.Н. Пищов, С.Е. Бельский // Труды БГТУ. Серия II «Лесная и деревообрабатывающая промышленность». – 2009. Выпуск XVII. – С. 327–330.
3. Бельский С.Е. Влияние параметров диффузионного упрочнения на шероховатость поверхности обработанных деталей и стабильность их размеров // Труды БГТУ. Сер. II лесн. и деревообраб. пром-сти. 2002. Вып. X. – С. 204–207.
4. Довгялло И.Г., Каледин Б.А., Сурус А.И., Бельский С.Е. Влияние механических колебаний на качество диффузионного слоя стальных деталей при низкотемпературной карбонитрации // Труды БГТУ. Сер. II лесн. и деревообраб. пром-сти. 2000. Вып. II. – С. 207–213.
5. 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. № 2. – С. 124–127.
6. Ворошнин Л.Г. Борирование стали / Л.Г. Ворошнин, Л.С. Ляхович // – М.: Металлургия, 1978. – 230 с.
7. Ляхович Л.С. Многокомпонентные диффузионные покрытия / Л.С. Ляхович, Л.Г. Ворошнин, Г.Г. Панич. – Мн.: Наука и техника, 1974. – 289 с.
8. Ситкевич М.В. Влияние комплексного боридного упрочнения на структуру и свойства поверхностных слоев сталей для изготовления деталей зубчатых передач трелевочных лесных машин / М.В. Ситкевич, М.Н. Пищов, С.Е. Бельский // Литье и металлургия. Мн., 2008. – С. 140–146.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПРИЧИН ИЗНАШИВАНИЯ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ ТРАНСМИССИЙ МОБИЛЬНЫХ ЛЕСНЫХ МАШИН, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК**

Проведенные исследования установили, что условия работы лесных машин оказывают решающее влияние на эксплуатационную долговечность деталей их трансмиссий, однако для установления основных причин разрушения необходим анализ их динамической нагруженности.

Установлено, что основными причинами, вызывающими колебания колесного трелевочного трактора являются неровности волока. При этом самой нагруженной является коническая передача переднего ведущего моста (рис. 1).



**Рисунок 1 – Новое коническое колесо**

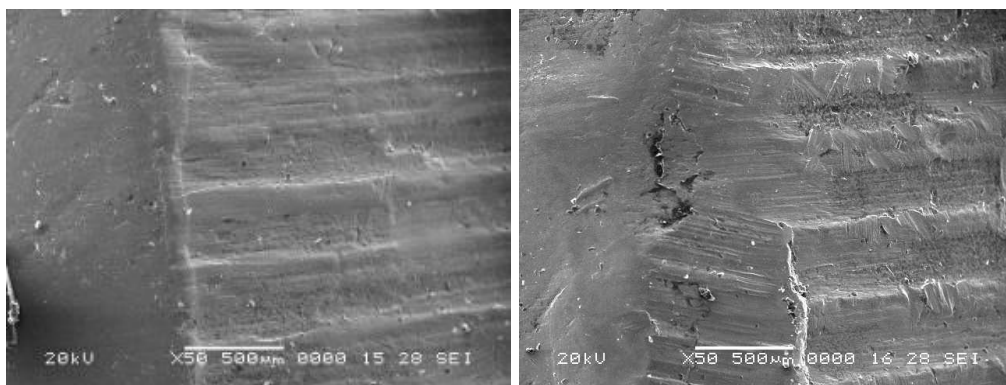


**Рисунок 2 – Конические колеса после наработки 2700 моточасов**

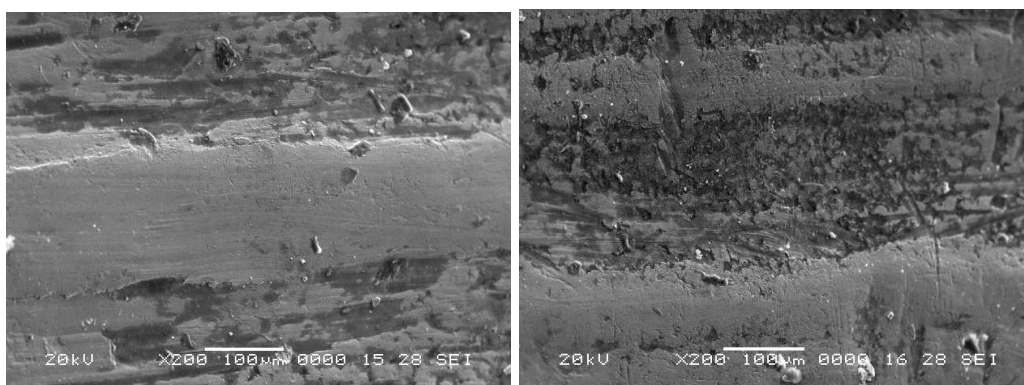
Так, при средних режимах нагружения трелевочного трактора крутящий момент на деталях трансмиссии не превышает допускаемых значений, при которых происходит повреждение контактной поверхности зубьев (образование пластических деформаций) (рис. 2-3). В случае перегрузки переднего ведущего моста трелевочного трактора максимальные моменты на передних полуосях достигают величин в 1,8–2,8 раза превышающих момент при трогании трактора. Это приводит к повышенному износу и образованию пластических деформаций на контактных поверхностях зубьев и, как следствие, выходу из строя деталей.

Увеличение надежности деталей машин и узлов, теряющих работоспособность из-за изнашивания и усталостных повреждений может быть достигнуто в результате применения эффективных упрочняющих технологий. Однако для правильного выбора способа ХТО необходимо разработать математическую модель напряженного со-

стояния зубча-тых колес, которая позволит подобрать необходимые параметры упрочненного слоя (микротвердость и толщина).



После наработки 900 моточасов



После наработки 2700 моточасов

**Рисунок 3 – Контактные поверхности зубьев при напряжениях ( $\sigma = 2000 - 2400$  МПа  $\times (50)$ )**

На основании проведенного обзора литературных источников было установлено, что после упрочнения зубчатых колес по технологиям, наиболее часто применяемым в машиностроении (цементация), высоких характеристик сопротивления усталости при изгибе и контактом нагружении достигнуть нельзя, так как возможности многих традиционных процессов химико-термической обработки (ХТО) в значительной степени исчерпаны.

На основании проведенных нами исследований было установлено, что в качестве альтернативных методов упрочнения зубчатых колес трансмиссии трелевочных тракторов могут применяться борирование и боросилицирование, которые в настоящее время широко используются в машиностроении для упрочнения технологической оснастки (штампов).

М.Н. Пищов, доц., кан. техн. наук;  
С.Е. Бельский, доц., кан. техн. наук;  
А.И. Сурус, доц., кан. техн. наук  
(БГТУ, г. Минск)

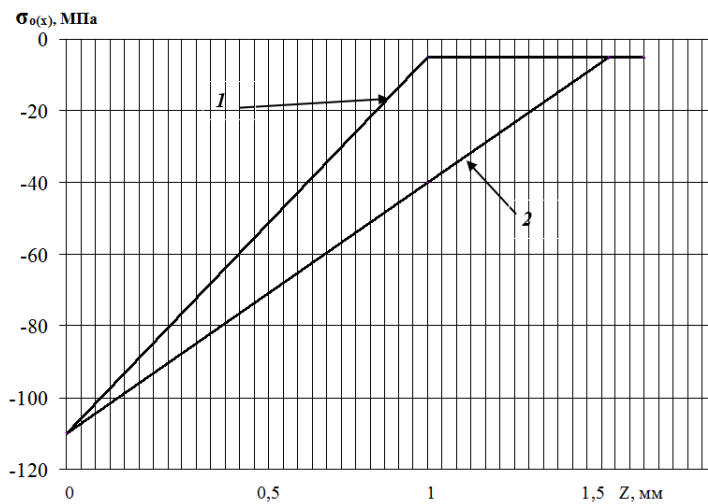
## **АНАЛИЗ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

В связи с этим одним из важнейших направлений научных исследований в данной области является разработка методов расчета зубчатых колес применительно для условий эксплуатации трелевочных тракторов, а также выбор способа их упрочнения на основании процессов, позволяющих получать более высокую микротвердость и износостойкость поверхности зубьев (борирование и боросилицирование).

На основании проведенного ранее анализа напряженного состояния зубьев деталей трансмиссии лесных машин были построены графики распределения остаточных напряжений по глубине слоя, упрочненного различными методами ХТО и сердцевины зуба, изготовленной из стали 25 ХГТ, как для цементированных зубчатых колес конической передачи переднего ведущего моста трелевочного трактора, так и для упрочненных другими методами ХТО (азотирование, борирование, боросилицирование) (рис. 1–2). Таким образом, расчетами установлено, что при всех видах ХТО в упрочненном слое возникают сжимающие остаточные напряжения (рис. 2). Максимальных значений остаточные напряжения сжатия достигают на поверхности зубьев при проведении борирования и боросилицирования (320–545 МПа) (рис. 2 *в, г*), при цементации они составляют 95–110 МПа. В связи с этим было установлено, что применение для упрочнения зубчатых колес таких методов ХТО как борирование и боросилицирование позволит наряду с увеличением поверхностной твердости зубьев уменьшить контактные напряжения в их поверхностных слоях за счет образования остаточных напряжений сжатия.

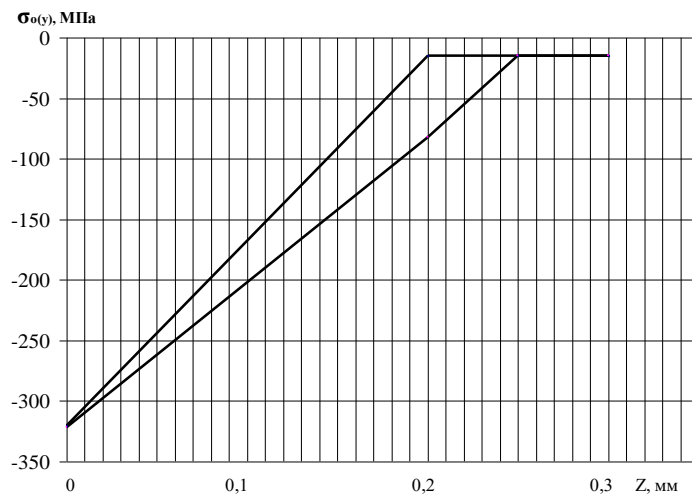
Из эюр распределения остаточных напряжений по глубине зуба цементированных колес видно, что на границе цементированного слоя и сердцевины стали 25ХГТ уровень остаточных напряжений сжатия одинаковый и находится в пределах от 2,94 до 10,57 МПа.

Суммарные напряжения получим складывая контактные напряжения, определяемые выражениями с остаточными напряжениями.



1 – толщина слоя  $h=1$  мм; 2 –  $h=1,5$  мм

**а**

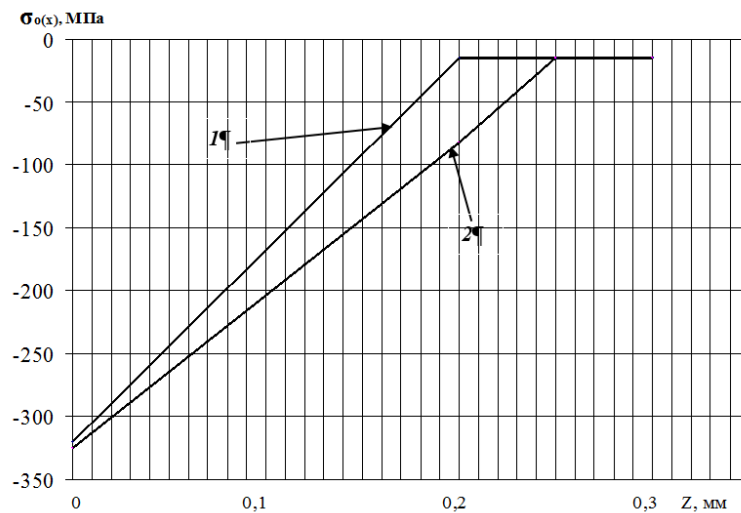


1 – толщина слоя  $h=0,2$  мм; 2 –  $h=0,25$  мм

**б**

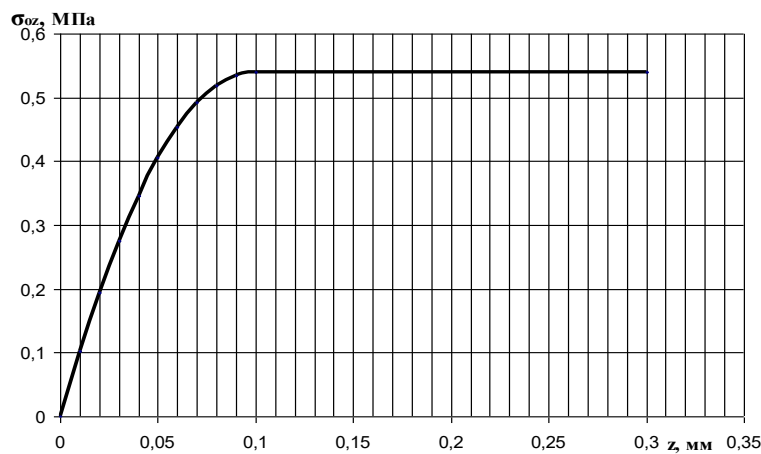
**Рисунок 1 – Изменение остаточных напряжений сжатия  $\sigma_{0(x)}$  по глубине цементированного слоя (а) и  $\sigma_{0(y)}$  по глубине упрочненного боросилицированием слоя (б)**

На рис. 3 представлен график изменения эквивалентных суммарных напряжений, определенных по четвертой (энергетической) теории прочности при упрочнении деталей трансмиссий борированием с микротвердостью поверхности (18000–19000 МПа), боросилицированием (11000–12000 МПа), азотированием (8000–8500 МПа), цементацией (5500–6000 МПа).



1 – толщина слоя  $h=0,2$  мм; 2 –  $h=0,25$  мм

а



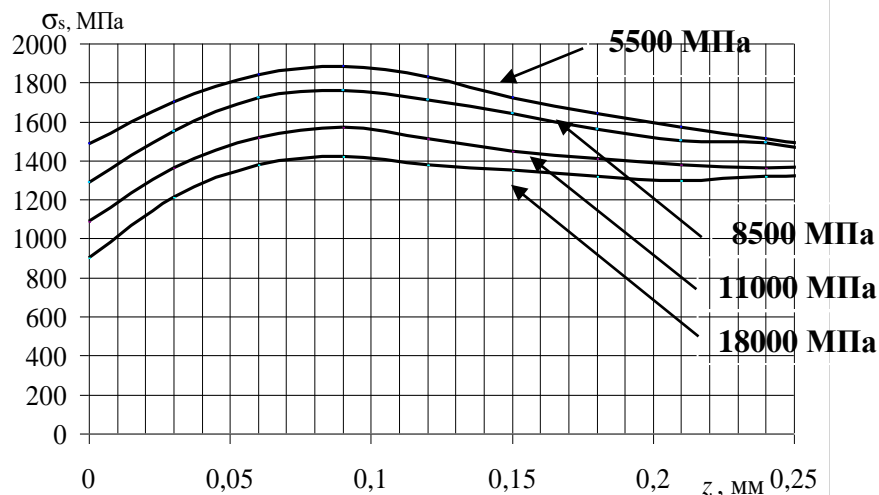
толщина слоя  $h=0,1$  мм

б

**Рисунок 2 – Изменение остаточных напряжений сжатия  $\sigma_{0(x)}$  (а) и  $\sigma_{0z}$  (б) по глубине упрочненного боросилицированием слоя**

Показано, что с увеличением твердости зубьев, достигаемой применяемыми методами ХТО, уровень суммарных напряжений в поверхностном слое уменьшается. Так как наибольших значений остаточные напряжения достигают при борировании и боросилицировании, то в поверхностных слоях зубьев деталей при данных способах упрочнения наблюдается снижение уровней эквивалентных суммарных напряжений на 35–40 %, что создает предпосылки повышения эксплуатационного ресурса для деталей трансмиссий, работающих в условиях высоких динамических нагрузок. При расчетах цементированных конических зубчатых колес трелевочного трактора остаточные напряжения сжатия имеют невысокие значения, в результате чего значительного уменьшения суммарных напряжений по глубине упроч-

ненного слоя при данном способе ХТО не установлено. На основании этого расчеты на прочность цементированных зубчатых колес можно проводить без учета остаточных напряжений. Установленные на основе расчетов остаточных напряжений, возникающих после проведения ХТО зависимости суммарных напряжений в поверхностных слоях позволяют прогнозировать долговечность конических передач в период их эксплуатации.



**Рисунок 3 – Расчетные зависимости суммарных напряжений  $\sigma_s$  по глубине поверхностного слоя при различной микротвердости с учетом остаточных напряжений сжатия**

На основании полученных результатов по остаточным напряжениям сжатия, а также их влиянию на эквивалентные контактные напряжения в конических зубчатых передачах при эксплуатации трелевочного трактора ТТР-401 было установлено, что с учетом специфики работы данных деталей наиболее рациональным является упрочнение их методом боросилицирования, позволяющим получать достаточно высокий уровень микротвердости контактной поверхности (до 11000–12000 МПа) наряду с низкой хрупкостью упрочненного при боросилицировании слоя.

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; Д.Д. Гордиенко, асп.  
(БГТУ, г. Минск)

## **ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ И СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННЫХ СЛОЕВ СТАЛИ 18ХГР**

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 BOHLERM303 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 18ХГР, были получены (режимы: закалка в масле с температуры 860°C и отпуск 200°C, 1 час; цементация (920°C, 6 часов), закалка в масле с температуры 860°C и отпуск 200°C, 1 час;

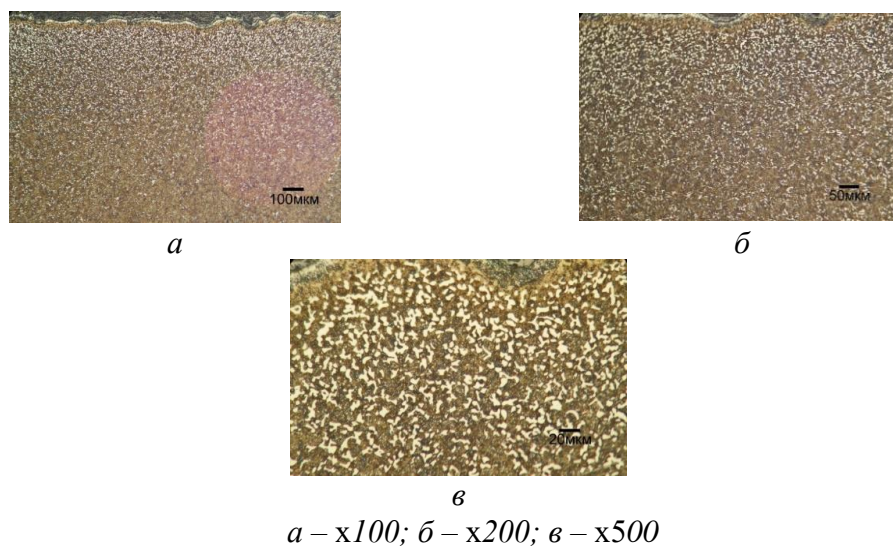


цементация (920°C, 12 часов), закалка в масле с температуры 860°C и отпуск 200°C, 1 час; нитроцементация (860°C, 6 часов), закалка в масле с температуры 860°C и отпуск 200°C, 1 час; нитроцементация (860°C, 6 часов), закалка в масле с температуры 860°C и отпуск 200°C, 1 час) и подготовлены для исследований зависимостей «структура-свойства» образцы этой стали. Определено, что основа состоит из низкоуглеродистого мартенсита, а морфология модифицированных поверхностных слоев изучаемых сплавов является структурой сложного фазового состава (карбиды, нитриды, карбонитриды, твердые растворы).

На рисунке для примера показана микроструктура в СМ образца 58 стали 18ХГР после термохимической обработки.

Практическая значимость разработки заключается в получении технической информации, позволяющей управлять свойствами деталей машин и их наработкой на отказ по принципам заданной надежности или конъюнктурным предпочтениям маркетингового ограничения ресурса.

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,  $\alpha$ - и  $\gamma$ -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* –  $\times 100$ ; *б* –  $\times 200$ ; *в* –  $\times 500$

**Рисунок 1 – Микроструктура в СМ образца 58 (цементация (920°C, 6 часов), закалка в масле с температуры 860°C и отпуск 200°C, 1 час)**

Полученные данные использованы для определения влияния соотношения свойств и структуры поверхностно-модифицированных слоев стали 18ХГР 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.

УДК 620.178.3

Д.В. Куис, доц., канд. техн. наук;  
Н.А. Свидунович, проф., д-р техн. наук;  
А.С. Раковец, ассист.; О.Ю. Цынкович, инж.,  
Д.Д. Гордиенко, асп. (БГТУ, г. Минск)

### **ВЛИЯНИЕ ИСХОДНОГО СОСТАВА ЧУГУНА НА ЭФФЕКТ МОДИФИЦИРОВАНИЯ**

При кристаллизации структура чугуна формируется последовательно в процессе выделения дендритов аустенита, переходящего затем в эвтектический распад жидкости и соответствующим формообразованием эвтектических колоний. Следовательно, основной этап структурообразования, определяющий тип чугуна, характер графита, величину эвтектического зерна и т.д. протекает непосредственно после возникновения каркаса дендритной структуры предэвтектического аустенита. При этом следует иметь в виду, что количество, размеры, разориентированность и т.д. кристаллов аустенита зависят от химического состава сплава, условий охлаждения и других факторов, поэтому формирование оптимального по структуре дендритного каркаса, в ветвях которого завершается основной этап структурообразования, будет предопределять свойства и качество чугунов.

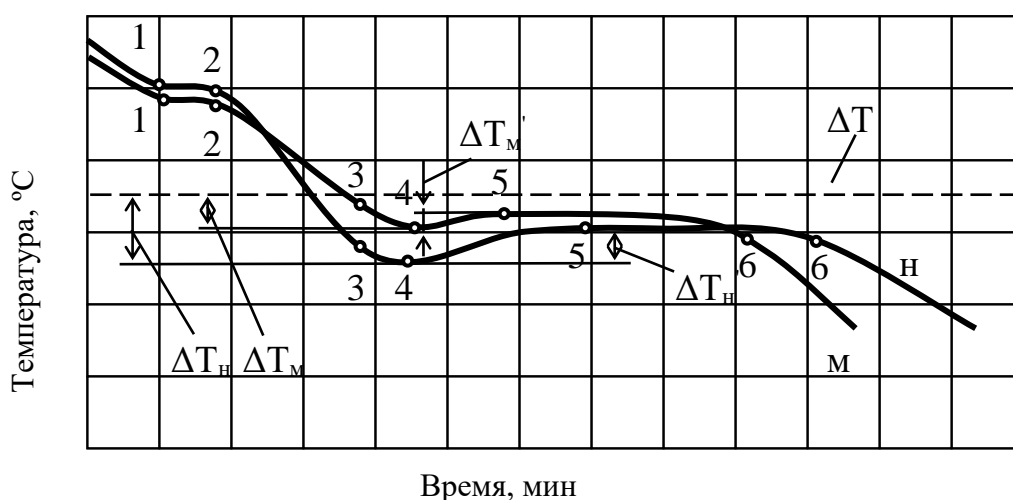
Одним из важнейших факторов, влияющих на результат модифицирования чугуна, является склонность исходного сплава к переохлаждению. Из практики известно, что мало переохлаждающийся при эвтектическом превращении исходный чугун плохо модифицируется.

Влияние модифицирования на процесс кристаллизации чугуна проявляется прежде всего в изменении переохлаждения сплава, которое отмечается кривыми охлаждения. Изучение их показало, что состав исходного сплава, количество вводимых элементов и модификаторов оказывает большее или меньшее влияние на процесс кристаллизации чугуна.

Исследование влияния склонности исходного сплава к переохлаждению и модифицирования на процесс кристаллизации чугуна проводили на базовом чугуне, следующего состава (%): С – 3,2-3,4;

Si – 1,8-2,0; Mn – 0,6-0,7; P – 0,09-0,1; S – 0,03-0,04. Были получены кривые охлаждения немодифицированных и модифицированных чугунов, представленные на рис. 1. В качестве модифицирующей добавки применяли SB-5, который вводился в количестве до 0,5%.

Рассматривая кривые охлаждения модифицированного и немодифицированного чугунов (рис. 1) видно, что в точке 1 из расплава чугуна начинает выделяться первичный аустенит. Для образования аустенита требуется образование зародышей, и часто наблюдается явление переохлаждения. Далее вследствие того, что при образовании зародышей высвобождается теплота кристаллизации температура системы несколько повышается и удерживается на одном уровне до точки 2. Далее при постоянном выделении первичного аустенита расплав охлаждается до точки 3, где начинают действовать зародыши графита и начинают расти зерна эвтектики. Так как они возникают и растут медленно, то температура понижается до точки 4, чтобы затем вследствие высвобождающейся теплоты кристаллизации медленно подняться до точки 5 и поддерживаться на одном уровне. В конце кристаллизации поток теплоты, отдаваемый наружу, снова больше, чем высвобождающаяся теплота кристаллизации и температура понижается до точки 6, в которой кристаллизация заканчивается.



**Рисунок 1 – Схема термических кривых охлаждения немодифицированного (н) и модифицированного (м) чугуна:  $\Delta T_n$  и  $\Delta T_m$  – величина максимального переохлаждения;  $\Delta T'_n$  и  $\Delta T'_m$  – величина рекалесценции;  $T_p$  – температура стабильного эвтектического равновесия**

Анализ термических кривых охлаждения немодифицированного и модифицированного чугуна дает основание отметить весьма существенные отклонения параметров первичной кристаллизации:

– кривая модифицированного сплава располагается выше, т. е. его эвтектическая кристаллизация происходит с меньшим переохлаждением;

- после модифицирования явление рекалесценции проявляется слабо и часто на обычных кривых охлаждения не просматривается, а в исходных без модифицирования сплавах начало изоэвтектического распада жидкости протекает в условиях более глубокого первоначального переохлаждения расплава, ввиду проявления эффекта рекалесценции;
- модифицирование повышает температуру эвтектической оставки на кривых охлаждения и уменьшает величину истинного переохлаждения;
- модифицирование сокращает длительность изоэвтектического превращения;
- модифицирование изменяет макроморфологические характеристики дендритов предэвтектического аустенита и дендритной структуры эвтектики.

Анализ кривых охлаждения опытных сплавов свидетельствует о том, что выделение первичных кристаллов аустенита в модифицированном чугуна начинается позднее, чем в немодифицированном. Объяснить это можно тем, что добавка кремния изменяет степень эвтектичности чугуна, приближая его к эвтектическому составу. Также возможно, что это связано с зарождением дендритов аустенита, поскольку наблюдается уже при добавке всего 0,2% ферросилиция. Следует предположить также, что добавка ферросилиция не оказывает затравочного действия при кристаллизации первичного аустенита. Затравочное влияние ферросилиция проявляется только при эвтектической кристаллизации, в результате чего уменьшается переохлаждение. При этом эвтектическая кристаллизация в модифицированном сплаве начинается раньше, чем в немодифицированном.

Анализ кривых охлаждения показывает также, что в модифицированном сплаве продолжительность выделения первичных кристаллов аустенита уменьшается по сравнению с кристаллизацией обычного сплава. Это имеет существенное значение в образовании структуры модифицированного чугуна. Если скорость роста дендритов аустенита в обоих случаях одинакова, то в модифицированном сплаве размеры дендритов аустенита будут меньшими, чем в немодифицированном.

При модифицировании чугуна ферросилицием степень переохлаждения чугуна уменьшается. Это может происходить по двум причинам. Во-первых, добавка модификатора уменьшает переохлаждение при кристаллизации чугуна, и, во-вторых, при значительных добавках ферросилиция кремний может действовать не только как модификатор, но и как легирующий элемент. В последнем случае повышается равновесная температура кристаллизации эвтектики и увеличивается разность температур эвтектической кристаллизации с добавками и без добавок ферросилиция.

Д.В. Куис, доц., канд. техн. наук;  
Н.А. Свидуневич, проф., д-р техн. наук;  
А.С. Раковец, ассист.; О.Ю. Цынкович, инж.;  
Д.Д. Гордиенко, асп. (БГТУ, г. Минск)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ СЕРОГО ЧУГУНА ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ ОТЛИВОК С РАЗЛИЧНОЙ СКОРОСТЬЮ**

Степень эффективности модифицирования на число эвтектических зерен в значительной мере определяется скоростью охлаждения отливок, оказывающей действие, аналогичное модифицированию, а именно, чем больше скорость охлаждения, тем мельче эвтектическое зерно. Об эффективности воздействия скорости охлаждения свидетельствует крутой подъем кривых изменения размеров эвтектических зерен. В это же время при увеличении углеродного эквивалента или эвтектичности чугуна эффект измельчения зерна уменьшается независимо от скорости охлаждения.

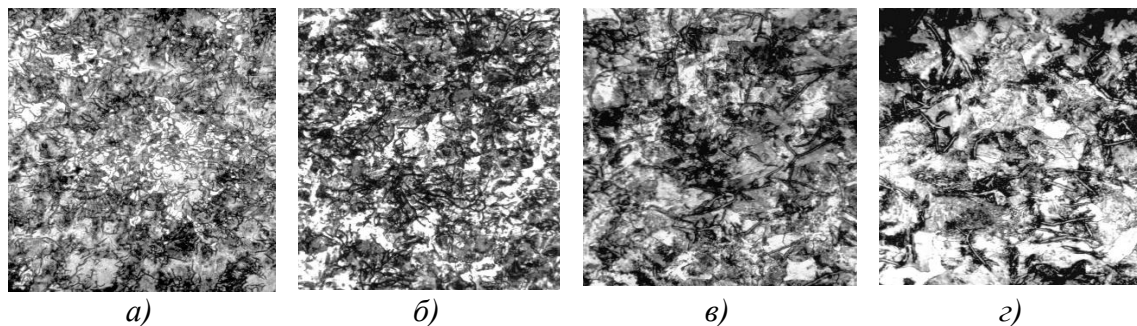
Таким образом модифицирование и скорость охлаждения вносят значительные изменения в процессы первичной кристаллизации чугуна. Об этом свидетельствует кривая охлаждения опытных отливок, построенных по данным термического анализа. Учитывая низкое содержание кремния в исследуемых сплавах, принимаем такой уровень и интервал температур кристаллизации эвтектики по стабильной и метастабильной системе.

Благодаря внесению в расплав большого количества готовых зародышей графита модифицирование сильно уменьшает переохлаждение сплава. Как видно из расположения температур  $t_{ст-тмет}$  и температур кристаллизации в сплавах, структура серого чугуна в немодифицированном сплаве образуется лишь в отливках диаметром 80 и 40 мм., которым соответствуют кривые охлаждения V1 и V2. Сравнительно небольшое увеличение скорости охлаждения такого сплава ведет к тому, что эвтектическая кристаллизация в нем идет по метастабильной системе.

При малых скоростях охлаждения ( $\varnothing 40$  мм и  $\varnothing 80$  мм) с увеличением углеродного эквивалента  $C_s$ , происходит огрубление графитных включений, увеличение их длины, увеличивается количество феррита.

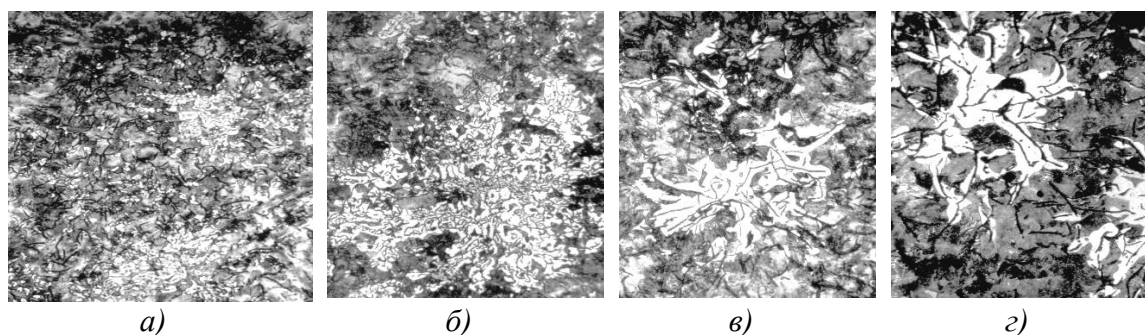
Как известно, непосредственно после расплавления или недостаточно продолжительной выдержке при высоких температурах в жидком чугуне содержатся остатки бывших включений графита. Они вместе с окислами и другими включениями «замутняют» расплав чу-

гуна и играют весьма существенную роль в процессе его кристаллизации. Наличие в расплаве активных зародышей графита обуславливает ход последующей кристаллизации отливки по стабильной или метастабильной системе, определяет число эвтектических зерен и других особенностей структуры чугуна.



*a* – толщина стенки отливки 10 мм (x150); *б* – толщина стенки отливки 20 мм (x150);  
*в* – толщина стенки отливки 40 мм (x150); *з* – толщина стенки отливки 80 мм (x150)

**Рисунок 1 – Влияние скорости охлаждения на структуру выплавляемого чугуна ( $C_3=3,57$ )**



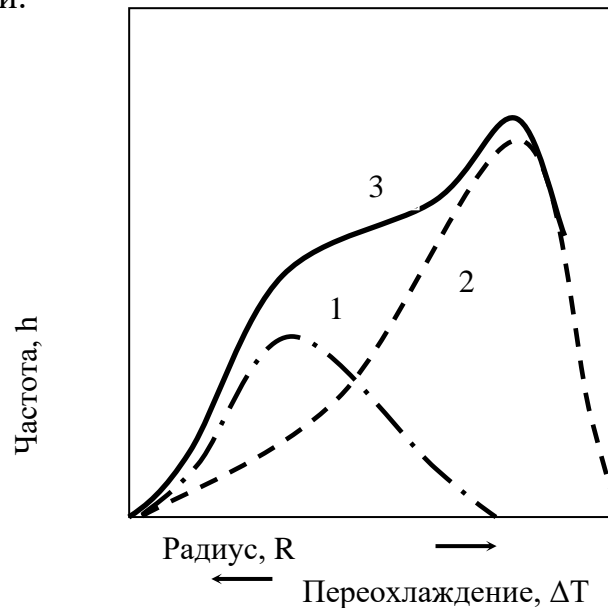
*a* – толщина стенки отливки 10 мм (x150); *б* – толщина стенки отливки 20 мм (x150);  
*в* – толщина стенки отливки 40 мм (x150); *з* – толщина стенки отливки 80 мм (x150)

**Рисунок 2 – Влияние скорости охлаждения на структуру выплавляемого чугуна ( $C_3=4,19$ )**

Для получения наибольшего модифицирующего эффекта в чугуне необходимо перегревом уничтожить крупные зародыши графита, которые вызывают эвтектическую кристаллизацию при малом переохладении с образованием небольшого числа эвтектических зерен. Получение мелкого эвтектического зерна в отливке может быть обеспечено лишь в результате кристаллизации сплава при таком переохладении, когда используется большое число мелких зародышей графита.

Если расплав, богатый включениями, был недостаточно перегрет через модифицирование, в нем может быть достаточно много крупных зародышей графита. Они будут расти при очень малых степенях переохладения сплава, а мелкие потенциальные зародыши,

внесенные в расплав в результате модифицирования, не могут быть эффективными.



**Рисунок 3 – Частотные кривые распределения зародышей графита  $n$  в немодифицированном 1 и модифицированном 2 чугуна в зависимости от степени переохлаждения сплава  $\Delta T$ , °C**

В подобном случае для получения высокого эффекта модифицирования необходимо удалить из расплава готовые крупные зародыши графита или обеспечить переохлаждение до температур, при которых возникает большое число эвтектических зерен. Это может быть достигнуто, в частности, за счет увеличения скорости охлаждения и др. В любом случае, обеспечение надлежащего переохлаждения в процессе эвтектической кристаллизации является одним из важнейших факторов получения оптимального эффекта модифицирования.

Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют о том, что эффект модифицирования в значительной мере зависит от скорости охлаждения и эвтектичности чугунов.

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Борозна А.А., Крылов В.Н.</i> Трансформация стратегии лесопользования и лесоуправления с учетом современных технологий лесопереработки.....	3
<b>Подсекция «ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»</b>	
<i>Бавбель Е.И., Науменко А.И., Теплова К.Ю.</i> Современные подходы к проектированию лесохозяйственных дорог .....	7
<i>Науменко А.И., Бавбель Е.И., Бладыко Я.Р.</i> Использование комплексного вяжущего для укрепления грунтов земляного полотна лесохозяйственных дорог .....	9
<i>Лой В.Н., Германович А.О.</i> Условия и предпосылки создания высшего лесотехнического образования в Беларуси .....	12
<i>Лой В.Н., Германович А.О.</i> Первое десятилетие строительства высшего лесотехнического образования в Минске .....	15
<i>Борозна А.А., Якушева Т.В.</i> Вопросы внедрения федеральной государственной информационной системы лесного комплекса (ФГИС ЛК) .....	17
<i>Беляков А.А., Арико С.Е., Асмоловский М.К.</i> Методика испытаний малогабаритного лесохозяйственного трактора с электросиловым приводом в питомнических хозяйствах .....	20
<i>Лужковский В.А.</i> Использование местных топливно-энергетических ресурсов на ОАО «Старобинский ТБЗ».....	23
<i>Легкий В.В.</i> Молотковые дробилки для различного древесного сырья .....	27
<i>Насковец М.Т., Штепа В.Н., Мохов С.П., Пищов С.Н.</i> Экологические аспекты транспортного освоения лесов .....	30
<i>Богдан Е.С., Германович А.О.</i> Анализ компоновочных решений прицепных рубильных машин .....	33
<i>Мисуню Ю.И., Протас П.А.</i> Совершенствование порядка отнесения участков лесного фонда к категории труднодоступных .....	37
<i>Голякевич С.А., Герман А.А., Перфильев П.Н., Карсюк Р.А.</i> Корреляция технических характеристик технологического оборудования многооперационных лесозаготовительных машин .....	41
<i>Голякевич С.А., Гороновский А.Р., Ребко С.В., Буднев К.В.</i> Структура эксплуатационных условий многооперационных лесозаготовительных машин в Республике Беларусь .....	44
<i>Голякевич С.А.</i> Формирование энергетических портретов рабочих зон манипуляторов многооперационных лесных машин .....	46
<i>Короленя Р.О., Аниськович Е.И., Толстая Н.А.</i> Структурные свойства циклов перевозок лесоматериалов .....	49
<i>Короленя Р.О., Аниськович Е.И., Вергейчик Д.А.</i> Оценка эффективности процесса перевозки лесоматериалов .....	52
<i>Короленя Р.О., Космачева Ю.А., Баранова Я.М., Кузник В.С.</i> Сезонность при перевозках лесоматериалов .....	55
<i>Короленя Р.О., Манько А.С., Фещенко М.В.</i> Трудоемкость перевозок лесоматериалов сортиментовозами.....	58
<i>Евкович И.А., Протас П.А.</i> Показатели оценки затрат на ликвидацию последствий стихийных бедствий в лесном фонде .....	61



<i>Протас П.А., Беляков А.А., Евкович И.А.</i> Перспективы применения программируемых квадрокоптеров для мониторинга поврежденных лесонасаждений .....	64
<i>Насковец М.Т., Толкач И.В., Жлобич П.Н., Фенчук А.В.</i> Формирование банка данных подъездных лесотранспортных путей с учетом составления программного обеспечения «ГИСлесхоз» .....	68
<i>Протас П.А., Ледницкий А.В., Мисуно Ю.И.</i> Механизмы реализации древесного топлива на внутреннем рынке Беларуси .....	72
<i>Леонов Е.А., Арико С.Е., Игнатенко В.В., Исаченков В.С., Клоков Д.В.</i> Совершенствование технологии заготовки сортиментов и топливной щепы.....	75
<i>Мисуно Ю.И.</i> Экономические факторы совместимости лесных машин с почвогрунтами при разработке труднодоступных участков лесного фонда .....	78
<i>Мисуно Ю.И.</i> Определение допустимых значений критериев совместимости лесных машин с почвогрунтами в зависимости от целей лесопользования.....	80
<i>Алишериев Е.Т., Досалиев К.С., Наукенова А.С.</i> Радиационно-химическая ситуация на территории Туркестанской области.....	84
<i>Алишериев Е.Т., Досалиев К.С., Наукенова А.С.</i> Организация мероприятий гражданской защиты в Туркестанской области в случае разрушительного землетрясения .....	87
<i>Бавбель Е.И., Науменко А.И., Яльчик К.А.</i> Обоснование параметров и площади функциональных зон склада .....	90
<i>Бавбель Е.И., Науменко А.И., Теплова К.Ю.</i> Трассирование лесохозяйственных дорог в программе ТИМ КРЕДО ПРОЕКТИРОВАНИЕ.....	93
<i>Бавбель Е.И., Науменко А.И., Воронова К.В.</i> Методы создания цифровой модели рельефа в программе ТИМ КРЕДО ПРОЕКТИРОВАНИЕ .....	96
<i>Насковец М.Т., Красковский С.В., Мохов С.П.</i> Составление ТКП «Подъездные пути к магистралям лесохозяйственных дорог. Конструкции и технологии устройства» .....	99
<i>Хорошун Н.В., Насковец М.Т.</i> Усовершенствованная конструкция 5-тисекционной навесной трамбовочной вибрационной плиты с шириной рабочей зоны 4,0 м .....	103
<i>Насковец М.Т., Лой В.Н., Найденок И.Л.</i> Назначение и классификация контейнеров для перевозки лесных грузов .....	107
<i>Кононович Д.А., Арико С.Е., Мохов С.П.</i> Влияние способов погрузки и разгрузки лесосечных отходов на перераспределение опорных реакций под колесами машины для их транспортировки .....	110
<i>Феклистов И.И., Борозна А.А.</i> Качество образования – основа укрепления научно-технологического суверенитета .....	114
<i>Посыпанов С.В., Кудрявцев Г.В., Балякин В.А.</i> Технологии погрузки лесоматериалов с дефицитом плавучести в баржевые модульные составы .....	117
<i>Должиков И.С., Куницкая О.А., Швецов А.С.</i> Актуальная типизация природно-производственных условий лесозаготовительного и лесохозяйственного производства .....	121
<i>Григорьев И.В., Должиков И.С., Рего Г.Э.</i> Перспективные направления разработок беспилотных транспортных средств малого класса тяги для лесного хозяйства .....	125

<i>Беляев Н.Л., Галкина Е.А., Куницкая О.А.</i> Перспективные направления дальнейших исследований в области повышения точности цифрового учета круглых лесоматериалов .....	129
<i>Дьяченко В.М., Марков В.А., Гурьев А.Ю.</i> Средооадающие гусеничные движители лесных машин для условий Крайнего Севера .....	133
<i>Трушевский П.В., Григорьев И.В., Войнаш С.А.</i> Энергетическое использование порубочных остатков на непостоянных лесных складах .....	137

**Подсекция «ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ  
ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»**

<i>Соколова Е.Г.</i> Особенности склеивания гнато-клееных заготовок .....	142
<i>Алехно Т.В., Дубоделова Е.В., Генюш И.В.</i> Установление порогового поглощения защитных водорастворимых средств .....	145
<i>Дубовская Л.Ю., Игнатович Л.В.</i> Инновационные направления в тенденциях развития дизайна мебели: нанотехнологии .....	148
<i>Громов В.В., Игнатович Л.В.</i> Вопросы совершенствования автоматизированной технологической подготовки раскроя плитных материалов концевыми фрезами .....	151
<i>Лосик Е.А., Игнатович Л.В.</i> Инновационные технологии в производстве напольных покрытий .....	155
<i>Леонович О.К., Божко Д.В.</i> Исследование теплотехнических характеристик в ограждающих конструкциях сдвоенного типа для деревянного домостроения .....	159
<i>Голубев В.П., Дегтерев Д.В., Василевич С.В., Шевчик Н.Е., Асадчий А.Н.</i> Получение древесного угля путем пиролиза древесины твердотопливных пород в присутствии сверхвысокочастотного электромагнитного поля .....	162
<i>Грошев И.М., Дойлин Ю.В., Тарутько К.И., Шеремет Е.А., Шевцова М.В., Дубоделова Е.В.</i> Оценка качества напольных ламинированных покрытий, реализуемых на рынке Республики Беларусь .....	168
<i>Ручкина Е.В., Прохорчик С.А., Бабей Д.С., Шашок М.Ю.</i> О стойкости маслососковых покрытий к пятнообразованию .....	172
<i>Расолько В.Э., Дубоделова Е.В.</i> Механизмы управления производством мебельной продукции .....	175
<i>Леонович О.К., Коняхина О.В.</i> Адгезионное взаимодействие как ключевой фактор при выборе антипирена в производстве фанеры .....	178
<i>Бабич Д.П., Веретиков И.И.</i> Определения скорости подачи брусьев при их распиловке на многопильных круглопильных станках .....	182
<i>Раповец В.В., Лукаш В.Т., Мазовка М.А.</i> Современные эффективные методы получения износостойких покрытий на поверхностях ножей фрезерного дереворежущего инструмента .....	185
<i>Раповец В.В., Лукаш В.Т.</i> Производственные испытания на износостойкость фрезерного инструмента с DLC-покрытиями при вибрационном резании древесных материалов .....	190
<i>Талых А.А.</i> Проектирование и изготовление из древесины струнного народного музыкального инструмента – йохуикко .....	193
<i>Трофимов С.П., Найчук А.Я.</i> Техническое нормирование деревообработки в Республике Беларусь .....	195
<i>Батырева И.М., Иванов А.М., Бикетова С.В., Трифонов Н.И., Русаков Д.С.</i> Анализ причин при установке четырехшарнирных петель, приводящих к браку .....	199

<i>Иванов А.М., Бикетова С.В., Трифонов Н.И., Русаков Д.С.</i> Особенности использования фурнитуры для сборки корпусной мебели .....	202
<i>Борозна А.А., Сергеевичев А.В., Костюков И.И., Дедерер М.А.</i> Анализ влияния шероховатости поверхности на прочность армирующих элементов изделий из древесно-слоистых пластиков .....	206
<i>Борозна А.А., Сергеевичев А.В., Соколова Е.Г., Дедерер М.А.</i> Анализ влияния контактных микроразрушений и ворсистости обработанной поверхности древесно-слоистых пластиков на прочность армирующих элементов .....	210
<i>Сумароков А.М., Карпов Е.П., Трофимов С.П.</i> Техника, технология и кадры лесопромышленного комплекса .....	213
<i>Тан Чаобинь, Кулинич П.С., Скридлевская А.Д., Евсеева О.П.</i> Особенности проектирования дизайн среды полифункционального арт-пространства для детей .....	217
<i>Печень В.С., Вишневская Н.Л.</i> Методы проектирования дизайна средового пространства выставочной зоны производственной продукции .....	221
<i>Алифировец Г.В., Дудченко Е.О.</i> Конструкция фрезерного инструмента для профилирующих узлов фрезерно-брусующих машин .....	226
<i>Войтеховский Б.В., Гриневич С.А., Аникеенко А.Ф., Лукаш В.Т.</i> Износ режущего инструмента и критерии его оценки при фрезеровании кромок ламинированных древесностружечных плит .....	228
<i>Рудак О.Г.</i> Исследование кинетики начального прогрева древесины в ненасыщенной среде .....	232
<i>Рудак О.Г.</i> Закономерности изменения теплофизических свойств древесины сосны в период прогрева в ненасыщенной среде .....	236
<i>Рудак О.Г.</i> Закономерности изменения величины энергетических затрат на операцию начального прогрева древесины сосны в ненасыщенной среде .....	240
<i>Киселев С.В., Лукаш В.Т., Азовская Н.О.</i> Перспективы и проблемы использования VR-технологий в обеспечении безопасности производственных процессов .....	243
<i>Мидукова М.А.</i> Влияние ферментативной обработки на удаление тонера от вторичных волокон .....	246

#### **Подсекция «ОБЩЕТЕХНИЧЕСКАЯ»**

<i>Григорьев И.Е., Свидуневич Н.А., Сенють В.Т.</i> Исследование влияния модифицирующей добавки детонационных наноалмазов на свойства композита на основе вольфрама .....	250
<i>Левкевич В.Е., Касперов Г.И., Чернышова А.Г.</i> Техногенные аварии на водных искусственных объектах .....	254
<i>Левкевич В.Е., Касперов Г.И., Чернышова А.Г.</i> Методические подходы оценки потенциальной опасности водохранилищ Республики Беларусь .....	258
<i>Гарабажу А.А., Исаченков В.С., Клоков Д.В., Южно Е.И.</i> Аэродинамический расчет процесса перемешивания сухих сыпучих материалов в роторно-центробежном смесителе при помощи программной среды COSMOS Flo Works .....	262
<i>Калиниченко А.С., Лугин В.Г., Карнович Т.Л.</i> Особенности формирования модифицированного слоя на титане ВТ1 и сплаве ВТ6 при различной температуре электролита .....	264
<i>Лось А.М., Блохин А.В., Сурус А.И., Пищов М.Н., Игнатович И.С.</i> Исследование запаса прочности элементов рамной конструкции прицепного транспортного устройства .....	268

<i>Блохин А.В., Лось А.М., Клишанец А.Д.</i> Разработка конструкции приспособления для модернизации лабораторной установки «Детали машин – соединения с натягом» .....	272
<i>Блохин А.В., Сурус А.И., Мартос А.А.</i> Статистические характеристики ускоренного прогнозирования характеристик усталости по результатам высокочастотного нагружения знакопеременным изгибом плоских балочных образцов .....	277
<i>Сурус А.И., Бельский С.Е., Лось А.М., Блохин А.В., Пищов М.Н.</i> Влияние технологических параметров различных методов поверхностного упрочнения на геометрические и механические характеристики поверхностных слоев деталей .....	281
<i>Бельский С.Е., Адель Рашид, Пищов М.Н., Блохин А.В.</i> Влияние поверхностного упрочнения на трансформацию физико-механических характеристик упрочненных материалов .....	285
<i>Пищов М.Н., Адель Рашид, Бельский С.Е.</i> Исследование усталостных свойств коррозионностойкой стали после предварительной пластической деформации	291
<i>Соболь В.Р., Рашид Адель, Бельский С.Е., Пищов М.Н.</i> Теоретический анализ амплитуды смещения дислокационного сегмента при циклическом нагружении металлических материалов .....	294
<i>Пищов М.Н., Бельский С.Е., Адель Рашид, Сурус А.И.</i> Повышение усталостных характеристик образцов поверхностным упрочнением .....	298
<i>Пищов М.Н., Бельский С.Е., Лось А.М.</i> Исследование кинетики изнашивания упрочненных комплексным борированием поверхностных слоев деталей .....	302
<i>Пищов М.Н., Бельский С.Е.</i> Исследование основных причин изнашивания зубчатых передач трансмиссий мобильных лесных машин, работающих в условиях повышенных динамических нагрузок .....	308
<i>Пищов М.Н., Бельский С.Е., Сурус А.И.</i> Анализ напряжений в поверхностных слоях зубчатых передач при различных условиях их эксплуатации .....	310
<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 18ХГР .....	314
<i>Куис Д.В., Свидунович Н.А., Раковец А.С., Цынкович О.Ю., Гордиенко Д.Д.</i> Влияние исходного состава чугуна на эффект модифицирования .....	316
<i>Куис Д.В., Свидунович Н.А., Раковец А.С., Цынкович О.Ю., Гордиенко Д.Д.</i> Исследование процесса кристаллизации серого чугуна при охлаждении отливок с различной скоростью .....	319

Научное издание

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

**Материалы докладов 89-й научно-технической  
конференции профессорско-преподавательского  
состава, научных сотрудников и аспирантов  
(с международным участием)**

**Электронный ресурс**

В авторской редакции

Компьютерная верстка:

*Ю.И. Мисуно, П.Н. Жлобич, А.В. Полховский, А.С. Раковец,  
С.В. Бушева, Е.О. Черник*

Усл. печ. л. 19,01. Уч.-изд. л. 19,62.

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.