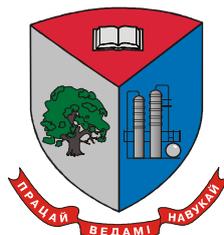


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный технологический университет»



**ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИКА  
ЛЕСНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**  
Тезисы докладов 81-й научно-технической конференции  
профессорско-преподавательского состава,  
научных сотрудников и аспирантов  
(с международным участием)

Минск 2017

УДК 630\*3+674 (06)(07.034.44)

**Технология и техника лесной промышленности:** тезисы 81-й науч.-технич. конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 02–07 февраля 2017 г. [Электронный ресурс] / отв. за издание И. В. Войтов; УО БГТУ. – Минск: БГТУ, 2017. – 142 с.

В сборник включены тезисы, представляющие результаты научных исследований и научно-исследовательских работ, выполненных профессорско-преподавательским составом и аспирантами БГТУ и других учреждений образования, научных организаций и ведомств.

В работах рассматриваются результаты исследований по актуальным теоретическим и прикладным вопросам создания и эксплуатации лесозаготовительных машин и оборудования, совершенствования и разработки ресурсосберегающих технологий лесозаготовок и деревообработки, проектирования, строительства и эксплуатации лесных дорог.

Значительная часть тезисов посвящена отраслевым проблемам создания новых конструкций дереворежущего инструмента, конкурентоспособных материалов, рационального и комплексного их использования, исследованиям процессов резания, сушки и огнебиозащиты древесины.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы научными сотрудниками и специалистами при проведении научных исследований и практическом их применении в лесной и деревообрабатывающей промышленности, лесном машиностроении и станкостроении, строительстве и эксплуатации дорог.

Рецензенты: Соловьева Т.В., д-р техн. наук, профессор  
Кунтыш В.Б., д-р техн. наук, профессор  
Лыщик П.А., канд. техн. наук, профессор

Главный редактор  
ректор, профессор

ВОЙТОВ И.В.

© УО «Белорусский государственный  
технологический университет», 2017

УДК 630\*375.4

М.Я. Дурманов, ст. преп.;  
О.А. Михайлов, доц., канд. техн. наук;  
С.В. Спиридонов, доц., канд. техн. наук  
(СПбГЛТУ, г. Санкт-Петербург)

## **ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННОГО МАШИННО- ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

В настоящее время для разработки и создания лесо- и сельскохозяйственных машин и агрегатов широко используются методы статистической динамики, научная база земледельческой механики и существующие теории МТА. Основными внешними воздействиями в моделях являются: профиль поверхности вырубki, задаваемый корреляционной функцией и спектральной плотностью; факторы разнообразия физико-механических свойств почвы; скорость движения МТА. Моделируется неустановившейся характер сил сопротивления движению МТА, описываемый эргодическим стационарным случайным процессом, для всего спектра частот входного момента нагрузки.

Математическая модель функционирования МТА (на примере трактора ЛХТ-100 и плуга ПКЛ-70-4 в пахотном режиме) в стационарном установившемся режиме движения отражается системой дифференциальных уравнений, описывающих колебания трактора в продольно-вертикальной плоскости и передаточных функций частоты вращения привода, мощности, часового расхода топлива и др., полученных экспериментально и теоретически [1]. На основании такой модели становится возможным с большей точностью и достоверностью вычисление и анализ частотных характеристик показателей эффективности МТА, в зависимости от частоты колебаний нагрузки на ведущих звездочках и скорости движения [2]. Результаты моделирования представлены поверхностями состояния амплитудно-частотных характеристик (АЧХ), например, касательной силы МТА (рис.1), для варьируемых конструктивных параметров. Объем, ограниченный поверхностью состояния АЧХ и осями координат, рассматривается как энергия, часть которой расходуется на реализацию регулярной касательной силы, а другая - как потери на динамическую составляющую касательной силы. Выполняя сечения в продольно-вертикальной плоскости (рис.2) при любом фиксированном значении регулярной скорости  $v_0$  движения МТА и по всему диапазону частот  $\omega$  колебаний нагрузки на ведущих звездочках можно вычислить регулярную составляющую  $F_{к0}$  и динамическую составляющую касательной силы  $F_k(\omega)$ .

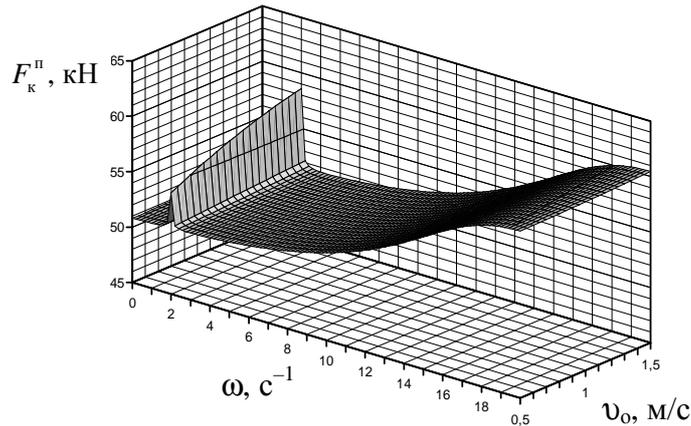
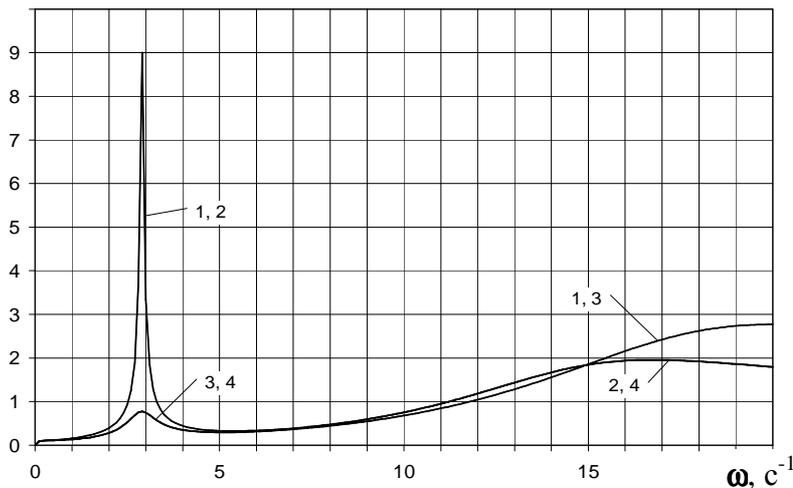


Рис.1. Поверхность состояния АЧХ касательной силы МТА на базе трактора ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 в пахотном режиме ( $c_1=1400$  кН/м)

Применение гасителя колебаний рейки топливного насоса (РГН) дизеля [1] и изменение жесткости подвеса  $c_1$  в системе поддрессоривания трактора, позволяют уменьшить амплитуду колебаний касательной силы в низкочастотном ( $\omega_c=2,9$  с<sup>-1</sup>), наиболее энергозатратном диапазоне с 9,0 до 0,8 кН (рис.2, кривая 4) [2].

$F_k(\omega)$ ,



1, 2 - без гасителей колебаний в системе поддрессоривания МТА и РГН; 3, 4 - с гасителями колебаний в системе поддрессоривания МТА и РГН; 1, 3 - при жесткости  $c_1=1400$  кН/м; 2, 4 - при жесткости  $c_1=980$  кН/м

Рис.2. АЧХ касательной силы МТА "ЛХТ-100 + плуг ПКЛ-70-4" в пахотном режиме при регулярной скорости движения  $v_0 = 1,02$  м/с [2]

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Антипин, В. П. Энергозатраты машинно-тракторного агрегата / В.П. Антипин. – СПб.: СПбГПУ, 2012. – 324 с.
2. Власов, Е.Н. Определение количества энергии, затрачиваемой на реализацию касательной силы трактора ЛХТ-100 в пахотном режиме / Е.Н. Власов [и др.] // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 212.- СПб.: СПбГЛТУ, 2015.- С. 104-112.

УДК 630\*363

В.Н. Лой, доц., канд. техн. наук;  
С.П. Мохов, доц., канд. техн. наук;  
М.К. Асмоловский, доц., канд. техн. наук;  
С.Е. Арико, канд. техн. наук;  
А.О. Германович, канд. техн. наук;  
(БГТУ, г. Минск)

## **МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ БАРАБАННОЙ РУБИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ**

Вовлечение в переработку древесных отходов, остающейся на лесосеке, а также древесины, получаемой при рубках ухода за лесом, привело к созданию мобильных систем машин для заготовки топливной щепы непосредственно на лесосеке. Мобильная рубильная машина представляет сложную конструкцию взаимосвязанных между собой узлов и механизмов. Основным элементом машины является рубильная установка, благодаря которой из древесного сырья получается щепа. Так, древесное сырье загружается на подающий транспортер, уплотняется прижимным вальцом и подается к рубильному барабану, где посредством контраножа, резцов и сита, измельчается до нужных размеров в щепу. Полученная щепа при помощи винтового конвейера перемещается к вентилятору, который и выдувает ее по щепопроводу к месту складирования. Все эти механизмы рубильной установки через механические и гидравлические передачи приводятся в действие от силовой установки. Выбор основных параметров силовой установки в процессе проектирования рубильной машины определяет дальнейшую эффективность ее работы, связанную с производством щепы. Энергетический расчет сводится к установлению мощности, расходуемой на выполнение операций рубильной установки. Мощность привода рубильной установки будет равна сумме потерь мощности (энергозатрат) в основных ее механизмах [1]. С использованием методики определения энергетических параметров привода рубильной установки можно также рассчитать основные конструкционные параметры механизмов рубильной установки, основываясь на скоростных режимах работы и показателях энергозатрат их привода в зависимости от размерных и физико-механических свойств измельчаемого древесного сырья.

### **ЛИТЕРАТУРА**

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

УДК 532.3:533.6

С. А. Борисевич, ассист., канд. тех. наук  
(БГТУ, г. Минск)

### **СИЛОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КРОНЫ ДЕРЕВА С ВОЗДУШНЫМ ПОТОКОМ**

В работе показано, что в существующих экспериментальных исследованиях по определению силы сопротивления, действующей на крону дерева при обтекании ее воздушной средой, сила сопротивления прямо пропорциональна скорости обтекания. При увеличении скорости обтекания кроны воздухом, в результате ее реконфигурации изменяются фронтальная проекция кроны и безразмерный коэффициент сопротивления. Однако их произведение, умноженное на скорость обтекания, остается постоянным при любой скорости обтекания, откуда следует, что зависимость для силы сопротивления линейна по скорости.

Для доказательства этого утверждения проведен натурный эксперимент по свободному падению спиленного дерева и численное моделирование этого процесса. В результате сопоставления результатов натурального и численного экспериментов для пяти деревьев установлено, что линейная зависимость для силы сопротивления с постоянным коэффициентом перед скоростью позволяет точно описать динамическое поведение реального дерева в любой момент времени. На основании численного эксперимента установлено, что коэффициенты сопротивления для кроны сосны высотой 23–27 м находятся в диапазоне 48.0–75.4 кг/(м·с). Вычисление силы сопротивления на основании полученных коэффициентов хорошо согласуется с экспериментальными результатами полученными другими авторами при испытании образцов деревьев в аэродинамической трубе.

В результате сделано заключение, что нет необходимости использовать сложную квадратичную по скорости зависимость для силы сопротивления с переменными значениями для фронтальной проекции кроны и коэффициента сопротивления, а использовать простую линейную по скорости зависимость с постоянным коэффициентом сопротивления, величина которого подлежит предварительному определению для различных пород деревьев.

УДК 630\*383+630\*37

М. Н. Дини; М. Т. Насковец, канд. техн. наук, доц;  
Н. И. Жарков канд. техн. наук  
(г. Минск, БГТУ)

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЯ  
ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ, СОДЕРЖАЩИХ  
КОМБИНИРОВАННЫЕ ПРОСЛОЙКИ  
ИЗ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА,  
ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ КОЛЕСНОЙ НАГРУЗКИ**

Целью проведения экспериментальных исследований является определение эффективности применения прослоек из геотекстилей, как материала, позволяющего снизить величину вертикальных сжимающих напряжений, возникающих в дорожных конструкциях при движении колесной техники, и тем самым достижения повышения работоспособности дорожных конструкций.

Под воздействием колес автомобилей и других транспортных средств, а также погодно-климатических факторов происходит износ верхнего слоя покрытия. Наиболее характерным разрушением грунтового основания при воздействии нагрузки, сосредоточенной на малых площадях (колесной нагрузки), является образование поверхностей скольжения и выдавливания грунта.

Разработанное техническое решение позволяет повысить несущую способность дорожного покрытия, улучшить эксплуатационные качества дорожной одежды. В данном случае дорожная конструкция включает размещение вертикальных полос геосинтетического материала с одновременным заполнением межполосного расстояния грунтом, каждый слой формируют посредством предварительной раскатки рулонного геосинтетического материала, имеющего на своей поверхности прикрепленные к нему и сложенные горизонтально вертикальные полосы, обладающие определенной жесткостью, которые в процессе раскатки рулонного материала устанавливаются перпендикулярно горизонтальной плоскости. После этого производится отсыпка грунта между полосами, причем вертикальные полосы в сложенном состоянии могут перекрывать друг друга или не доходить до места крепления смежных полос с материалом. Гибкость материала должна обеспечить вертикальную жесткость при отсыпке грунтом и одновременно горизонтальную гибкость при отсыпке грунтом в сложенном состоянии.

Для оценки влияния прослоек на прочность дорожных конструкций на грунтовом канале кафедры лесных дорог и организации

вывозки древесины БГТУ были заложены опытные участки покрытий. В частности, для проведения экспериментов устраивалось покрытие без прослоек, с горизонтальной прослойкой и комбинированные с горизонтальными и вертикальными прослойками высотой и расстояниями между ними 5 и 10 см (рисунок)



**Рисунок Экспериментальное покрытие**

Для определения напряжений и установления зависимостей, характеризующих распределяющую способность конструктивных слоев устраиваемых участков, в них на разных глубинах в определенной последовательности закладывались предварительно оттаррированные тензорезисторные преобразователи давления (месдозы).

В свою очередь месдозы подключались к усилителю Spider-8 и ноутбуку, в котором для настройки, регистрации и обработки данных, получаемых с измерительного прибора, имеется пакет программного обеспечения Catman.

После этого каждый из участков испытывали посредством колесной нагрузки экспериментального стенда.

Проведенные исследования показали, что использование комбинированных прослоек оказывает стабилизирующее влияние на распределение напряжений, возникающих по глубине при воздействии подвижной колесной нагрузки транспортных средств. При этом эффективность их применения зависит от многих факторов. Учитывая результаты деформационных испытаний и технико-экономическое сравнение, для дальнейших производственных испытаний наиболее рационально принять при устройстве лесных автомобильных дорог конструкции комбинированной прослойки с высотой вертикальных полос 5 см с креплением их к горизонтально укладываемой прослойке на таком же расстоянии друг от друга.

УДК 625.72:55

Лашенко А. П. канд. тех. наук, доц.  
(г. Минск, БГТУ)

## УЧЕТ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДСМ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД НЕЖЕСТКОГО ТИПА

Основная цель разработки метода расчета толщины конструктивных слоев дорожной одежды нежесткого типа, можно отнести методы, основанные на теории упругости, что не является адекватной моделью поведения дорожной конструкции на практике. Задача исследования изменения напряжений и перемещений в слоистой системе с учетом реологических свойств дорожно-строительных материалов (ДСМ), применяемых в дорожном строительстве, является наиболее достоверной. Поэтому задача исследования изменения напряжений и перемещений в слоистой системе с учетом реологических свойств материалов, применяемых в дорожном строительстве, является актуальной.

На основании экспериментально полученных кривых ползучести при кратковременной нагрузке и сравнения решений дифференциальных уравнений, полученных на АВМ, нами был выбран и обоснован закон деформирования с учетом временной координаты для наиболее распространенных ДСМ. Установлено, что для материалов, используемых в дорожном строительстве, с достаточной точностью для практических целей, может быть принята зависимость, которая описывается дифференциальным уравнением вида:

$$En \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + H\varepsilon = n \frac{\partial \sigma}{\partial t} + \sigma, \quad (1)$$

где  $E$  - мгновенный модуль упругости;  $n$  - время релаксации;  $\varepsilon$  - деформация;  $H$  - длительный модуль упругости;  $\sigma$  - напряжение.

Проведенные теоретические исследования и полученные результаты позволяют в период проектирования автомобильной дороги определять величину толщины дорожных слоев с учетом реологических свойств материалов, применяемых в дорожном строительстве.

Предложенные способы определения компонент тензоров напряжений и перемещений слоистых дорожных одежд могут быть использованы проектными дорожными организациями для расчета дорожных одежд нежесткого типа по двум предельным состояниям, что позволит в комплексе с существующими расчетными методами более полно учитывать реальные свойства используемых материалов и исключить развитие недопустимых деформаций ползучести в течение всего срока службы дорожной одежды.

УДК 625.539.3

Лащенко А. П. , канд. тех. наук, доц. (г. Минск, БГТУ)  
**ВИЗУАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ФЛОЙДА  
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТРАССЫ  
АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ**

В настоящее время практика трассирования автомобильных дорог на заболоченных территориях основывается на интуитивном и в лучшем случае двух, трехвариантном решении переходов через отдельные или наиболее сложные участки. Многообразие факторов, влияющих на положение автомобильных лесовозных дорог в плане, создает условия многовариантности, следовательно, получение оптимального варианта трассы автомобильной дороги связано с необходимостью переработки большого объема информации, возможной только с использованием современной вычислительной техники.

Алгоритм Флойда – динамический алгоритм для нахождения кратчайших расстояний между всеми вершинами взвешенного ориентированного графа, не имеющего циклов с отрицательной длиной.

Для реализации алгоритма по визуализации метода Флойда рассматриваемой задачи использовалась технология Windows forms и язык программирования C# и среда разработки MS Visual studio 2015.

Основные функции программы

- Загрузка исходных данных из текстового файла.
- Сохранение данных в текстовый файл.
- Добавление вершин, ребер и дуг в матрицу смежности.
- Очистка матрицы смежности.
- Подсчет кратчайших путей.
- Вывод кратчайшего пути и выделение его на матрице смежности вершин рассматриваемого графа.

При написании программы, для реализации представленного алгоритма, были использованы следующие элементы управления:

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

В ходе проделанной работы были представлены этапы решения задачи построения оптимальной трассы автомобильной дороги и дальнейшей ее визуализации от постановки задачи до тестирования полученной программы.

УДК 629.11.013

О.А. Михайлов, доц., канд. техн. наук;  
С.В. Спиридонов, доц., канд. техн. наук;  
М.Я. Дурманов, ст.преп.  
(СПбГЛТУ, г. Санкт-Петербург)

### **ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МОТОРНО- ТРАНСМИССИОННОЙ УСТАНОВКИ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫХ ТРАКТОРОВ**

Отечественные лесопромышленные тракторы (ЛПТ) оснащены дизельными двигателями с низкими коэффициентами запаса по крутящему моменту  $K_z$ . В 1948 г. Харитончиком Е.М. для дизеля С-80 трактора ЧТЗС-64 был разработан и испытан корректор, обеспечивающий обогащенную цикловую подачу топлива. Это позволило повысить  $K_z$  до 1,6. Такой дизель назван двигателем постоянной мощности (ДПМ). Эта идея получила развитие в 70-80-х г. с развитием турбонаддува и с появлением систем электронного впрыска.

Использование ДПМ с механической трансмиссией (МТ) на трелевочных тракторах ОТЗ позволило значительно повысить транспортную производительность на грузовом ходу, улучшить топливную экономичность, сократить количество передач в трансмиссии и уменьшить потери на буксование [1]. Кроме того, применение ЛПТ с ДПМ и МТ дает улучшение тяговых и разгонных качеств, проходимости и маневренности в сложных условиях движения машины, благодаря значительным диапазонам бесступенчатого и автоматического регулирования тягового усилия и скорости движения. Еще большую эффективность можно получить при взаимодействии ДПМ с гидромеханическими трансмиссиями, а именно - с гидротрансформаторами (ГТР). Анализ параметров моторно-трансмиссионных установок современных ЛПТ показал, что в последнее время появились дизели с высокими значениями  $K_z$ , в то время как параметры ГТР, и в первую очередь их нагружающие свойства остались неизменны.

Повышение  $K_z$  (как от 1,15 до 1,3, так и от 1,2 до 1,49) практически не приводит к увеличению выходной мощности. Это объясняется тем, что режимы работы малопрозрачного ГТР с данными дизелями лежат в узком диапазоне частоты вращения коленчатого вала, в зоне максимальной мощности дизеля. Такой характер совместной работы не позволяет реализовать увеличенный крутящий момент этих дизелей и поэтому не может реализовать их «полку» по мощности. Отсюда следует, что для реализации полной характеристики дизеля с увеличенным  $K_z$  необходим ГТР с другим характером нагружающих характеристик. Для реализации способа оптимизации нагружающих харак-

теристик создана методика с использованием компьютерной программы, позволяющая определять оптимальные режимы совместной работы ДПМ с ГТР.

Используя программу, были рассчитаны оптимальные нагружающие характеристики для дизелей Д-260.9 и Д-260.9S2 с ГТР с активным диаметром 0,37 м. Оптимизация нагружающих характеристик ГТР для дизеля с  $K_3=1,15$  дала выигрыш по мощности во всем диапазоне частоты вращения турбины от 2 до 9 кВт (максимальный выигрыш составляет 17%) и увеличение крутящего момента от 2 до 549 Н×м. Для дизеля с  $K_3=1,3$  применение ГТР с оптимальной нагружающей характеристикой дает увеличение выходной мощности во всем диапазоне частоты вращения турбины от 2 до 17 кВт (максимальный выигрыш составляет 34%) и увеличение крутящего момента от 2 до 853 Н×м. Переход от дизеля с  $K_3=1,15$  к  $K_3=1,3$  дает выигрыш по мощности от 2 до 10 кВт в диапазоне частот вращения турбины от 0 до 1680 мин<sup>-1</sup> (максимальный выигрыш составляет 13%) с учетом одинаковых номинальных мощностей этих дизелей. По этой же методике рассчитана оптимальная нагружающая характеристика ГТР для дизеля САТ 3304 с  $K_3=1,49$ . Оптимизация нагружающих характеристик позволила увеличить выходную мощность во всем диапазоне частот вращения турбины от 2 до 16 кВт (максимальный выигрыш составил 43%) и повысить крутящий момента с 2 до 412 Н×м. Из приведенных результатов можно сделать вывод, что чем выше  $K_3$ , тем выше эффект достигается от использования оптимальной нагружающей характеристики, а также чем больше  $K_3$ , тем большая прозрачность ГТР необходима [2,3].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлов О.А. Улучшение тягово-скоростных свойств трелевочного трактора и снижение энергоемкости трелевки путем увеличения приспособляемости дизеля: дис...канд. техн. наук. Л.:ЛТА, 1986.- 198с.
2. Мартынов Б.Г., Михайлов О.А., Козленок А.В. Повышение производительности лесозаготовительных машин путем оптимизации параметров гидродинамической трансмиссии // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2015. Выпуск 210. С. 119-130.
3. Антипин В.П., Дурманов М.Я., Каршев Г.В. Динамические характеристики касательной силы тяги лесосечной машины с двигателем постоянной мощности // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2006. Выпуск 178. С. 111-119.

УДК 630\*36/.37:630.383(047.31)

С. Е. Арико, доц., канд. техн. наук; К. Асмоловский, доц.,  
канд. техн. наук; В. Н. Лой, доц, канд. техн. наук;  
А. О. Германович, ассист, канд. техн. наук, Дудко Е.М., студ.  
(БГТУ, г. Минск)

## **ОБОСНОВАНИЕ КОМПОНОВОЧНОЙ СХЕМЫ УНИВЕРСАЛЬНОГО ЛЕСНОГО ШАССИ С УЧЕТОМ ПРИМЕНЯЕМОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

В настоящее время развитие лесного машиностроения Республики Беларусь требует создания универсального лесного шасси, которое может использоваться с имеющимся оборудованием для лесовосстановления, реконструкции насаждений и содержания лесных дорог, а также обеспечит внедрением передовых технологий и соответствующего технологического оборудования.

Внедрение в производственный процесс универсального шасси обеспечит повышения уровня механизации работ, связанных с обработкой почвы и удалением корней, а также снижение затрат на выполнение данных трудоемких и энергозатратных операций.

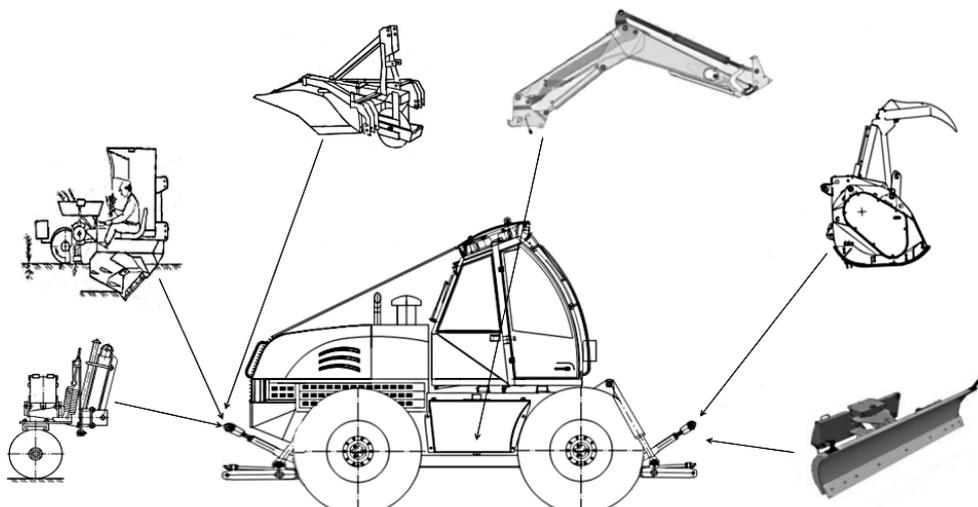
При этом основным технологическим оборудованием для шасси будет являться мульчеры и роторы, переднее фронтальное расположение которого обеспечит наилучшие условия для их эффективной эксплуатации и улучшит условия работы оператора.

Общая концепция создания универсального шасси также учитывает возможность агрегатирования имеющегося на предприятиях лесного комплекса оборудования, для чего предусматривается возможность расположения в задней части шасси 3-х точечной навески.

На основе анализа существующих конструкций лесозаготовительных и лесохозяйственных машин, а также необходимости применения имеющегося и перспективного навесного технологического оборудования для осуществления комплекса лесовосстановительных работ, реконструкции насаждений и содержания лесных дорог разработаны варианты компоновочных схем агрегатирования универсального лесного шасси и представлена общая его компоновка.

Для обеспечения агрегатирования универсального шасси с различными машинами и орудиями отечественными и зарубежного производства предусмотрена спереди так и сзади (рисунок) возможность установки различного технологического оборудования. Для обеспечения требуемых скоростей движения шасси при выполнении технологических операций, а также осуществления фронтального отбора мощности общая концепция создания машины предполагает установку отечественного дизельного двигателя, редуктора отбора мощности,

согласующий редуктор, насосы на привод тормозной системы, технологического оборудования, гидростатический ход, двух диапазонную раздаточную коробку и два ведущих моста.



**Рисунок – Варианты агрегатирования технологического оборудования с универсальным шасси**

Применение данного силового агрегата обеспечит возможность установки камнедробильного оборудования, дорожных фрез, прицепных катков, шнекороторных снегоочистителей и много другого оборудования. Для расширения функциональных возможностей шасси, за счет применения различных адаптерных устройств возможно агрегатирование на фронтальную навеску манипуляторного оборудования, обеспечивающего выполнения работ по уходу за обочинами, канавами и откосами лесных дорог, а также внедрению передовых лесохозяйственных технологий за счет навешивания валочных, валочно-собирающих головок и посадочного оборудования.

Учитывая анализ возможности применения различного технологического оборудования создаваемое шасси должно иметь следующие компоновочные параметры: базовое колесное шасси 4К4 с шарнирно-сочлененной рамой; двухпоточную трансмиссию, которая включает гидростатический привод хода и механический привод рабочих органов; дизельный двигатель минского моторного завода мощностью 300 л.с; габаритные размеры шасси с установленным мульчером должно быть 7500 × 3400 × 2440 мм, при колее 1700 мм, поперечной базе 2700 мм и эксплуатационной массе в 13 тонн, что обеспечит возможность работы в стесненных условия, узких коридорах и с технологическим оборудованием различной массы и компоновки.

УДК 625.711.84

Ю. И. Мисуно, магистрант  
(БГТУ, г. Минск)

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ ЛЕСОСЕЧНЫХ РАБОТ НА ПОЧВОГРУНТЫ**

При проведении лесосечных работ основная часть поврежденного почвогрунта приходится на трелевочные волока, так как именно по ним осуществляется движение лесных машин. Для того чтобы количественно и качественно оценить степень повреждения почвы, были проведены соответствующие исследования.

На рисунке 1 изображена схема лесосеки, на которой проводились исследования. Общая площадь лесосеки составляет 13,4 га. Суммарная площадь технологических элементов лесосеки составила 0,97 га или 7,2% от общей площади лесосеки.

На степень повреждения почвогрунта на волоках влияет количество проходов техники. Так, для 1 волока число проходов составило 9, для 2 – 8, для 3 – 10.

В рамках выполняемых исследований были определены основные характеристики почвогрунта: влажность; плотность; модуль деформации; глубина колеи на волоке.

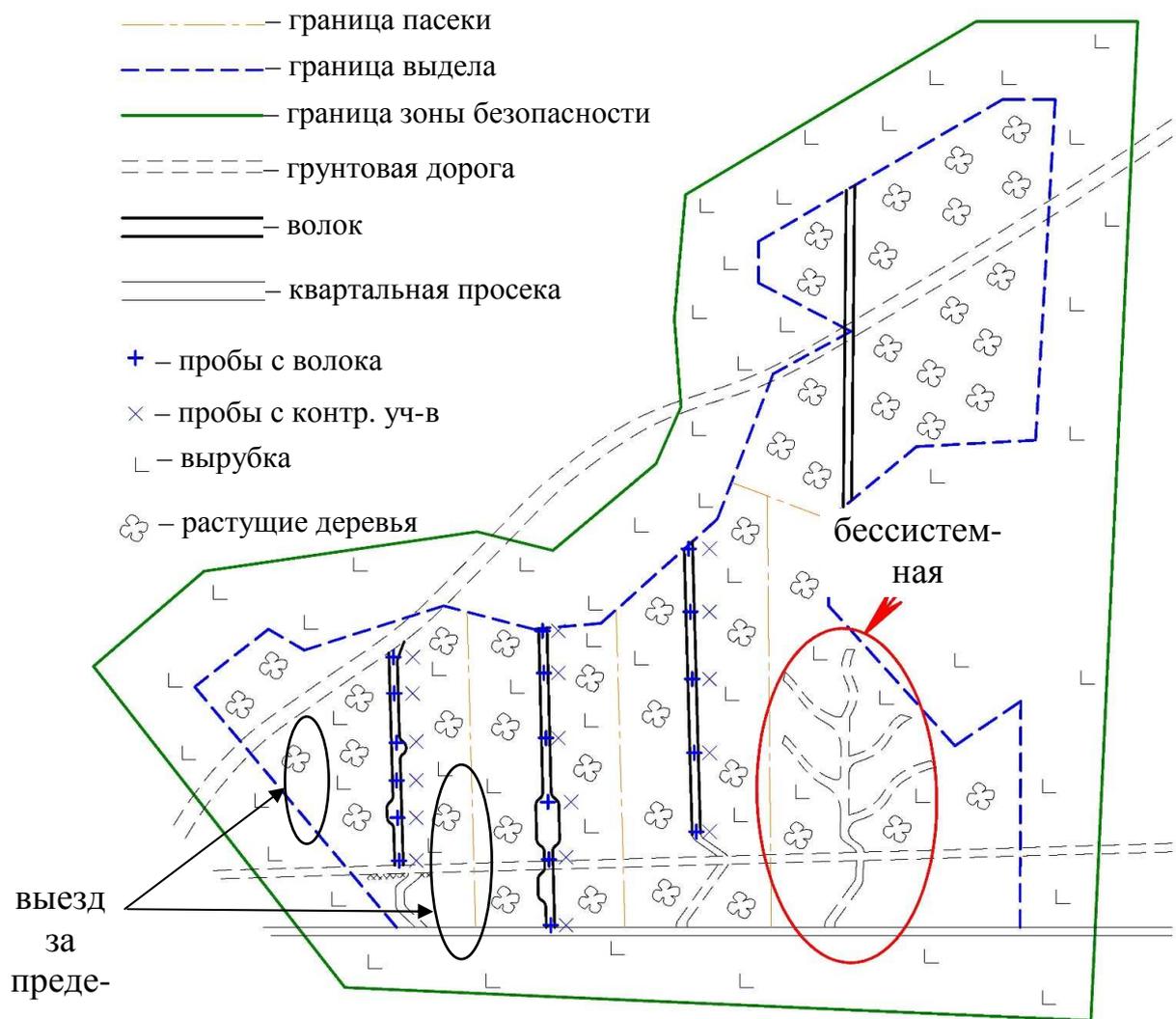
Далее представлены основные результаты и выводы проведенных исследований:

1. Распределение площади территории лесосеки по влажности следующее: 30% площади лесосеки занимают почвогрунты с влажностью 26–50%, на 13% площади – 1–25%, 12% – почвогрунты с влажностью 76–100% и 4% с влажностью 51–75%.

2. До начала разработки лесосеки плотность почвогрунта составляла в основном 0,6–1 г/см<sup>3</sup>. После разработки плотность почвы на первом волоке увеличивалась в среднем на 64,4%, на втором – на 56,7%, на третьем – почти в 2 раза. Сильное уплотнение на третьем волоке, связано с избыточной влажностью почвогрунта (свыше 80%) и большим количеством проездов техники по волоку.

3. На большей части территории лесосеки модуль деформации находился в диапазоне 3,1–5,0 МПа. На трелевочных волоках после прохода техники модуль деформации увеличивался в 1,5–6 раз и в среднем составлял 7,3 МПа.

4. Отмечено увеличение плотности и модуля деформации почвогрунта в сторону направления трелевки.



**Рисунок 1 - Схема расположения волоков на лесосеке**

5. Максимальная глубина колеи ( $h=10-11$  см) наблюдалась на участках с низкой первоначальной плотностью почвогрунта (до  $0,7$  г/см<sup>3</sup>) и на участках с повышенной влажностью ( $W=51-75\%$ ).

Следует отметить также, что при нарушении технологии и выполнении бессистемной рубки повреждения почвогрунта отмечаются на значительной площади лесосеки, что нарушает требования нормативных документов.

Полученные результаты исследований позволяют увидеть общую картину изменения состояния почвогрунта после разработки лесосеки. Необходимо проведение дополнительных исследований в различных условиях и с применением других типов движителей, что также позволит на основе получения достоверных данных дать рекомендации по повышению эксплуатационно-экологической совместимости движителей лесных машин с почвогрунтами.

УДК 625.711.84

П. А. Протас, доц., канд. техн. наук;  
Ю. И. Мисуно, магистрант  
(БГТУ, г. Минск)

## **МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ПОВРЕЖДЕНИЯ ПОЧВОГРУНТА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРОХОДНОЙ РУБКИ**

При проектировании технологического процесса лесосечных работ важную роль играет выбор системы машин. Чтобы определить возможность работы принимаемой системы машин в заданных почвенно-грунтовых условиях необходимо провести оценку эксплуатационно-экологической совместимости движителя и лесного почвогрунта. Для осуществления этой оценки ранее нами был предложен ряд критериев, выбор которых осуществлялся исходя из условия обеспечения эффективной работы лесной машины с минимальным ущербом для почвогрунта.

Одним из основных этапов оценки совместимости лесной техники и почвогрунта является прогнозирование степени повреждения почвогрунта после проведения лесосечных работ. Поэтому, в рамках написания магистерской диссертации были проведены исследования по изучению изменений характеристик почвогрунта и его деформации на лесосеке в результате проведения лесосечных работ.

Организация и выполнение исследований включали в себя несколько этапов:

1. Формирование критериев для оценки исследуемых объектов. Из предложенных ранее критериев в данных исследованиях были выбраны: несущая способность почвогрунта, плотность и деформация почвы, степень минерализации.

2. Выбор объекта исследования.

3. Выбор и подготовка измерительного оборудования.

4. Проведение натурных замеров и отбор проб.

5. Проведение лабораторных исследований и необходимых расчетов.

6. Анализ полученных результатов.

7. Выводы.

В качестве объекта исследования выступал лесной почвогрунт. Для исследования изменений характеристик почвогрунта необходимо было выбрать лесосеку. При этом, выбиралась лесосека, на которой недавно проводилась рубка промежуточного пользования, с применением прицепного или специализированного форвардера.

Важным фактором при выборе лесосеки было соблюдение техпроцесса при проведении рубок.

В результате была выбрана лесосека на территории Негорельского учебно-опытного лесхоза. Негорельского лесничества в квартале 34 выдел 3.

Для проведения всех необходимых измерений использовалось следующее оборудование:

– для натуральных измерений на лесосеке и отбора проб: рулетка, ударник СоюзДорНИИ, режущее кольцо;

– для лабораторных исследований: сушильный шкаф, электронные весы, штангенциркуль.

Непосредственно натурные измерения на лесосеке и лабораторные исследования проводились в следующем порядке.

Первоначально определяли параметры системы машин, применяемой на разработке лесосеки, а также параметры самой лесосеки. Необходимая информация содержалась в технологической карте.

Уже на лесосеке составлялась предварительная схема расположения трелевочных волоков с указанием прямолинейных и криволинейных участков. Одновременно с этим определяли параметры волоков, т.е. их длину и ширину. После этого проводились измерения характеристик почвогрунта. Эта задача заключалась в определении плотности почвогрунта, влажности, модуля деформации и глубины колеи.

Для определения плотности и влажности почвогрунта при помощи режущего кольца были взяты образцы почвы. Причем, исследования проводились методом парного сравнения. Для этого пробы были взяты в колее и из контрольных уплотненных участков возле волока. Взятые образцы почвогрунта помещались в герметичные пакеты. И после, уже в лабораторных условиях, определялась их естественная влажность и плотность.

Не посредственно на лесосеке проводились измерения модуля деформации почвогрунта и глубины колеи. Модуль деформации почвогрунта определялся в колее и на контрольном участке с помощью ударника СоюзДорНИИ. Деформация почвы (или глубина колеи) измерялись отдельно для левой и правой колеи.

Разработанная методика экспериментальных исследований позволяет оценить степень повреждения лесного почвогрунта от воздействия движителей машин путем сравнения его характеристик на трелевочных волоках и на контрольных уплотненных участках.

УДК620.952

П. А. Протас, доц., канд. техн. наук;  
 А. В. Ледницкий, зав. каф., доц., канд. экон. наук  
 (БГТУ, г. Минск)

## АНАЛИЗ ЕВРОПЕЙСКОГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА В СФЕРЕ ПРОИЗВОДСТВА, ХРАНЕНИЯ И КУПЛИ-ПРОДАЖИ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА

Республика Беларусь экспортирует значительные объемы древесного топлива, в основном топливной щепы и пеллет, в европейские страны. При этом для выхода на рынок необходимо выполнять требования стандартов, что требует их изучения с целью также гармонизации национального законодательства с европейским.

В качестве основных документов ЕС в области возобновляемой энергетики с 2009 г. был принят ряд регламентов комиссии ЕС, которыми предусматривалось предоставление финансовой помощи на проекты в области зеленой энергетики.

Разработка и принятие нормативных документов в данной сфере прошла определенную эволюцию: разработка национальных стандартов, разработка и принятие европейских стандартов, внедрение международных нормативных документов ISO с постепенной заменой национальных и европейских. Основные преимущества принятия и применения европейских стандартов приведены в таблице.

**Таблица – Преимущества принятия стандартов для участников рынка**

Позволяют убедиться, что топливо соответствует оборудованию	Неподходящее по свойствам топливо для данного котла может снизить его эффективность, увеличить выбросы или привести к поломке
Позволяют регулировать вопросы купли-продажи топлива	Различные виды топлива из биомассы могут отличаться по содержанию энергии и другим параметрам
	Точная характеристика топлива позволяет поставщикам, предлагающим топливо высокого качества, получать дополнительную прибыль, а потребителям – понимать разницу в цене
	Знание свойств топлива позволяет следить за производительностью системы и проводить ее оценку
Позволяют проводить анализ любых проблем с системой	Если оборудование работает не эффективно, конкретные стандарты позволяют заменить применяемое топливо
	Четкие стандарты запрещают производителю неисправного оборудования обвинять поставщика топлива
Позволяют дать гарантию	Для потребителя, что приобретаемое топливо, соответствует его оборудованию
	Для поставщика, что его топливо подходит для предполагаемого применения и не будет никаких обвинений

В настоящее время во всех европейских странах применяются международные стандарты в области твердого биотоплива, при этом могут применяться и национальные. Однако они не могут противоречить международным стандартам, и разработаны как дополнение с учетом местных условий [1].

Важной отличительной особенностью европейских стандартов является **отличия** в требованиях к древесному топливу **бытового** (неиндустриального) применения и **промышленного применения**.

Также существуют **отличия в происхождении древесного топлива**. Так в Австрии древесное сырье, используемое для производства топливной щепы, классифицируется на 4 группы С1–С4 [2]. В соответствии с этим определяется и класс качества щепы. К топливной щепе предъявляются основные требования: размеры фракций, влажность, зольность, насыпная плотность, энергетическая ценность (низшая теплота сгорания), при необходимости содержание азота, хлора, серы.

В Финляндии также принятая в руководстве VTT-M-07608-13 классификация топлива базируется на принципах происхождения сырья, которые первоначально сгруппированы в три категории:

- топливо из растущего древесного сырья (из низкокачественных деревьев, отходов лесозаготовок, топливных плантаций);
- топливо из отходов переработки деловой древесины (из отходов лесопильно-деревообрабатывающих производств);
- древесное топливо, выработанное из вышедших из употребления древесных изделий (устаревшая древесина или списанные изделия из древесины).

Таким образом для внедрения в Республике Беларусь системы купли-продажи древесного топлива с учетом его влажности и теплотворной способности (Постановление СМ РБ № 336) необходима доработка ряда существующих нормативных документов. В этой связи необходим анализ действующего европейского законодательства и стандартов, а также изучение опыта европейских стран в данной области. Учитывая необходимость выхода на международные рынки целесообразно проводить работу по подготовке национальных стандартов в соответствии с международными с последующим их внедрением.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Европейский комитет по стандартизации. [Электронный ресурс] – Минск, 2017. – Режим доступа: <https://standards.cen.eu> – Дата доступа: 02.02.2017.
2. Richtlinie zur Übernahme von Energieholz nach Gewicht und nach Energieinhalt. FHP Kooperationsplattform Forst Holz Papier. 2016.

УДК 676.22.017

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

## **ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МНОГООПЕРАЦИОННЫХ ЛЕСНЫХ МАШИН**

Переход лесозаготовительного производства к механизированной технологии заготовки сортиментов привел к резкому росту себестоимости круглых лесоматериалов. Помимо стоимости самих машин и затрат на их ремонт существенный вклад в прирост себестоимости вносят затраты на энергетическое обеспечение машин. Доля топливных затрат в общей структуре себестоимости лесоматериалов на сплошных рубках главного пользования при ведении лесозаготовок комплексом машин «харвестер + форвардер» в среднем составляет 44–49%. Это максимальный показатель среди всех статей затрат и его снижение позволит существенно снизить себестоимость заготовленной древесины.

Структура энергетического потребления многооперационных лесных машин существенно зависит от конструкции самой машины, параметров привода ее рабочих органов и движителя, условий эксплуатации, типов выполняемых операций и способов их реализации, скоростных и силовых режимов работы, навыков оператора и параметров систем управления. Основным источником энергии для многооперационных лесных машин являются двигатели внутреннего сгорания, которые устанавливаются в качестве общего источника для технологического оборудования и движителя (харвестер, форвардер) либо по отдельности для данных потребителей (рубильные машины). От обоснованного выбора их мощностных характеристик во многом зависит экономичность лесных машин.

Существенным отличием лесных машин от техники иного назначения является выделение большого количества механической энергии при осуществлении технологических операций. Примером может являться падение дерева при валке, торможение хлыста при обрезке сучьев, опускание манипулятора на погрузочно-разгрузочных операциях и т.д. Рекуперация данной механической энергии позволит существенно сократить энергетическое, а соответственно и топливное потребление многооперационных машин. Исследования в данной области активно ведутся иностранными учеными и компаниями. Так, в конструкцию современных манипуляторов для лесозаготовительной

техники планомерно внедряются гидравлические рекуператоры. Однако отметим, что сейчас их основной задачей является обеспечение плавной работы манипулятора на пусковых режимах, особенно при одновременном задействовании двух и более гидравлических потребителей.

Значительное снижение удельного энергопотребления многооперационных машин также может быть достигнуто за счет использования адаптированных под конкретные условия эксплуатации машин способов и режимов выполнения операций. Для данных машин весьма актуальна реализация согласованного регулирования режимов работы двигателя и гидропривода технологического оборудования. Важно реализовать систему автоматизированного регулирования величин давления и расхода в гидросистемах на основе единых исходных данных, полученных с использованием регистрирующей аппаратуры установленной на рабочих органах технологического оборудования машин. Рассматривая такую систему управления следует особо отметить, что получившие широкое распространение в сельскохозяйственной технике системы управления чувствительные к нагрузке (Load Sensing), независимое от нагрузки распределение потока (LUDV или flow sharing) не в полной степени соответствуют требованиям предъявляемым к ним со стороны лесозаготовительных машин и являются для них не достаточно прогрессивными.

Перспективным следует считать создание систем регулирования мощности привода технологического оборудования и трансмиссии с логикой управления, основанной на характеристиках условий движения и предмета труда (диаметр, длина выпиливаемого сортимента, количество участвующих в операции потребителей и др.). На современном этапе развития техники техническая реализация такой системы является не сложной задачей. Однако для эффективного ее функционирования необходима разработка единого логического аппарата. Цель его создания – однозначная, обоснованная установка режима работы двигателя и привода для каждого из широкой гаммы условий эксплуатации. В перспективе данный логический аппарат должен обеспечивать рациональное соотношение между показателями производительности машины, ее общим КПД выраженном в виде топливных затрат, нагруженности основных узлов машины и корректироваться показателями эксплуатационных свойств машин по условию безопасности.

УДК 630\*372

А. О. Шошин, асп.; П. А. Протас, доц., канд. техн. наук;  
С. П. Мохов, доц., канд. техн. наук; С. Е. Арико, доц., канд. техн. наук  
(БГТУ, г. Минск)

## **МЕТОДИКА ИМИТАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА ПОЛУПОДВЕСНОЙ ТРЕЛЕВКИ ДРЕВЕСИНЫ**

Ежегодное освоение расчетной лесосеки по главному пользованию за период 2012-2016 гг. в Республике Беларусь составляло 84,4 %. Одной из причин неполного освоения расчетной лесосеки является наличие труднодоступного лесфонда. При этом разработка лесосек в таких условиях широко внедряемыми в нашей стране харвестерами и форвардерами не эффективна, а в большинстве случаев невозможна по причине низкой несущей способности грунтов.

Минским тракторным заводом ведутся работы по созданию отечественной канатной установки МТК-431, которая позволит осваивать заболоченные территории. Однако с учетом ограниченной возможности проведения экспериментальных исследований на проектируемой установке МТК-431 и необходимости получения реальных практических данных была разработана методика имитационных исследований, позволяющая с использованием трелевочного трактора с канатно-чокерной оснасткой ТТР-401 и комплекта дополнительных приспособлений получать практические данные о работе таких установок.

Предложена методика исследований, позволяющая определять тяговые усилия в канате, возникающие в процессе трелевки, и выявить характер влияния препятствий на волоке и пасеке, оказывающих воздействие на предмет труда. Объектом исследований являлась имитационная установка, которая включает: трелевочный трактор ТТР-401; 2 растяжки; мачту; обводной блок; чокерный комплект; измерительное оборудование.

Предложенная методика исследований позволяет, используя имитационную установку получать экспериментальные данные о характере возникающих в канатной оснастке усилий. Преимущество предлагаемой методики состоит в простоте подготовки имитационной установки и снижении трудозатрат ее монтажа/демонтажа. Полученные в результате эксперимента данные могут быть использованы для уточнения конструктивных параметров разрабатываемой канатной установки и выработки технологических рекомендаций по ее использованию.

УДК 630\*372

А. О. Шошин, асп.  
(БГТУ, г. Минск)

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА ПОЛУПОДВЕСНОЙ ТРЕЛЕВКИ ДРЕВЕСИНЫ

Для получения опытных данных о возникающих усилиях в тяговом органе канатных установок при выполнении операции трелевки были проведены экспериментальные исследования с использованием имитационной канатной трелевочной установки. Исследования проводились на базе Негорельского учебно-опытного лесхоза в процессе трелевки хлыстов на участке полосно-постепенной рубки.

В результате проведенных исследований были установлены диапазоны усилий в тяговом органе с учетом условий эксплуатации и характер их возникновения. При трелевке единичных хлыстов в зависимости от их объема максимальные усилия в тяговом органе достигали соответственно 4-12 кН при изменении объема хлыста в диапазоне 0,34-2,2 м<sup>3</sup>.

Установлено, что максимальные усилия при трелевке хлыстов не всегда возникали при их перемещении волоком. При отсутствии явных лобовых сопротивлений движению хлыста волоком график усилий принимал установившийся характер. При увеличении вертикальной составляющей общее значение тягового усилия при выполнении всех замеров стремительно возрастало. Значение вертикальной и горизонтальной составляющих усилий находились в соотношении 20 и 80% при расстоянии хлыстов от мачты до 25 м (трелевка волоком) и 95 и 5% соответственно при подходе хлыстов к мачте.

Анализ полученных данных позволил сделать ряд рекомендаций:

- при обеспечении беспрепятственного движения пачки (срезание пней заподлицо, предотвращения зацепов о лежащие хлысты, и др.) возможно достижение меньших усилий на трелевку волоком, по сравнению с полуподвесной трелевкой;
- для исключения рывков при перемещении хлыстов необходимо обеспечить скорость трелевки не менее 1,5 м/с;
- при проектировании привода канатных установок необходимо учитывать значительное влияние вертикальной составляющей тягового усилия, изменяющееся в процессе транспорта древесины;
- необходимо проведение дополнительных исследований с целью определения рационального угла подъема хлыста при трелевке, который бы обеспечивал как высокую проходимость по лесосеке, так и относительно небольшие усилия тяги.

УДК 630\*848(075.8)

Д. О. Огородников, магистрант  
(БГТУ, г. Минск)

## **РАЦИОНАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НИЗКОКАЧЕСТВЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ И ОТХОДОВ ЛЕСОПИЛЕНИЯ**

К низкокачественной древесине относятся такие круглые лесоматериалы, в том числе хлысты, которые по своим качественным показателям или размерной характеристике не соответствуют требованиям стандартов или технических условий на деловую древесину.

К отходам, образующимся при лесозаготовке, можно отнести сучья и ветви, откомлевки, козырьки, вершинную часть.

Самыми значительными отходами лесопиления являются кусковые отходы, такие как горбыль, рейка, срезки торцов, вырезки, короткомеры. А также образуются мягкие древесные отходы, к которым относятся опилки и стружка.

Сегодня объем отходов лесозаготовок и деревообработки составляет около 4 млн. м<sup>3</sup>, а реально используется не многим более 2 млн. м<sup>3</sup>. Исходя из этих данных будет целесообразно рассмотреть методы переработки низкокачественной древесины и отходов лесопиления с целью повышения качества и стоимости получаемой продукции.

Основными видами переработки низкокачественной древесины и отходов на лесных складах являются: выработка мелких пиломатериалов, технологической и топливной щепы, реже колотых балансов. Из отходов лесопиления можно получить паллетную доску; цельные и сращенные изделия небольших размеров, к примеру плинтус, штапик, уголок; мелкие изделия для мебели и т.д.

Наиболее актуальными направлениями переработки низкокачественной древесины и отходов лесопиления являются: переработка данного сырья в рубильных установках для получения технологической щепы; использование обрезного и горбыльно-ребрового станков для получения паллетной доски; использование 4-х стороннего строгального станка для получения половой или паркетной доски, плинтуса, вагонки и любых погоночных элементов; выработка колотых балансов.

Учитывая, что в последнее время в Европе стал снижаться спрос на топливную щепу, а также на паллетную доску, то наиболее актуальным является выработка колотых балансов, декоративных изделий, а также технологической щепы.

УДК 630\*36/.37

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

## **ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ КОМПЛЕКСА МАШИН ДЛЯ СБОРА И ТРАНСПОРТИРОВКИ ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ**

При конструировании лесных машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов первоочередной задачей является расчетная теоретическая оценка их эксплуатационных свойств: устойчивости, проходимости, маневренности, тяговых и сцепных свойств и др. Их показатели существенно зависят от принятой компоновочной схемы машины: размещения технологического оборудования и основных масс узлов и агрегатов машин, а также характеристик условий возможной эксплуатации и их потенциальной дифференциации. Удовлетворение требований предъявляемых к эксплуатационным свойствам часто носит противоречивый характер и не может быть достигнуто при отдельном рассмотрении каждого из них.

Проведенные исследования позволили оценить устойчивость машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов. Так, оценены критические углы поперечной и продольной устойчивости по условиям опрокидывания и сползания машин. Особо рассмотрены случаинарушения устойчивости машины для сбора лесосечных отходов в валы при полном затормаживании колес задней оси и опрокидывании машины относительно поверхности движения, а также при растормаживании колеса задней оси. Согласно теоретическим расчетам нарушение продольной устойчивости рассматриваемой машины по условию опрокидывания возможно на углах въезда больших, чем  $35^\circ$ , а поперечная устойчивость может быть нарушена при боковых уклонах превышающих  $42,48^\circ$  при поперечной колесной базе 1,8 м и  $48,88^\circ$  при поперечной базе 2,252 м. Потеря устойчивости полуприцепа машины для транспортировки лесосечных отходов происходит при загрузке первой пачки сучьев без предварительно выставленных аутригеров и вылете манипулятора 6,5 м с углом его установки в плане –  $103,3^\circ$ .

Устойчивость машины также нарушается вследствие недостаточно сцепления колес с поверхностью движения. Так, при коэффициентах сцепления колес с опорной поверхностью 0,2 – 0,3, что соответствует влажным глинистым грунтам и укатанным снежным дорогам, максимальные углы въезда/съезда трактора не превышают  $11,3^\circ$  –  $16,7^\circ$ . На

сухих суглинистых и песчаных грунтах ( $\varphi < 0,6$ ) максимальные углы въезда/съезда трактора не превышают  $31^\circ$ . При величинах  $\varphi > 0,7$  устойчивость машины определяется не параметрами сцепления колес с поверхностью, а величиной угла опрокидывания  $-35^\circ$ .

При оценке маневренности машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов определены максимальные углы поворота управляемых передних колес трактора и составляет  $57,5^\circ$ . Указанный угол поворота управляемых колес трактора приводит к увеличению габаритной полосы движения машины до 6,05 м. При этом габаритная ширина движения одиночного трактора достигает 3,27 м, а дополнительное увеличение габаритной полосы движения за счет наличия прицепа составляет  $-2,77$  м. Установка управляемых колес на меньшие углы приводит к снижению ширины габаритной полосы движения, однако заметно увеличивает радиусы поворота.

Также представлял интерес рассмотрение величины колееобразования движителями машин. Установлено, что при многократном проходе машины по одному участку волока, в особенности на грунтах 3-го типа интенсивность изменения глубины колеи носит нелинейный характер и затухает с увеличением количества проходов. При однократном нагружении глубина колеи не превышает 2 см, при 10-кратном – 10 см, при 20-кратном – 14 см, при 30-кратном – 19 см с последующим менее интенсивным возрастанием до величины 40 – 43 см. В отличие от машины для сбора лесосечных отходов в валы, которая редко выполняет более 2–3 проходов по одному участку, некоторые технологии работы машина для сбора и транспортировки лесосечных отходов предполагают более частые проходы (не редко до 20–30).

В результате теоретических расчетов тяговых и сцепных свойств комплекса машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов выполнена оценка тяговых характеристик базового трактора при его агрегатировании с прицепом для транспортировки. При оценке тяговых свойств машины для сбора лесосечных отходов установлено, что эффективность ее работы на грунтах I и II типа может быть увеличена за счет дополнительной установки собирающих зубьев. К примеру, тяговые свойства базового трактора при работе на грунтах I-го типа могут обеспечить работу 8–9 собирающих зубьев, что увеличит массу одновременно собираемого вала сучьев до 270–300 кг, тем самым приведет к увеличению производительности всего комплекса.

Полученные в результате теоретических исследований данные о эксплуатационных свойствах рассмотренных машин будут экспериментально подтверждены после изготовления опытных образцов машин.

УДК 630\*245.11:630\*332.3:630\*83

Д.А. Кононович, асп.;  
П.А. Протас, канд. техн. наук, доц.;  
С.П. Мохов, канд. техн. наук, доц.;  
С.Н. Пищов, канд. техн. наук, доц.  
(БГТУ, г. Минск)

## **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЗАГОТОВКИ ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ**

В Республике Беларусь на заготовке древесины сортиментным методом преимущественное направление получили системы машин: «валочно-сучкорезно-раскряжевная машина (харвестер) – погрузочно-транспортная машина (форвардер)» и «бензиномоторная пила – погрузочно-транспортная машина (форвардер)». После заготовки древесины такими системами машин на лесосеке образуются лесосечные отходы в виде сучьев, ветвей, обломков стволов, количество которых оценивается в 15-20% от объема заготавливаемой древесины. В настоящее время сбор лесосечных отходов осуществляется преимущественно ручным способом, реже лесные хозяйства используют самодельные устройства. Отсутствие специализированных машин для сбора и транспортировки, ограничивает использование и вовлечение порубочных остатков в лесозаготовительное производство, как дополнительного сырья, а также затрудняет решение санитарных вопросов очистки лесосек.

На кафедре ЛМиТЛЗ разработаны различные технологические схемы очистки лесосек от лесосечных отходов с использованием отечественного комплекса машин производства ОАО «Минский тракторный завод».

На грунтах с хорошей несущей способностью может эффективно применяться технология заготовки лесосечных отходов после проведения сплошных рубок с применением харвестера. В предлагаемой технологии основные лесосечные работы имеют продолжение в виде операций сбора, погрузки-транспортировки сырья из лесосечных отходов для производства щепы и измельчения в щепу с погрузкой ее в контейнеры на промежуточном складе. Сбор лесосечных отходов осуществляет подборщик движениями, перпендикулярно волокнам. Сформированные вдоль волокон валы отходов позволяют эффективно работать погрузчику-транспортировщику отходов за счет их концентрации. По окончании основных лесосечных работ, в данном случае, последует погрузка и вывозка круглых сортиментов из стволовой древесины, и погрузка и вывозка топливной или технологической щепы, выработанной из лесосечных отходов и, при необходимости, дровяной древесины.

При формировании вала отходов необходимо соблюдать следующие правила. Валы отходов лесозаготовок следует располагать параллельными рядами на расстоянии 15–25 м друг от друга в зависимости от захламленности лесосеки. Крайние валы не должны быть ближе 15 м от границ лесосеки, а концы валов – ближе 8–10 м от стены леса. Валы при тракторной трелевке следует размещать в основном на волоках и по границам пасек. Вал должен быть плотным, шириной не более 1,5–2,5 м, а высотой – 0,8–1,2 м.

При разработке лесосек без сохранения подроста бензиномоторными пилами технологический процесс может происходить по двум вариантам. Первый вариант связан со сбором лесосечных отходов в валы, их транспортировкой на промежуточный склад, где они перерабатываются на щепу рубильной машиной с подачей щепы в автощеповоз. Второй вариант связан со сбором лесосечных отходов в валы, после чего самоходной рубильной машиной перерабатываются на щепу с подачей щепы в опрокидывающийся бункер рубильной машины. Для этого рубильная машина движется вдоль вала отходов и перерабатывает их на щепу. После заполнения бункера рубильная машина перемещается на промежуточный склад и перегружает щепу в кузов автощеповоза. При этом исключается применение транспортировщика лесосечных отходов.

Для проведения сплошных рубок с сохранением подроста в условиях Республики Беларусь наиболее перспективна выбранная система машин (харвестер, форвардер, подборщик, транспортировщик, рубильная машина). В данной технологии однако необходимо минимизировать воздействие машин на почву и растительность на пасеках. Это достигается при условии, что харвестер при выполнении своих операций работает, находясь только на волоке, при этом все отходы укладываются на узкую полосу (до 2 м) пасеки вплотную к волоку. Отличительная особенность этой технологии заключается в том, что отходы собираются не в валы поперечными движениями, как в технологиях без сохранения подроста, а в кучи, расположенные рядом с волоком на полосе, шириной до 2 м параллельными волоку ходами трактора. Такая технология позволяет сохранить до 70% площади лесосеки не поврежденной.

Приведенные технологии по очистке лесосек от лесосечных отходов позволяют вовлечь дополнительное сырье в производство щепы, снизить риск возникновения пожаров, предотвратить размножения вредителей и оказывают содействие естественному возобновлению леса.

УДК 630\*3

Е. А. Леонов, ст. преп., канд. техн. наук;  
Р. О. Короленя, ст. преп., канд. техн. наук  
(БГТУ, г. Минск)

**ВЫПОЛНЕНИЕ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАБОТ В ГЛХУ  
«ЧЕРВЕНСКИЙ ЛЕСХОЗ» И ГЛХУ «СМОЛЕВИЧСКИЙ ЛЕСХОЗ»  
СТУДЕНТАМИ ФАКУЛЬТЕТА ТТЛП В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ  
И УЧЕБНЫХ ЦЕЛЯХ**

С 8 по 31 октября 2016 года на лесных территориях, поврежденных ураганными ветрами, Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь проводило добровольную акцию «Аднавім лясы разам!». К участию приглашались все желающие. Аксию поддержали более 5300 неравнодушных людей, среди которых и студенты 3-4 курсов лесохозяйственного факультета и 2-3 курсов факультета технологии и техники лесной промышленности БГТУ общей численностью 251 человек. Студенческие отряды работали на посадке леса с 26.09.2016 по 22.10.2016 г. на разработанных ветровально-буреломных лесосеках ГЛХУ «Смолевичский лесхоз» и ГЛХУ «Червенский лесхоз». Работы осуществлялись в два этапа.

В период с 26 сентября по 08 октября работы по лесовосстановлению выполняли студенты 2 курса факультета ТТЛП специальностей «Лесоинженерное дело» и «Машины и оборудование лесного комплекса». Общее количество студентов первого отряда составило 53 человека. За двухнедельный период работы студенческого отряда на территориях Кленникского лесничества ГЛХУ «Смолевичский лесхоз» и Гребенского лесничества ГЛХУ «Червенский лесхоз» была произведена посадка леса на территории площадью около 70 га. Руководителем строительного отряда был назначен старший преподаватель кафедры лесных машин и технологии лесозаготовок Е.А. Леонов.

С 10 по 22 октября на лесовосстановительных работах были задействованы студенты 3 курса факультета ТТЛП специальностей «Лесоинженерное дело» и «Машины и оборудование лесного комплекса» в количестве 47 студентов. Руководил строительным отрядом старший преподаватель кафедры лесных дорог и организации вывозки древесины Р.О. Короленя. Работы велись на территории Драчковского лесничества Смолевичского лесхоза. В зависимости от природно-производственных условий, посадка осуществлялась по формулам 5С5Е или 8С2Б. В результате работы было посажено саженцев сосны и ели на территории более 75 гектар. В период посадки леса студенты получили практические навыки в посадке леса, проявили трудолюбие, активность, добросовестное отношение к работе.

УДК 674.04

Л. В. Игнатович доц., канд. техн. наук (БГТУ, Минск);  
М.А. Барташевич, И. М. Харламова  
(ИТМО им. А. В. Лыкова НАН Беларуси)

### **ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ ФАНЕРЫ И КОЛИЧЕСТВА НАПОЛНИТЕЛЯ В КЛЕЕВОЙ КОМПОЗИЦИИ НА ПРОЧНОСТЬ СКЛЕИВАНИЯ**

Многие изделия эксплуатируются в условиях повышенной влажности и подвергаются воздействию других условий внешней среды. Для исследований влияния влажности фанеры и количества вводимого в клей наполнителя на прочность клеевых соединений фанеры использовали 5-ти слойную фанеру, изготовленную из березового шпона толщиной 1,5 мм; толщина шлифованной фанеры – 6 мм, изготовлена с использованием клея КФ-НФП по режиму, аналогичному используемому в ОАО «Речицадрев»: температура воздуха в цехе 22°C, относительная влажность воздуха 70%, температура плит пресса 115°C, вязкость клея  $90 \pm 5$  с по ВЗ-4, удельный расход клея  $110 \pm 5$  г/м<sup>2</sup>, давление прессования 1,2 МПа, продолжительность прессования из расчета 1 мин на 1 мм толщины прессуемой фанеры. В качестве отвердителя использовался сульфат аммония (в объеме 2% по массе), в качестве наполнителя диатомит (в объеме 2, 4, 6, 8, 10%).

Физико-механические показатели фанерной продукции испытывали в соответствии с ГОСТ 9624–2009. Исследование механических свойств древесины проводили по ГОСТ 7855–74. Испытания проводили на образцах влажностью  $10 \pm 2\%$  и  $16 \pm 2\%$ . Результаты эксперимента представлены в таблицах 1 и 2.

**Таблица 1 – Значения результатов опытов при влажности образцов  $10 \pm 2\%$  и различном содержании наполнителя**

Рецептура клея	Экспериментальные данные						
	У <sub>1</sub>	У <sub>2</sub>	У <sub>3</sub>	У <sub>4</sub>	У <sub>5</sub>	$\bar{y}$	S <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8
смола 97% + отвердитель 2% + аэросил 1%	1,46	1,531	2,780	2,566	2,051	2,079	0,351663
смола 96% + отвердитель 2% + наполнитель 2%	1,73	1,786	2,303	2,085	2,326	2,047	0,077884
смола 95% + отвердитель 2% + наполнитель 3%	2,04	2,133	1,162	2,340	1,677	1,870	0,214293
смола 94 % + отвердитель 2% + наполнитель 4%	2,70	2,182	1,262	2,737	2,511	2,280	0,373042
смола 93% + отвердитель 2% + наполнитель 5%	2,14	2,052	1,907	2,209	1,986	2,059	0,014346

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
смола 92% + отвердитель 2% + наполнитель 6%	3,32	2,691	2,773	3,613	3,617	3,203	0,200057
смола 91% + отвердитель 2% + наполнитель 7%	4,09	3,923	3,465	3,656	4,001	3,829	0,068301
смола 90% + отвердитель 2% + наполнитель 8%	4,05	2,737	2,511	1,095	4,017	2,883	1,502874
смола 89% + отвердитель 2% + наполнитель 9%	3,05	3,264	2,743	2,146	3,457	3,857	0,046734

**Таблица 2 – Значения результатов опытов при влажности образцов  $16 \pm 2\%$** 

Рецептура клея	Экспериментальные данные						
	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$	$Y_5$	$\bar{Y}$	$S^2$
1	2	3	4	5	6	7	8
смола 97% + отвердитель 2% + аэросил 1%	1,808	1,336	1,365	1,215	1,166	1,378	0,064586
смола 96% + отвердитель 2% + наполнитель 2%	1,471	1,345	1,463	1,465	1,111	1,371	0,023894
смола 95% + отвердитель 2% + наполнитель 3%	2,098	2,284	1,925	2,091	1,782	2,036	0,036260
смола 94 % + отвердитель 2% + наполнитель 4%	1,800	1,471	1,345	1,463	1,465	1,509	0,029268
смола 93% + отвердитель 2% + наполнитель 5%	1,849	1,979	1,646	1,816	2,177	1,893	0,039135
смола 92% + отвердитель 2% + наполнитель 6%	2,737	2,511	2,095	3,017	1,770	2,426	0,248281
смола 91% + отвердитель 2% + наполнитель 7%	2,303	2,895	2,850	2,060	2,936	2,609	0,160365
смола 90% + отвердитель 2% + наполнитель 8%	2,758	1,880	2,268	1,708	2,182	2,159	0,163108
смола 89% + отвердитель 2% + наполнитель 9%	2,679	2,241	2,348	3,064	2,358	2,537	0,255643

Приведенные данные таблиц 2 и 3 показывают, что при влажности древесины 10% прочность клеевого соединения в 1,35-1,5 раза выше, чем при влажности 16%. Это происходит за счет снижения прочности самой древесины с увеличением влажности. Введение наполнителя способствует увеличению прочности клеевого соединения, при этом лучшие показатели достигаются при количестве наполнителя 6–9%.

УДК 674.048

А. А. Барташевич, проф., канд. техн. наук (БГТУ, Минск);  
 Е. В. Коробко, проф., д.т.н.; Баштовая Е. А.  
 (ИТМО им. А. В. Лыкова НАН Беларуси)

### ЗАВИСИМОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ СВОБОДНОГО ФОРМАЛЬДЕГИДА ОТ ОБЪЕМА ВВОДИМОГО В КЛЕЙ НАПОЛНИТЕЛЯ

Определение эмиссии формальдегида проводилось на образцах фанеры марки ФК размером 20×20 мм и толщиной 6 мм. В состав клеевой композиции были включены следующие компоненты: смола карбаминоформальдегидная – КФ-НФП, отвердитель  $2(\text{NH}_4)\text{SO}_4$  хлористый аммоний, наполнители: диатомит (при приготовлении модифицированной клеевой композиции), аэросил (оригинальная клеевая композиция, используемая на ОАО «Речицадрев»). Также была использована клеевая композиция без использования наполнителя для получения результатов по токсичности карбаминоформальдегидной смолы [1, 2].

Результаты испытания фанерной продукции на содержание свободного формальдегида при разных содержаниях вводимого в клей наполнителя (диатомита и аэросила) приведены в таблицах 1 и 2.

**Таблица 1 – Результаты испытания фанерной продукции на содержание свободного формальдегида фотометрическим методом**

Рецептура образца	Содержание формальдегида, мг/м <sup>3</sup>
98 масс.ч. – смола КФ-НФП 2 масс.ч. – отвердитель $2(\text{NH}_4)\text{SO}_4$	0,130
97 масс.ч. – смола КФ-НФП 2 масс.ч. – отвердитель $2(\text{NH}_4)\text{SO}_4$ 1 масс.ч. – наполнитель аэросил	0,123
98 масс.ч. – смола КФ-НФП 2 масс.ч. – отвердитель $2(\text{NH}_4)\text{SO}_4$	0,130
97 масс.ч. – смола КФ-НФП 2 масс.ч. – отвердитель $2(\text{NH}_4)\text{SO}_4$ 1 масс.ч. – наполнитель аэросил	0,123
94 масс.ч. – смола КФ-НФП 2 масс.ч. – отвердитель $2(\text{NH}_4)\text{SO}_4$ 4 масс.ч. – наполнитель диатомит	0,105
92 масс.ч. – смола КФ-НФП 2 масс.ч. – отвердитель $2(\text{NH}_4)\text{SO}_4$ 6 масс.ч. – наполнитель диатомит	0,082
90 масс.ч. – смола КФ-НФП 2 масс.ч. – отвердитель $2(\text{NH}_4)\text{SO}_4$ 8 масс.ч. – наполнитель диатомит	0,065
88 масс.ч. – смола КФ-НФП 2 масс.ч. – отвердитель $2(\text{NH}_4)\text{SO}_4$ 10 масс.ч. – наполнитель диатомит	0,063

**Таблица 2 – Результаты испытаний при определении выделений формальдегида по методу WKI**

Рецептура образца (мас.части)	Содержание формальдегида мг/ 100 г сухого вещества
98 смола + 2 отвердитель	6,27
92 смола + 2 отвердитель + 6 наполнитель	4,96
90 смола + 2 отвердитель + 8 наполнитель	4,25
88 смола + 2 отвердитель + 10 наполнитель	4,16

Приведенные данные таблицы показывают следующее: применение диатомита в качестве наполнителя в пределах 8 – 10% по массе снижает содержание свободного формальдегида в полтора – два раза и приближает данный показатель к европейской норме. Использование аэросила в объеме 1% в качестве наполнителя снижает содержание формальдегида только на 6%, т.е. весьма незначительно.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Глебов М. П., Брутян К. Г. Анализ природных минеральных модификаторов для клеящих смол // Материалы международной научно-практической конференции. – СПб.: СПбГЛТА, 2007. – С. 28–33.
2. Коробко Е. В., Барташевич А.А., Скроцкий А.И. прогнозирование долговечности фанерной продукции строительного назначения. Материалы международной НТК «Новейшие достижения в области инновационного развития в химической промышленности и производстве строительных материалов» - Минск: БГТУ, 2015г. – С. 413-416.

УДК 674.812–41: 674.213 (043.3)

Л. В. Игнатович, доц., канд. техн. наук;  
С. В. Шетько, доц., канд. техн. наук  
(БГТУ, г. Минск)

### **СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПАРКЕТНЫХ ИЗДЕЛИЙ С ЛИЦЕВЫМ СЛОЕМ ИЗ УПЛОТНЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ МЕТОДОМ ПРОКАТА**

В настоящее время основной задачей лесной и деревоперерабатывающей промышленности является рациональное использование лесосырьевых ресурсов и производство экологически безопасной и конкурентоспособной продукции.

Альтернативным сырьем для производства паркетных изделий могут быть мягколиственные породы древесины, доля которых составляет более 30% от основных лесообразующих пород. В качестве способа улучшения физико-механических свойств древесины мягких лиственных пород, предлагается метод термомеханического модифицирования – способ изготовления паркетных изделий с лицевым слоем из уплотненной древесины методом проката с одновременным приклеиванием основания [2]. В качестве сырья для изготовления лицевого слоя паркетных изделий из термомеханически модифицированной древесины (уплотненной) целесообразно применять древесину ольхи и березы, произрастающих на территории Республики Беларусь.

Время уплотнения заготовок, является важным технологическим параметром, оказывающим влияние на продолжительность технологического процесса изготовления многослойных паркетных изделий. Предлагается способ уплотнения древесины методом проката с одновременным приклеиванием основания [1]. Данный принцип метода уплотнения прокатом с одновременным приклеиванием лицевого слоя к основанию заключается в следующем.

Обрезную доску мягких лиственных пород влажностью  $10\pm 2\%$ , толщиной 22 – 60 мм и шириной равной или кратной ширине заготовки для лицевого слоя с учетом припусков на механическую обработку, распиливают по толщине вдоль волокон древесины на заготовки толщиной 6 – 12 мм, соответствующей толщине лицевого слоя износа паркетных изделий с учетом степени уплотнения. На рисунке показана схема технологического процесса паркетных изделий с лицевым слоем из уплотненной древесины методом проката с одновременным приклеиванием основания.

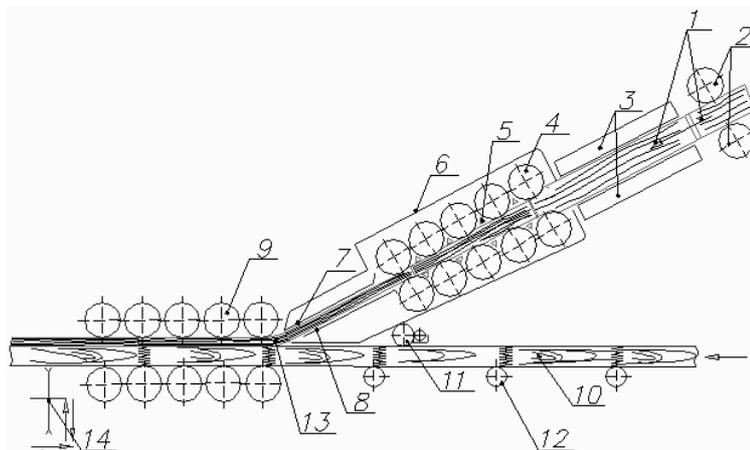


Рисунок – Схема технологического процесса паркетных изделий с лицевым слоем из уплотненной древесины методом: 1 – заготовки; 2 – питатель; 3 – нагревательные элементы; 4 – цилиндрические прокатные вальцы; 5 – прокатные вальцы; 6 – теплоизоляционный кожух; 7, 8 – направляющие; 9 – прижимные ролики; 10 – основание; 11 – клеенаносящий валец; 12 – приводные ролики; 13 – уплотненные планки лицевого слоя; 14 – торцовочная пила.

Полученные заготовки (1) для лицевого слоя подаются из питателя (2) между нагревательными элементами (3) с температурой нагрева от 110 до 140°С в попарно расположенные друг под другом цилиндрические прокатные вальцы (4). Уплотнение заготовок (1) для лицевого слоя толщиной от 3 до 6 мм., степенью уплотнения в пределах от 33 до 45%, проводится при усилии прессования от 10 до 20 МПа, скорости подачи от 10 до 20 м/мин, количество пар прокатных вальцов (4) может быть от 3 до 5 штук. Для создания температуры от 110 до 140°С между прокатными вальцами установлены нагреватели (5). Прокатные вальцы закрыты теплоизоляционным кожухом (6). После уплотнения планки лицевого слоя по направляющим (7, 8) подаются в прижимные ролики (9). На пластъ основания (10), наносится клеенаносящим вальцом (11) клеевой материал. При помощи приводных роликов (12) основание подается к участку соединения с уплотненными планками лицевого слоя (13), где прижимные ролики (9) создают усилие склеивания (0,8–1,0 МПа) лицевого слоя с основанием. Торцовочная пила (14) синхронно перемещающаяся раскраивает ее на необходимую длину. Данная технология обеспечивает повышение производительности и экономической эффективности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Патент РБ 20419, МПК В 27М 1/02 (2006.1), МПК В 27М 3/04 (2006.1), / Способ изготовления паркетных изделий с лицевым слоем из уплотненной древесины мягкой лиственной породы». Игнатович Л.В., Утгоф С. С., Шетько С. В.; заявитель УО БГТУ, заявл. 19. 02. 2013, опубл. 10.30.2016.

УДК 674.093

Е.А. Мухурова, ассист.;  
А.А. Янушкевич, доц., канд. техн. наук;  
С. В. Шетько, доц., канд. техн. наук  
(БГТУ, г. Минск)

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАСКРОЯ ЛИСТВЕННЫХ БРЕВЕН С УЧЕТОМ ИХ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ**

В Республике Беларусь в результате интенсивного использования древесины хвойных пород произошло существенное сокращение ее эксплуатационных запасов, что заставляет задуматься о вовлечении в переработку лиственной древесины. Для соблюдения принципов лесопользования необходимо учитывать особенности лиственного сырья при его использовании в лесопилении.

Основным пороком лиственной древесины, который оказывает значительное влияние на объемный выход длинномерной пилопродукции является кривизна ствола. В связи с этим, при вовлечении в переработку лиственного сырья необходимо разработать индивидуальный подход к его рациональной переработке.

Проведенные нами исследования, позволили обосновать и сформулировать технологию переработки бревен с кривизной на пилопродукцию целевого назначения [1], которая включает:

- сканирование бревна и регистрацию его размеров и особенностей формы ствола;
- виртуальный раскрой бревна;
- выбор оптимальной схемы раскроя с учетом особенностей каждого бревна;
- сортировку и распиловку бревен по оптимальным схемам, обеспечивающим наибольший объемный выход пилопродукции.

Информация о размерах и стреле прогиба бревен, поступающих на предприятие, может быть получена путем сканирования каждого бревна при помощи соответствующего измерительного устройства. Для реализации данного этапа в БГТУ разработан автоматизированный измерительный комплекс и специальные технологические программы, которые в совокупности позволят регистрировать размерные и качественные характеристики бревна, в том числе кривизну [2].

Далее при помощи разработанного математического аппарата определяется оптимальная схема раскроя бревна, в соответствии с которой осуществляется сортировка пиловочного сырья.

Для сравнительного анализа схем распиловки было выполнено компьютерное моделирование раскроя бревен диаметром 18–34 см (при безопилочном делении и без учета усушки), коэффициентом сбега 1.13, длиной 3, 4 и 5 м. При этом, определяли оптимальный объемный выход пиломатериалов из прямых бревен и из бревен, имеющих кривизну 1, 2 и 3 %, которая допускается стандартом [3]. Одновременно рассчитывался выход пиломатериалов из бревен с кривизной, которые распиливались по схемам, составленным для прямых бревен.

Анализ полученных результатов позволяет заключить следующее:

– с увеличением кривизны, отклонение оптимального выхода от выхода, полученного при распиловке кривого бревна по схеме для прямого, увеличивается. Следовательно, распиловка бревен большей кривизны целесообразна по оптимальным схемам;

– с увеличением длины бревна при постоянном проценте кривизны происходит снижение оптимального выхода длинномерной пиломатериалов. Это объясняется тем, что стрела прогиба, величина которой влияет на выход пиломатериалов с увеличением длины сортиментов будет расти.

Реализация разработанной технологии позволит вовлечь в переработку лиственную древесину и осуществлять ее рациональное потребление.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мухурова, Е. А. Совершенствование математического аппарата измерительного комплекса для регистрации кривизны бревен / Е. А. Мухурова, С. В. Шетько, А. А. Янушкевич // Сб. науч. тр./ Труды БГТУ. – Минск, 2016. – №2 (184): Лесная и деревообаб. пром-сть. – С. 187 – 191.

2. Мухурова, Е. А. Индивидуальный подход к распиловке бревен лиственных пород / Е. А. Мухурова, А. А. Янушкевич, С. В. Шетько // «Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века»: Труды XIX международного евразийского симпозиума 20-23 сентября 2016 г. – Екатеринбург, 2016. – С. 71 – 75.

3. Лесоматериалы круглые лиственных пород. Технические условия: СТБ 1712–2007. – Введ. 05.01.07. – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2007. – 15 с.

УДК 684.4

А.А. Барташевич проф., канд. техн. наук,  
Л. В. Игнатович доц., канд. техн. наук,  
С. В. Шетько доц., канд. техн. наук,  
(БГТУ, г. Минск)

В. А. Ангерчик, конструктор (ОАО «Речицадрев»)

## **ВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДЕТЕЙ, УЧИТЫВАЕМЫЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ДЕТСКОЙ МЕБЕЛИ**

Ребенок живет в трех разномасштабных пространствах. Первое, макро пространство (взрослое пространство квартиры) ребенку несо- масштабно. Он к нему привыкает, но не ощущает своим. Второе про- странство – детская зона квартиры со своим оборудованием. Это про- странство и среда ему сомасштабны. Третье пространство –это место для игр и игрушек ребенка. Здесь он над пространством, как бы свер- ху смотрит на игрушки. Такое разное восприятие масштабов про- странства характерно для маленьких детей. По мере их взросления масштабы сближаются, а затем сливаются в один.

В связи с этим можно выделить три возрастные группы детей, поведение которых различны:

-до 3 лет; основное занятие детей- сон, еда и игры;

-от 3 до 6 лет; в этом возрасте добавляются некоторые виды са- мостоятельной деятельности – рисование, моделирование, различное конструирование, занятия музыкой и др.;

От 6 до 14 лет; в этом возрасте наряду со сном, едой и играми дети имеют определенные обязанности, такие как учеба, труд, спорт..

Все виды занятий требуют соответствующего оборудования и организации детской зоны или комнаты. Мебель для самых малень- ких должна отвечать их интересам и давать возможность совершать различные манипуляции с ней.

Маленькому ребенку необходимы: кровать, стульчик, столик для игр и занятий, шкафчик для хранения игрушек и различных пред- метов. На четвертом-пятом месяце жизни малышу необходим манеж размеров примерно 1 × 1 м. Первая потребность в изделии для сиде- ния и столика появляется после того, как ребенок начинает свободно двигаться. По мере роста ребенка эти предметы должны увеличивать- ся в размерах. Дети в возрасте от шести лет нуждаются в оборудо- ванном месте для различных занятий. Для однополых детей целесооб- разно разместить две кровати, одна над другой.

Важное значение имеет цветовое решение мебели. Дети любят яркие и чистые цвета, но не кричащие, иначе они быстро надоедят даже ребенку.

Дети от самых маленьких до старшей группы имеют большую разницу в размерах и весе, поэтому установлены ростовые номера детской и школьной мебели. Каждому ростовому номеру установлены свои оптимальные размеры

Функциональные размеры мебели для дошкольных учреждений регламентируются ГОСТ 26682 «Мебель для дошкольных учреждений. Функциональные размеры»

Для изготовления детской мебели необходимо использовать экологически чистые материалы. Таким материалом является натуральная древесина, но она годится для брусовых деталей и щитов значительной толщины. Для щитовых деталей малых толщин больше подойдет фанера. Экологически она является достаточно чистым материалом, особенно если при ее изготовлении применяется малотоксичный клей. Таким является карбамидоформальдегидный марки КФ-НФП с диатомитом в качестве наполнителя в объеме 6 – 8 % масс. ч. Фанера позволяет изготавливать щитовые детали практически любых толщин.

Приемы конструктивных решений детской мебели остаются примерно те же, что и мебели для взрослых. Разница заключается в размерах конструктивных элементов и величинах нагрузок в процессе потребления мебели. Вес детей зависит от их возраста (ростового номера). В мебели первых трех возрастных групп нагрузки небольшие и размеры деталей следует искать не из условий допустимых напряжений, а из возможностей получения соединений деталей минимальных толщин, которые определяются возможностями соединительной фурнитуры или минимально-допустимыми размерами элементов шиповых соединений.

Конструктивные решения деталей детской мебели старших возрастных групп не отличаются от решений мебели для взрослых людей. Прочность и надежность детской мебели определяются методами испытаний - квалификационным и сертификационными.

Корпусную мебель испытывают на устойчивость (по международному стандарту ИСО 7171), а прошедшие это испытание испытывают на прочность и деформируемость корпуса (по ГОСТ 19882). Устойчивость столов испытывают в соответствии с ГОСТ 28793 (ИСО 7172). Мягкость функциональных элементов мягкой мебели определяют по ГОСТ 21640. Кровати детские испытывают по ГОСТ 28777 на устойчивость и долговечность.

УДК 674.093-412 676.012.7

А. М. Сумароков, советник-консультант, канд. техн. наук  
(Шпрингер Maschinenfabrik А Г, Австрия)

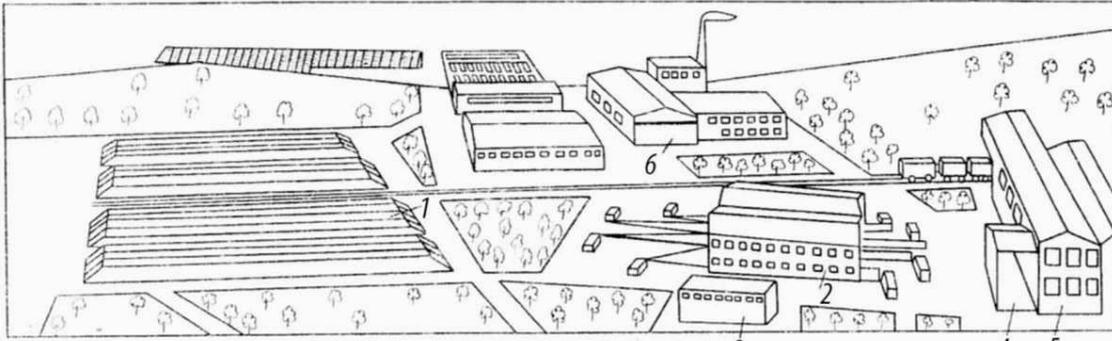
**ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ  
ФИРМЫ «ШПРИНГЕР» ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ  
НИЗКОКАЧЕСТВЕННОГО И ТОНКОМЕРНОГО СЫРЬЯ  
С ОДНОВРЕМЕННЫМ ПОЛУЧЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ  
ЩЕПЫ ДЛЯ ЦБП**

При постоянном росте стоимости хвойного пиловочного сырья (до 3200 руб./м<sup>3</sup>, РФ) и его дефиците для производства пиломатериалов с одновременным получением технологической щепы для целлюлозно-бумажного производства (ЦБП по нашему мнению целесообразно использовать балансовое сырье (до 1000 руб./м<sup>3</sup>) и низкокачественный тонкомерный пиловочник диаметром 10–16 см с переработкой его фрезерно-пильном оборудовании.

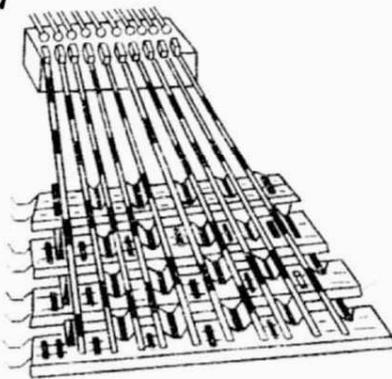
При объеме переработки в условиях комбината от 500 тыс./м<sup>3</sup> в год, предприятие может рассчитывать на экономический эффект от получения из дешевых балансов и низкокачественного тонкомерного сырья более дорогой продукции – строганых пиломатериалов (стоимостью от 20 тыс.руб./м<sup>3</sup>) и целлюлозы (стоимостью от 80 тыс. руб./т).

За счет полной автоматизации лесопиления, высокой производительности и комплексного использования сырья предприятие может обеспечить окупаемость в течение не более 5 лет. Производство будет оснащаться самым современным оборудованием от подачи и сортировки сырья до выпуска готовых строганых пиломатериалов и щепы для изготовления высококачественной целлюлозы. Практически безотходное производство обеспечивает себя и тепловой энергией.

Реализация предложений возможна при организации лесоперерабатывающего производства в дополнение к ЦБК, при этом балансы первоначально проходят лесопереработку, а не сразу направляются на ЦБК. Это позволяет в процессе производства получить более дорогой продукт – строганный пиломатериал из низкосортной древесины (с низкой ценой), что увеличивает общую прибыль и рентабельность производства. Фирма Шпрингер готова к обеспечению технической части реализации проекта».



**а**

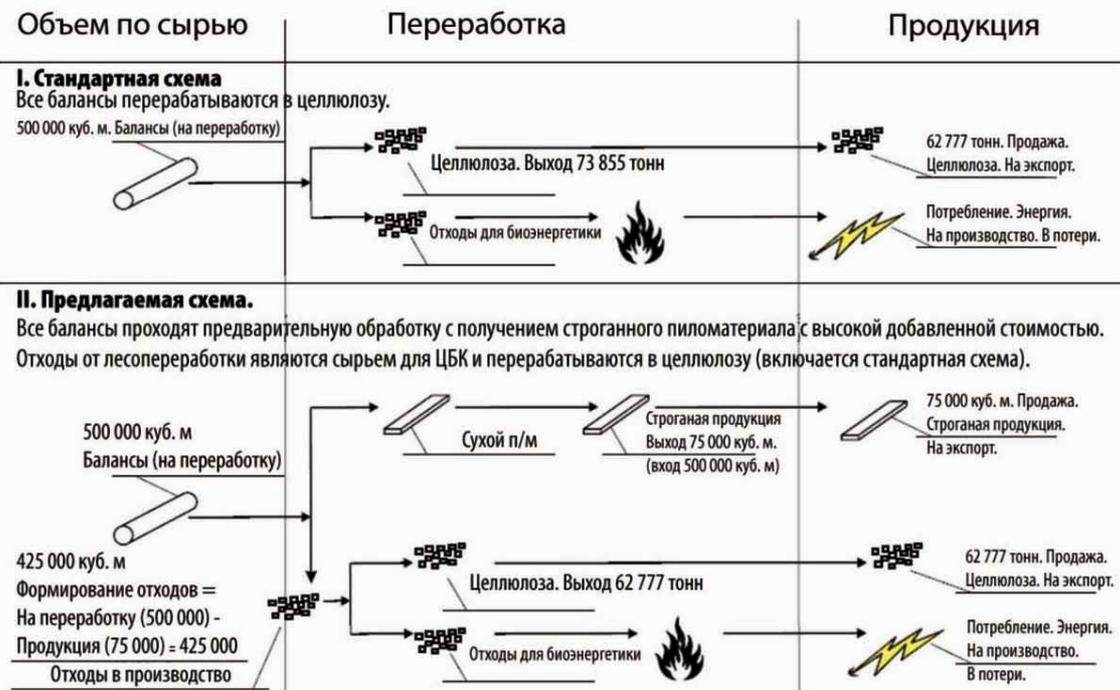


- 1 – склад сырья;
- 2 – лесопильный цех на базе линии агрегатной переработки бревен;
- 3 – бункерная галерея для технологической щепы;
- 4 – участок сушки пиломатериалов;
- 5 – склад готовой продукции;
- 6 – участок переработки коры.

**б**



**Комбинат комплексной переработки мелкотоварного пиловочного сырья: а – участок окорки и сортировки сырья; б – технологическая схема переработки сырья.**



**Схема предложения по оптимизации результатов производства**

УДК 674.047.3 : 697.92

А. Е. Земцовский, проф., канд. техн. наук  
(САФУ, г.Архангельск)

## **ВЛИЯНИЕ ТОЧНОСТИ ПРИБОРОВ КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА КАМЕРНОЙ СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ**

Качество сушки пиломатериалов в лесосушильных камерах обеспечивается совокупностью технических и технологических факторов. Это физические свойства древесины, технологии лесопиления и сушки, погрешности приборов контроля и регулирования параметров агента сушки и другие факторы. Целью исследований является оценка влияния погрешностей приборов контроля и регулирования за состоянием агента сушки на влажностные показатели качества высушиваемых пиломатериалов.

Между тем, в силу объективных законов теории вероятностей параметры агента сушки не могут быть «точно» установлены. Самая «точная» система контроля характеризуется определенной степенью достоверности получаемых результатов. В связи с этим «объективный» разброс параметров сушильного агента, очевидно, окажет определенное влияние на показатели качества сушки.

Таким образом, перед выгрузкой пиломатериалов из сушильной камеры их конечная влажность и перепад влажности по сечению досок оказываются окончательно сформированными вследствие влияния независимых друг от друга технических, технологических и производственных факторов. Поскольку вероятностные элементы необходимо представлять в виде конкретных распределений, то возникает проблема идентификации распределения случайных величин по данным выборки. Согласно закону больших чисел и центральной предельной теореме при совокупном влиянии на данное свойство многочисленных независимых друг от друга причин можно говорить, что выборочные средние, асимптотически нормально распределены. Для прогнозирования влияния погрешностей приборов контроля и регулирования на влажностные показатели качества сушки недостаточно знание статистических характеристик случайных величин. С математической стороны вопрос сводится к установлению приемов, которые дают возможность вычислить погрешность функции, зная погрешности входящих в нее аргументов и вид функциональной зависимости. Исследуемые функции показателей качества сушки от погрешностей приборов контроля и регулирования являются нелинейными, если рассматривать их на всем диапазоне варьирования аргументов.

Однако, вследствие сравнительной малости погрешностей функции на малом интервале можно с достаточной для практических целей точностью считать линейными. При этом отклонение результата должно определяться не только варьированием входных параметров, но и видом зависимости. Если считать, что ошибки измерения распределены по нормальному закону (согласно центральной предельной теореме) и представляют собой некоррелируемые величины, то по теореме о сумме дисперсий имеем:

$$S_w = \left\{ \left( \frac{\partial W}{\partial W_n} \right)_0^2 \cdot S_{W_n}^2 + \left( \frac{\partial W}{\partial \rho_s} \right)_0^2 \cdot S_{\rho_s}^2 + \left( \frac{\partial W}{\partial t} \right)_0^2 \cdot S_t^2 + \left( \frac{\partial W}{\partial \Delta t} \right)_0^2 \cdot S_{\Delta t}^2 \right\}^{\frac{1}{2}}; \quad (1)$$

По характеру распределения влажности по сечению материала процесс сушки разделяется на две стадии: стадию нерегулярного режима, когда интенсивно сохнут поверхностный слой, а влажность в центре практически не меняется, и стадию регулярного режима, когда удаление влаги происходит по всему объему материала. На стадии нерегулярного режима может быть использовано приближенное решение уравнения влагопроводности (2):

$$w(x, \tau) = w_n - (w_n - w_p) \cdot 1,29 \cdot \sqrt{F_0'} \cdot \exp \left[ -\frac{(1-\frac{x}{R})^2}{4 \cdot F_0'} \right] \cdot x \left[ \frac{1}{1,29 \cdot \sqrt{F_0'} + 1 - \frac{x}{R}} - \frac{1}{1,29 \cdot \sqrt{F_0'} + 1 - \frac{x}{R} + 2 \cdot R_1' \cdot F_0'} \right] \quad (2)$$

Решение балансового уравнения при всех принятых допущениях имеет следующий вид (3):

$$w(x, \tau) = w_w - \left( \frac{x}{R} \right)^2 \cdot [w_n(\tau) - w_p(\tau)] \quad (3)$$

Разработан вычислительный алгоритм, который реализован в виде программного кода.

Выводы:

1. Выявлены и проанализированы факторы, влияющие на показатели качества пиломатериалов.
2. Разработана методика прогнозирования влажностных показателей качества сушки пиломатериалов.
3. Разработана методика и математический аппарат, позволяющий оценить влияние погрешностей приборов контроля и регулирования параметров агента сушки на влажностные показатели качества пиломатериалов. Установлено, что из-за незначительного влияния этих погрешностей возможна установка приборов невысокой точности, а следовательно, и невысокой стоимости.

УДК 728

К. А. Челавина, магистрант ;  
Д. А. Чернышова, магистрант ;  
А. Е. Земцовский, проф., канд. техн. наук  
(САФУ, г. Архангельск)

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КОНФИГУРАЦИИ СЕЧЕНИЯ ОЦИЛИНДРОВАННОГО БРЕВНА ПРИ УСУШКЕ**

Дерево как строительный материал в настоящее время приобретает свое первоначальное значение. Это связано с новой оценкой этого строительного материала, а также с совершенствующейся техникой и технологией его обработки. Несмотря на конкуренцию со стороны других строительных материалов и технологий, дерево не только сохранило свое традиционное назначение, изменившись в форме современных конструктивных схем и архитектурных решений, но и уверенно выходит на одно из ведущих мест в строительной отрасли в России.

Дома из оцилиндрованного бревна имеют несомненные плюсы, среди которых – экологичность, безупречность внутренних поверхностей и превосходный внешний вид.

Как известно, оцилиндрованные бревна для деревянного домостроения изготавливаются из влажной древесины. Конечно, только что изготовленный сруб, брёвна в котором лежат «одно к одному», без щелей и зазоров, смотрится на строительной площадке очень красиво.

Особенно если взглянуть со стороны торцов брёвен в углах перерубов, в оконных и дверных проёмах.

Таким образом, сруб только что изготовленный и стоящий на площадке строительной компании выглядит весьма привлекательно, а зазоры между венцами минимальны:

Основной период усадки срубов домов из оцилиндрованного бревна приходится на первые месяцы после завершения строительных работ.

В зависимости от начальной влажности брёвен в процессе усушки происходит уменьшение их диаметра на 5-10%.

По прошествии 2-3 лет в деревянном доме происходят серьёзные изменения, связанные с усушкой деревянных конструкций. Соответственно, меняются формы чаш, зазоры в чашках и пазах. В традиционной русской чашке появляются дополнительные зазоры, срубы оседают, заполняя образовавшиеся пространства:

Безусловно, брёвна не могут «зависнуть» в воздухе, они оседают, занимая освободившееся пространство.

В русской чаше после усадки верхнего бревна образуются достаточно большие зазоры, которые придётся конопатить льно джутом или паклей, применять специальный герметик для древесины.

Достаточно большие щели не только будут портить внешний вид деревянного дома или бани, но и негативно скажутся на теплопроводности бревенчатых стен. Это потребует постоянного подконопачивания, а в самых сложных случаях – даже специального утепления стен. Таким образом, может исчезнуть вся самобытность бревенчатого деревянного дома.

Для предотвращения образования щелей после усушки и усадки сруба применяется методика создания поднутрения, т.е. вертикального зазора по оси брёвен. Этот зазор выбирается в нижней части бревна по всей его длине, причём с торцов он чуть меньше (5-8 мм вместе с высотой «завешивания» наружных углов), а в невидимых частях венца – чуть больше (10-15мм). Однако, форма и размеры поднутрения определяются интуитивно и понять насколько правильным принято решение о параметрах поднутрения практически невозможно.

В результате теоретических исследований разработана математическая модель усушки оцилиндрованного бревна. В качестве входных переменных факторов выбраны диаметр сортамента, коэффициенты усушки древесины в различных направлениях, порода древесины.

Математическая модель позволяет прогнозировать изменения конфигурации сечения оцилиндрованного бревна при усушке и назначать параметры фрезерования продольного паза с учетом будущей усушки.

УДК 536.46

Ш. А. Мирзоев, ассист.  
(ТНУ г. Душанбе)

## О КЛАССИФИКАЦИИ ПРИРОДНЫХ ВОД В ТРЕЩИНОВАТЫХ ПЛАСТАХ

Динамические ресурсы поверхностных и подземных пресных вод Таджикистана составляют более 80 км<sup>3</sup>/год. Из них около 80% поступают в соседние республики Туркменистан и Узбекистан в виде речного стока. Кроме того просторы высоких горных и предгорных районов республики богаты источниками – родниками и ключами природных вод. Еще в середине прошлого столетия геологами страны было открыто и исследовано около 300 родников пресных, минеральных и глубинных термальных вод различной классификации, большинство из которых обладают целебными свойствами. В 1972 г. результаты полувековых изысканий были изданы в виде серии многотомных монографий под названием «Гидрогеология СССР», 41 том которой был посвящен результатам геолого-гидрогеологических исследований в Таджикской ССР. Тогда же была предложена следующая классификация природных источников родниковых вод: Очень пресные – <0,1 г/л; Пресные – 0,1–1,0 г/л (среди них 0,1–0,3; 0,3–0,5; 0,5–1,0 г/л); Соляные 1-35 г/л (среди них 1-3, 3-5, 5-10; 10-35 г/л); Рассолы – >35 г/л (среди них 35-75, 75-150 г/л и т.д.).

Дебиты и модули стока, химический и газовый состав родниковых вод, приуроченных к тому или иному литолого-стратиграфическому комплексу пород, классифицировались в соответствии с общепринятыми градациями: дебиты родников подразделены по интервалам, менее 0,1; 0,1-1,0; 1-5 л/сек и т.д.; минерализация – менее 0,1; 0,1-0,3; 0,3-0,5; 0,5-1,0; 1-3 г/л и т.д. или с учетом конкретных значений, установленных для данного района: например, модули трещиноватости подразделяются по интервалом менее 1; 1-5; 5-10% и т.д.

Величины, встречаемость которых превышает 65% (и более) рассматриваются как преобладающие, фоновые, а ряд пород, характеризующийся сходными фоновыми величинами всех показателей объединяются в укрупненные комплексы-водоносы. Они группируются по специфическим компонентам – углекислые, сероводородные, йодобромные, кремнистые, радоновые; по содержанию растворимых в воде солей – от пресных до крепких рассолов, по содержанию газов – углекислые, сероводо-родные, азотные, метановые, по температуре –

от холодных до очень горячих. В горных районах республики наряду с известными термальными источниками (Шохиамбари, Ходжа-Обигарм, Гармчашма и др.) существуют многие, вновь открытые, и не включенные в карту, фундаментальной монографии, но которые, так или иначе, используются в лечебных целях.

При этом особое внимание было уделено также качеству воды, существующих и вновь открытых родников, представляющих интерес, в первую очередь, как источник питьевой воды для животноводов. Предварительный статистический анализ показывает, что из 300 зарегистрированных гидрогеологами родников, отраженных на карте 1972г., около 230 - источники пресной воды, 54 из которых использовались для нужд местного населения и водопоя скота. Впоследствии было открыто множество пресноводных источников – родников в окрестностях г. Душанбе, по трассе дорог от столицы – г. Душанбе в сторону Северного и Юго-Восточного районов республики, включая Бадахшан.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Колмогоров А.Н. Докл. АН СССР. -1941. -Т.30. -№4. -С.299-303.
2. Саттаров М.А. Гидромеханические аспекты изучения структуры турбулентного потока с поперечным сдвигом в каналах и пористых средах // Вестник Харьковского национального университета. - 2009. -№863. -С.190-201.
3. Полубаринова-Кочина П.Я. Теория движения грунтовых вод. -М.: «Наука», 1977. -664 с.
4. Яблонский В.С. Краткий курс технической гидромеханики. - М.: Физ.-мат Гиз., 1961. -356 с.

УДК 674.06

А. Р. Бирман, Ю. И. Цой,  
В. А. Соколова,  
В. Г. Лукин, С.А. Войнаш  
(СПбГЛТУ им. С.М. Кирова)

## **ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА СКЛЕИВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ ХОЛОДНЫМ СПОСОБОМ**

Натуральные клеевые материалы могут использоваться везде, однако за последние 20 лет от них почти полностью отказались из-за их дефицита и изменений технологий и повышения требований к качеству клееной продукции и интенсификации процессов склеивания.

Время склеивания это важный показатель, который во многом определяет технико-организационные показатели эффективности производства. В большинстве случаев склеивание древесины холодным способом выполняется с длительной выдержкой заготовок в запрессованном виде. Ускорение процесса отверждения клея и уменьшение времени выдержки склеиваемых заготовок в запрессованном состоянии имеет важное и актуальное значение для деревообрабатывающей промышленности.

Для ускорения процессов склеивания деталей из массивной древесины обычно применяют горячие способы склеивания. К сожалению, применение горячих способов склеивания иногда приводит к появлению существенного брака в изделиях.

Предлагаемый способ ускорения процесса склеивания массивной древесины холодным способом может иметь в настоящее время весьма актуальное и важное значение для деревообрабатывающей промышленности страны.

За основу разработки интенсификации процесса склеивания был взят процесс склеивания клееного бруса для деревянного домостроения.

Клееный брус сечением 450x500 мм имеет широкое применение для строительства деревянных домов для постоянного и временного проживания в северных областях России.

При традиционном способе производства клееного бруса требуется длительная выдержка в запрессованном состоянии до полного отверждения клея, после чего брус можно вынуть из пресса и переместить на следующее место обработки.

Длительность такой выдержки приводит к удорожанию конструкции прессового оборудования и использованию так называемых

клеильно-веерных прессов, имеющих большую массу и высокую стоимость.

Предлагаемое техническое решение может существенно сократить время запрессовки заготовок клееного бруса с 4-5 часов до нескольких минут, как правило, от одной до трех минут.

При этом при внедрении нового технического решения, не требуется изменять технологические режимы прессования и, в частности, увеличение величины давления прессования или значительных изменений в конструкции прессового оборудования.

Суть ускорения процесса склеивания заключается в том, что на поверхность одной из склеиваемых деталей с помощью клеевых вальцов наносят клей, включающий связующее и отвердитель в оптимальных пропорциях. Между клеевыми вальцами и прессом, на конвейере устанавливают дополнительную емкость с подогревом. Емкость может представлять собой капельницу или сопло, из которой по заданной программе на клеевую поверхность детали каплями дополнительно наносят нагретый раствор специального ускорителя отверждения.

Рекомендуемая температура нагрева раствора ускорителя должна быть в пределах 60-80°C. Капли ускорителя наносят через равные промежутки на клеевую поверхность детали, после чего их совмещают между собой и помещают в холодный пресс, где их склеивают под давлением 0,2-0,8 МПа в течение 1-3 мин. Затем склеенные детали выдерживают в стопах до полного отверждения основного клеевого слоя.

Предлагаемое техническое решение позволяет значительно сократить продолжительность пьезообработки при склеивании древесины холодным способом и, как следствие, повысить производительность прессового оборудования.

Областью применения предлагаемого технического решения являются производство столярных плит, мебельных щитов, стеновых панелей деревянных домов, деталей дверных и оконных блоков и др.

УДК 674.056

В. Н. Сторожук, доц., канд. техн. наук;  
Г. В. Сомар, доц., канд. техн. наук;  
О. Б. Ференц, доц., канд. техн. наук.  
(НЛТУ Украины, г. Львов)

## **АНАЛИЗ АКУСТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПРОДОЛЬНО-ФРЕЗЕРНЫХ И КРУГЛОПИЛЬНЫХ ДЕРЕВОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ**

Одними из базовых видов технологического оборудования лесопильно-деревообрабатывающего производства являются круглопильные и продольно-фрезерные станки (КПФС). Уровень шума, генерируемый КПФС, нередко значительно превышает допустимые санитарно-гигиенические нормы и в ряде случаев превышение достигает 10...15 дБА, что особенно характерно для морально и физически изношенного оборудования. При этом, производственный шум осуществляет отрицательное акустическое воздействие на людей и окружающую среду, вследствие чего возникают санитарно-гигиенические и экологические проблемы организационного и инженерно-технического характера.

Эффективность снижения шума в значительной степени определяется правильным выбором основного источника шумообразования. Предыдущие исследования доказали целесообразность установления приоритетов в акустической структуре круглопильных и продольно-фрезерных станков.

Снижения шума оборудования можно достичь за счет оптимизации средств шумопонижения дифференцированно, как на уровне каждого приоритета, так и интегрировано в целом.

Наши исследования [1] дали возможность разработать общую акустическую структуру КПФС: выделены основные компоненты шума практически для всех источников данного оборудования, исследованы генерируемые ими звуковые колебания. Ставилась задача сгруппировать однотипные источники (по характеру спектра шума) с тем, чтобы усовершенствовать акустическую структуру и за счет того ограничить количество объектов исследования. Мероприятия для снижения шума, которые будут предлагаться для одного источника, с определенными коррективами могут распространяться для всех однотипных источников установленной группы.

Предпосылкой такого группирования стала разработанная схема воздействия на шумообразование КПФС. Путем обобщения предыдущих исследований данная схема отражает тенденцию влияния на

шум при изменении факторов шумообразования (в установленном диапазоне исследований).

Нами выделено 4 группы факторов:

- факторы, характеризующие инструмент;
- факторы, характеризующие обрабатываемый материал;
- факторы, описывающие взаимодействие инструмента с обрабатываемым материалом;
- факторы, описывающие особенности конструкции станка.

За результатами анализа все характеристики шумообразования были сгруппированы по происхождению и характеру воздействия. Сделано сравнение спектральных составляющих шума, который образуется при изменении параметров первых двух групп факторов.

Результаты показали, что характеры спектров в пределах группы являются родственными (за исключением 2-3 факторов из группы, характеризующиеся своеобразием спектра).

На основе анализа удельного веса источников шума, определенного по результатам исследования методом последовательного исключения, определена их акустическая последовательность (по убыванию, начиная от источников с более высоким уровнем эмиссии шума):

- зона резания (режущие инструменты и окружающие элементы конструкции машин);
- механизмы подачи;
- органы базирования, работающие в условиях предельных динамических нагрузок, вызванных ударным характером процесса резания;
- вторичные источники излучения шума: станина, ограждающие конструкции, устройства безопасности и др.

Данная последовательность определяет постепенность процесса шумопонижения, базовый принцип которого: снижение шума машины путем воздействия на акустическую активность самого мощного источника. Исследования в данном направлении продолжаются, их результаты планируются к использованию для оптимизации снижения шума с использованием компьютерной техники.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сторожук, В. М. Виробничий шум: природа та шляхи зниження: учебное пособие. К.: Основа, 2003. – 384 с.

УДК 674.055:621.934(043.3)

А. Ф. Аникеенко, ст. преп., канд. техн. наук,  
А. Ю. Тишевич, магистрант  
(БГТУ, г. Минск)

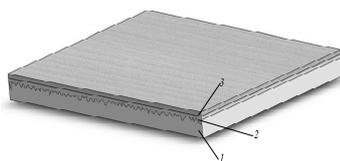
## **ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ВИНТОВЫХ СВЕРЛ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ВЫСОКОЕ КАЧЕСТВО ОБРАБОТКИ ЛАМИНИРОВАННЫХ ПЛИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Цель представленной работы – определить эффективность использования сборных винтовых сверл для обработки ламинированных плитных материалов и получения высокого качества обработанной поверхности.

Задачи работы – 1. Провести детальный анализ рекомендуемых режимов сверления ламинированных древесностружечных плит. Выделить недостатки и полное отсутствие теоретических основ рассмотренных режимов.

2. Описать дефекты, возникающие при сверлении ламинированной древесностружечной плиты, как на входе в заготовку, так и на выходе. 3. Обосновать необходимость в проектировании сборных сверл особой конструкции.

В современной ламинированной древесностружечной плите (рис. 1) можно выделить три основных слоя: ламинат (декоративное покрытие), покрывающий поверхность плиты, некоторое количество связующего и непосредственно сама плита [1].



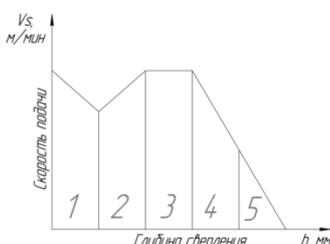
1 – плита ДСтП; 2 – связующее; 3 – ламинат

**Рисунок 1 – Структура плиты**

В связи с тем, что все три слоя отличаются физико-механическими свойствами, возникает необходимость использовать технологические режимы, удовлетворяющие качественной обработке всех трех слоев. Наиболее сложно выбрать технологические режимы для обработки хрупкого и очень твердого ламината. Неправильно выбранный режим обработки приводит к появлению сколов, что недопустимо. Логично использовать меньшую скорость подачи и большую скорость вращения сверла, чтобы исключить появление таких дефектов. Такой подход позволяет избавиться от брака, но крайне не-

гativamente сказывается, во-первых, на производительности, во-вторых, на периоде стойкости инструмента и, в третьих на энергопотреблении.

Исходя из того что плита состоит из нескольких слоев разной плотности, а обработку каждого слоя выделить в отдельный этап, логично было бы изменять технологические режимы на каждом этапе обработки (рис. 2).



**Рисунок 2 – График изменения скорости подачи**

Для подтверждения эффективности данной методики были проведены лабораторные испытания, которые подтвердили гипотезу эффективности метода динамического изменения технологических режимов. В качестве лабораторной установки использовали многооперационную машину с числовым программным управлением (ЧПУ) Rover b 4.35. Однако у большинства многошпиндельных сверлильных станков, использующихся на деревообрабатывающих предприятиях, нет возможности изменять технологические режимы динамически непосредственно в процессе сверления, что делает невозможным использование такого подхода.

Авторами была предложена конструкция такого инструмента.

Сверло представляет собой сборную конструкцию, состоящую из режущей части, которая может быть любой конструкции с подрезателями и без них, соединенную с хвостовиком через упругий элемент, и еще одного упругого элемента, установленного поверх режущей части. На торце внешнего упругого элемента находится защитная шайба, которая предохраняет ламинат от возможного повреждения.

Использование данного типа инструмента при сверлении плитных материалов позволит в значительной мере сократить количество брака, увеличить производительность вместе со снижением энергопотребления. Предполагаемая стоимость изготовления подобного сверла при серийном производстве значительно меньше затрат на устранение брака или модернизацию используемого оборудования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Волынский В.Н. Технология древесных плит и композитных материалов: Учебно-справочное пособие. СПб.: Издательство «Лань», 2010. – 336 с.

УДК 674.055:621.914

А. В. Белый., проф., д-р техн. наук,  
(ФТИ НАН Беларуси, БГТУ, г. Минск)  
А. А. Гришкевич, канд. техн. наук, доц.;  
С. А. Гриневич, канд. техн. наук, доц.;  
Г. В. Алифировец, инж.  
(БГТУ, г. Минск)

### **РЕЗУЛЬТАТЫ МОДИФИКАЦИИ ЛЕЗВИЙ ПРОФИЛИРУЮЩИХ НОЖЕЙ МЕТОДОМ ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ ФРЕЗЕРНО-БРУСУЮЩИХ МАШИН**

На территории предприятия «Борисовский ДОК» установлена современная фрезерно-брусующая линия фирмы «LINSK» производства Германии, в состав которой входит фрезерно-пильный станок VPS, профилирующий с четырёх сторон лесоматериал. После окончания профилирования обе боковые доски отделяются при помощи круглых пил. Распил выполняется одновременно с верхней и нижней стороны. Актуальной задачей является разработка методов повышения периода стойкости инструмента. Для этого были рассмотрены существующие методы упрочнения поверхностей: ионно-плазменное азотирование, цементация, оксидирование, борирование и другие. Целью выполнения данной работы является изучение влияния ионно-плазменного азотирования на период стойкости профилирующих ножей. На сегодняшний день ионно-плазменное азотирование является одним из перспективных направлений упрочнения поверхности. Ионно-плазменное азотирование (ИПА) – это разновидность химико-термической обработки инструмента обеспечивающая диффузионное насыщение поверхностного слоя стали азотом или азотом и углеродом в азотно-водородной плазме при температуре 350-6000С. С профиляторов фрезерно-брусующей линии LINSK было взято 2 плоских ножа и совместно со специалистами ФТИ НАН РБ было произведено их упрочнение методом ионно-плазменного азотирования на режимах:  $T=550-6000C$ ,  $P=260$  Па, подача азота – 33 л/ч, водорода – 5 л/ч, время азотирования – 12 ч. Упрочненные режущие элементы были установлены на фрезерно-пильный станок VPS и испытаны с целью определить их период стойкости. Для сравнения на левую фрезу машины были установлены неупрочненные ножи, на правую – упрочненные. Неупрочненные ножи переработали 935 м<sup>3</sup> сырья, а упрочненные – 1396 м<sup>3</sup> сырья. Таким образом испытания показали увеличение периода стойкости упрочненных ножей в 1,5 раза. Исходя из этого можем сделать вывод о целесообразности использования данного метода упрочнения поверхности и более подробного его изучения для увеличения периода стойкости режущего инструмента.

УДК 674.055

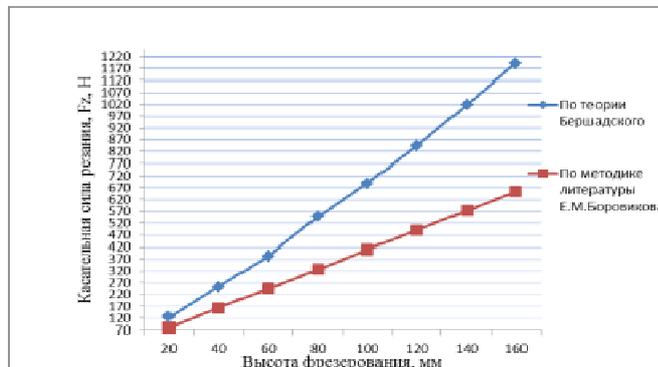
С. А. Гриневич, доц., канд. техн. наук;

Г. В. Алифировец, инж. (БГТУ, г. Минск)

## АНАЛИЗ МЕТОДИК РАСЧЕТА СИЛОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОФИЛЯТОРОВ НА ЛИНИЯХ АГРЕГАТНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

Профилирование пиломатериалов в процессе агрегатной переработки древесины является широко распространённой технологией. Однако специализированной методики по расчету возникающих сил в процессе фрезерования древесины на профиляторах не существует.

Целью работы является анализ методик расчета силовых показателей процесса профилирования пиломатериалов на фрезерно-брусующих станках. Наиболее близкими методиками, которые теоретически можно применить к данному процессу является методика профессора А. Л. Бершадского [1] и методика, изложенная в литературе Лесопиление на агрегатном оборудовании [2]. Для того, чтобы оценить данные методики, выполним по ним расчет касательной составляющей силы резания  $F_z$  при режимах характерных для работы профиляторов: Скорость подачи  $V_s=50$  м/мин; частота вращения профиляторов  $n=1000$  мин<sup>-1</sup>; количество ножей  $z=2$  шт; задний угол  $\alpha=150$ ; угол заточки  $\beta=350$ . Результаты расчетов представим в виде графика (рис. 1).



**Рисунок 1 – График зависимости касательной составляющей силы резания от высоты фрезерования**

Как видно из графика значения сил по различным методикам отличаются, значит можем сделать вывод либо о усовершенствовании методик, либо в разработке специализированной методики по расчету сил для профиляторов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Бершадский, А. Л. Резание древесины: учеб. / А. Л. Бершадский, Н. И. Цветкова. – Минск: Вышэйшая школа, 1975. – 304 с.
2. Боровиков, Е. М. Лесопиление на агрегатном оборудовании / Е. М. Боровиков, Л. А. Фефилов, В. В. Шестаков – М.: Лесная. промышленность, 1985. – 216 с.

УДК 674.055:621.934(043.3)

В.В. Чаевский, доц., канд. физ-мат. наук;  
И. И. Бавбель, инж.  
(БГТУ, г. Минск)

### **ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ МОДИФИЦИРОВАННОГО КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКОЙ ЛЕЗВИЙ НОЖЕЙ ДЕРЕВОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА**

При резании композиционных материалов на древесной основе входящие в их состав абразивосодержащие частицы приводят к более интенсивному абразивному износу контактных поверхностей инструмента. Установлено, что сформированные гальваническим методом и методом конденсацией с ионно-плазменной бомбардировкой (КИБ) комбинированные ZrN-Ni-Co-покрытия на лезвиях стальных ножей хвостовых фрез обеспечивают при резании материалов из ламинированных ДСтП повышение периода стойкости режущего инструмента [1]. Поэтому целью данной работы было сформировать градиентные ионно-плазменные и гальванические (на основе нанодIAMAZOV) покрытия на поверхности лезвий ножей из WC твердых сплавов дереворежущего инструмента и исследовать их износостойкость. Путем гальванического соосаждения с никелем нанодIAMAZOV детанационного синтеза (ультрадисперсных алмазов, УДА) на лезвиях ножей хвостовых фрез формировались композиционные электрохимические покрытия (КЭП) ni-уда. ZrC-покрытия осаждались методом КИБ. Установлено, что при резании модифицированными фрезами ламинированных ДСтП в условиях производства наблюдается интенсивный абразивный износ лезвий ножей. Лезвия ножей с ZrC-покрытиями являются наиболее износостойкими, хотя для ZrC-покрытий наблюдается достаточно четкая граница истирания в отличие от ZrC-Ni-УДА-покрытий, для которых характерна переходная область истирания, связанная с наличием переходного Ni-УДА-слоя.

Рассчитанный объемный износ лезвий ножей с ZrC-покрытием в 1,3 раза меньше по сравнению с необработанным инструментом. Проведенные опытно-промышленные испытания на ПУП «Мебельная фабрика «Пинскдрев-Адриана» модифицированных фрез с комбинированными ZrC-Ni-УДА-покрытиями показали увеличение периода стойкости фрез при резании ламинированных ДСтП.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1 Чаевский, В. В. Физико-механические свойства ZrN-Ni-Co-покрытий на лезвиях стальных ножей дереворежущего инструмента / В. В. Чаевский, А.А. Гришкевич, В.В. Жилинский, О. Чернашеус // Труды БГТУ, 2015. № 6: Физ.-мат. науки и информатика. – С. 97–101.

УДК 674.055:621.934(043.3)

А. А. Гришкевич, канд. техн. наук, доц.;  
В. Н. Гаранин, доц., канд. техн. наук,  
А. Ф. Аникеенко, ст. преп., канд. техн. наук  
(БГТУ, г Минск)

## **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ ФРЕЗЕРНОГО ИНСТРУМЕНТА С АДАПТИВНЫМИ СВОЙСТВАМИ**

Цель представленной работы – теоретическое исследование устойчивой работы адаптивного фрезерного инструмента, на основании созданной расчетной 3Д модели.

Задачи работы:

1. Изучить существующую 2Д модель фрезерного инструмента с адаптивными свойствами.
2. Определять инерционные характеристики инструмента и разработать расчетную 3Д модель фрезерного инструмента с адаптивными свойствами.
3. Произвести расчеты и определить закономерности поведения инструмента с адаптивными свойствами.
4. Сделать соответствующие выводы по работоспособности представленной 3Д модели фрезерного инструмента.

Эксплуатации современного оборудования для деревообработки в условиях производства не всегда является эффективной. Это выражается в технологически необоснованной производительности машин, а иногда и до элементарного использования инструмента не по назначению. В данной работе внимание уделяется фрезерному дереворежущему инструменту, который широко используется на деревообрабатывающих предприятиях. Получение при этом продукции установленного качества согласно нормативно-технической документации с одновременным снижением энергетических затрат является и сегодня актуальным вопросом для научных исследований. С этой целью была разработана и изготовлена конструкции фрезы сборной, которая позволяет вести лезвийную обработку материала благодаря возможности ножа изменять его положение относительно оси вращения (угол наклона кромки  $\lambda$ ) и а также передний и задние углы. Благодаря этому подвижная часть инструмента обладает возможностью изменять углы в трех взаимно-перпендикулярных плоскостях ( $\varphi$ ,  $\psi$  и  $\theta$ ). Однако необходимо выполнить исследовательские работы по определению ус-

тойчивого положения держателя ножа относительно корпуса фрезы, так как он жестко с ним не связан и может перемещаться.

Анализ полученных данных был выполнен на основании графиков, полученных при расчете матриц в программном пакете MathCad.

Для примера в режиме разгона инструмента на рисунке приведён график зависимости моментов сил инерции относительно оси  $x$   $M_{сфх}$  от первоначальных углов установки подвижной части инструмента  $\psi$  и  $\theta$ .

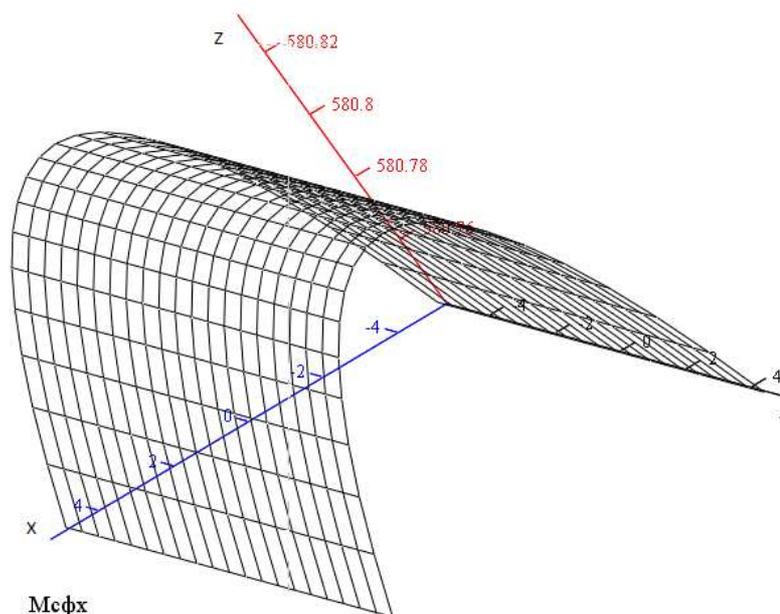


Рисунок – График зависимости  $M_{сфх}$  (Н·м) от углов  $\psi$  и  $\theta$  (град.)

Основные выводы.

1. С целью более достоверного решения задачи по устойчивой работе ножа, жестко зафиксированного на подвижном держателе, следует рассматривать пространственную схему распределения сил.

2. Для определения сил, действующих на сегмент инструмента, разработана 3D модель и для расчёта сил введены углы Эйлера.

3. Проведены расчёты и определены составляющие силы резания и инерции, действующие на нож и подвижный элемент фрезы (держатель ножа) с учётом углов Эйлера.

4. Анализируя графики, представленные программой Mathcad можно сделать вывод о том, что момент силы инерции меняет своё значение при изменении углов в диапазоне от  $-4$  до  $4$  градусов. Максимальный момент силы инерции достигается при углах равных  $0^\circ$  и равен  $580,829$  Н·м.

На основании этих расчетов можно предоставлять рекомендации по режимам, обеспечивающим устойчивую работу сектора.

УДК 674.055:621.934(043.3)

В.Н. Гаранин, доц., канд. техн. наук;  
А. А. Гришкевич, канд. техн. наук, доц.;  
А. Ф. Аникеенко, ст. преп., канд. техн. наук  
(БГТУ, г. Минск)

## **МЕТОД ИСПЫТАНИЯ НОЖЕЙ ЛЕЗВИЙНОГО ИНСТРУМЕНТА НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ**

Цель представленной работы – определение метода сравнительных испытаний инструмента на износостойкость, позволяющего снизить затраты на проведение опытов и повысить достоверность получаемых результатов.

Задачи работы:

Провести теоретический обзор методов испытаний инструмента на износостойкость;

Выявить недостатки применения существующих методов:

Подготовить формулу на полезную модель.

На основании ранее проделанных работ по изучению износостойких покрытий дереворежущего инструмента, в настоящей работе проводится анализ существующих технологий испытаний ножей. Эта работа проводится с целью выявления метода, позволяющего снизить затраты на проведение исследований, что в конечном итоге будет способствовать ускорению процесса внедрения новых упрочняющих технологий на деревоперерабатывающих предприятиях.

В ранее проводился эксперимент по изучению динамики потери режущей способности ножа путем опускания шпинделя относительно обрабатываемого материала. Это позволило значительно ускорить процесс выполнения эксперимента.

Однако представленный метод испытаний необходимо было сравнить с существующими технологиями проведения эксперимента с выявлением достоинств и недостатков.

Сравнительная оценка износостойкости режущего инструмента проводится обычно на основании многофакторных экспериментов с планами второго порядка. Это всегда связано с проведением большого количества экспериментов, что далеко не всегда является возможным.

Наиболее эффективным методом уменьшения абразивного износа инструмента является нанесение упрочняющих покрытий, характеризующихся высокой твердостью. Для этих целей используют покрытия на основе соединений тугоплавких металлов, формируемых различными методами. Толщина покрытия определяется видом и назначением инструмента и может составлять от долей микрон до величин порядка миллиметра. Оценку их износостойкости проводят, как

правило, на основании измерения твердости и коррозионной стойкости. Однако такая оценка зачастую не дает реальной картины износостойкости инструмента, поскольку фактический износ зависит не только от этих параметров.

Оценка износостойкости таких покрытий на основании измерения твердости и коррозионной стойкости является уже более адекватной, поскольку уменьшается количество неконтролируемых факторов, влияющих на процесс износа. Однако наибольшую популярность получил метод контроля износостойкости инструмента, основанный на прямом измерении количества обработанного материала. При этом критерием оценки является качество обработки: при возникновении дефектов обрабатываемого материала, например, сколов кромки, инструмент признается неработоспособным. В то же время такая методика оценки не всегда является достаточно объективной, поскольку при большом количестве обрабатываемого материала инструмент с различными упрочняющими слоями находится в различных условиях эксплуатации: меняется твердость обрабатываемого материала, его состав, количество загрязнений, усилие подачи и т.п.

Для исключения данного фактора предлагается метод, основанный на том, что в режущем инструменте для контроля износостойкости упрочняющих покрытий на лезвии инструмента с последовательно нанесенными на него упрочняющими слоями, упрочняющие слои сформированы на 30 - 70 % длины режущей части.

Сущность заявляемого технического решения заключается в обеспечении абсолютно равных условий эксплуатации упрочненной и неупрочненной областей режущей части.

Основные выводы.

При эксплуатации заявляемого метода упрочненная и неупрочненная области режущей кромки работают в абсолютно равных условиях: усилие (скорость) подачи, температура разогрева в результате трения, твердость обрабатываемого материала, его чистота (например, наличие абразивных частиц в виде песка) и все остальные. В этом случае оценить износостойкость упрочняющего покрытия можно прямым измерением изменения разницы радиусов резания упрочненной и неупрочненной областей режущей кромки в процессе эксплуатации. Повышенная скорость износа одной из областей инструмента сопровождается большим уменьшением радиуса резания. Чем больше радиус резания, тем больше износостойкость упрочняющего покрытия.

УДК 621.914:674:004

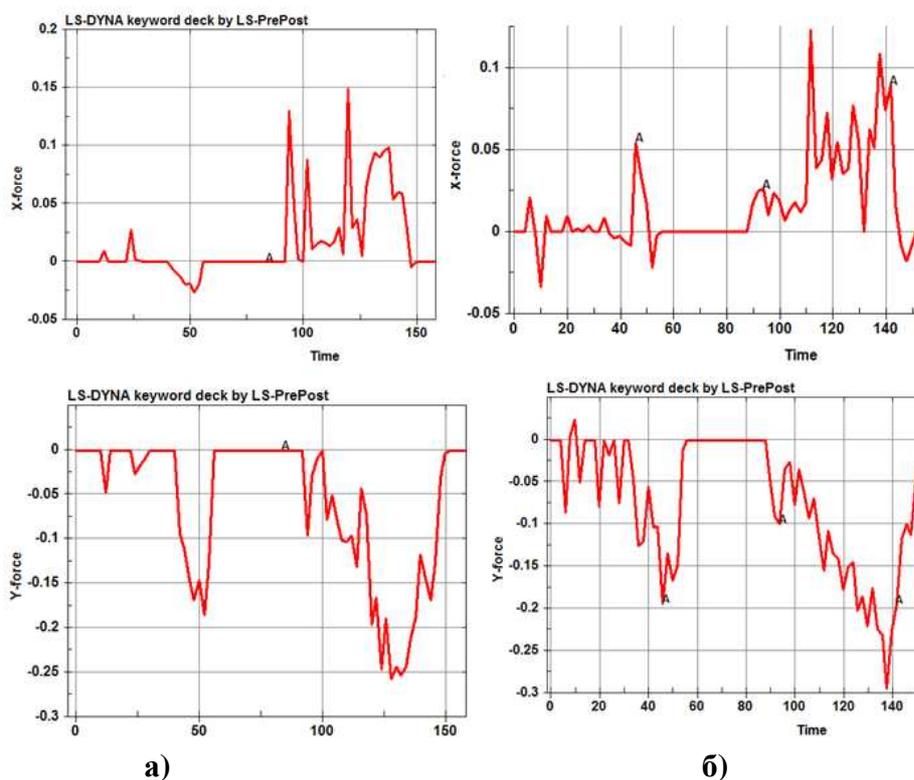
Раповец В. В., доц., канд. техн. наук;  
Клепацкий И. К., магистрант  
(БГТУ, г. Минск)  
Медведев С. В., зав. лаб., д-р техн. наук;  
Иванец Г. Г., гл. констр. проекта  
(ОИПИ НАН Беларуси, г. Минск)

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ**

Для оптимизации высокоскоростных процессов механической обработки древесины и древесных материалов, в том числе параметров применяемого лезвийного режущего инструмента и режимов резания необходимы методики построения основных зависимостей технико-экономических характеристик процессов.

Разработанная методика проведения натуральных экспериментов для верификации проверки характеристик процесса резания полученных путем моделирования высокоскоростных режимов обработки материала позволяет исследовать параметры напряженно-деформированного состояния заготовки. Она основана на сравнении мощности резания, измеренной на шпинделе станка с ЧПУ в натурном эксперименте и данных усилий реакции в опорах, полученных при моделировании процесса резания в вычислительном пакете LS-DYNA. Имеется возможность ее применения для разработки баз оптимальных режимов резания для различных древесных материалов с помощью серии вычислительных расчетов на суперкомпьютере.

Методика проведения вычислительных экспериментов для достижения указанной цели заключается в том, что в разработанную конечно-элементную модель в среде LS-DYNA добавляются карты назначения граничных условий: фиксации нижнего ряда узлов заготовки, продольного движения инструмента, имитирующего подачу с заданной скоростью, вращения ножей фрезы с заданной частотой, приложения боковых давлений и задания свойств материалов. Это позволяет установить влияние радиуса округления режущей кромки ножа на составляющие силы резания путем сопоставления графиков усилий резания, полученных в вычислительной среде для различных конечно-элементных моделей (рис. 1), учитывая имитирующее предварительно-напряженное состояние древесного материала, например, после сушки.



**Рисунок 1 – Графики проекций силы резания при обработке древесины ножами со значениями различных радиусов округления режущих кромок: а) радиус 5 мкм; б) радиус 20 мкм.**

Разработанные методики применимы для разработки баз оптимальных режимов резания при обработке различных древесных материалов с помощью серии вычислительных расчетов на суперкомпьютере в среде LS-DYNA.

Результаты исследований являются основой для моделирования высокоскоростных процессов лезвийной обработки древесных материалов при определении значимых выходных параметров для предприятий концерна «Беллесбумпром».

## ЛИТЕРАТУРА

1. Раповец, В. В. Моделирование фрезерования древесины в мультипроцессорной вычислительной среде на суперкомпьютере / В.В. Раповец, С.В. Медведев, Г.Г. Иванец – Труды БГТУ. – 2016. – №2 (184): Лесная и деревообаб. пром-сть.– С. 289-293.

УДК 674.032.16:621.924.2

Костюк О. И., мл. науч. сотр.;  
Гришкевич А. А., канд. техн. наук, доц.  
(БГТУ, г. Минск)

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ШЛИФОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ

Целью исследований являлось изучение влияния скорости подачи, высоты припуска и размера зерна шлифовальной шкурки на шероховатость поверхности.

Исследования проводились на экспериментальной установке на базе фрезерно-шлифовального станка HOUFEK BULLDOG BRICK FRC-910. Обработывалась древесина сосны при различных режимах (скорости подачи, припуска, зернистости шлифовальной шкурки). Профиль шероховатости поверхности измерялся при помощи профилографа тестера HOMMEL TESTER T1000 basic (рис. 1). Результаты измерений по качеству поверхности представлены в таблице.

Методы определения параметров шероховатости поверхности изделий из древесины и древесных материалов соответствовали ГОСТ 15612-85 (СТ СЭВ 4689-84) [1].

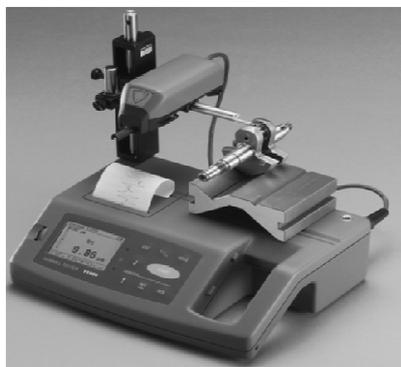


Рисунок 1 – Профилограф HOMMEL TESTER T1000 basic

В современном производстве широко используется шлифовальное деревообрабатывающее оборудование при обработке древесины и древесных материалов, что повышает интерес к исследованию данной тематики. В настоящее время предъявляются высокие требования к качеству поверхности и эстетическому оформлению готовых изделий. Профилографы по ГОСТ 19300-86 позволяют выполнять измерения неровностей от 10 до 1000 мкм. Радиус иглы щупа при этом должен быть  $(1,5 \pm 0,1)$  мм. Однако допускается применение профилометров с автоматическим расчетом параметров по заданной программе.

**Таблица – Шлифование древесины сосны зернистостью  
шлифовальной шкуркой P80 и P320**

№	Зерни- стость ленты	Ско- рость резания $V_e$ , м/с	Ско- рость подачи $V_s$ , м/мин	Припуск $h$ , мм	Параметры шероховатости поверхности		
					$R_{mmax}$ , мкм	$R_z$ , мкм	$R_a$ , мкм
1	2	3	4	5	6	7	8
1	P80	18	4	0,1	12,86	8,63	2,11
2				0,2	12,66	8,53	2,07
3				0,3	11,58	7,34	1,79
4	P80	18	6	0,1	12,34	7,89	2,09
5				0,2	12,29	7,77	2,04
6				0,3	9,55	6,29	1,47
7	P80	18	8	0,1	14,05	8,96	2,31
8				0,2	13,96	8,83	2,25
9				0,3	13,89	7,58	1,84
10	P320	18	4	0,1	9,63	6,11	1,33
11				0,2	9,44	5,85	1,29
12				0,3	8,78	4,76	1,26
13	P320	18	6	0,1	8,06	4,42	1,24
14				0,2	7,98	4,33	1,13
15				0,3	прижоги	прижоги	прижоги
16	P320	18	8	0,1	прижоги	прижоги	прижоги
17				0,2	прижоги	прижоги	прижоги
18				0,3	прижоги	прижоги	прижоги

Выводы: 1. В результате проведенных исследований установлено, что лучшее качество поверхности в результате шлифования древесины при использовании как мелкой (P320), так и крупной (P80) шлифовальной ленты наблюдается при использовании скорости подачи  $V_s=6$  м/мин и скорости резания  $V_e=18$  м/с.

2. Установлено, что использовать режим нельзя при зернистости шлифовальной ленты P320, скорости резания  $V_e=18$  м/с, скорости подачи  $V_s=6$  м/мин и выше, припуска  $h=0,3$  мм, т.к. появляются прижоги на поверхности древесины. Это выражается в возникновении на поверхности древесины темно-коричневых или черных следов, что связано с возрастающей до критической величины силы трения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гришкевич А. А. Механическая обработка древесины и древесных материалов, управление процессами резания: учеб.-метод. пособие / А. А. Гришкевич. – Минск: БГТУ, 2012. – 111 с.

УДК 630\*:674.8.004.3+674.821

И. А. Козначеев, зав. лаб., канд. физ.-мат. наук,  
Н. М. Горбачев, гл. конструктор проекта  
(ИТМО им. А.В. Лыкова НАНБ, Минск)

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

## **ТЕХНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ С ИЗМЕЛЬЧЕННОЙ ДРЕВЕСИНОЙ**

Одним из основополагающих принципов проектирования, эффективной, безопасной эксплуатации, контроля и управления производственными процессами является техническое нормирование, которое базируется на результатах практического опыта и научно-исследовательских работ. С этой целью разрабатываются новые и актуализируются имеющиеся национальные и межгосударственные технические нормативные правовые акты (ТНПА): технические регламенты, стандарты, технические кодексы установившейся практики, строительные, санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы, нормы пожарной безопасности, правила охраны труда и другие.

В рассматриваемой предметной области ТНПА определяют терминологию, характеристики и требования к измельченной древесине (ИД), к оборудованию и ведению производственных процессов с ее присутствием (целевое измельчение древесины для технологических нужд и при механической ее обработке; осуществление аспирации, пневматического и механического транспорта; сушки, складирования, затаривания и отгрузки материалов, изготовление топливных гранул, брикетов и других видов продукции; работа котельных; исполнение воздухопроводов, вентиляторов, бункеров, фильтров очистки воздуха прямоточных и рециркуляционных аспирационных установок.

Согласно ГОСТ 23246 и ГОСТ 18110 к ИД относятся древесные частицы различной формы и величины, получаемые в виде отходов механической обработки древесины или путем специального ее измельчения для последующего использования в деревообрабатывающих производствах или иных целях, включая производство топливных гранул и брикетов.

В ТНПА выделяются следующие виды ИД: щепы (для целлюлозно-бумажного и плитного производств); дробленка; стружка (специально изготовленная, стружка-отходы, игольчатая стружка, стружка плоская и закрученная, стружки для упаковывания продовольственных и промышленных товаров, изготовления стружечных и фибролитовых плит, для подстилки при клеточном содержании пушных зверей); опилки; древесная мука; древесная пыль.

Можно выделить следующие характеристики частиц ИД: фор-

ма, размеры и фракционный состав, влажность, порода древесины, плотность, коэффициенты внутреннего и внешнего трения, смолистость, наличие инородных примесей, температура, свойства, характеризующие пожаровзрывоопасность (концентрационный предел самовоспламенения, выход летучих, температура самовоспламенения, температура тления) и многие другие показатели. Некоторые из этих характеристик приводятся в ТНПА, например, требования к сырью для производства стружки различных марок с указанием породы и влажности древесины содержатся в ГОСТ 5244.

В процессе разработки ТКП 510–2014 «Системы пневмотранспорта и аспирации в деревообрабатывающем производстве, включая производство древесных топливных гранул (пеллет) и древесных брикетов. Нормы проектирования» и в последующий период осуществлялся анализ содержания нормативных документов, действующих в Республике Беларусь, странах СНГ, Евросоюза, а также в США, которые содержат нормативные показатели по ИД. Рассмотрены ТНПА на термины и определения, технические условия производства ИД, пожаровзрывоопасность, требования к проектированию и эксплуатации систем аспирации и пневмотранспорта, к охране труда и окружающей среды, аналоги нормативно-технической документации в других отраслях нашей страны, включая зарубежные источники информации.

В результате проведенного анализа установлена недостаточность и противоречивость содержащихся в ТНПА сведений по породам древесины, видам, показателям, влажности, дисперсности, коэффициентам внутреннего и внешнего трения, углам откоса в спокойном состоянии и при движении, концентрационным пределам и температуре самовоспламенения. Отсутствуют сведения по характеристикам, в частности, по пожаровзрыво- и экологической безопасности ИД, полученной из модифицированных и композиционных материалов, например, отработавших железнодорожных шпал, различных видов древесных плит. Установлено, что практически не существует научно-обоснованных методик измерения или расчета характеристик ИД, существенно влияющих на пожаровзрывобезопасность деревообрабатывающих производств.

В докладе приведены результаты анализа характеристик и показателей ИД, содержащихся в ТНПА, сделаны выводы и предложения о необходимости проведения исследований в целях повышения технологической и энергетической эффективности, взрывопожарной и экологической безопасности производств на основе развития системы нормативно-технического обеспечения.

УДК 542.2:674.8:691.

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

## **АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ СВОЙСТВ ИЗМЕЛЬЧЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ**

В докладе рассмотрены вопросы аппаратного обеспечения экспериментального исследования свойств и характеристик измельченной древесины (ИД) – различных видов щепы, дробленки, стружки, опилок, и пыли с использованием лабораторных установок и приборов. Наличие этих данных необходимо для решения задач проектирования и эксплуатации деревообрабатывающих производств (измельчение древесины для технологических нужд и в процессах механической обработки материалов; транспортирование; сушка, складирование и отгрузка: изготовление топливных гранул, брикетов и многих других видов продукции; работа котельных, обеспечение взрывопожарной, экологической безопасности и надлежащих условий труда.

Для определения размеров, формы частиц, дисперсного фракционного состава ИД могут быть использованы – сита (0,3 мм и более крупные), лазерные дифракционные анализаторы (0,01 – 2100 мкм) и микроскопы. Исследование угла откоса ИД в спокойном и динамическом состоянии, а также коэффициентов внутреннего и внешнего трения требует наличия специального лабораторного оборудования индивидуального исполнения разных конструктивных вариантов и средств измерения геометрических размеров.

Анализ образцов ИД различных фракций с определением влажности, потери веса, выделения летучих веществ, зольности и некоторых других характеристик используются дериватографы.

Измерение энергии сгорания и теплоты горения и температуры воспламенения ИД при различных физико-химических процессах осуществляется с использованием калориметров.

Для определения скорости витания и оседания частиц ИД, влияния их на потери давления при пневмотранспорте используются лабораторные установки индивидуального исполнения с замером параметров воздушного потока анемометрами и электронными дифманометрами.

Для исследования дисперсных потоков с определением динамических характеристик, траекторий движения частиц ИД и быстропротекающих явлений (например, взрыва) используются видеокамеры скоростной съемки и специальное программное обеспечение обработки информации.

УДК 93/94:674

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

### **ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ДЕРЕВООБРАБОТКИ В МУЗЕЯХ**

История развития человечества неразрывно связана с древесиной. Как возобновляемый источник сырья она является очень важным материалом из-за его конкретных биологических, физических и технических характеристик. До середины 19-го века древесина была в значительной степени незаменимой, как для личного пользования, развития ремесел и промышленности (домо-, авто-, авиа-, судо-, вагоностроение, другие виды техники и компоненты предметно-пространственной среды в следствие своей универсальности.

Во многих странах западной Европы создаются музеи истории развития техники, технологий, в частности, лесной и деревообрабатывающей промышленности. Инициативу и активное участие в их создании принимают учебные заведения, научно-исследовательские центры и промышленность. Помимо сохранения предметов истории эти музеи являются средством популяризации специальности деревообработки, местом проведения ряда занятий. В качестве примера можно назвать музеи старых машин и техники деревообработки в Германии, Польше, Франции, Финляндии и Швейцарии. В Республике Беларусь и соседних странах значимые объекты такого профиля отсутствуют. Как некоторое исключение можно назвать лишь музеи археологические и деревянного зодчества, но не техники и технологий.

В докладе рассмотрены вопросы отражения истории развития технологии и техники деревообработки на примере зарубежных музеев и соответствующих экспозиций в технических университетах. Презентация сопровождается иллюстративными материалами автора.

История техники и технологии деревообработки в музеях представлена оригинальными видео- и фотоматериалами, моделями оборудования, изделий, макетами производств, натурными историческими экспонатами, а также обширными коллекциями инструментов, отражают древние и современные методы обработки. В этих заведениях проводятся регулярные специальные выставки по различным темам, связанным с образовательными программами и пополнения постоянной коллекций музеев.

Как правило, музеи расположены в удобных для посещения местах, хорошо рекламируются, посещение их является платным. Они являются довольно привлекательными для горожан и нередко приезжих целевых туристов, что актуально для лесной Республики Беларусь.

УДК 674.047.3

Н.В. Мазаник, доц., к.т.н. (БГТУ, г. Минск)

О.Г. Рудак, ассист., маг. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

### ВЛИЯНИЕ ВИДА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ НА ПРОЦЕСС ПРОГРЕВА ПИЛОМАТЕРИАЛОВ В СУШИЛЬНОЙ КАМЕРЕ

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

Целью исследования стало изучение кинетики начального прогрева пиломатериалов в ненасыщенной среде.

Измерение температуры опытных образцов производили с помощью оригинальной установки, разработанной на кафедре технологии и дизайна изделий из древесины БГТУ. Данная установка представляет собой автоматический измеритель температуры. В ней установлены 8 температурных датчиков, которые проводят измерения с точностью до 0,1 градуса. Частота измерения – каждые 5 секунд. В качестве экспериментального материала для исследования процесса начального прогрева древесины в ненасыщенной среде использовались березовые и сосновые образцы радиальной распиловки толщиной 32 и 50 мм. Ширина пиломатериалов равнялась 250 мм. Данный факт позволял считать, что перемещение тепла при прогреве происходило в основном в направлении, перпендикулярном пласти досок, т. е. от поверхностных слоев ко внутреннему.

По данным измерений были построены кривые изменения температуры поверхностного и внутреннего слоев, показанные на рис. 1, 2, 3.

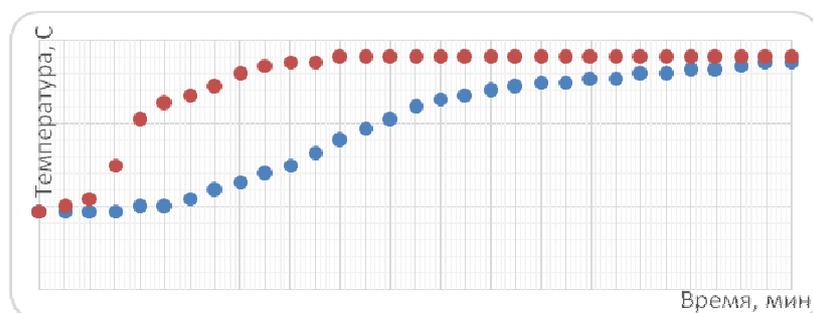
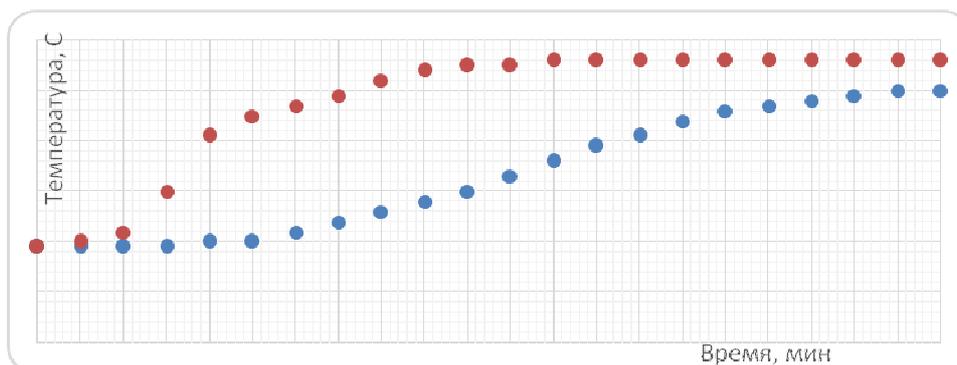
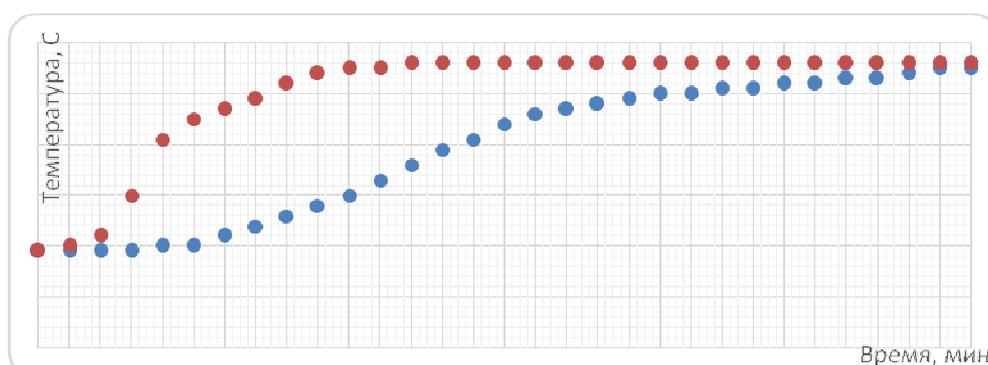


Рисунок 1 – Кинетика прогрева соснового образца толщиной 50 мм



**Рисунок 2 – Кинетика прогрева березового образца толщиной 32 мм**



**Рисунок 3 – Кинетика прогрева березового образца толщиной 50 мм**

Полученные результаты могут быть объяснены следующим образом. При помещении образцов в среду нагретого сушильного агента в первые минуты контакта древесины с обрабатывающей средой происходит интенсивное испарение влаги с ее поверхности. Внутри сортамента возникает градиент влажности, направленный изнутри древесины к поверхности, который должен инициировать перемещение влаги в этом же направлении за счет влагопроводности.

Однако в это же время температура древесины на поверхности намного превышает температуру внутри. Противоположно направленный градиент температуры противодействует градиенту влажности и препятствует продвижению влаги к поверхности. Именно поэтому в период прогрева влажность древесины изменяется несущественно.

УДК 674.047.3

В. Б. Снопков, доц., канд. техн. наук; Д. П. Бабич, ассист.;  
И. К. Божелко, зав. кафедрой, канд. техн. наук  
(БГТУ, г. Минск)

## КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ЯДРОВОЙ И ЗАБОЛОННОЙ ДРЕВЕСИНЫ В ШПАЛАХ

В Республике Беларусь для изготовления шпал используют древесину мягких хвойных пород – сосны и ели. Известно, что сосна является ядровой породой, ель – спелодревесной. Различие свойств заболонной и ядровой (спелой) древесины создает трудности при переработке древесного сырья. Особенно они велики при проведении процессов сушки и пропитки древесины. Учитывая сказанное, целью настоящих исследований была количественная оценка относительного содержания ядровой и заболонной древесины в шпалах, выпиленных из сосновых бревен различного диаметра, а также определение характера распределения ядровой и заболонной древесины по объему шпал.

Для проведения исследований были приняты шпалы, выпиленные из сосновой древесины. Выбор породы был обусловлен тем, что у сосны ядро и заболонь сильно отличаются по цвету. В ГЛХУ «Быховский лесхоз» были отобраны 85 шпал типа II ( $S \times b = 160 \times 230$  мм), выпиленные из бревен различного диаметра. Обмер шпал производили в соответствии со схемой, представленной на рисунке. При обмере определяли радиус ядра ( $R$ ) и координаты сердцевины ( $x_0$  и  $y_0$ ).

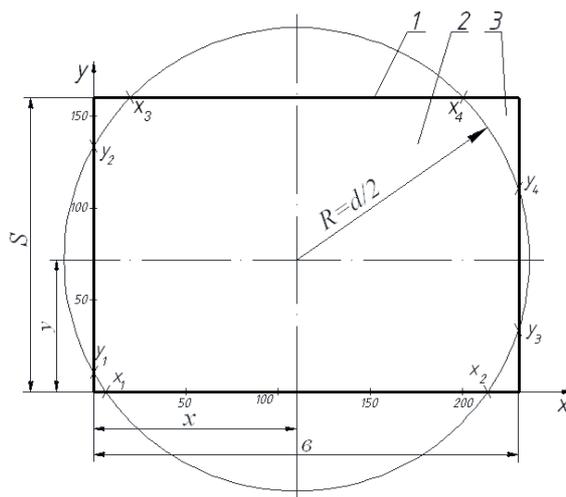


Рисунок – Схема обмера шпал

Все отобранные шпалы были разделены на группы в зависимости от диаметра бревен, из которых они были выпилены: 26-28, 30-32, 34-36, 38-42 и 44-48 см. Для каждой группы шпал были рассчитаны

средние значения диаметра ядра ( $d$ ), а также координат сердцевины ( $x_0$  и  $y_0$ ). Полученные значения внесены в таблицу.

Знание диаметра ядра и координат сердцевины дало возможность построить схемы поперечного сечения шпал, выпиленных из бревен различных диаметров. Для всех полученных схем определяли координаты точек пересечения ядра с пластинами и боковыми поверхностями шпал площади ядровой и заболонной древесины в поперечном сечении шпал.

**Таблица – Расчет доли ядровой и заболонной древесины**

Диаметр бревна, $D$ , см	Количество шпал, $n$ , шт	Диаметр ядра, $d$ , см	Координаты центра, см		Координаты сегмента, см		Доля древесины, %	
			$X_0$ ,	$Y_0$ ,	$X_i(Y_i)$ ,	$X_j(Y_j)$ ,	ядровой	заболонной
26-28	11	16,91	8,82	7,00	4,25	13,39	58,6	41,4
30-32	30	19,80	9,70	5,97	1,85	17,31	72,0	28,0
34-36	21	22,62	10,07	3,98	-0,46 -0,80	20,40 9,20	77,5	22,5
38-42	10	26,10	9,55	5,00	-2,39 -3,75 2,60	21,48 13,70 16,50	92,8	7,2
44-48	8	31,31	7,69	5,13	-7,09 -8,40 -3,50	22,41 18,70 19,00	95,7	4,3
44-48	5	29,80	10,80	0,00	-4,1 -10,20 -8,80	25,70 10,20 8,80	76,0	24,0

Анализ данных таблицы показывает, что чем больше диаметр бревен, из которых выпиляются шпалы, тем выше доля ядровой древесины в объеме шпал. Так, например, в шпалах, полученных из бревен наиболее часто встречающихся диаметров (30-32 и 34-36 см), доля ядровой древесины составляет 72,0-77,5 %, заболонной – 22,5-28,0 %. Использование для производства шпал сырья больших диаметров (38-48 см) позволяет увеличить долю ядровой древесины в шпалах до 92,8-95,7 %. Исключение составляют шпалы, выпиленные с применением поставов по две штуки из бревна. У них доля ядровой древесины составляет 76,0 %, заболонной – 24,0 %.

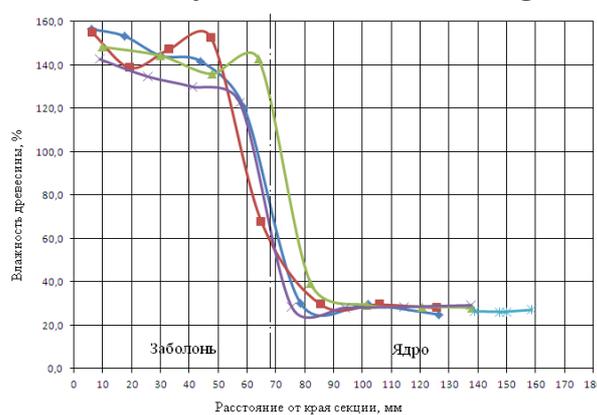
УДК 674.047.3

В. Б. Снопков, доц., канд. техн. наук; Д. П. Бабич, ассист.;  
И. К. Божелко, зав. кафедрой, канд. техн. наук  
(БГТУ, г. Минск)

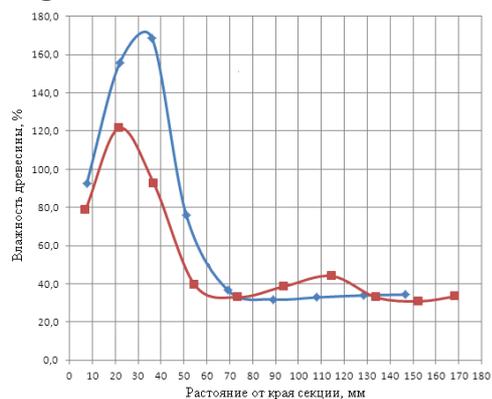
## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ И ЕЛИ ПО СЕЧЕНИЮ КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ

В соответствии с ГОСТ 20022.5-93 предпропиточная влажность древесины перед автоклавной пропиткой маслянистыми защитными средствами не должна превышать 25 %, а перед пропиткой водными растворами – 30 %. Поэтому в производстве деревянных шпал обязательно присутствует технологическая операция атмосферной сушки. Ее продолжительность составляет от 7 до 10 месяцев и во многом зависит от начальной влажности шпал, в том числе, от влажности ядровой (спелой) и заболонной древесины, входящей в ее состав [1]. Учитывая сказанное, целью настоящих экспериментальных исследований было определение влажности заболонной, ядровой (у сосны) и спелой (у ели) древесины, а также характера распределения влаги по сечению круглых лесоматериалов. Исследования были проведены в ГЛХУ «Быховский лесхоз». Отбор образцов производили из бревен сосновых, имевших в среднем сечении диаметр 380, 330 и 286 мм и еловых с диаметром 377 и 338 мм.

Результаты выполненных исследований обобщены на рисунках 1 и 2, где представлены графические зависимости влажности древесины от их удаленности от поверхности бревна.



**Рисунок 1 – Зависимость влажности сосновой древесины от расстояния от края сечения**



**Рисунок 2 – Зависимость влажности еловой древесины от расстояния от края сечения**

Анализ данных, представленных на рисунке 1, показывает, что влажность ядровой и заболонной древесины сосны сильно различаются. Ядровая древесина бревна диаметром 330 мм имеет среднюю влажность 28,1 % при изменении ее в диапазоне от 24,9 до

30,2 %. Похожие результаты были получены и для бревен других диаметров: 380 мм - 28,9 % (27,3-31,9 %), диаметром 286 мм – 30,0 % (28,3-32,7 %). Таким образом, ядровая древесина свежеспиленной сосны может подвергаться пропитке без предварительной сушки. Напротив, заболонная древесина сосны имеет очень высокую влажность, в 3-5 раз превышающую упомянутые выше требования. Так у бревна диаметром 380 мм средняя влажность заболони составляет 94,0 %, у бревен диаметром 330 мм – 142,3 %, 286 мм – 153,1 %.

Интересно было проследить изменение влажности древесины по диаметру бревна у спелодревесной породы древесины – ели. Данные по определению влажности приведены на рисунке 2. Хорошо видно, что общий характер графических зависимостей влажности древесины от места ее расположения в бревне у еловой древесины такой же, как и у древесины сосны. Заболонная древесина имеет влажность в диапазоне 80-170 %, в то время, как содержание воды в спелой древесине, находящейся в центральной части бревна, составляет 30,9-48,9 %.

Сопоставляя рисунки 1 и 2, отметим, что для обеих пород древесины влажность достигает постоянства значений, характерного для ядровой и спелодревесной зоны бревна, на одинаковой удаленности от поверхности. Так, например, у соснового бревна диаметром 330 мм значения влажности, характерные для ядровой древесины, устанавливаются на расстоянии 75-85 мм от поверхности, у елового бревна диаметром 338 мм – на расстоянии 70–75 мм. Таким образом, можно утверждать, что размеры заболони у сосновых и еловых бревен одинакового диаметра практически совпадают.

Таким образом, в результате выполненных исследований установлено, что влажность ядровой и заболонной древесины сильно различаются. Ядровая древесина имеет среднюю влажность 29,0 % при изменении ее в диапазоне от 24,9 до 32,7 %. Заболонная древесина имеет значительно более высокую влажность (94,0-153,1 %). Влажность спелодревесной породы древесины (ели) изменяется по диаметру бревна аналогично. Заболонная древесина ели имеет влажность в диапазоне от 80 до 170 %, в то время как содержание воды в спелой древесине составляет 30,9-48,9 %.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Донченко Л. Ф., Снопков В. Б. Сокращение технологического запаса шпал на складе атмосферной сушки Борисовского ШПЗ// Труды БГТУ. Сер. лесн. и деревообр. пром-сти. 2004. Вып. XII. 213-217.

УДК 674.06

И. К. Божелко, зав. кафедрой, канд. техн. наук;  
Т. А. Наумчик магистрант; Д. П. Бабич, ассист.  
(БГТУ, г. Минск)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМБИНИРОВАННЫХ ШПАЛ**

На железных дорогах применяют деревянные, железобетонные и металлические шпалы. Благодаря долговечности использование железобетонных шпал увеличивается из года в год. Недостатком их является большая жесткость, которую приходится компенсировать укладкой упругих прокладок между верхней поверхностью шпалы и металлической подкладкой под рельсы, сделанной из конструкционной стали. Наибольшее распространение получили деревянные шпалы. Срок службы деревянных шпал зависит от грузонапряженности пути, нагрузки на ось, породы древесины и вида пропитки.

Одним из наиболее известных деревообрабатывающих шпало-пропиточных предприятий Республики Беларусь является ОАО «Борисовский шпало-пропиточный завод».

Для производства шпал в Беларуси применяется древесина, хвойных пород (сосна и ель). Сырьем для шпалопиления является шпальный кряж, отбираемый из комлевой части ствола, с диаметром от 28 см и выше.

В связи с дефицитом крупномерной древесины объемы производства таких шпал из года в год сокращаются, а их стоимость постоянно увеличивается. В данной работе предлагаются 2 варианта альтернативы цельной шпале. Первый вариант – это шпала, склеенная резорциновым клеем ФРФ-50 в вертикальной плоскости из трех деревянных брусков (диаметр необходимого сырья 18 см). Второй – комбинированная шпала, собранная из двух цельных деревянных брусков с 5 глухими отверстиями под резьбу в каждом бруске, соединенными между собой в горизонтальной плоскости пятью пружинными узлами.

В результате обработки результатов эксперимента можно сделать вывод, что полученные физико-механические показатели испытаний клееных и составных шпал на изгиб обосновывают целесообразность их применения в железнодорожном пути.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФАНЕРНОЙ ПРОДУКЦИИ МЕТОДОМ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ**

Как композиционный материал, фанера обладает высокой механической прочностью, стабильностью форм, повышенной износостойкостью, водостойкостью, является экологически безопасным материалом.

Однако влажностное воздействие может разрушить клеевые соединения в фанере. Это в свою очередь сопровождается снижением прочностных показателей, уменьшением периода эксплуатации фанеры в целом [1].

Оперативную информацию работоспособности клеевых соединений получают из ускоренных методов испытаний. Были произведены опытные исследования по влиянию влажностных факторов на значения предела прочности при скалывании образцов фанеры различных марок и исследования методом неразрушающего контроля.

Неразрушающие методы контроля (НМК), или дефектоскопия – это обобщающее название методов контроля материалов (изделий), используемых для обнаружения нарушения сплошности или однородности макроструктуры, отклонений химического состава и других целей, не требующих разрушения образцов материала [2].

Проведен анализ полученных данных, построена и проанализирована графическая зависимость, сделаны выводы о влиянии влажностных факторов на прочностные значения клееных материалов и актуальность использования метода неразрушающего контроля.

Для изготовления конкретных видов образцов использовали 2 типа фанеры: фанеру марки ФК толщиной 4 мм сорт IV/IV (3-х слойная) и фанеру марки ФСФ толщиной 4 мм сорт III/IV (3-слойная). Древесная порода – береза. Испытания проводили на сухих образцах без предварительной обработки и на образцах, подвергнутых вымачиванию. Также было осуществлено сквозное прозвучивание образцов до и после вымачивания на произвольной базе с контактной смазкой с помощью измерителя времени и скорости распространения ультразвука «Пульсар-2».

Расчет прочности образцов производился по формуле (1):

$$R = A_0 + A_1 \cdot V + A_2 \cdot V^2 + A_3 \cdot V^3 \quad (1)$$

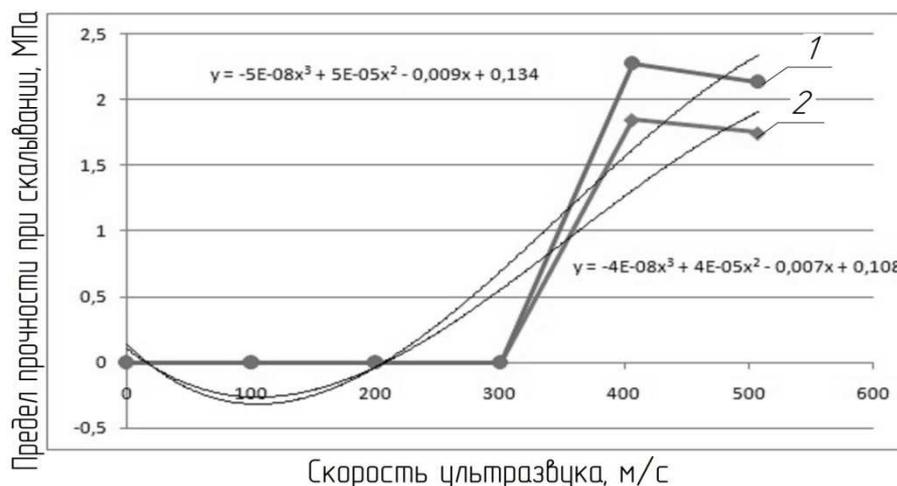
где  $R$  – прочность (МПа);  $V$  – числовое значение скорости ультразвука (м/с);  $A_i$  – коэффициенты ( $i = 0,1,2,3$ ), заносящиеся в прибор в экспоненциальной форме в МПа.

Результаты определения предела прочности при скалывании образцов фанеры марок ФК и ФСФ обобщены в таблице 1

**Таблица 1 - Результаты проведения испытаний**

Наименование марки фанеры	Предел прочности при скалывании, МПа
<i>Контрольные испытания образцов</i>	
Фанера марки ФК	1,850
Фанера марки ФСФ	2,280
<i>Испытания образцов после вымачивания</i>	
Фанера марки ФК	1,748
Фанера марки ФСФ	2,137

На рисунке 1 представлена графическая зависимость предела прочности фанеры при скалывании от влажностного воздействия, полученные по данным таблицы 1.



1 – образцы фанеры ФСФ; 2 – образцы фанеры ФК

**Рисунок 1 – Графическая зависимость предела прочности фанеры до и после влажностного воздействия**

## ЛИТЕРАТУРА

1. Хрулев, В.М. Долговечность клееной древесины (изд. 2-е, переработанное) / В.М. Хрулев. - М.: Лесная пром-сть», 1971.-160с.

2. Каневский, И.Н. Неразрушающие методы контроля: учебное пособие/ И.Н. Каневский, Е.Н. Сальникова.- Владивосток : Изд-во ДВГТУ, 2007.-243с.

УДК 674.048

О.К. Леонович, зав. НИЛ ОСКиМ, доц., канд. техн. наук  
(БГТУ, г. Минск)

### **РАЗВИТИЕ СОТРУДНИЧЕСТВА БГТУ С КОНЦЕРНОМ «БЕЛЛЕСБУМПРОМ» В ОБЛАСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И НОРМИРОВАНИЯ ПЛИТНОЙ ПРОДУКЦИИ**

В статье рассматриваются работы выполненные НИЛ ОСКиМ кафедры ТДП Белорусского государственного технологического университета за период 2008-2016 г.г. по хоздоговорным работам с концерном «Беллесбумпром».

В период 2008-2010 годы впервые в Республике Беларусь БГТУ разработал технические условия на панели стеновые для домов каркасного типа. Опытные образцы панелей прошли испытания нагружением и на определение сопротивления теплопередаче в РУП «Институт БелНИИС» и утверждены Министерством архитектуры и строительства и прошли экспертизу РУП «Стройтехнорм». Также разработаны методики определения прочностных и теплотехнических характеристик стеновых панелей.

Разработанные ТУ на панели стеновые деревянные утепленные для домов каркасного типа и методики расчета прочностных и теплотехнических характеристик панелей внедрены на ОАО Борисовский ДОК и филиала «Домостроение» РУП Шкловский завод «Газетной бумаги».

В период с 2014-2015 годов разработаны Технологические регламенты и нормы расхода древесного сырья и материалов в производстве древесноволокнистых плит сухого способа для всех предприятий плитной промышленности концерна «Беллесбумпром». Разработана программа расчета на ЭВМ, учитывающая особенности производства и применяемого сырья.

Разработаны коэффициенты пересчета физических объемов плит в условную плиту и внедрены предприятиями концерна «Беллесбумпром».

В 2016 году активность работ снизилась из-за отсутствия финансирования.

В 2017 году разработана и утверждена программа сотрудничества концерна «Беллесбумпром» и БГТУ, Научные исследования намечены на ОАО «Лесохимик» и предприятиях бумажной промышленности», однако финансирование их сдерживается из-за отсутствия средств.

Для решения неотложных задач по организации выпуска высококачественной продукции на предприятиях концерна «Беллесбум-

пром», обеспечение импортозамещения отдельных видов продукции и успешного продвижения товаров на внешние рынки необходимы вложения из бюджета для выполнения НИР.

В связи с необходимостью диверсификации деревообрабатывающих производств Республики Беларусь создать при БГТУ Научно-исследовательский институт деревообработки с бюджетным финансированием не менее 12 000 тыс рублей в год и штатом в количестве не менее 25 человек для ведения научно-исследовательских работ в интересах концерна «Беллесбумпром», Минлесхоза Республики Беларусь, Банка развития и предприятий деревообрабатывающих отраслей в следующих направлениях:

- проектирование лесных машин и оборудования;
- лесопильное производство, производство фанеры, древесностружечных плит, плит МДФ, строительных конструкций и материалов из древесины;
- дизайн и проектирование мебели, совершенствование технологии мебельного производства;
- целлюлозные материалы;
- инновационные технологии и материалы и химическая продукция;

В связи с планируемым вступлением Республики Беларусь во Всемирную торговую организацию усилить материально-техническую и нормативную базы научно-исследовательской лаборатории огнезащиты строительных конструкций и материалов с целью освоения европейских методик испытаний фанеры, древесных плит и другой продукции из древесины. Ввести в лабораторию три штатных единицы.

В результате принятия таких решений БГТУ сможет выполнить НИР по следующим основным направлениям:

- разработка нормативно-технической документации; – проведение сертификационных испытаний древесины, деревянных конструкций, защитных средств для древесины;
- проведение сертификации продукции деревообрабатывающей и мебельной промышленности.
- исследовательские работы по внедрению инновационных технологий и и расширению ассортимента продукции конкурентно способного в строительстве и на мировом рынке;
- импортозамещение и создание новых материалов;
- проектирование деревообрабатывающего оборудования нового поколения.

УДК 674.093.26

О. К. Леонович, зав. НИЛ ОСКиМ, доц., канд. техн. наук  
(БГТУ, г. Минск)

В. А. Ангерчик, нач. отдела проектирования (ОАО «Речицадрев»)

## **ЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА LVL-БРУСА ИЗ ХВОЙНЫХ ПОРОД**

Целью работы является: организация высокоэффективного технологического процесса изготовления LVL-бруса из хвойных пород.

В результате изучения, мирового опыта лидеров производства LVL-бруса был составлен технологический процесс, который состоит из следующих операций: приемка, обмер и сортировка сырья, окорка на роторных окорочных станках, гидротермическая обработка древесины в бассейнах, разделка кряжей на чураки, лущение шпона толщиной 3,2 мм, сушка шпона до влажности не более 5%, сортировка шпона по влажности по прочности шпона при помощи ультразвуковых датчиков, ребросклеивание, усование, когда две противоположные кромки листа шпона скашивают под углом  $45^\circ$  на глубину 3 см, нанесение клея, формирование пакетов.

Прессование. Существуют два наиболее эффективных способа прессования: прессование в одно- или многопролетных прессах циклического действия (Raute) и прессование в прессах непрерывного действия с предварительным нагревом с помощью микроволн (Dieffenbacher, Siempelkamp). Наиболее эффективным и более производительным является пресс непрерывного действия. Процент брака, образующегося при непрерывном прессовании, меньше на 5%. Технологический процесс заканчивается распиловкой, обреской и формированием пакетов.

Для увеличения интенсификации сушки и склеивания, снижения шероховатости шпона, уменьшение коэффициента упрессовки (покробленности шпона) предложен процесс механического выделения влаги при помощи прокатного станка. Количество вытесненной влаги при этом составляет 27-34%. При прокатке сырого шпона уменьшается влажность его перед сушкой до 35-39%, что позволяет повысить производительность сушильных агрегатов не менее, чем на 30%.

Предложено проводить термопрокат поверхности шпона, что позволит сократить расход клея в зависимости от степени уплотнения.

Заключение: Выпуск LVL-бруса из шпона хвойных пород по предлагаемой технологии позволит организовать выпуск высококоротельной продукции востребованной на мировом рынке.

УДК 674.048

О. К. Леонович, зав. НИЛ ОСКиМ, доц., канд. техн. наук;  
 А. Ю. Антоник, студ.  
 (БГТУ, г. Минск)

## БИЛОГИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ТЕРМОМОДИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Создание такого материала как термомодифицированная древесина является одним из передовых направлений в технологии переработки древесины. Термомодификация древесины представляет собой специальную технологию термической обработки древесины. Древесина в специальной установке проходит сушка в течении 12 суток до влажности 4-6%. Затем установка под компьютерным управлением переходит в режим термомодификации древесины. В процессе модификации древесина нагревается до 180-210 градусов.

Термомодифицированная древесина нашла широкое применение в области строительных материалов (погонажные изделия , антислип, террасные покрытия и др). Для работы с культурами грибов была разработана «Методика определения, восстановления и хранения культур дереворазрушающих, деревоокрашивающих и плесневых грибов». Для испытания используются дереворазрушающие грибы: *Coniophora puteana*. Испытания на устойчивость к деревоокрашивающим грибам проводится на культурах наиболее часто встречающихся родов грибов на складах предприятий Республики Беларусь (по Мазаник Н.В.):

*Penicillium cyclopium*; *Penicillium purpurogenum*; *Aspergillus terreus*; *Aspergillus niger*; *Aspergillus flavus*; *Fusarium moniliforme*; *Fusarium javanicum*; *Alternaria humicola*; *Alternaria tenuis*; *Cladosporium herbarum*; *Pullularia pullulans*; *Penicillium biforme*; *Penicillium glaucum*; *Aspergillus glaucus*; *Aspergillus nidulans*; *Aspergillus ustus*; *Fusarium cavispermum*; *Rhinochlaemia atrovirens*; *Verticillium glaucum*; *Oidiodendron griseum*; *Verticillium latericium*; *Botrytis cinerea*; *Phialophora fastigiata*; *Fusarium scirpi*; *Bisporamonilioides*; *Trichoderma lignorum*.

Для определения токсичности по отношению к грибу *Coniophora puteana* и оценки эффективности против деревоокрашивающих и плесневых грибов термомодифицированной древесины и других деревянных изделий разработана методика МВИ. На начальной стадии исследований установлена более высокая степень биостойкости термомодифицированной древесины в сравнении с натуральной древесиной сосны.

УДК 674.048

О.К. Леонович, зав. НИЛ ОСКиМ, доц., канд. техн. наук;  
А. Ю. Антоник, студ.  
(БГТУ, г. Минск)

## **СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ ПРИ ТЕРМОМОДИФИЦИРОВАНИИ**

Целью работы является изучение изменений в структуре термомодифицированной древесины сосны.

Во всем мире тенденции развития новых технологий в области строительных материалов, в частности древесины, примерно схожи. Термомодификация древесины представляет собой специальную технологию термической обработки древесины. Древесина в специальной установке проходит сушка в течении 12 суток до влажности 4-6%. Затем установка под компьютерным управлением переходит в режим термомодификации древесины. В процессе модификации древесина нагревается до 180 градусов. В процессе сторае сахар и углеводы, происходит уплотнение древесины, разрушается лигнин, умирают споры грибов, закупориваются клетки древесины.

Для определения структурных изменений термомодифицированной древесины сосны был использован сканирующий электронный микроскоп JSM-5610 LV с системой химического анализа EDX JED-2201JEOL. Для испытания применялись образцы размером 10x10x10 мм. Перед исследованием образцы пропитывают по ГОСТ 20022 и высушивают до заданной влажности. Пучок электронов (электронный зонд) взаимодействует с приповерхностным участком образца глубиной менее нескольких микрон. В результате взаимодействия появляются многочисленные сигналы, которые можно обнаружить с помощью разнообразных детекторов для получения информации об образце.

Методом сканирующей электронной микроскопии были определены, значительные изменения структуры термомодифицированной древесины сосны в сравнении с натуральной. Стенки ранних трахеид термомодифицированной древесины уменьшились в 2 раза. На тангенциальном срезе выявлено расплавление стенок окаймленных пор. Около сердцевинного луча уменьшились мелкие окаймленные поры.

Такие изменения в значительной степени повлияли на влагостойкость термомодифицированной древесины. За год испытаний влажность термомодифицированной древесины составила около 5 % при комнатной температуре, а натуральной 10%.

УДК 674.8

И. Г. Федосенко, доц., канд. техн. наук;  
А.В. Усович, студ. (БГТУ, г. Минск)

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОГО УПЛОТНЕНИЯ ЩЕПЫ В СВОБОДНО-НАСЫПАННОМ СОСТОЯНИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ НАЧАЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ**

В производстве композиционных материалов измельченная древесина прочно обосновалась как доступный наполнитель, обеспечивающий, к тому же, армирующие свойства, определяющие прочность конечного продукта. При этом, экологические и технологические преимущества такого материала, способствуют незыблемости его позиций у производителей продукции и потребителей.

При производстве композитов из измельченной древесины на минеральном вяжущем важную роль играет плотность структуры. На сегодняшний день, сведений об свободном уплотнении измельченной древесины недостаточно, чтобы выбрать оптимальный фракционный состав наполнителя при производстве такого материала как арболит, цементно-стружечные плиты, опилкобетон и др.

Для создания условий максимального уплотнения щепы в свободно насыпанном состоянии был выбран способ динамического трамбования при помощи твердой недеформируемой плоской поверхностью в замкнутом пространстве формы. Испытания проводили по методу стандартного уплотнения грунтов согласно ГОСТ 22733-2002. В качестве уплотняющего устройства был использован прибор ПСУ (метод СОЮЗДорНИИ).

Для испытания была выбрана щепа хвойных пород, без содержания коры. Щепа была разделена на фракции: 20/10, 10/5 и 5/2, что соответствует самым популярным размерам при производстве древесных композитов на минеральном вяжущем. Кроме того, щепа была кондиционирована до достижения абсолютной влажности: 12, 30, 48, 66 и 84 %.

По результатам испытаний, были получены уравнения, позволяющие прогнозировать плотность древесного композита, в зависимости от фракционного состава наполнителя.

Стоит отметить, что для достижения максимальной плотности материала, т.е. максимальной прочности, самой предпочтительной фракцией является фракция 5/2, а для достижения максимального теплового сопротивления и изготовления теплоизоляционных материалов, самой предпочтительной композицией фракций является фракция 20/10 и 10/5 в равном соотношении. Влажность практически не оказывает влияния на эти соотношения.

УДК 674.048.5

И. Г. Федосенко, доц., канд. техн. наук;  
М.В. Шкробот, маг. техн. наук  
(БГТУ, г. Минск)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЛАЖНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ ХВОЙНЫХ ПОРОД НА ПРОНИКНОВЕНИЕ ЗАЩИТНЫХ СРЕДСТВ В ЕЕ СТРУКТУРУ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ИЗБЫТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ**

Сегодня наиболее эффективным и быстрым способом консервации является пропитка под избыточным давлением. Проводить подобного рода мероприятия на крупногабаритном объекте без его разборки пока не научились. Способ введения защитного состава под давлением в глубь древесины через внедряемые наконечники, т.е. инъектирование, способен обеспечить глубокую ее пропитку под давлением, не прибегая при этом к разборке конструкции. Инъектирование применялось В.Е. Вихровым, ректором БГТУ при консервации объектов археологического музея «Берестье» в 1970 г. Использование способа имело стихийный характер и широкому его применению воспрепятствовало отсутствие научно обоснованных режимов пропитки, выбора размеров и материала инъектора, а также не изученность влияния различных факторов на этот процесс. Однако, идея была подхвачена строителями и способ прочно вошел в практику устройства проникающей гидроизоляции бетонных и кирпичных оснований зданий и ограждений подвальных помещений. На сегодняшний день способ инъектирования древесины так и остался не постигнут научной мыслью.

Современное высокоточное оборудование позволяет детально изучить процессы массопереноса при глубокой пропитке древесины. Это позволило нам провести предварительные исследования, результаты которых лягут в разработку научно обоснованного способа инъекционной пропитки древесины.

В роли основного критерия качества пропитки было решено использовать характер распространения жидкости в массиве древесины, который оценивали по глубине проникновения защитного средства, площади окрашенного пятна и концентрации состава в материале.

По предварительно проведенным испытаниям удалось установить характер пропитки комнатносухой древесины сосны водорастворимым медьсодержащим защитным средством при помощи инъектирования состава под давлением 10–30 атм. через металлические полые перфорированные иглами диаметром 2 мм. Испытания показали, что сквозная пропитка образцов длиной 120 мм вдоль волокон достигалась за время от 5

с до 1 ч при давлении 30 и 10 атм. соответственно. Была определена скорость проникновения состава вдоль волокон, площадь и характер защищенной области, вокруг места введения иглы, предложена схема расположения инъекционных отверстий для сплошной пропитки 1 п.м. бревна, диаметром 20 см на глубину заболони – 3 см.

Текущим этапом работы стало изучение влияния свойств защитных средств и влажности древесины на время пропитки и характер распределения элементов составов в древесине. Образцы сосны и ели размерами 50×50×240 мм, доводили до абсолютной влажности 10, 30, 60, 90 и 120 %, после чего пропитывали вышеуказанным способом водорастворимым составом, маслянистым защитным средством и низкомолекулярным полимером. Составы были выбраны таким образом, чтобы прогнозировать поведение известных защитных средств для древесины при ее пропитке инъектированием под избыточным давлением. Водорастворимые – обладают наименьшей вязкостью и имеют в основе воду, которая легко смешивается с влагой в древесине. Маслянистые – вязкие защитные средства, несовместимые с водой и вытесняющие ее при пропитке. Полимерные – вязкие защитные средства, создающие в древесине полимерную матрицу при сшивании отдельных их компонентов. В качестве низкомолекулярного полимера использовали полиуретановый клей, который при взаимодействии с водой в древесине полимеризуется и, увеличиваясь в объеме, самостоятельно распространяется в структуре древесины.

Для пропитки использовалась доработанная конструкция инъекционных игл из полимерных материалов, обеспечивающих лучший контакт с древесиной и самогерметизацию отверстий во время нагнетания состава.

По результатам испытаний были построены графики.

Установлено, что обработка древесины влажностью 30 % наиболее эффективна при пропитке каждым из трёх составов. Пропитка полиуретановым клеем древесины ели влажностью 60 % также эффективна. Пропитка древесины влажностью более 80 % данным способом нежелательна во всех трех случаях.

Было установлено, что пропитка археологической древесины происходит быстрее, чем пропитка здоровой древесины, так как историческая древесина имеет более пористую структуру.

Было установлено, что величина затрат на пропитку водорастворимым защитным средством имеет меньшее значение, чем затраты, необходимые на пропитку масляным и полимерным защитным средством

УДК 674.816

Г.М. Бикбулатова, доц., канд. техн. наук; Валеева А.Р., магистрант;  
В.Н. Башкиров, проф., д-р техн. наук; С.А. Забелкин, доц., канд. техн. наук;

А.Н. Грачев, проф., д-р техн. наук  
(ФГБОУ ВО КНИТУ, г. Казань)

### **ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНЫЙ КОМПОЗИТ**

Дерево, один из самых востребованных строительных и отделочных материалов. Древесина удобна в обработке, обладает высокими эстетическими, теплоизоляционными качествами, незаменима при создании построек, важным аспектом которых является экологичность. У древесины так же есть недостатки – восприимчивость к неблагоприятным внешним факторам, способность к гниению и получения большого количества отходов при обработке древесины.

На сегодняшний день все основные исследования в технологиях обработки и переработки древесины стремятся решить вопрос об исключение недостатков древесины с сохранением всех ее достоинств. Основным решением данного вопроса это разработки новых композиционных материалов в основе которых лежит древесина. Таким инновационным строительным материалом может стать древесно-полимерный композит. Древесно-полимерный композит (ДПК, дерево-пластик, «жидкое дерево») совмещает практичные свойства пластика и достоинства древесины. ДПК – современный, усовершенствованный материал, который уже нашел широкое применение в строительстве, внутренней и внешней отделки домов, автомобилей, яхт и пр. В состав ДПК входят три основных компонента: частицы измельченной древесины, термопластичный полимер (поливинилхлорид, полиэтилен, полипропилен), комплекс модификаторов – химических добавок (до 5% в составе материала). Все составляющие ДПК соединяются в нужных пропорциях и перемешиваются между собой. Путем варьирования пропорций веществ можно получать более выраженные те или иные свойства композиционного материала. В зависимости от этих свойств расширить его сферу использования. Так же можно получать новые свойства материала при использовании в качестве компонента различные виды полимеров (поливинилхлорид, полиэтилен, полипропилен). В деревообрабатывающей промышленности России образуется ежегодно большое количество (780-800 тыс. м<sup>3</sup>) отходов древесины. Данные отходы могут быть применены в качестве древесных наполнителей, что является, по моему мнению, сырьем которое может улучшить качество продукта, уменьшить его стоимость и улучшить экологическую обстановку страны. Таким образом представляет интерес вопрос получения более качественного ДПК с применением в качестве наполнителя отходов древесины.

УДК 684.4.034

С.С. Гайдук, ст. преп., канд. техн. наук  
(БГТУ, г. Минск)

## **СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ В ПРОЕКТИРОВАНИИ МЕБЕЛИ**

С целью ускорения процесса проектирования и обработки информации все более широко в мебельной промышленности используется автоматизация. При проектировании изделий выделяют понятие автоматизированного и автоматического проектирования.

Автоматизированное проектирование – это процесс или совокупность мероприятий, направленных на выполнение проектных решений с помощью ЭВМ. При этом должно быть предусмотрено рациональное распределение функций между человеком (проектировщиком) и ЭВМ.

Рациональное распределение функций между человеком и компьютером заключается в том, что специалист решает в основном задачи творческого характера, а ЭВМ выполняет работу, допускающую формализованное описание.

Автоматическое проектирование – это такой вид проектирования, при котором проектирование выполняется с помощью ЭВМ без участия человека, т.е. проектировщик полностью «исключен» из сферы проектирования и не участвует в процессе принятия решений [1].

Цель автоматизации проектирования мебели. В настоящее время все более широко и системно используются средства автоматизации работ, позволяющие:

- повысить производительность труда проектировщиков;
- улучшить качество проектной документации;
- оптимизировать процесс проектирования;
- снизить материальные затраты;
- сократить средства проектирования;
- устранить дорогое и длительное физическое моделирование;
- уменьшить или ликвидировать рост числа проектировщиков и конструкторов.

Необходимость автоматизации проектирования обусловлена тем, что прямые затраты на проектирование (проектирование/конструирование, расчеты и вычерчивание) занимают порядка 62% общего объема работ. Так называемые «косвенные проектные» работы (составление спецификаций, контроль чертежей, поиск повторяющихся деталей, составление описаний, нормирование, поиск аналогов проекта, переписка) занимают, примерно, 1/3 суммарного времени конструктора. Это рутинные этапы. Отсюда следует, что первым направлением рационализации процесса проектирования является ав-

томатизация выполнения «рутинных» этапов с помощью средств вычислительной техники.

Наибольшие успехи достигнуты при автоматизации:

- расчетов;
- разработке текстовой и технической документации;
- в поиске аналогов;
- в выполнении чертежно-графических работ;
- в подготовке математических моделей при моделировании процессов воздействий на конструкции.

Т.о. необходимость автоматизации проектных решений заключается в разрешении противоречия между сокращением сроков на проектирование объектов и повышением качества проектирования и ограниченными трудовыми ресурсами.

Также с помощью систем автоматизированного проектирования можно решить проблемные задачи в области проектирования мебели:

1. Трехмерное моделирование мебели и оформления интерьеров помещений (рендеринг).
2. Автоматизированное конструирование мебели (установка фурнитуры, назначение кромочных материалов).
3. Разработка КД в соответствии с ЕСКД.
4. Задачи функционально-стоимостного анализа при оценке эффективности деятельности предприятия.
5. Оптимизация раскроя листовых и погонажных материалов.
6. Расчет на прочность, устойчивость, жесткость конструкции.

В процессе проектирования мебельных изделий используется три способа построения чертежей: параметрический, непараметрический (эскиз) и быстрое построение чертежа (автоматическая параметризация).

Таким образом, можно сказать, что основным направлением развитием проектирования мебели является внедрение систем автоматизирования проектирования изделий с разработкой трехмерной модели готового изделия с установкой все фурнитуры. Что позволяет сократить время на проектирование и значительно повысить качество получаемой продукции, а также в случае необходимости оперативно вносить изменения в конструкцию изделия с автоматическим изменением все конструкторской документации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бунаков, П.Ю. Автоматизация проектирования корпусной мебели. Основы, инструменты, практика / П.Ю. Бунаков, А.В. Стариков П.Ю. – М, ДМК Пресс, 2009. – 851 с.

УДК 684.4.034

С.С. Гайдук, ст. преп., канд. техн. наук; В.М. Чудук, магистрант  
(БГТУ, г. Минск)

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ В САПР МЕБЕЛИ**

Создание и разработка систем автоматизированного проектирования (САПР) – одно из главных направлений научно технического процесса. Это объясняется тем, что промышленный потенциал страны определяется не только возможностями массового производства новейших изделий техники, но и возможностями их быстрого проектирования. Так как количество вновь разрабатываемых отраслями промышленности изделий удваивается каждые 15 лет, а их сложность каждые 10 лет, то требования к сроку и качеству их проектирования непрерывно растут. До последнего времени возникающие при этом проблемы решались в основном за счет постоянного увеличения численности инженерно-технических работников и частично за счет роста производительности труда. Такой экстенсивный путь развития производства сегодня признан не эффективным.

Завершающим этапом конструирования мебельного изделия является формирование комплекта чертежно-конструкторской документации. В большинстве мебельных САПР реализован механизм автоматического получения следующих документов по трехмерной модели изделия. Вся конструкторская документация соответствует требованиям действующих стандартов, при этом имеется возможность настройки ее вида пользователем в пределах этих требований. В подавляющем большинстве случаев автоматически сформированные чертежи полностью готовы для передачи в производство. Тем не менее, должен присутствовать аппарат редактирования чертежей, включающий в себя построение любых видов размеров и специальных обозначений, основной надписи, штриховки областей, формирования технических требований и т. д., другими словами, полный функционал редактора чертежно-конструкторской документации.

Таким образом, специализированные мебельные САПР позволяют значительно снизить трудозатраты на подготовку конструкторской документации. Автоматическая генерация чертежей ускоряет работу и снижает вероятность появления ошибок на последних этапах проектирования. Специализированные САПР избавляют конструктора от рутинных операций оформления документации и позволяют больше времени уделять непосредственно творческому процессу проектирования изделия.

УДК 62-408.2

П.В. Рудак, доц., канд. техн. наук; Д.В. Куис, доц., канд. техн. наук;  
В.В. Чаевский, доц., канд. физ.-мат. наук;  
О.Г. Рудак, ассист., магистр техн. наук;  
Е.А. Зборин, студ. (БГТУ, г. Минск);

И. Валентиниэне, доц., канд. техн. наук; Г. Пилкис, декан  
(Каунасский Колледж, г. Каунас, Литовская Республика)

## **АНАЛИЗ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ И МЕХАНИЗМОВ МЕХАНО-ХИМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ ИЗНАШИВАНИЯ ЛЕЗВИЙ ДЕРЕВОРЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ**

Процесс обработки древесины и древесных материалов резанием характеризуется большим количеством особенностей, отличающих его от процессов резания других материалов. Результаты ряда научных исследований показывают большое влияние на интенсивность изнашивания дереворежущего инструмента механо-химических явлений.

Установлено, что кислотность древесины и содержащиеся в ней полифенолы являются одним из основных факторов коррозии стали [1].

Результаты исследований влияния продуктов деструкции древесины на прочность при статическом нагружении твердосплавных пластин показывают уменьшение прочности образцов из-за образования концентраторов напряжений, в связи с коррозионным воздействием.

Исследования, представленные в работе [2], показывают, что дубильные вещества, содержащиеся в древесине, оказывают значительное влияние на коррозию инструмента из быстрорежущей стали. Параметры процесса отжига инструмента из быстрорежущей стали оказывают меньшее влияние на коррозионную стойкость в среде дубильных веществ древесины, чем элементный состав и температура аустенизации.

На сегодняшний день процессы химического взаимодействия пары «древесный материал-сталь» изучены недостаточно полно.

На основании ранее проведенных исследований можно сделать вывод о том, что в процессе резания древесины и древесных материалов преобладающим является коррозионно-механический вид изнашивания (трибокоррозия).

Для трибокоррозии характерен синергизм механических (процессы разупрочнения, разрыхления и разрушения поверхностей трения) и химических явлений (окислительных, химических и электрохимических), с параллельно происходящей газификацией поверхностных слоев, результат проявления которых не может быть определен только суммированием эффектов составляющих.

Могут быть выделены этапы трибокоррозии: 1. образование оксидных слоев на рабочих поверхностях инструмента; 2. механо-

химическое разрушение образовавшихся слоев; 3. взаимодействие древесного с древесным материалом с образовавшейся ювенильной поверхностью металла и его репассивация.

При высоких давлениях и температурах в зоне резания и трения древесный материал термически разлагается.

Возможна следующая последовательность протекания этого процесса. При температурах 120-150°C испаряется свободная влага, затем происходит разложение гемицеллюлоз (275-300°C), распад древесного волокна (около 400°C) и выделение кислот, спиртов и смол.

На характер и интенсивность изнашивания в большей степени влияют вода, органические кислоты и полифенольные соединения.

При повышении температуры химическая активность даже слабых кислот значительно увеличивается. Поэтому образовавшиеся в процессе трибодеструкции древесины кислоты (уксусная, муравьиная, пропионовая, масляная, валериановая) активно взаимодействуют с оксидной пленкой на поверхности лезвия, растворяя ее.

Катализаторами коррозии могут быть также сульфаты, сульфиды и хлориды, из состава минеральных компонентов древесины.

Адсорбирующиеся ионы водорода, образующиеся в результате диссоциации кислот и воды, скапливаются в местах выхода на поверхность дислокаций межфазовых границ, уменьшая поверхностную энергию и способствуя разрушению.

Проведенный анализ позволяет уточнить существующие подходы к технологическим методам упрочнения лезвий, сформулировать требования к выбору способа повышения износостойкости и теоретически обосновать структурно-фазовый состав и физико-химические свойства поверхностного слоя лезвия, что позволит повысить долговечность деревообрабатывающего инструмента.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Pugsley, V.A. The influence of a corrosive wood-cutting environment on the mechanical properties of hardmetal tools / V.A. Pugsley, G. Korn, S. Luyckx, H.-G. Sockel, W. Heinrich, M. Wolf, R. Schulte // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, Volume 19, Issues 4–6, July–November 2001, pp. 311–318

2. Winkelmann H. Corrosion behavior of tool steels in tannic acids / H. Winkelmann, E. Badisch, S. Ilo, S. Eglsäer // Materials and Corrosion, Volume 60, Issue 3, March 2009, pp. 192–198

УДК 62-408.2

П.В. Рудак, доц., канд. техн. наук; С.В. Шпак, доц., канд. техн. наук;  
 Д.В. Куис, доц., канд. техн. наук(БГТУ, г. Минск);  
 С.Д. Латушкина, зав. отделом (ГНУ «ФТИ НАН Беларуси»);  
 О.Г. Рудак, ассист., магистр техн. наук; О.Ю. Пискунова, инж.  
 (БГТУ, г. Минск)

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ В СРЕДЕ ПРОДУКТОВ СУХОЙ ТЕРМОДЕСТРУКЦИИ ДРЕВЕСИНЫ ОБРАЗЦОВ ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ С МНОГОКОМПОНЕНТНЫМИ ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫМИ НАНОСТРУКТУРНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ**

Методом сухой перегонки древесины лиственных пород получены сконденсированные продукты ее сухой термодеструкции для электрохимических исследований образцов быстрорежущей стали.

Снят потенциал образца с многокомпонентными вакуумно-плазменными наноструктурными покрытиями относительно образца без покрытия в среде сконденсированных продуктов сухой термодеструкции древесины.

Осаждение покрытий проводилось на вакуумно-дуговой установке УРМЗ.279.048, оснащенной сепаратором макрочастиц.

Для определения потенциала использовались электрохимические методы анализа с применением оборудования Autolab производства компании Metrohm (Нидерланды). Исследования проводили при комнатной температуре 21°C.

Полученные результаты представлены в таблице.

**Таблица – Результаты электрохимических испытаний образцов из быстрорежущей стали с осажденными многокомпонентными наноструктурными покрытиями**

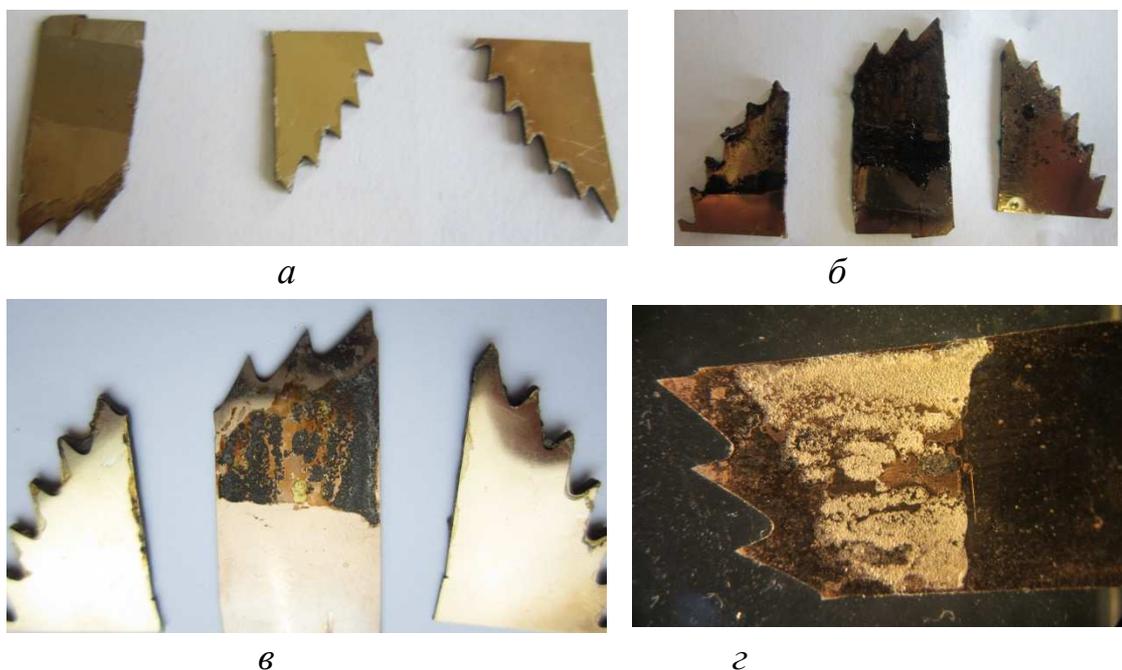
№	Состав порывтия	Маркировка покрытия	Минимальный зафиксированный электродный потенциал $E_{min}$ , мкВ	Максимальный зафиксированный электродный потенциал $E_{max}$ , мкВ	Средний зафиксированный прибором электродный потенциал $E_{ср}$ , мкВ
1		AT72	-331,8	-82,3	-199,32
2		TK12	-317,0	-375,4	-317,70
3		TK13	-308,2	-387,6	-266,86

Из исследованных, покрытия ТК12 и ТК13 показали малую разницу потенциалов между металлом основы и покрытием. Электрохимическое поведение данных покрытий в среде продуктов сухой термодеструкции древесины может быть охарактеризовано как стабильное.

Наименьшей коррозионной стойкостью из исследованных покрытий обладает покрытие АТ72.

Это подтверждает визуальная оценка поверхностей образцов после электрохимических испытаний.

На рисунке представлены фотографии образцов.



**Рисунок – Фотографии образцов с покрытиями до электрохимических испытаний (а) (слева направо – АТ72, ТК13, ТК12), сразу после извлечения из жидкости по окончании электрохимических испытаний (б), после очистки их поверхностей спиртом (в) (слева направо – ТК13, АТ72, ТК12), картина коррозии образца с покрытием АТ 72, полученные с помощью стереомикроскопа Альтами при увеличении  $\times 10$  раз (г)**

В процессе электрохимических испытаний поверхности образцов покрылись вязкой смоляной массой (рисунок, б). После очистки образцов было установлено, что на поверхности образца с покрытием АТ72 образовались очаги коррозии (рисунок, в, г), в то время как поверхности образцов с покрытиями ТК12 и ТК13 визуально остались неизменны. По характеру коррозионных разрушений коррозионный процесс, имеющий место при электрохимических испытаниях образца с покрытием АТ72 может быть классифицирован как сплошная неравномерная коррозия. При этом очевидно, что скорость коррозии неодинакова на различных участках поверхности.

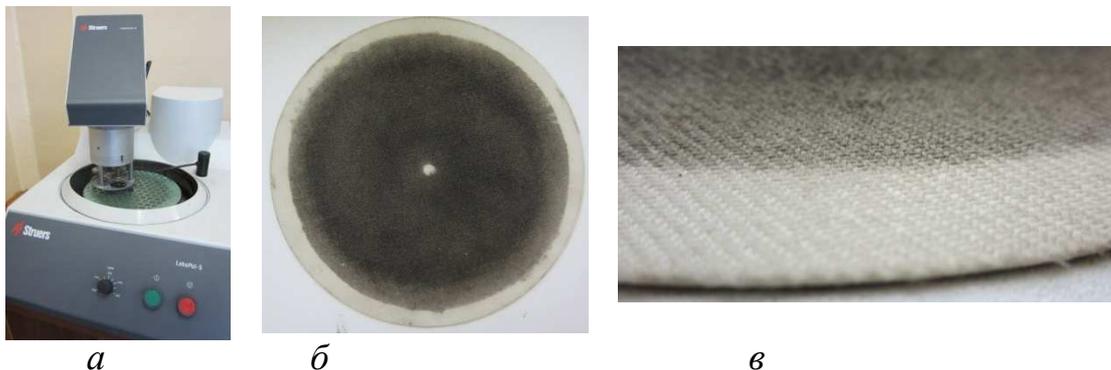
УДК 62-408.2

П.В. Рудак, доц., канд. техн. наук; Д.В. Куис, доц., канд. техн. наук;  
 О.Г. Рудак, ассист., магистр техн. наук (БГТУ, г. Минск);  
 С. Барчик, проф., канд. техн. наук; П. Бено, доц., канд. техн. наук  
 (Технический университет в Зволене, Словакия);

## **МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ НА МЕХАНО-ХИМИЧЕСКОЕ ИЗНАШИВАНИЕ ОБРАЗЦОВ ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ С МНОГОКОМПОНЕНТНЫМИ ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫМИ НАНОСТРУКТУРНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ**

В качестве параметра механо-химического износа выбрана длина диагонали отпечатка, нанесенного индентором на поверхность образца. Отпечатки получали индентором в виде правильной четырёхгранной алмазной пирамиды с углом  $136^\circ$  между противоположными гранями. Индентирование осуществлялось на микротвердомере Duramin.

Испытания проводили на экспериментальной установке на базе шлифовально-полировального станка LaboPol-5 в комплекте с устройством сложного вращательного движения и дозирования нагрузки LaboForce-3. В качестве контр тела выбран диск MDMol производства компании Struers (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Экспериментальная установка (а), внешний вид контр тела (б), применяемого в испытаниях на механо-химическое изнашивание и фотография поверхности контр тела (в)**

Данный диск изготовлен из тканой тафты (100% шерсть), обладает высокой упругости и низкой твердостью. Его применение позволяет воспроизвести в экспериментах условия, близкие к воздействию на поверхности образцов древесных волокон.

Быстрорежущие стали в деревообработке наиболее часто применяются для производства сверл. Широко используется, например, сверло спиральное WB 120-0-02 HS производства компании Leitz (Германия).

Для сверла диаметром  $\varnothing 20$  мм производитель рекомендует частоту вращения около  $2500 \text{ мин}^{-1}$ , что соответствует скорости резания  $2,6 \text{ м/с}$ . Скорость подачи при этом может достигать  $1,1 \text{ м/мин}$ , что соответ-

ствуется подаче на зуб  $S_z=0,22$  мм.

Частота вращения контр тела при испытаниях образцов назначена исходя из расчета для воспроизведения линейной скорости перемещения точек лезвия сверла относительно обрабатываемого материала.

На экспериментальной установке на базе шлифовально-полировального станка LaboPol-5 применяются диски диаметром  $\varnothing 200$  мм, при этом контактирование с контр телами происходит на диаметре  $\varnothing 180$  мм. Устройство сложного вращательного движения и дозирования нагрузки LaboForce -3 осуществляет дополнительное вращение образцов по окружности, диаметром 90 мм, с частотой  $250 \text{ мин}^{-1}$ .

Для обеспечения в ходе испытаний скорости относительного движения испытываемых образцов относительно контр тела, соответствующей скорости взаимодействия лезвия указанного сверла с обрабатываемым материалом, необходимо обеспечить частоту вращения контр тела  $150 \text{ мин}^{-1}$ .

Исходим из величины среднего нормального давления на режущей кромке дереворежущего инструмента 500 МПа, принимаем усилие, оказываемое держателем на один испытываемый образец, 10Н.

На поверхности испытываемых образцов наносились сетки следов индентирования по 9 следов в 5 областях поверхности образца при времени экспозиции индентора 10 с (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Схема размещения сеток индентирования на запрессованных в смолу образцах (а) (слева направо: Без покрытия (БП), АТ72, ТК13, ТК12) и схема индентирования в пределах отдельной области образца (б)**

Образцы испытывались индивидуально. Каждые 10 мин образцы снимали с установки, промывали водой и высушивали в сушильном шкафу. Далее выполняли измерения величин диагоналей отпечатков. В начале эксперимента и каждые последующие 10 мин на поверхность диска наносилось по 20 мл продуктов пиролиза древесины.

УДК 62-408.2

П.В. Рудак, доц., канд. техн. наук; Д.В. Куис, доц., канд. техн. наук;  
 В.В. Чаевский, доц., канд. физ.-мат. наук;  
 О.Г. Рудак, ассист., магистр техн. наук  
 (БГТУ, г. Минск);

П. Бир, проф., канд. техн. наук, П.Борисюк, доц., канд. техн. наук,  
 (Варшавский университете естественных наук, Польша);

А. Балтрушайтис, доц., канд. техн. наук (Каунасский Колледж, Литва);  
 Г. Кятуракис, преп.  
 (Каунасский технологический университет, Литва)

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ НА МЕХАНО-ХИМИЧЕСКОЕ ИЗНАШИВАНИЕ ОБРАЗЦОВ ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ С МНОГОКОМПОНЕНТНЫМИ ВАКУУМНО- ПЛАЗМЕННЫМИ НАНОСТРУКТУРНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

Установлено, что в пределах своих поверхностей испытываемые образцы изнашиваются равномерно. Отпечатки сохраняют ромбовидную форму практически до полного удаления слоя материала с отпечатком.

На рисунке 1 представлены графические зависимости величины диагоналей  $d$  отпечатков на поверхности образцов при индентировании с нагрузкой 490,3 мН от времени воздействия  $t$ .

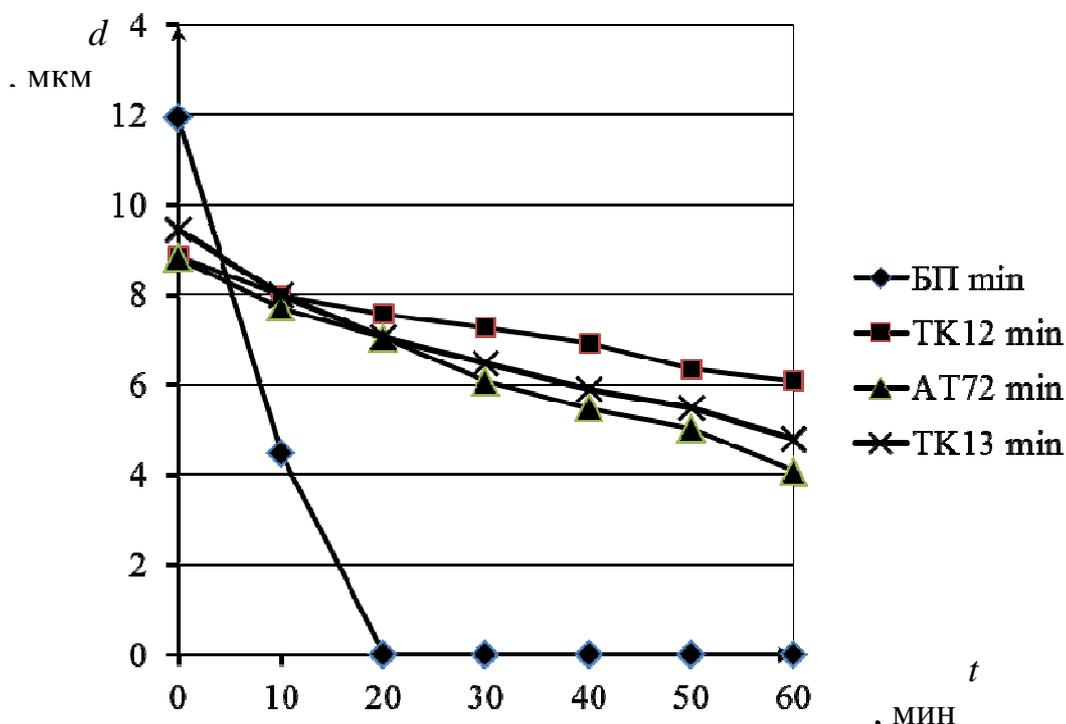


Рисунок 1– Графические зависимости величины диагоналей отпечатков на поверхности образцов при индентировании с нагрузкой 490,3 мН от времени механо-химического изнашивания

В таблице представлены данные о проценте среднего уменьшения диагонали отпечатка в процессе механо-химического изнашивания.

**Таблица – Данные о проценте среднего уменьшения величин диагоналей отпечатков (индентирование с нагрузкой 490,3 мН) через 20 мин и 60 мин механо-химического воздействия по сравнению с их средними исходными величинами**

Образец	Среднее уменьшение диагоналей отпечатков, %	
	20 мин	60 мин
БП (Без покрытия)	100	100
ТК12	14	31
АТ72	20	54
ТК13	25	49

Наибольшая интенсивность механо-химического изнашивания обнаружена у образца без покрытия.

Установлено, что через 20 мин механо-химического воздействия износостойкость образцов с покрытием ТК12 в 7 раз, образцов с покрытием АТ72 в 5 раз, а образцов с покрытием ТК13 в 4 раза выше стойкости образцов без покрытия.

Через 60 мин механо-химического воздействия износостойкость образцов с покрытием ТК12 в 10 раз, образцов с покрытиями АТ72 и ТК13 в 6 раз выше стойкости образцов без покрытия.

Среди образцов с покрытиями наибольшее увеличение стойкости по сравнению с образцами без покрытия при механо-химическом воздействии показало покрытие ТК12, которое по результатам предшествующих испытаний характеризуется наибольшей микротвердостью и химической стойкостью.

Покрытие ТК13 обладает меньшей твердостью, по сравнению с покрытием АТ72, однако химическая стойкость данного покрытия выше.

При механо-химическом воздействии в течение 60 мин, несмотря на более высокую твердость, покрытие АТ72 проявило более высокую интенсивность потери материала с поверхности по сравнению с покрытием ТК13. В то же время через 20 мин после начала механо-химического воздействия износ образцов с покрытием АТ72 был на 5% меньше в сравнении с образцами с покрытием ТК13.

Судя по всему, это может быть объяснено тем, что на первых этапах изнашивания основную роль в препятствии диссипации материала играет твердость покрытия, а по мере продолжающегося воздействия химических веществ, особое значение приобретает химическая стойкость поверхности образцов.

УДК 62-408.2

П.В. Рудак, доц., канд. техн. наук; Д.В. Куис, доц., канд. техн. наук; О.Г. Рудак, ассист., магистр техн. наук  
(БГТУ, г. Минск);

С. Барчик, проф., канд. техн. наук; П. Бено, доц., канд. техн. наук  
(Технический университет в Зволене, Словакия);

Е.Ю. Разумов, доц., д-р техн. наук  
(Поволжский государственный технологический университет, Россия)

**ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ  
ПОВЕРХНОСТИ ДЕРЕВОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА  
НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ В СРЕДЕ КОНДЕНСАТА  
ПРОДУКТОВ ПИРОЛИЗА ДРЕВЕСИНЫ**

Установлено, что химическая стойкость поверхности дереворежущего инструмента в среде конденсата продуктов пиролиза древесины оказывает существенное влияние на износостойкость и не менее важна, чем твердость поверхности инструмента.

Этот вывод сделан на основе проведенных испытаний на механическое и механо-химическое изнашивание (таблица, рисунок).

**Таблица – Результаты экспериментов, по сравнению уменьшения диагоналей отпечатков (индентирование при 490,3 мН) на образцах без покрытия (БП) в условиях механо-химического и механического изнашиваний**

Длительность изнашивания $t$ , мин	Величина диагонали отпечатка на образце БП при механо-химическом изнашивании	Величина диагонали отпечатка на образце БП при механическом изнашивании
0	11,95	11,95
2,5	10,31	11,02
5	8,47	10,02
5,5	6,59	8,87
10	4,46	8,19
10,5	3,54	7,38
15	2,56	6,74
15,5	1,49	6,1
20	0	5,46
20,5	0	3,77
25	0	1,32
30	0	0

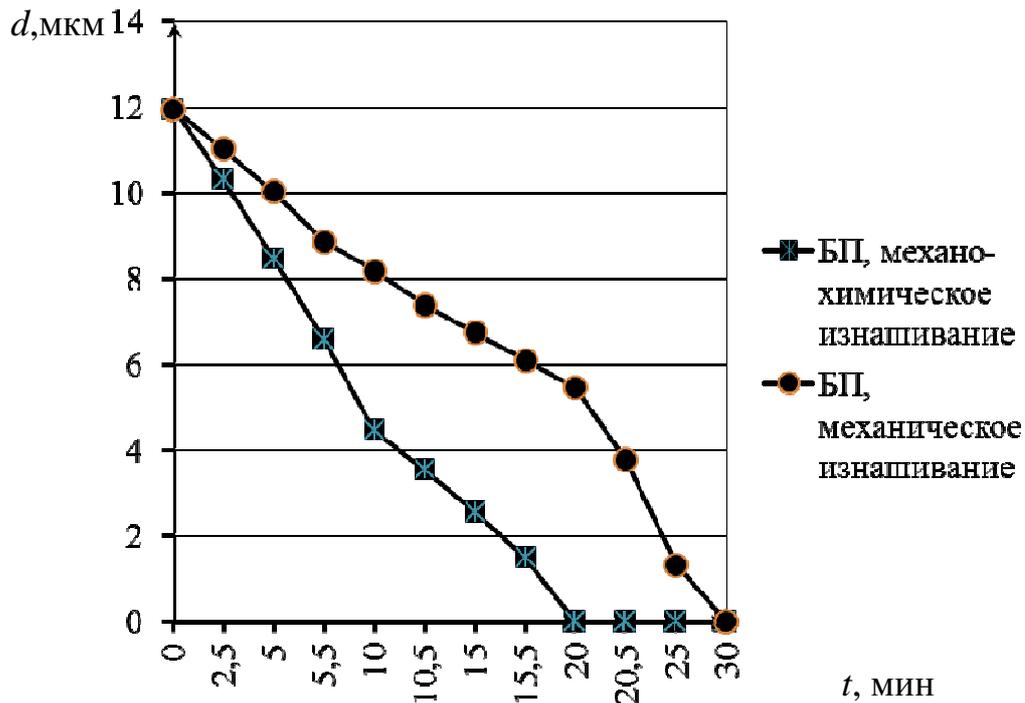


Рисунок – Графические зависимости величины диагоналей отпечатков на поверхности образцов при индентировании с нагрузкой 490,3 мН от длительности механо-химического и механического изнашиваний

Анализируя данные таблицы и графики на рисунке можно сделать вывод, о том, что продукты пиролиза древесины приводят к росту интенсивности изнашивания на величину около 50%.

Исследовано механо-химическое изнашивание образцов без покрытий, с отпечатками, полученными от различных усилий (рисунок 2)

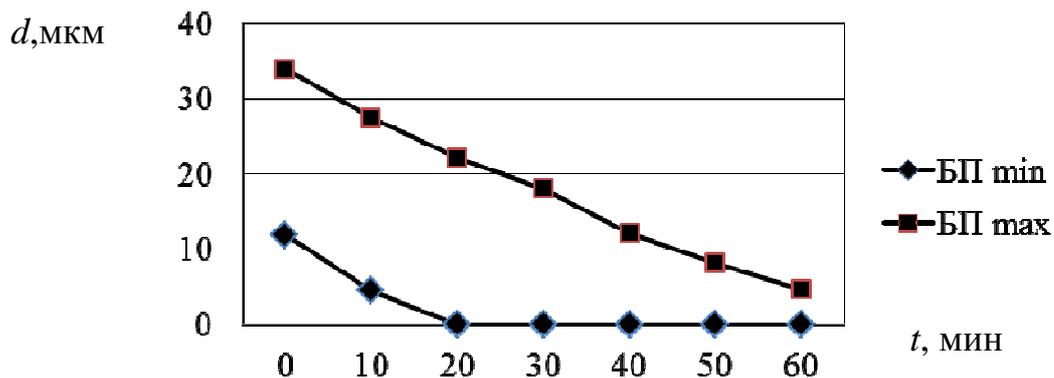


Рисунок 2 – Уменьшения диагоналей отпечатков, полученных при нагрузках 490,3 мН (БП min) и 4,903 Н (БП max) в процессе механо-химического изнашивания образцов

Интенсивности уменьшения отпечатков, полученных при данных нагрузках для образцов без покрытия (БП) практически совпадают.

УДК 62-408.2

П.В. Рудак, доц., канд. техн. наук;  
 Д.В. Куис, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск);  
 С. Барчик, проф., канд. техн. наук;  
 П. Бено, доц., канд. техн. наук  
 (Технический университет в Зволене, Словакия);  
 Л. Хренова, преп.  
 (Менделевский университет в Брно, Чехия)

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ  
 МЕХАНО-ХИМИЧЕСКОГО ИЗНАШИВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ  
 ДЕРЕВОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА  
 С НАНОСТРУКТУРНЫМИ ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫМИ  
 ПОКРЫТИЯМИ**

Средние в пределах поверхности образца величины диагоналей для отпечатков (усилие 4,903 Н) представлены в таблице.

**Таблица – Средние по образцу величины диагоналей для отпечатков, полученных при усилии индентирования 4,903 Н**

Образец	Средняя величина диагонали отпечатка, мкм
<b>В начале эксперимента</b>	
БП	34,01
ТК12	30,32
АТ72	30,11
ТК13	32,28
<b>После 10 мин механо-химического изнашивания</b>	
БП	27,43
ТК12	27,61
АТ72	26,32
ТК13	27,51
<b>После 20 мин механо-химического изнашивания</b>	
БП	22,14
ТК12	25,72
АТ72	23,29
ТК13	24,22
<b>После 30 мин механо-химического изнашивания</b>	
БП	18,12
ТК12	23,88
АТ72	20,47
ТК13	21,98

Продолжение таблицы

После 40 мин механо-химического изнашивания	
БП	12,15
ТК12	22,58
АТ72	17,75
ТК13	19,42
После 50 мин механо-химического изнашивания	
БП	8,18
ТК12	20,73
АТ72	15,23
ТК13	16,99
После 60 мин механо-химического изнашивания	
БП	4,67
ТК12	18,79
АТ72	11,96
ТК13	14,46

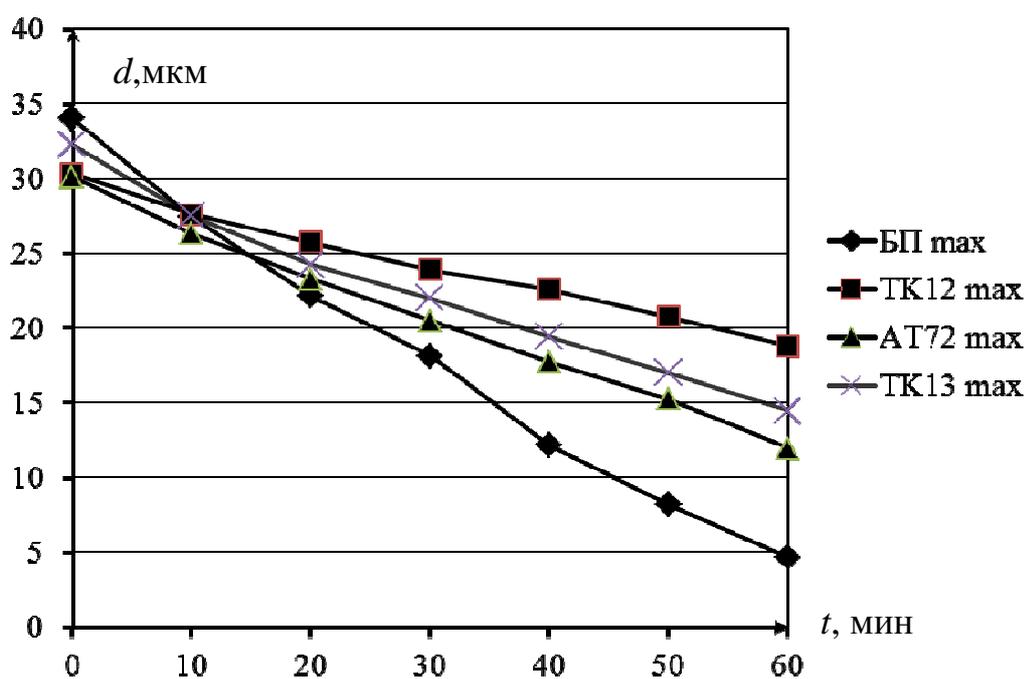


Рисунок – Графические зависимости величины диагоналей отпечатков на поверхности образцов при индентировании с нагрузкой 4,903 Н от времени механо-химического воздействия

На рисунке показаны графики по данным таблицы. Более глубокие отпечатки достигают материала основы образца.

УДК 681.86.001

Осоко С.А. ассист.; Дулевич А.Ф., доц., канд. техн. наук  
(БГТУ, г. Минск)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ КПД ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА

В деревообрабатывающей промышленности для транспортирования насыпных грузов (опилок, технологической щепы и т. д.) широко применяют ленточные конвейеры. Для изучения возможных путей снижения энергоемкости приводов конвейеров было проведено исследование влияния скорости перемещения груза  $V$ , ширина ленты  $B$ , профиля рабочей ветви конвейера на мощность привода  $P$ , при требуемой производительности  $\Pi$

$$P = f(F_0, V, B) \rightarrow 0,$$

где  $F_0$  – тяговая сила, зависящая от параметров конвейера.

В результате математического моделирования сделаны следующие выводы:

1. При заданной производительности  $\Pi$  и одинаковой ширине ленты  $B$  скорость перемещения ленты при плоской форме рабочей ветви должна быть в 1,692 раза больше, чем при желобчатой, при равной мощности.

2. С увеличением ширины ленты требуемая скорость ее перемещения при заданной производительности значительно снижается (примерно в 15 раз, независимо от формы рабочей ветви конвейера).

3. При ширине ленты до 800 мм мощность привода конвейера с желобчатой формой рабочей ветви меньше; чем у конвейера с плоской формой. При увеличении ширины ленты разница значительно уменьшается (с 13 кВт до 0 кВт). При дальнейшем увеличении ширины ленты плоская форма обеспечивает меньшую энергоемкость привода.

4. Увеличение ширины ленты при снижении скорости ее перемещения позволяет значительно снизить требуемую мощность привода конвейера.

Чтобы получить минимальную мощность привода ленточного конвейера, необходимо:

1) выполнять расчет, приняв в качестве постоянного параметра ширину ленты  $B$ , а в качестве переменного – скорость перемещения ленты с грузом  $V$ ;

2) расчет необходимо выполнять для нескольких стандартных размеров ленты по ширине;

3) применять плоскую форму рабочей ветви конвейера.

УДК674.023

С.В. Киселев, преп., канд. техн. наук;  
А.В. Блохин, доц., канд. техн. наук;  
А.Ф. Дулевич, доц., канд. техн. наук  
(БГТУ, г. Минск)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ПОЛОТНЕ УЗКОЙ ЛЕНТОЧНОЙ ПИЛЫ ДЛЯ РАСПИЛОВКИ БРЕВЕН**

При распиловке бревен ленточными пилами на сегодняшний день по-прежнему актуальным стоит вопрос их преждевременного разрушения по причине накопления усталостных повреждений. Это обусловлено их сложным напряженным состоянием. С целью определения напряжений, возникающих в полотне узкой ленточной пилы для распиловки бревен от ее неравномерного нагрева, проведены исследования по определению распределения температуры в полотне пилы.

Исследования по определению температуры поверхности пилы проводилось бесконтактным методом с помощью пирометра OptrisСТ. Диапазон измерения пирометра  $-40-900^{\circ}\text{C}$ . С учетом наличия фокусирующей линзы с оптическим разрешением 20:1 диаметр пятна, с которого снимаются показания, составляет 0,6 мм. Точность измерения составляет  $\pm 1\%$ , но не менее  $1^{\circ}\text{C}$ .

При измерении фиксировалось среднее показание температуры каждые 2 с. Измерения проводились в начале работы, через 1 ч работы и при критическом затуплении пилы. Температура пилы во время работы определялась в трех точках – непосредственно возле впадины зуба, посередине полотна пилы, и возле тыльной кромки. Исходя из большой скорости движения ленточной пилы (30 м/с) и малой ее толщины (0,9–1,1 мм) было принято предположение, что неравномерное распределение температуры происходит только по ширине полотна, а по длине и толщине пила нагревается равномерно. Исследования проводились для случая, когда на пилу не подавалась смазывающе-охлаждающая жидкость.

Результаты измерений показали, что температура не остается постоянной. Во время начала распиловки она практически не отличается от температуры окружающего воздуха. Максимальный перепад температур наблюдается после прохода 4,5–6 метров древесины, что по времени соответствует второму пропилу и составляет около  $16^{\circ}$ , далее идет выравнивание температуры по ширине полотна. Во время холостого хода полотно ленточной пилы остывает равномерно по всей ширине.

УДК 621.785.532

Ф.Ф. Царук, доц. канд. техн. наук;  
С.Е. Бельский, доц. канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск);  
А.Ч. Русецкий, асп.  
(ОАО «Нафтан» г. Новополоцк)

### УСТАЛОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕДНОГО СПЛАВА ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ

Исследование циклической прочности медного сплава М1 при знакопеременном симметричном циклическом изгибе проводилось в диапазоне температур 293°К – 673°К. Нагружение образцов осуществлялось с помощью магнитострикционного резонансного стенда ( $f_{рез} = 8,8$  кГц) и электродинамического вибростенда ( $f_{рез} = 0,22$  кГц).

Испытательный стенд работал в автоколебательном режиме с автоматическим поддержанием амплитуды колебаний образцов, которые представляли собой балочки прямоугольного сечения (1,8х6 мм), вырезанные вдоль направления проката, подвергнутые вакуумному отжигу, шлифовке и электрополировке. На низкой частоте нагружения образцы колебались по первой собственной форме колебаний, на высокой частоте – по второй [1].

Увеличение частоты нагружения (от 0,22 до 8,8 кГц) практически не сказывается на форме усталостных кривых. При этом сохраняется их эквидистантность и отмечается монотонный рост усталостной долговечности на всех базах испытаний.

Все вышеперечисленное позволило предположить отсутствие значимых различий в физике процесса усталостного повреждения на низких и высоких частотах нагружения, для подтверждения чего были проведены исследования кинетики физико-механических характеристик материалов в процессе нагружения на различных частотах. После вылеживания образцов в течение суток при комнатной температуре исследовались структурно-чувствительные характеристики: микротвердость  $H_{ц}$  и циклический предел текучести  $\sigma_{цт}$ .

Исследование микротвердости производилось с помощью прибора ПМТ–3 по стандартной методике. Отношение величины циклических напряжений к величине ограниченных пределов выносливости для всех частот и температур принято одинаковым [2].

Результаты экспериментов показывают, что рост числа циклов для всех частот нагружения характеризуется увеличением  $H_{ц}$  на начальной стадии до максимума с последующим ее уменьшением. Сохранение конфигурации кривых изменения микротвердости говорит

об отсутствии коренного отличия процесса усталостного нагружения на существенно различных скоростях приложения циклических напряжений.

Накопление повреждений в слабых и наиболее благоприятно ориентированных по отношению к приложенному напряжению микрообъемах материала приводило к возникновению на полированной поверхности образцов полос скольжения, являющихся результатом выхода на поверхность дислокационных скоплений в виде плотно расположенных экструзий и интрузий.

Кинетика величины напряжения, соответствующего моменту появления полос скольжения (циклическому пределу текучести  $\sigma_{цт}$ ) показывает монотонное снижение данной характеристики с ростом числа циклов разрушения для всех исследуемых частот колебаний аналогично кривым усталости.

Данные исследований показали, что основные закономерности накопления усталостных повреждений в условиях высоких температур те же, что и при комнатных температурах.

Таким образом, показан одинаковый характер изменения усталостных характеристик при различных частотах нагружения, что может служить основой для создания методики ускоренного прогнозирования высоко-температурной низкочастотной усталостной долговечности на базе использования высокой частоты нагружения и данных об изменении физико-механических свойств [2].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Estimation of influence of frequency of flexural vibrations of structural sensitive characteristics of 20x13 steel / I. Dovgyallo [et al.] // The 4Th. International Symposium on Creep and Coupled Processes. – Bialostok, 1992. – P. 57 – 63.

2. Tsaruck, F. Method of the accelerated prediction of fatigue properties of metals at normal and heightened temperatures by results of high-frequency tests, Proceedings of III international symposium on tribofatigue ISTF 2000 / F. Tsaruck, A. Novitskiy – China; 2000. Hunan University Press. – P. 193 – 195.

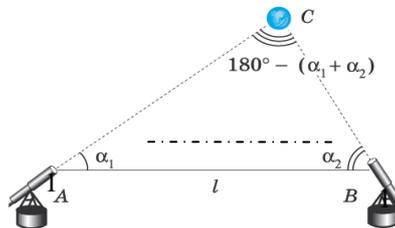
УДК 621.8

Дулевич А.Ф., доц., канд. техн. наук; Осоко С.А., ассист.  
(БГТУ, г. Минск)

## УВЕЛИЧЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ КОНТРОЛЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ МАССОВО-СЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

При организации массового и серийного производства контроль качества продукции осуществляется не сплошным, а выборочным методом. Достоверность полученного измерения в значительной мере зависит от частоты взятия выборок. Чем чаще производится выборка, тем меньше вероятность получения брака. Однако, это приводит к уменьшению производительности. Вот почему для сохранения ритма производства и обеспечения высокой производительности труда необходимо уменьшить время на проведения контроля измеряемых параметров.

Для автоматизации измерений размеров мы предлагаем использовать метод оптической триангуляции – метод определения положения геодезических пунктов построением на местности систем смежно расположенных треугольников, в которых измеряют длину одной стороны (по базису) и углы, а длины других сторон получают тригонометрически (рис. 1).



**Рисунок 1 - Расчетная схема определения расстояний  
с помощью метода триангуляции**

Установив по середине стороны  $AB$  фотоприемник, мы сможем узнать координаты точек  $A_1$  и  $B_1$ , что позволит найти длину отрезка  $A_1B_1$ . Далее воспользовавшись свойством подобия треугольников  $ABC$  и  $A_1B_1C$  можно определить длины отрезков  $AA_1$  и  $BB_1$ . В результате мы сможем определить расстояние от точки  $C$  до отрезка  $A_1B_1$ , которое необходимо для определения размеров измеряемой детали.

Данный метод особенно эффективен при нормировании плиточного материала, так как быстро устанавливается не только разнотолщинность, но и плоскостность.

УДК 621.125.532

Ф.Ф. Царук, доц., канд. техн. наук;  
С.Е. Бельский, доц., канд. техн. наук;  
А.В. Блохин, доц., канд. техн. наук;  
М.Н. Пищов, доц., канд. техн. наук  
(БГТУ, г. Минск)

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НИЗКОЧАСТОТНОЙ УСТАЛОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ИЗГИБНЫХ ИСПЫТАНИЙ**

Для разработки методики ускоренного прогнозирования низкочастотных характеристик циклической прочности конструкционных материалов проводились усталостные испытания различных материалов (стали 20Х13, меди М1, алюминиевых сплавов Д16 и АМг2Н) в широком частотном диапазоне (0.3 - 18 кГц) знакопеременного изгиба при регулярном нагружении с использованием электродинамического вибростенда (0.3 кГц) и специально созданных магнитострикционных испытательных установок (2.8, 8.8 и 18 кГц).

Статистическая обработка результатов усталостных испытаний, позволила установить, что частота нагружения практически не влияет на характеристики рассеяния усталостной долговечности исследованных материалов. Увеличение частоты нагружения практически не сказалось на форме усталостных кривых, при сохранении их эквидистантности и приводило к монотонному росту усталостной долговечности на всех базах испытаний. Все вышеперечисленное позволило предположить отсутствие значимых различий в физике процесса усталостного повреждения на низких и высоких частотах нагружения, для подтверждения чего были проведены исследования кинетики физико-механических характеристик (ФМХ) материалов в процессе нагружения на различных частотах.

Установлено, что ФМХ являются частотнозависимыми, причем с ростом частоты колебаний характерные точки кривых изменения монотонно сдвигаются в сторону увеличения числа циклов при одинаковой форме этих кривых и отражает факт некоторого запаздывания процесса усталостного повреждения с ростом частоты из-за меньшего времени действия максимальных напряжений [1].

Данные обстоятельства позволяют предложить физически обоснованную методику ускоренного прогнозирования низкочастотных характеристик циклической прочности конструкционных материалов. Для этого было введено понятие пороговых напряжений, т.е. величины циклических напряжений  $\sigma_n$ , ниже которых не происходит каких либо необратимых изменений ФМХ на данной базе испытаний. Ре-

зультаты исследований данной характеристики показали монотонный ее рост с увеличением частоты, а также, что весьма ценно, существование постоянной разности между ней и величиной ограниченных пределов выносливости во всем исследованном диапазоне частот для каждого материала.

Методика прогнозирования предполагает определение усталостных характеристик материала на возможно более высокой частоте с соблюдением ограничений по температуре саморазогрева и одновременным определением величины высокочастотного порогового напряжения  $\sigma_{пв}$  (например, по результатам исследования микротвердости). Одновременно испытаниям подвергаются образцы на низкой частоте с целью определения низкочастотного порогового напряжения  $\sigma_{пн}$ . По завершению высокочастотных испытаний определяется величина  $\Delta\sigma$  – разность между ограниченным пределом выносливости на высокой частоте  $\sigma_{-1в}$  и величиной порогового циклического напряжения  $\sigma_{пв}$ . Затем с помощью величины  $\Delta\sigma$  и находится искомый предел низкочастотной выносливости как  $\sigma_{-1н} = \sigma_{пн} + \Delta\sigma$ .

Экспериментальная проверка данной методики прогнозирования показала ее достаточную точность при значительном сокращении длительности и трудоемкости определения усталостных характеристик [2]. Данное обстоятельство позволяет проводить ускоренные исследования по увеличению циклической прочности материалов с использованием высокой частоты нагружения и выдержки при повышенных температурах циклически деформированных деталей для отжига поврежденных, полученных при знакопеременном нагружении.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Судзуки Т., Ёсинага Х., Такеути С. Динамика дислокаций и пластичность: Пер. с япон.-М.: Мир, 1989.-296 с.
2. Довгялло И. Г., Царук Ф. Ф., Юргилевич А. Н. Методика прогнозирования низкочастотной усталости конструкционных материалов по результатам высокочастотных изгибных испытаний. Современные проблемы машиноведения.: Матер. Междунар. научно-техн. конфер. (научн. чтен. посв. П. О. Сухому). (1-3 июля 1998 г., г. Гомель) / Под ред. А. С. Шагиняна. – Гомель: ГПИ, 1998.-Т. I.-С. 164-166.

УДК 621.86

Лось А.М., ассист.; Сурус А.И., доц., канд. техн. наук  
(БГТУ, г. Минск)

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ МНОГОБЛОЧНЫХ КРЮКОВЫХ ПОДВЕСОК ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МАШИН

В грузоподъемных машинах для подвешивания грузов и получения подвижного соединения между грузозахватным крюком и гибким грузонесущим органом при использовании полиспастной системы применяется крюковая подвеска.

Диаметр блока и его профиль определяется в зависимости от типа машины, привода механизма, режима работы механизма и диаметр каната, используемого в механизме подъема крана.

Кованый крюк, применяемый в подвеске, выбирается по номинальной грузоподъемности и заданному режиму работы согласно ГОСТ 6627.

Основной особенностью проектирования многоблочных нормальных подвесок является сложность в определении длины оси блоков и его диаметра.

Ориентировочно, длину оси блоков можно определить по формуле

$$L = Z_{\text{бл}} L_{\text{ст}} + \delta + 2\delta_1 + (Z_{\text{бл}} - 1)c + 2c_1 \text{ мм}, \quad (1)$$

где  $Z_{\text{бл}}$  – количество блоков в крюковой подвеске;  $L_{\text{ст}}$  – длина ступицы блока;  $\delta$ ,  $\delta_1$  – соответственно толщина серьги и защитного листа, мм.  $\delta_1 \geq 3$  мм;  $c$  – зазор между установленными блоками; принимается  $c = 5-10$  мм;  $c_1$  – зазор между торцевой поверхностью ступицы блока и защитным листом, принимается  $c_1 = 5-10$  мм.

Длина ступицы блока определяется размерами радиального подшипника и определяется по формуле

$$L_{\text{ст}} = 2B + \Delta_1 + 2\Delta_2, \quad (2)$$

где  $B$  – ширина подшипника;  $\Delta_1$  – зазор между подшипниками, принимаемый  $\Delta_1 = 5-10$  мм;  $\Delta_2$  – расстояние между подшипником и наружной торцевой поверхностью ступицы блока. Значение принимается  $\Delta_2 = 2-5$  мм.

Подшипники необходимо подбирать согласно ГОСТ 8338 по динамической грузоподъемности, Диаметр оси блоков, принимается равным внутреннему диаметру  $d$  подшипника, выбранного по динамической грузоподъемности.

Диаметр оси блока проверяется на изгиб. При невыполнении условия прочности необходимо увеличить предварительно выбранное значение диаметра  $d$  и для него подобрать по динамической грузо-

подъемности другой, подходящий подшипник.

Расчетная длина траверсы принимается равной длине оси блоков. Траверса рассчитывается на изгибную прочность по среднему сечению, ослабленному отверстием для хвостовика крюка.

Наружный диаметр упорного подшипника под гайкой крюка, который подбирается согласно ГОСТ 7872 по диаметру ненарезной части хвостовика крюка  $d_1$  и статической грузоподъемности.

Ширина траверсы  $b$  определяется по значению наружного диаметра выбранного упорного подшипника по соотношению

$$b = D + (10...15)$$

Расчетная высота сечения траверсы находится из условия прочности на изгиб по формуле

$$h = \sqrt{\frac{3FL}{2(b - d_0)[\sigma_{ит}]}} \quad (3)$$

где  $d_0$  – диаметр отверстия в траверсе для прохождения крюка, который принимается на 2...5 мм больше диаметра ненарезной части хвостовика крюка  $d_0$ ;  $[\sigma_{ит}]$  – допускаемое напряжение траверсы на изгиб, Н/мм<sup>2</sup>, определяемое по формуле

$$[\sigma_{ит}] = \frac{1,4\sigma_{-1}}{nk_{\sigma}} \quad (4)$$

где  $\sigma_{-1}$  – предел текучести материала траверсы, МПа;  $n$  – коэффициент безопасности;  $k_{\sigma}$  – коэффициент концентрации напряжений.

Полная высота траверсы принимается  $h_0 = h + 5...10$  мм.

Диаметр цапфы траверсы определяется по допускаемому удельному давлению.

При получении размера  $d_{ц}$  больше, чем высота траверсы  $h_0$ , высоту траверсы следует конструктивно увеличить, так чтобы она была на 5–10 мм больше, чем диаметр цапфы.

Серьга подвески работает на растяжение. Во избежание сильной концентрации напряжений ширина серьги принимается равной величине  $B_c \approx 1,8d_{\max}$ , где  $d_{\max}$  – наибольший диаметр отверстия в серьге.

Проверочный расчет серьги выполняется на растяжение по условию прочности

$$\sigma_p = \frac{F}{2(B_c - d_{\max})\delta} \leq [\sigma_p] \quad (5)$$

где  $[\sigma_p]$  – допускаемое напряжение растяжения материала изготовления серьги, Н/мм<sup>2</sup>.

УДК 621.785.532

С.Е. Бельский, доц., канд. техн. наук;  
Э.П. Андрейковец, инж. (БГТУ, г. Минск);  
В.Б. Левитан, инж. (ОАО «Сталекс»)

## **ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ 5Х3В3МФС**

Анализ процесса сферодвижной штамповки конических зубчатых колес показал, что основной причиной разрушения штампов, изготавливаемых из стали Р6М5, является их поломка. Для повышения прочности данного инструмента предложена замена стали Р6М5 на сталь 5Х3В3МФС.

Для обеспечения необходимой твердости, а также износостойкости поверхностного слоя штампов проводилась газовая цементация стали 5Х3В3МФС в среде природного газа при температуре 950 °С и выдержке 20 часов.

Металлографический анализ показал, что цементованный слой стали 5Х3В3МФС состоит из трех зон. Первая зона представляет собой темнотравящуюся трооститную основу с включениями карбидов. Глубже расположена светлотравящаяся аустенитно-мартенситная зона с меньшим по сравнению с поверхностным слоем количеством карбидной фазы. Третий слой – переходной к структуре сердцевины стали – сорбито-мартенситный.

Для интенсификации процесса насыщения, а также повышения микротвердости поверхностного слоя перед цементацией проводилось азотирование при 560 °С и времени выдержки 8 часов в среде аммиака. Анализ толщины упрочненных слоев показал, что предварительное азотирование, несколько интенсифицирует процесс цементации. Анализ распределения микротвердости по глубине поверхностного слоя на образцах из сталей 5Х3В3МФС и 25ХГТ показал, что предварительное азотирование способствует повышению микротвердости слоя на стали 5Х3В3МФС. В связи с тем, что основной причиной поломки штампов изготовленных из стали Р6М5 являлись трещины у основания зубьев возникающие уже после 500 штамповок проведены усталостные испытания образцов из стали 5Х3В3МФС, прошедших цементацию. Испытания проводились в условиях знакопеременного изгиба при частоте нагружения 18 кГц. Результаты испытаний показывают достаточно высокие характеристики усталости как при комнатных, так и при повышенных температурах, что создает предпосылки использования такой стали для изготовления штампов.

УДК 621.785.532

С.Е. Бельский, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск);

В.Б. Левитан, инж. (ОАО «Сталекс»)

## **ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ СТАЛЕЙ Р6М5 И 40Х**

Различные исследования по разному трактуют особенность термической обработки сварного шва. Вопрос о том, как следует термообрабатывать сварной шов инструмента остается открытым.

В данной работе приводятся результаты определения предела прочности при изгибе на сварных образцах из быстрорежущей и конструкционной стали прошедших различную термическую обработку. В некоторых экспериментах вместо стали 40Х применялась сталь 45, которая также широко используется для изготовления инструмента. Образцы сваривали двумя видами сварки – трением и оплавлением.

После сварки образцы подвергали изотермическому отжигу по двум вариантам: 1 вариант – нагрев до 860 °С, выдержка 4 часа, затем охлаждение с печью до 750 °С, выдержка 4 часа, а затем охлаждение в течение 16 часов до 500 °С и далее на воздухе; 2 вариант – нагрев образцов до 860 °С, выдержка 2 часа, затем охлаждали с печью до 720 °С, выдержка 4 часа, охлаждение с печью в течение 4 часов и далее на воздухе.

После этого производили термическую обработку. Вначале закаливали в масле быстрорежущую часть сварного образца по режиму: подогрев 850 °С, окончательный нагрев 1220 °С. После закалки быстрорежущей части производили трехкратный отпуск при температуре 560 °С по 1 часу. Затем выполняли закалку конструкционной части сваренных образцов. Сталь 40Х закаливали в масле с температурой 860 °С, а сталь 45 после нагрева ТВЧ с температуры 830-850 °С на воду. Сталь 40Х отпускали в электропечи при температуре 250 °С в течение 2 часов, сталь 45 в электропечи при температуре 150 °С в течение 2 часов.

Испытания механических свойств образцов проводили на десятитонной машине Амслера. Сварной образец устанавливали таким образом, чтобы плоскость сварного шва совпадала с осью приложения нагрузки. Разрушение всех сварных образцов происходило в зоне сварного шва быстрорежущей стали. Показано, что при использовании отжига по 2 варианту прочность сварных соединений на 10-15 % выше, чем при отжиге по 1 варианту.

УДК 621.785.532

С.Е. Бельский, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск);

А.Ч. Русецкий, асп. (ОАО «Нафтан» г. Новополоцк)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН РАЗРУШЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ**

В процессе эксплуатации насосных агрегатов на предприятиях нефтепереработки колебание режима работы неизбежно, что влечет за собой изменение гидродинамики потока жидкости, оказывающее интенсивное динамическое воздействие на детали его проточной части, главным образом, на рабочий орган. Поэтому в связи с тем, что внезапное разрушение рабочего колеса может привести к аварийной остановке насосного агрегата и вызвать дополнительные повреждения связанного с ним технологического оборудования, определение времени наработки на отказ рабочих колес представляет несомненную актуальность.

Одной из важнейших деталей проточной части насосных агрегатов является рабочий орган, предназначенный для передачи энергии от вращающегося вала насоса к жидкости, выход из строя которого может привести к аварийной ситуации.

В качестве объекта исследования были выбраны насосные агрегаты марки БЭН-516, БЭН-488, насос «PMH-FinderPOMPES» тип NJ116 и центробежные насосы серии ЦГ предназначенные для откачки раствора МЭА, кислой воды с растворенными в них сероводородом и аммиаком. Выбор данного оборудования обусловлен тем, что в процессе каждого текущего ремонта требуется замена его рабочих органов из-за повреждений в виде трещин и сколов на периферии дисков. Анализ статистики отказов рабочих колес показал, что их повреждения в основном выглядят как трещины и сколы на периферии дисков в области примыкания лопаток, поэтому был сделан вывод о возможном усталостном характере разрушений. Анализ излома диска рабочего колеса по вскрытой трещине, позволил выявить характерную шероховатость и волнистость рельефа излома, указывающую на усталостный характер разрушения. Учитывая, что количество циклов до разрушения рабочих колес исследуемого насосного агрегата, определенное на основе статистических данных, составляет от  $3,7 \cdot 10^8$  до  $1,04 \cdot 10^9$  циклов, то усталостное разрушение происходит в многоцикловой области.

Таким образом, для совершенствования материалов, используемых для деталей, а также технологии их производства необходимо очень большой объем усталостных испытаний.

УДК 621.785.532

А.И. Сурус, доц., канд. техн. наук;  
М.Н. Пищов, доц., канд. техн. наук;  
А.М. Лось, ассист.; М.В. Говен, студ.  
(БГТУ, г. Минск)

## **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ**

Для повышения надежности и долговечности машин широкое применение получили различные методы поверхностного упрочнения: механические; термические; химико-термические.

Основными преимуществами химико-термической обработки являются доступность и малая стоимость, возможность управлять составом и строением поверхностного слоя деталей,

Оценить эффективность упрочнения деталей различными методами по одному и тому же качественному показателю достаточно проблематично, т.к. количественная оценка этих показателей определяется прежде всего составом материала, условиями работы деталей и т.д.

В связи с этим в данной работе рассматривается качественный анализ эффективности различных методов упрочнения.

Для тяжело нагруженных деталей применяют легированные стали. При этом используются комбинированные методы упрочнения, наиболее важным из которых является нитроцементация [1]. Высокая прочность и износостойкость цементированных, нитроцементированных, а также стабильность данных технологических процессов делают их весьма эффективными. Однако эти процессы происходят при температурах выше температур структурных превращений, что сопровождается повышенной деформацией деталей и необходимостью выполнения трудоемких операций восстановления их геометрии [2].

В тех случаях, когда процесс упрочнения является финишным и необходима минимальная деформация при высоких показателях поверхностной твердости, износостойкости, усталостной прочности и сопротивления заеданию, целесообразно применять упрочнение деталей азотированием [3]. При определенных условиях азотирование позволяет существенно повысить твердость и износостойкость деталей [2]. Возможность применения этого процесса в качестве финишной операции позволяет повысить стойкость против адгезионного и абразивного износа.

Способ газового азотирования в аммиаке не дает хороших результатов при обработке обычной углеродистой стали, а при изготовлении деталей из специальных сплавов ухудшается их обрабатываемость и увеличивается стоимость. Большая длительность обработки (до 60 часов) и большой расход аммиака делает этот процесс мало производительным. Азотирование в жидких средах имеет ряд преимуществ: возможность получения высокой скорости нагрева; отсутствие насыщения поверхностного слоя металла водородом, вызывающего хрупкость; незначительные термические напряжения и деформации, уменьшение температуры и продолжительности процесса. Это позволяет применять данный процесс для высокоточных и ответственных деталей, инструмента после их финишной механической обработки.

В отечественной практике получил распространение процесс жидкостной низкотемпературной карбонитрации.

Однако применению данного способа в ряде случаев препятствуют малая толщина упрочненного слоя и поверхностная твердость. Проведенные нами исследования показали, что использование дополнительной энергии знакопеременных колебаний обеспечивало повышение твердости и толщины упрочненного слоя для всех исследованных материалов. Повышение толщины слоя наиболее характерно для легированных сталей при значительном времени обработки (4,0 - 5,0 ч). Применение упрочнения указанным методом существенно повышает усталостную долговечность по числу циклов до полного разрушения образца. Усталостные характеристики улучшаются даже при непродолжительном времени обработки (0,5 ч). Число циклов до разрушения образца повышается на 20-25 % (при оптимальном времени обработки 2-3 ч). При этом существенно повышается износостойкость. Результаты испытаний образцов, упрочненных боросилицированием позволили установить повышение предела выносливости  $\sigma_{-1}$  образцов по сравнению с улучшенными и закаленными ТВЧ в 1,4–1,9 раза, по сравнению с цементированными в 1,6–1,7 раза и по сравнению с борированными в 1,4–1,6 раза.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Состояние химико-термической обработки на ВАЗе. А.К.Тихонов, Н.В.Шкурка. // МТОМ. – №8. – 1978. – С.74 – 77.
2. Геллер Ю.А., Павлова А.П. Повышение стойкости режущих инструментов путем азотирования // Станки и инструмент . – 1967. – № 8. – С. 28-29.
3. Лахтин И.М., Коган Л.Д. Азотирование стали // М. Машиностроение, 1976. – 256 с.

УДК 624.041

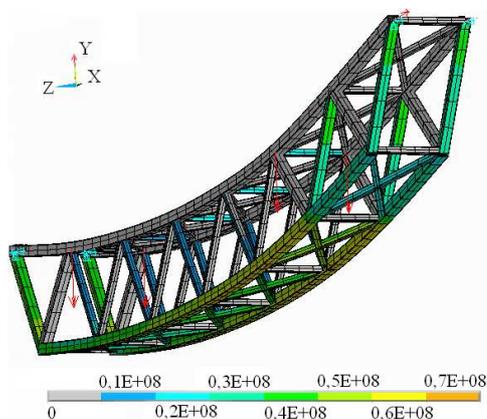
Лось А.М., ассист.; Блохин А.В., доц., канд. техн. наук;  
Ярмолик С.В., ассист.  
(БГТУ, г. Минск)

## ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО-НАПРЯЖЕННЫХ ТРОСОВ ДЛЯ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В ЭЛЕМЕНТАХ НЕСУЩИХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

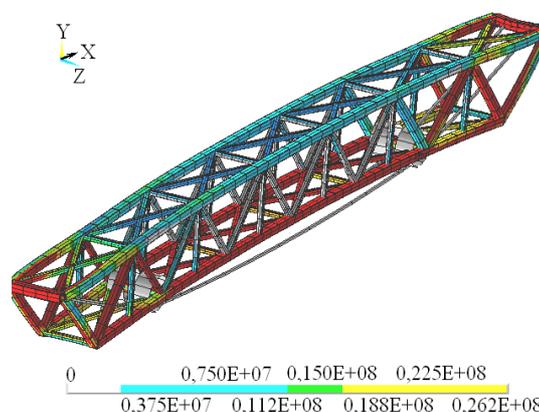
Использование предварительно-напряженных тросов позволяет более полно использовать физико-механические свойства несущих металлоконструкций.

Конечно-элементная модель исследуемой конструкции, в которой тросы отсутствуют, представлена на рис. 1. Здесь различными оттенками показаны напряжения, возникающие в узлах и стержнях рамы под воздействием вертикальных и продольных растягивающих нагрузок. Максимальные растягивающие напряжения в стержнях составляют  $70,3 \text{ Н/мм}^2$ .

Для исследования напряжений в элементах рамы, в нижнем поясе которой монтируются тросы, с помощью команд препроцессора системы конечно-элементного анализа были заданы начальные напряжения, соответствующие силе натяжения  $10\,000 \text{ Н}$ . Модель такой рамы приведена на рис. 2



**Рисунок 1 – Напряжения, возникающие в элементах рамы**

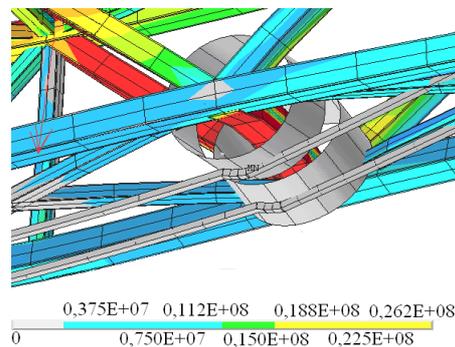


**Рисунок 2 – Конечно-элементная модель рамы с предварительно напряженными тросами**

Перераспределение напряжений в элементах рамы при использовании в нижнем поясе предварительно напряженных тросов и действующих внешних нагрузках приведено на рис. 2. Максимальные эквивалентные напряжения составляют  $235 \text{ Н/мм}^2$ . Наибольший прогиб конструкции в таком случае составляет  $25,7 \text{ мм}$ . Верхние пояса в та-

ком случае находятся преобладающей своей частью в зоне сжатия, в то время как нижний пояс оказывается растянутым, а на рис. 1 видна обратная картина. Максимальные напряжения в элементах рамы достигают здесь значения  $36,5 \text{ Н/мм}^2$  (за исключением поперечин, на которых устанавливаются обводные блоки), что почти в два раза ниже, чем в стержнях рамы без использования тросов.

На рисунке 3 показано распределение эквивалентных напряжений в поперечине крепления обводных блоков, огибаемых тросами. Прогиб в данном случае достигает довольно большого значения, что требует увеличения площади сечения поперечины.



**Рисунок 3 – Эквивалентные напряжения в поперечине крепления обводных блоков**

Проведенные исследования показывают, что использование в нижнем поясе рамы напряженных тросов приводит к изменению характера распределения напряжений в узлах и стержнях, а именно, элементы нижнего пояса сжимаются, а верхнего – растягиваются. Максимальные значения напряжений при этом снижаются с  $72,7 \text{ Н/мм}^2$  до  $36,5 \text{ Н/мм}^2$ , что дает возможность уменьшить размеры сечений стержней рамы, а вместе с этим и ее вес до 25%. Значительных напряжений в поперечине крепления обводных блоков можно избежать при использовании элемента с большим моментом сопротивления изгибу.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Беленя, Е. И. Предварительно напряженные металлические несущие конструкции / Е. И. Беленя. – М.: Наука. Главная редакция физ.-мат. литературы, 1963.
2. Мяченков, В. И. Расчеты машиностроительных конструкций методом конечных элементов: справочник / В. И. Мяченков [и др.]; под общ.ред. В. И. Мяченкова. – М.: Машиностроение, 1989.

УДК [574+504](576)

Г.И. Касперов, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск);

В.Е. Левкевич, доц., канд. техн. наук (БНТУ, г. Минск);

В.А. Мильман, канд. физ.-мат. наук (ОИПИ НАН Беларуси, г. Минск)

## **ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ ГРУНТОВЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ СООРУЖЕНИЙ ВОДОЕМОВ ТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Создание водных объектов – прудов различного типа, требует на отдельных участках побережья проведения берегоукрепительных работ, а также ряда защитных мероприятий. На водохранилищах (прудах) наливного типа осуществляется строительство подпорных дамб по периметру водоема. В Беларуси для защиты верховых откосов дамб и плотин, а также размываемых берегов водоемов применяются различные типы берегозащитных мероприятий. На ряде объектов республики осуществлено строительство сооружений в виде дамб обвалования с уположенными откосами, которые достаточно хорошо зарекомендовали себя в эксплуатации. Так земляные сооружения с уположенными верховыми откосами применены при строительстве водохранилищ «Селец» на р. Ясельда, «Рудня», «Зельва», «Левки», «Горочичи», «Загатье», «Муровно» и ряде других. При всех своих несомненных достоинствах сооружения распластанного профиля в ряде случаев имеют местные размывы верховых откосов, появление которых обусловлено различными причинами: ошибками при проектировании и изысканиях, технологическими нарушениями при строительстве, недостаточное обслуживание при эксплуатации. Простейшим и наиболее распространенным способом оценки экономической эффективности того или иного типа крепления является сравнение объема капитальных затрат на строительство берегозащиты по вариантам. Если возможно выделить величину годовых расходов на эксплуатацию плотины или дамбы (а не всего гидроузла), сравнение экономической эффективности рассматриваемых вариантов сооружения следует выполнять путем сопоставления суммы капитальных вложений и эксплуатационных расходов по выражению вида:

$$\Pi_i = M_i + K_i E_n,$$

где  $\Pi_i$  - приведенные затраты по каждому варианту, руб./год;  $M_i$  - годовые эксплуатационные расходы (по вариантам), руб./год;  $E_n$  - нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений (0,1...0,18);  $K_i$  - капитальные вложения по вариантам

Наилучший вариант крепления определяется с учетом критерия эффективности, рассчитанного выше, по которому и принимается окончательный вариант берегозащиты и конструкции ограждающих сооружений.

УДК (628.393.614.8)

Г.И. Касперов, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск);

В.Е. Левкевич, доц., канд. техн. наук (БНТУ, г. Минск);

Д.С. Миканович., магистр техн. наук (УГЗ МЧС Беларуси, г. Минск)

## **ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДОЕМОВ ТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ ОСНОВА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Вопросам охраны окружающей среды и решению экологической проблемы природопользования в Республике Беларусь уделяется огромное значение. Анализ литературных, научных и других источников показал, что на территории Беларуси ежегодно регистрируются аварийные ситуации сопровождающиеся загрязнением территорий. При этом установлено, что масштабы, в особенности при авариях вблизи водных объектов, имеют большие площади распространения. Поэтому локализация и последующая ликвидация таких аварий требует принятия превентивных решений для ограничения их распространения. Решение этой задачи невозможно без комплексных, всесторонних исследований процесса переноса загрязнений в водных объектах.

При проведении лабораторных опытов по моделированию процесса безнапорной фильтрации в теле земляных плотин гидротехнических сооружений водоемов технического назначения было определено положение кривой депрессии в моделях земляных плотин в зависимости от их конструктивного исполнения и химического состава жидкости. Далее определялись следующие параметры фильтрационного потока: потери напора на каждом участке фильтрации; гидравлический уклон; скорость фильтрации; коэффициент фильтрации по методике Дюпюи, согласно которой имеется связь фильтрационного потока между двумя произвольными сечениями. В результате было установлено, что скорость фильтрации шлама на 25-35% больше скорость фильтрации воды. По результатам обработки полученных экспериментальных данных были получены логарифмические зависимости скорости и коэффициента фильтрации от химического состава жидкости и устройства нижнего бьефа. На основании выполненных работ можно сделать вывод, что скорость фильтрации шлама на 25-35% больше скорость фильтрации воды. При проведении обработки экспериментальных данных получены коэффициенты пропорциональности  $k_{гр}$  позволяющие при проведении фильтрационных расчетов учитывать состав жидкости. Проведенные исследования и полученные результаты будут способствовать повышению устойчивости гидротехнических сооружений водоемов технического назначения и предотвращению возникновения аварий на данном типе сооружений.

УДК 62-408.2

С.И. Карпович, доц., канд. техн. наук;  
 П.В. Рудак, доц., канд. техн. наук; О.Ю. Пискунова, инж.  
 (БГТУ, г. Минск)

### ВЛИЯНИЕ ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ НА МИКРОТВЕРДОСТЬ И ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ

Одним из путей улучшения эксплуатационных показателей лезвийного инструмента является технология формирования на рабочих поверхностях изделий упрочняющих покрытий. Одной из таких технологий является азотирование. Азотирование помимо увеличения твердости и износостойкости существенно повышает коррозионную стойкость обработанных изделий. Технология азотирования имеет еще одно преимущество – позволяет осуществлять замену высоколегированных сталей на более дешевые, средне и низколегированные, с сохранением высоких эксплуатационных показателей деталей, инструмента.

Для определения эффективности азотирования на дереворезущем инструменте были изготовлены 5 комплектов ножей из стали 9ХС для оцилиндровки бревен. Из этих сталей были изготовлены образцы, проведена их термическая обработка включая низкий отпуск. Твердость образцов составила HRC $\approx$ 58. Измерение твердости проводили на твердомере DuraJet 10 (Австрия) и микротвердомере Duramin (фирма Struers, Дания). Шероховатость поверхности измерялась на профилографе-профилометре SurfTestSJ-210 (фирма Mitutoyo, Япония). Аналогичные измерения на тех же образцах были проведены после ионно-плазменного азотирования на режимах: T=385 $^{\circ}$ C, P=260 Па, подача азота – 33 л/ч, водорода – 5 л/ч, время азотирования – 12 ч.

Результаты измерений приведены в таблице 1.

**Таблица 1 – Твердость и шероховатость образцов из стали 9ХС  
 до и после ионно-плазменного азотирования**

№ партии	До азотирования				После азотирования						
	HRC	HV <sub>25</sub>	Ra <sub>вдоль</sub>	Ra <sub>поперек</sub>	HRC	HV <sub>25</sub>	изменение, %	Ra <sub>вдоль</sub>	изменение, %	Ra <sub>поперек</sub>	изменение, %
1	58,5	782	0,22	0,42	57	1036	32	0,19	13	0,31	26
2	58,2	818	0,31	0,39	57,3	1048	28	0,21	32	0,33	15
3	58,4	837	0,3	0,44	57	1100	31	0,21	30	0,33	25

Анализ таблицы позволяет сделать следующие выводы.

Твердость образцов после азотирования по Роквеллу уменьшилась в среднем на  $HRC \approx 1$ , что составляет 1,7%.

Поверхностная твердость по Виккерсу возросла на  $HV_{25} \approx 230$ , что составляет увеличение на  $\approx 30\%$ .

Шероховатость поверхности образцов вдоль следов шлифования меньше в сравнении с поперечным направлением, как до так и после азотирования, в среднем на  $Ra \approx 0,1$ .

Азотирование снижает шероховатость в продольном направлении на  $Ra \approx 0,11$ , в поперечном на  $Ra \approx 0,13$ , что в процентном отношении составляет уменьшение шероховатости в среднем на 23%.

Аналогичные измерения проведены на рубильных ножах производства Германии из стали химсостава  $C=0,9\%$ ,  $Cr=7,8\%$ ,  $Si=0,76\%$  после ионно-плазменного азотирования на тех же режимах, данные приведены в таблице 2.

**Таблица 2 – Результаты замеров параметров на рубильных ножах производства Германии**

№ образца	До азотирования				После азотирования						
	HRC	HV <sub>25</sub>	R <sub>a</sub> вдоль	R <sub>a</sub> поперек	HRC	HV <sub>25</sub>	изменение, %	R <sub>a</sub> вдоль	изменение, %	R <sub>a</sub> поперек	изменение, %
1	57	819	0,28	0,38	58	965	18	0,44	60	0,40	5
2	55	690	0,32	0,37	55	846	23	0,48	50	0,47	30
3	56	793	0,34	0,34	57	1025	29	0,49	44	0,45	32

Выводы: после ионно-плазменного азотирования твердость металла основы сохранилась на том же уровне. Микротвердость поверхности  $HV_{25}$  возросла в среднем на 23%. Шероховатость поверхности образцов увеличилась в двух взаимно перпендикулярных направлениях в пределах 22-51%.

Существенным отличием при ионно-плазменном азотировании второй партии образцов было увеличение их шероховатости, а тенденция увеличения поверхностной микротвердости сохраняется. При тех же режимах азотирования единственным отличием было применение образцов из другой марки стали с увеличением содержания хрома до 8%, такие стали относят к классу полутеплостойких. Возможно, это является причиной увеличения шероховатости поверхности образцов. Вопрос влияния теплостойкости сталей при азотировании на изменение шероховатости требует дальнейшего изучения.

624.13

С.И. Карпович, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск);

С.С. Карпович, доц., канд. техн. наук (БНТУ, г. Минск);

П.В. Рудак, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

## ОПТИМИЗАЦИЯ УГЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ РУЧНЫХ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Разработанная и оптимизированная по угловым параметрам конструкция мотыги относится к ручным почвообрабатывающим приспособлениям для подготовки почвы к посадочному сезону и в период ухода за растениями на приусадебных участках, теплицах, парниках.

Основным назначением разработанной конструкции является осуществление одним ручным приспособлением нескольких видов работ и возможность регулирования глубины рыхления почвы в зависимости от проводимой операции, типа почвы и физических возможностей работника.

Предложенная конструкция мотыги многофункциональной состоит из рабочего полотна с кронштейном, фиксирующим черенок, а полотно по контуру имеет три или более функциональных лезвий, причем в полотне выполнены несколько отверстий для механического крепления кронштейна в разных положениях относительно лезвий.

Конструкция поясняется чертежами (рисунки 1).

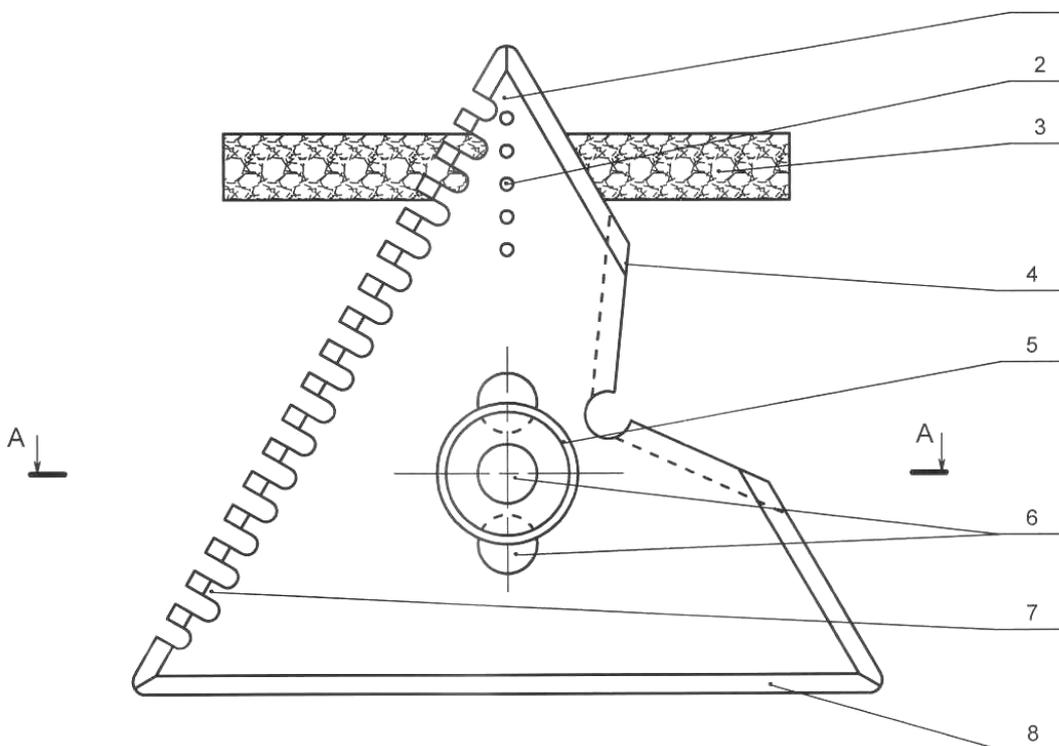


Рисунок 1 – Мотыга многофункциональная

Мотыга многофункциональная состоит из полотна 1 с отверстиями 2 для крепления ограничительной рейки 3, лезвия с выемкой 4, кронштейна 5, отверстий 6 для крепления кронштейна к полотну, зубчатого лезвия 7, прямолинейного лезвия 8.

После закрепления на черенке мотыга готова к работе.

Прямолинейным лезвием осуществляют основное рыхление почвы. При необходимости более глубокого рыхления отворачивают крепежный болт и кронштейн закрепляют в другом отверстии, более удаленном от лезвия. Более глубокое рыхление можно осуществлять и вершиной, образованной пересечением двух лезвий. При рыхлении сухой и твердой почвы рекомендуется пользоваться зубчатым лезвием, повернув черенок на соответствующий угол. Это уменьшит усилие, необходимое для рыхления почвы, и увеличит глубину обработки. Планирование поверхности грядки производят зубчатым лезвием, им удаляют и сорняки. При оформлении лунок под высев семян на вершине пересечения двух лезвий в отверстиях 2 при вершине закрепляют ограничительную рейку 3 с помощью шурупов. Глубина внедрения, а следовательно, и глубина лунки регулируются за счет наличия ряда отверстий 2, что обеспечивает установку рейки на разном расстоянии от вершины. На подготовленной грядке нарезают лунки, вносят семена, поворачивают мотыгу лезвием с выемкой 4 в горизонтальное положение и, прижимая его к почве, продольным движением перемещают вдоль лунки. Выемка на лезвии, установленная над лункой, при продольном перемещении мотыги работает как плужок, образуя над лункой земляной буртик, что устраняет операцию засыпки лунки с семенами непосредственно руками.

Таким образом, мотыга многофункциональная обеспечивает выполнение нескольких операций - рыхление почвы, удаление с поверхности грядки сорняков, нарезание лунок под высев семян и их засыпку землей одним приспособлением. Параметры проводимых операций можно изменять за счет регулирования положения кронштейна относительно рабочих лезвий.

Предложенная конструкция мотыги характеризуется высокой технологичностью изготовления, возможностью регулирования глубины рыхления, многофункциональностью выполняемых операций, снижает физические нагрузки при выполнении садово-огородных работ. Периодически по мере затупления рабочих лезвий производят их заточку абразивным инструментом.

УДК 620.178.3

Д.В. Куис, доц., канд. техн. наук;  
Н.А. Свидуневич, проф., д-р техн. наук;  
О.Ю. Пискунова, инж.;  
А.С. Раковец, асп. (БГТУ, г. Минск)

### **ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРНОЕ СОСТОЯНИЕ СТАЛЕЙ ЛЕДЕБУРИТНОГО КЛАССА ДЛЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ**

Современное машиностроение характеризуется сложными условиями эксплуатации машин, связанными с высоким уровнем действующих напряжений, вибрациями, широким температурным интервалом, агрессивными средами и т. п. Поэтому необходимо соблюдение особых требований к материалам трущихся деталей по обеспечению надежности и ресурса работы, что во многом зависит от износостойкости материалов.

Методами рентгеноструктурного анализа, световой и сканирующей электронной микроскопии с микрорентгеноспектральным анализом было исследовано влияние режимов термической обработки на фазовый состав, микрохимический состав и структурное состояние полутеплостойких хромистых сталей класса X12M для инструментальной и технологической оснастки. Всего было исследовано 35 образцов, подвергнутых термической обработке на различных режимах. Исследованиями определено как изменяется соотношение фаз (фазы на основе  $\alpha\text{Fe}$ ,  $\gamma\text{Fe}$ , карбиды) и структура образцов в зависимости от режимов термической обработки, что в свою очередь будет определять уровень показателей свойств. Работы в этом направлении в рамках настоящего проекта будут выполнены в 2017 году.

Полученные результаты являются составной частью комплексных работ по исследованию процессов структурообразования и контактного изнашивания сталей ледебуритного класса, что послужит ориентиром для формирования служебных свойств инструментальной и технологической оснастки на ОАО «БМЗ управляющая компания БМК» и других промышленных предприятиях, например роликов, втулок, ножей и др. используемых в производстве метизов на БМЗ, деталей устройств использующих кавитационный эффект на РУП «БЕЛОРУСНЕФТЬ» и т.д.

УДК669.24/29.018:[539/25+539/26]

Д.В. Куис, доц., канд. техн. наук; Н.А. Свидунович, проф.,  
д-р.техн. наук; Г.П. Окатова, ст. науч. сотр.  
(БГТУ, г. Минск);

В.С. Урбанович, зав. отделом  
(ГО НПЦ по материаловедению НАН Беларуси, г. Минск);

В.М. Ойченко, вед.науч. сотр.  
(ФТИ им. Иоффе, г. Санкт-Петербург);

Раковец А.С., асп. (БГТУ, г. Минск)

## **ВЛИЯНИЕ БОРА НА МИКРОСТРУКТУРУ И СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ НАНОУГЛЕРОДА С ДОБАВКОЙ ЖЕЛЕЗА, ПОЛУЧЕННЫЕ ТЕРМОБАРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ**

Методом высокоэнергетической консолидации путем легирования бором композита на основе экстрагированной фуллереновой сажи Сэфс-10%Fe получен новый сверхлегкий, изотропно высокотвердый углеродный аморфнонанокристаллический композиционный материал с высокой трещиностойкостью и упругостью, имеющий аморфную углеродную основу, заполненную упрочняющими ее нанокристаллитами карбидов и боридов Fe и карбоборидов различной степени дисперсности и морфологии, включения распределенных в основе супертвердых частиц углеродной фазы и частиц на основе Fe-C. В лучших образцах композита микротвердость включений супертвердых частиц близка к твердости аламаза, аморфной углеродной фазы-основы в пределах 29,3...89,1 ГПа, частиц на основе Fe-C – 9,2...10,8 ГПа. Удельный вес высокотвердого углеродного композита 2,13...2,168 г/см<sup>3</sup>.

Легирование 10% бора нанокompозита привело к существенным положительным изменениям структуры и свойств композита Сэфс-10%B-10%Fe: структура основы стала гетерофазной с высокой дисперсностью нанокристаллической и аморфной фаз – размер кристаллитов связующей "фазы-основы" уменьшился и составляет 0,5...11,9 нм, микротвердость углеродной фазы-основы возросла в ~2-4 раза, образцы приобрели трещиностойкость и упругость – при измерении микротвердости под нагрузкой 300г, практически не происходило образование микротрещин.

Изучение фазовых превращений в системе ультрадисперсных компонентов бор-углерод связано с перспективами синтеза методами нанотехнологии новой нанокерамики с уникальными физико-механическими свойствами.

УДК 621.74:669.13

Д.В. Куис, доц., канд. техн. наук;  
Н.А. Свидунович, проф., д-р.техн. наук (БГТУ, г. Минск);  
А.Т. Волочко, проф., д-р. техн. наук (ГНУ «ФТИ НАН Беларуси»);  
С.Н. Лежнев, доц., канд. техн. наук  
(КГИУ, Республика Казахстан);  
А.С. Раковец, асп.; В.Ю. Янушкевич, студ. (БГТУ, г. Минск)

### **ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАТОРОВ СОДЕРЖАЩИХ НАНОУГЛЕРОДНЫЕ ДОБАВКИ НА СТРУКТУРНОЕ СОСТОЯНИЕ ВЫПЛАВЛЯЕМЫХ ЧУГУНОВ**

Высокий уровень развития современного машиностроения требует повышения физико-механических свойств материалов. Чугун, обладая большой универсальностью свойств, по-прежнему является одним из основных литейных конструкционных материалов. При этом Республика Беларусь является одним из мировых лидеров среди производителей чугунного литья. Объем чугунного литья, выпускаемого в настоящее время отечественной промышленностью, оценивается миллионами тонн.

В результате проведения комплексных исследований были определены составы новых комплексных модификаторов с использованием нанокремниевых компонентов. В качестве базового графитизирующего модификатора был выбран широко используемый на практике ферросиликобалиевые модификаторы ФС60Ba22 и ФС65Ba4. В качестве добавок использовали нанокремниевые компоненты в виде фуллереносодержащей сажи, кремниевых модификаторов после обработки концентрированными потоками энергии (плазма, лазер), алюминия в виде стружки сплава АК9. Исходные кремниевые компоненты были исследованы методами рентгеновской дифракции, электронной микроскопии, КР-спектроскопии. Установлено, что используемые кремниевые добавки после различных видов обработки имеют аморфную составляющую подобную кремнеоксиду. Получение комплексных модификаторов различных составов осуществлялось путем брикетирования. В качестве основных критериев оценки модифицирования определены глубина отбела и число эвтектических зерен. Исследования структурного состояния методами световой и электронной микроскопии показали перспективность использования разрабатываемых модификаторов.

УДК 621.793

Д.В. Куис, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск);  
И.О. Соколов, доц., канд. техн. наук (БНТУ, г. Минск);  
Н.А. Свидунович, проф., д-р.техн. наук,  
П.В. Рудак, доц., канд. техн. наук, О.Ю. Пискунова, инж.,  
В.Ю. Янушкевич, студ. (БГТУ, г. Минск)

## **СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ ПОЛУЧЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАНОУГЛЕРОДНЫХ КОМПОНЕНТОВ**

Повышение износостойкости и коррозионной стойкости поверхностей деталей машин актуально для различных отраслей техники. Не менее важной является проблема восстановления и упрочнения быстроизнашивающихся деталей, подвергающихся интенсивным нагрузкам.

Разработаны составы композиционных материалов с нанолегированными компонентами на основе самофлюсующихся сплавов (ПР-ОНСР, ПГ-СР4, ПГ-19М-01, ПР-НД42СР) для получения покрытий с требуемыми физико-механическими и эксплуатационными характеристиками. В качестве легирующего компонента для газотермических покрытий выбраны доступные и дешевые углеродсодержащие наноструктурные добавки (фуллеренсодержащая сажа). Методами рентгеноструктурного анализа, рентгенофлуоресцентного анализа, световой и сканирующей микроскопии с микрорентгеноспектральным анализом были исследованы фазовый и элементный состав, микрохимический состав, структурное состояние, методами измерения твердости и микротвердости изучены показатели механических свойств образцов вышеприведенных композиционных покрытий нанесенных плазменным способом с оплавлением. При этом определена принципиальная возможность введения и усвоения в структуре покрытия ультрадисперсного углеродсодержащего сырья используемых модификаций и дисперсности. Исследования не выявили принципиальных отличий в фазовом составе и структуре изучаемых покрытий. При этом определено, что введение 2 % фуллеренсодержащей сажи в состав покрытий на основе меди повышает твердость в среднем на 5 единиц HR, во всех остальных случаях твердость не снижается либо снижается незначительно ( $\approx$  на 5 единиц HRC), что вероятно связано с присутствием углерода в структуре покрытия в свободном виде, что в свою очередь предполагает повышение антифрикционных свойств.

УДК 62-52

В. В. Аулин, проф., д-р. техн. наук;  
А. А. Панков, доц., канд. техн. наук;  
А. В. Щеглов, доц., канд. техн. наук  
(КНТУ, г. Кировоград, Украина)

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ЛЕСНЫХ СЕЯЛОК НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ И УСТРОЙСТВ ПНЕВМОСТРУЙНОЙ ТЕХНИКИ**

Залогом высокого урожая при снижении затрат является своевременное и качественное выполнение всех технологических операций по выращиванию лесонасаждений, в соответствии с требованиями, в особенности в операциях посева и посадки.

В результате работы научной и изобретательской мысли, направленной на повышение качества выполнения процесса высева, в прошлом были заложены различные принципы работы и конструкции высевающих систем и способы их применения. Однако анализируя рабочие процессы и конструкции существующих высевающих систем, несмотря на их достаточно высокий технический уровень, можно выделить ряд присущих им недостатков:

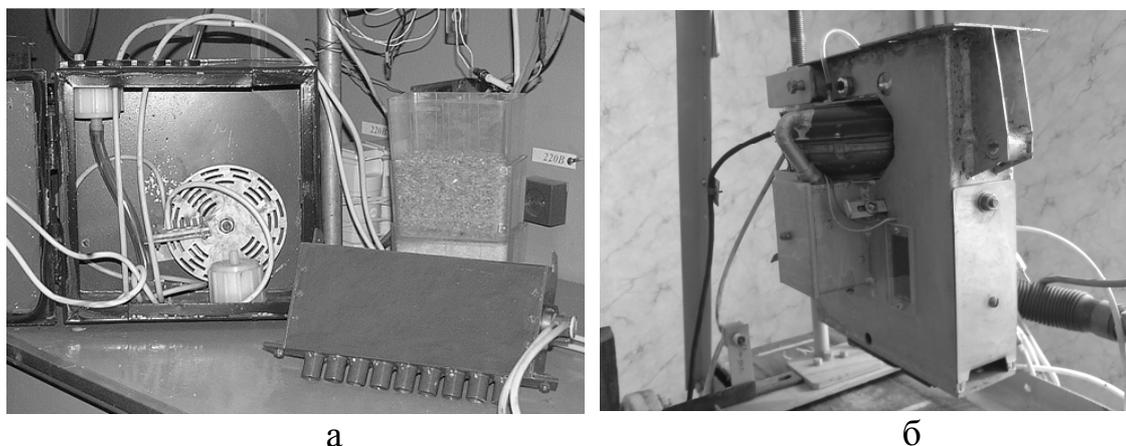
- высокая стоимость, а также применение сложных конструкций высевающих аппаратов, значительная неравномерность высева;
- недостаточная универсальность конструкций;
- повреждение и потери посевного материала;
- продолжительность настройки и регулировки норм высева;
- сложность автоматизации работы, в особенности изменения текущих значений норм высева, что ухудшает взаимодействие машин с системами информационного земледелия;
- энергоемкость конструкций и рабочего процесса.

Поэтому в настоящее время актуальным является вопрос разработки и внедрения в производство новых, простых и универсальных конструкций высевающих аппаратов и систем с минимальной энергетикой производства и рабочего процесса, высокой надежностью, возможностью автоматизации рабочего процесса и его поточной управляемости на каждом участке перемещения машины.

Для реализации поставленной цели предлагается новое направление – создание высевающих аппаратов и систем лесных сеялок на основе применения элементов струйной пневмоавтоматики (пневмоники).

Развитие предлагаемого направления в настоящее время дает положительные результаты. Созданы образцы и рабочие макеты высевающих систем (рис.1) включающие в себя пневмоструйный высе-

вающий аппарат и устройство синхронизации высева со скоростью движения посевной машины.



**Рисунок 1 - Высевающие аппараты лесных сеялок с элементами струйной техники: а – для рядового посева; б – для однозернового посева**

Высевающие аппараты и управляющие системы на основе элементов струйной техники могут работать в затрудненных условиях эксплуатации (при высоких ускорениях, интенсивных нагрузках).

Имеют место и другие преимущества высевающих аппаратов и систем на основе элементов пневмоструйной техники, а именно:

- низкая стоимость комплектующих деталей;
- простота технологии изготовления (литье, распечатка на 3D-принтере);
- стойкость к агрессивным воздействиям окружающей среды;
- малая материалоемкость, миниатюрность и быстроедействие;
- минимум подвижных механических и трущихся деталей;
- отсутствие индивидуальных регулировок;
- отсутствие механизмов приводов и коробок перемены передач;
- отсутствие точек смазки;
- простота настройки на требуемую норму высева, перестройки на различные нормы и схемы высева;
- относительно небольшая потребляемая мощность;
- возможность полной автоматизации и контроля работы.

Преимущества высевающих систем на основе элементов пневмоструйной техники показывают перспективу их применения в новых посевных машинах для лесного хозяйства.

УДК 66.092-977

С.В. Буренков, магистрант,  
С.А. Забелкин доц., канд. техн. наук.  
А.Н. Грачёв проф., д-р техн. наук.  
В.Н. Башкиров проф., д-р техн. наук.  
(КНИТУ, г. Казань)

## **ПЕРЕРАБОТКА ИЛОВЫХ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД ТЕРМОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ, ПРИ КОНДУКТИВНОМ ПОДВОДЕ ТЕПЛА**

В настоящее время большая часть сточных вод перерабатывается методом биологической очистки. В результате образуется большое количество иловых осадков. Утилизация иловых осадков сточных вод является очень актуальным вопросом, так как производимое в настоящее время их захоронение требует больших финансовых затрат и сопряжено с экологическими проблемами.

В настоящее время существует несколько технологий термической переработки, альтернативных традиционному сжиганию иловых осадков сточных вод. Это такие технологии, как жидкофазное окисление, пиролиз и газификация. Процесс пиролиза имеет ряд преимуществ по сравнению с другими методами. При пиролизе происходит термическая стерилизация и образуются производные продукты (газ, жидкость, твёрдый углистый остаток), которые могут быть использованы как топливо или как сырьё для химического и нефтехимического производства. Кроме того, в процессе пиролиза тяжёлые металлы (например, ртуть и кадмий) могут быть отделены вместе с углистым остатком.

Быстрый пиролиз позволяет максимизировать выход жидких продуктов при термической переработке. Образующиеся в результате быстрого пиролиза иловых осадков жидкие продукты представляют собой тёмно-коричневую жидкость, состоящую из сложной смеси окисленных углеводов. В рамках данной работы, были проведены исследования по определению основных физико-химических свойств иловых осадков, с различным временем пребывания на иловых полях от 1 месяца до 3-х лет. Также были проведены эксперименты по быстрому пиролизу иловых осадков, что позволило произвести оценку материального баланса процесса быстрого пиролиза. Проведенные эксперименты позволили определить основные зависимости процесса от режимных параметров проведения эксперимента. Также был проведен физико-химический анализ продуктов полученных при быстром пиролизе иловых осадков.

В результате проведённых исследований, наибольший выход пиролизной жидкости и газа имеет свежий ил, что связано с высоким содержанием органических веществ и низкой зольностью. Высокий выход угля у депонированного ила, очевидно, связан с высоким содержанием в них минеральных веществ из-за контакта с песком, пылью и грунтом. Наибольший выход пиролизной жидкости имеет свежий ил, что связано с высоким содержанием органических веществ и низкой зольностью.

Основными итогами в рамках данного исследования, является то, что были проведены пуски пилотной установки на иловых осадках сточных вод и были получены образцы жидких и твёрдых продуктов быстрого пиролиза. Также было определено, что быстрый пиролиз иловых осадков позволяет переработать их в целевые продукты (газ, уголь, жидкость). Были определены основные зависимости процесса пиролиза, одной из главных зависимостей является увеличение доли жидких продуктов, при увеличении скорости нагрева осадков.

УДК 674.07; 630\*829

В.А. Соколова, доц., канд. техн. наук;  
В.В. Беспалова, доц., канд. экон. наук;  
Ш.Г.Талыпов, магистр  
(СПбГЛТУ, г.Санкт-Петербург)

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВЫХ ЛАКО-КРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В КАЧЕСТВЕ ЗАЩИТНО-ДЕКОРАТИВНОЙ ОТДЕЛКИ ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

На рынке лакокрасочных материалов для окраски древесины появилось много инновационных продуктов. Одной из тенденций при разработке и внедрении новых продуктов является стремление производителей создавать универсальные лакокрасочные материалы, обладающие комплексом свойств. Новые материалы внедряются в практику при сохранении старых методов и подходов к работе с древесиной.

Для защиты древесины от влаги, УФ-излучения и других неблагоприятных воздействий окружающей среды применяются лаки. Органорастворимые или водные лаки являются отличными наружными покрытиями для деревянных поверхностей.

Другая тенденция внутренней отделки изделий из древесины - использование различных хорошо впитываемых масел и композиций на их основе. Интересным способом защиты древесины является применение восков. Для современных технологий защиты характерно их применение не только на поверхности, но и в составе полимерной композиции. Значительное развитие в настоящее время получили отечественные разработки в области биозащиты древесины. Наиболее удобны растворы различной концентрации.

В настоящее время наиболее известны поливинилацетатные (на основе эмульсии ПВА), на основе стирол-бутадиенового и других латексов, а также акрилатные водно-дисперсионные краски. Основное преимущество этих красок состоит в том, что связующие, входящие в их состав, диспергированы в виде мельчайших частиц в водном растворе защитного коллоида (такие диспергированные системы принято называть эмульсиями), а не растворены в более дорогих, токсичных или огнеопасных органических растворителях. Для изготовления красочного состава кроме обычных составляющих (пигментов, наполнителей и т. д.) используются такие вещества, как пластификаторы, эмульгаторы и стабилизаторы, улучшающие малярные свойства красок и предотвращающие выпадение пигментов в осадок. Все водно-

дисперсионные краски нетоксичны, легко разводятся водой, быстро сохнут. Ими окрашивают бетонные, каменные, деревянные поверхности, но не металлические - краска может вызывать их коррозию. Особенно эффективно их нанесение на пористые основания, например, на штукатурку. Наибольший интерес представляют водно-дисперсионные краски на акрилатной основе. Именно они в настоящее время все шире применяются для окраски минеральных поверхностей как фасадных, так и интерьерных. Это и не удивительно, поскольку водно-дисперсионные акрилатные лакокрасочные материалы обладают рядом уникальных свойств: во-первых, повышенной атмосферостойкостью; во-вторых, прекрасно пропускают газы и пары воды, но плохо пропускают жидкую воду (следовательно, здание, окрашенное такими материалами имеет улучшенный воздухообмен с окружающей средой); в-третьих, обладают повышенной щелочестойкостью, что является особенно важным при окраске бетонных поверхностей; и, наконец, акрилаты обладают повышенной стойкостью к мытью и мокрому истиранию, что позволяет легко удалять загрязнения с этих покрытий [1,2].

Наилучшую водостойкость также имеют стирол-акрилаты. Покрытия, образуемые бутадиен-стирольными красками, быстрее набухают и достаточно легко смываются (в сравнении со стирол-акрилатными).

В целом техника и технология защитно-декоративных покрытий лакокрасочными материалами в настоящее время достигли довольно высокого уровня и находятся в стадии дальнейшего развития и совершенствования, поэтому разработка новых лакокрасочных композиций, изучение процесса пленкообразования, разработка режимов отделки древесины являются перспективными направлениями в развитии технологии создания защитно-декоративных покрытий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ветошкин Ю. И., Чернышев О. Н., Газеев М. В., Миронов Н. А. Свойства и применение полиуретановых лакокрасочных материалов // Дизайн и производство мебели. - 2005. - №1. - С. 33-36.
2. Секретфирмы // The Chemical Journal. 2005. №38. С. 24.

УДК 519.872

А. Р. Степанюк, доц., канд. техн. наук; И.В. Степчук  
(КПИ им. Игоря Сикорського, г. Киев)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРЕВА ЧАСТИЦ ИЗ ДЕРЕВА В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА БИОТОПЛИВА

Зависимость производителей энергии от нефтяных или газовых источников делает целесообразным производство тепловой энергии с использованием альтернативных источников. Оценивая характеристики удельной теплотворной способности различных топлив приведенные в таблице 1 можно сделать выводы о возможной значительной экономии традиционных источников энергии за счет использования альтернативных, например отходов древесины [1].

**Таблица 1 - Сравнительные характеристики удельной теплотворной способности топлив**

Газ	33737 кДж/м <sup>3</sup>
Уголь	16743–25115 кДж/кг
Пеллеты соломы	14650–18714 кДж/кг
Подсолнечниковая лузга	15424–3685 кДж/кг
Древесина	20707 кДж/кг

Традиционные технологии создания пеллет из растительного сырья используют следующие стадии [2]:

- измельчение;
- сушку;
- пропитку клеевой основой;
- прессование;
- упаковку.

Одним из самых энергоемких процессов является процесс сушки который состоит из подогрева частицы и сушки [2].

Процесс подогрева можно описать следующей физической моделью (рисунок 1), при этом приняты следующие ограничения: частица сферическая, монолитная, температура гранулы в начальный момент одинаковая [3].

Распределение температуры в пределах  $0 \leq r \leq R$  описывается уравнением нестационарной теплопроводности в сферических координатах:

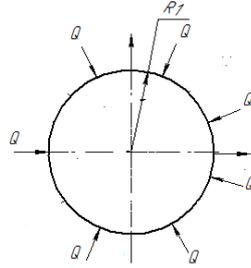


Рисунок 1 – Физическая модель процесса нагрева сферической частицы

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \alpha \left( \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right)$$

Граничные условия: для середины частицы  $\left. \frac{\partial T_1}{\partial x} \right|_{x=0} = 0$ , для поверхности частицы  $\frac{\partial T_2}{\partial \tau} = \alpha \frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2}$ .

Начальные условия:  $T_{cp} = 20^0 C$ ,  $T_{cp} = 120^0 C$ .

Решения методом сеток представлено на рисунке 2 в виде графика.

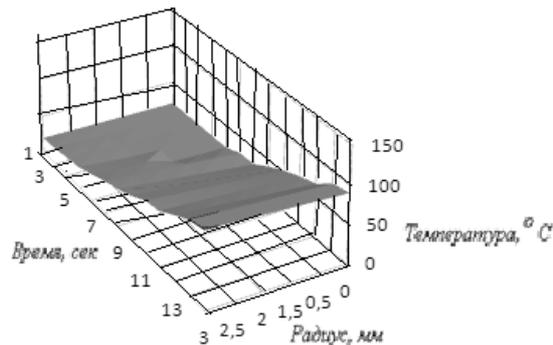


Рисунок 2 – Зависимость, для определения времени прогрева частицы

За результатами моделирования можно определить время прогрева частиці, что позволит в дальнейшем уточнить время ее сушки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. <http://bio.ukrbio.com/ua/articles/5265> от 19.12.2016 г.
2. Степчук І.В. /Паливні брикети, як альтернативне паливо. Процес виготовлення паливних брикетів. І.В. Степчук, А.Р. Степанюк. Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. Наукові праці. Одеса. Випуск 45 Т.3. 2014. с.169-171.
3. Степчук І.В. Фізична та математична модель процесу прогріву деревини/ Л. Г. Воронін, Д. М. Корінчук, А.Р. Степанюк Ресурсоенергозберігаючі технології. VII міжнар. наук.-пр. конф. студ., аспірантів та молодих вчених. (Київ 20-21 листопада 2014р.): зб. тез. доп. К.: Видавництво УВОІ „Допомога” УСІ” 2014. с. 66-67.

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Дурманов М.Я., Михайлов О.А., Спиридонов С.В.</i> Оценка показателей эксплуатационной эффективности лесохозяйственного машинно-тракторного агрегата на стадии проектирования.....	3
<i>Лой В.Н., Мохов С.П., Асмоловский М.К., Арико С.Е., Германович А.О.</i> Методика определения энергозатрат барабанной рубильной установки.....	5
<i>Борисевич С. А.</i> Силовое взаимодействие кроны дерева с воздушным потоком.....	6
<i>Дини М. Н.; Насковец М. Т., Жарков Н. И.</i> Результаты лабораторных испытания дорожных конструкций, содержащих комбинированные прослойки из геосинтетического материала, под воздействием колесной нагрузки.....	7
<i>Лащенко А. П.</i> Учет реологических свойств ДСМ при проектировании дорожных одежд нежесткого типа.....	9
<i>Лащенко А. П.</i> Визуализация алгоритма Флойда при проектировании трассы автомобильной дороги.....	10
<i>Михайлов О.А., Спиридонов С.В., Дурманов М.Я.</i> Оптимизация параметров моторно-трансмиссионной установки лесопромышленных тракторов.....	11
<i>Арико С.Е., Асмоловский К., Лой В.Н., Германович А.О., Дудко Е.М.</i> Обоснование компоновочной схемы универсального лесного шасси с учетом применяемого технологического оборудования.....	13
<i>Мисуно Ю.И.</i> Результаты экспериментальных исследований влияния лесосечных работ на почвогрунты.....	15
<i>Протас П.А., Мисуно Ю.И.</i> Методика оценки степени повреждения почвогрунта при проведении проходной рубки.....	17
<i>Протас П.А., Ледницкий А.В.</i> Анализ европейского законодательства в сфере производства, хранения и купли-продажи древесного топлива.....	19
<i>Голякевич С.А., Гороновский А.Р.</i> Энергетические аспекты функционирования многооперационных лесных машин.....	21
<i>Шошин А.О., Протас П.А., Мохов С.П., Арико С.Е.</i> Методика имитационных исследований процесса полуподвесной трелевки древесины.....	23
<i>Шошин А.О.</i> Результаты экспериментальных исследований процесса полуподвесной трелевки древесины.....	24

<i>Огородников Д.О.</i> Рациональные методы использования низкокачественной древесины и отходов лесопиления.....	25
<i>Голякевич С.А., Горонковский А.Р., Пищов С.Н., Кононович Д.А.</i> Исследования эксплуатационных свойств комплекса машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов.....	26
<i>Кононович Д.А., Протас П.А., Мохов С.П., Пищов С.Н.</i> Перспективные технологии заготовки лесосечных отходов.....	28
<i>Леонов Е.А., Короленя Р.О.</i> Выполнение лесохозяйственных работ (посадка леса) в ГЛХУ «Червенский лесхоз» и ГЛХУ «Смолевичский лесхоз» студентами факультета ГТЛП в производственных и учебных целях.....	30
<i>Игнатович Л. В., Барташевич М.А., Харламова И. М.</i> Влияние влажности фанеры и количества наполнителя в клеевой композиции на прочность склеивания.....	31
<i>Барташевич А. А., Коробко Е. В., Баштовая Е. А.</i> Зависимость содержания свободного формальдегида от объема вводимого в клей наполнителя.....	33
<i>Игнатович Л. В., Шетько С. В.</i> Способ изготовления паркетных изделий с лицевым слоем из уплотненной древесины методом проката.....	35
<i>Мухурова Е.А., Янушкевич А.А., Шетько С. В.</i> Совершенствование технологии раскроя листовых бревен с учетом их индивидуальных особенностей.....	37
<i>Барташевич А.А., Игнатович Л. В., Шетько С. В., Ангерчик В. А.</i> Возрастные особенности детей, учитываемые при проектировании детской мебели.....	39
<i>Сумароков А.М.</i> Опыт применения технологии и оборудования фирмы «Шпрингер» для переработки низкокачественного и тонкомерного сырья с одновременным получением технологической щепы для ЦБП.....	41
<i>Земцовский А. Е.</i> Влияние точности приборов контроля и регулирования процесса на показатели качества камерной сушки пиломатериалов.....	43
<i>Челавина К. А., Чернышова Д. А., Земцовский А. Е.</i> Прогнозирование изменения конфигурации сечения оцилиндрованного бревна при усушке.....	45
<i>Мирзоев Ш.А.</i> О классификации природных вод в трещиноватых пластах.....	47
<i>Бирман А.Р., Цой Ю.И., Соколова В.А., Лукин В. Г., Войнаш С.А.</i> Интенсификация процесса склеивания древесины холодным способом.....	49

<i>Сторожук В. Н., Сомар Г. В., Ференц О. Б.</i> Анализ акустической структуры продольно-фрезерных и круглопильных дереворежущих станков.....	51
<i>Аникеенко А. Ф., Тишевич А. Ю.</i> Особенности конструкции винтовых сверл, обеспечивающих высокое качество обработки ламинированных плитных материалов.....	53
<i>Белый А.В., Гришкевич А.А., Гриневич С.А., Алифировец Г.В.</i> Результаты модификации лезвий профилирующих ножей методом ионно-плазменного азотирования фрезерно-брусующих машин.....	55
<i>Гриневич С.А., Алифировец Г.В.</i> Анализ методик расчета силовых показателей профиляторов на линиях агрегатной переработки древесины.....	56
<i>Чаевский В.В., Бавбель И. И.</i> Износостойкость модифицированного комбинированной обработкой лезвий ножей дереворежущего инструмента.....	57
<i>Гришкевич А. А., Гаранин В. Н., Аникеенко А. Ф.</i> Теоретические исследования режимов эксплуатации фрезерного инструмента с адаптивными свойствами.....	58
<i>Гаранин В.Н., Гришкевич А.А., Аникеенко А.Ф.</i> Метод испытания ножей лезвийного инструмента на износостойкость.....	60
<i>Раповец В. В., Клепацкий И. К., Медведев С. В., Иванец Г. Г.</i> Экспериментальные и вычислительные исследования высокоскоростных процессов обработки древесины.....	62
<i>Костюк О. И., Гришкевич А. А.</i> Результаты экспериментальных исследований шлифования древесины сосны.....	64
<i>Козначеев И. А., Горбачев Н. М., Трофимов С. П.</i> Техническое нормирование производственных процессов с измельченной древесиной.....	66
<i>Трофимов С.П.</i> Аппаратное обеспечение исследований свойств измельченной древесины.....	68
<i>Трофимов С.П.</i> История развития деревообработки в музеях.....	69
<i>Мазаник Н.В., Рудак О.Г.</i> Влияние вида теплоносителя на процесс прогрева пиломатериалов в сушильной камере.....	70
<i>В. Б. Снопков, Д. П. Бабич, И. К. Божелко</i> Количественная оценка содержания ядровой и заболонной древесины в шпалах.....	72
<i>Снопков В. Б., Бабич Д. П., Божелко И. К.</i> Определение влажности древесины сосны и ели по сечению круглых лесоматериалов.....	74

<i>Божелко И.К., Наумчик Т.А., Бабич Д.П.</i> Исследование физико-механических свойств комбинированных шпал.....	76
<i>Веретиков И.И.</i> Определение прочностных характеристик фанерной продукции методом неразрушающего контроля.....	77
<i>Леонович О.К.</i> Развитие сотрудничества БГТУ с концерном «Беллесбумпром» в области совершенствования технологических процессов и нормирования плитной продукции.....	79
<i>Леонович О.К., Ангерчик В.А.</i> Эффективная технология производства LVL-бруса из хвойных пород.....	81
<i>Леонович О.К., Антоник А.Ю.</i> Биологическая устойчивость термомодифицированной древесины.....	82
<i>Леонович О.К., Антоник А. Ю.</i> Структурные изменения древесины сосны при термомодифицировании.....	83
<i>Федосенко И. Г., Усович А.В.</i> Определение максимального уплотнения щепы в свободно-насыпанном состоянии в зависимости от начальной влажности.....	84
<i>Федосенко И. Г., Шкробот М.В.</i> Исследование влияния влажности древесины хвойных пород на проникновение защитных средств в ее структуру под действием избыточного давления.....	85
<i>Бикбулатова Г.М., Валеева А.Р., Башикиров В.Н., Забелкин С.А., Грачев А.Н.</i> Древесно-полимерный композит.....	87
<i>Гайдук С.С.</i> Современные подходы в проектировании мебели.....	88
<i>Гайдук С.С., Чудук В.М.</i> Проектирование и разработка конструкторской документации в САПР мебели.....	90
<i>Рудак П.В., Куис Д.В., Чаевский В.В., Рудак О.Г., Зборин Е.А., Валентиниэне И., Пилкис Г.</i> Анализ закономерностей и механизмов механо-химических явлений изнашивания лезвий дереворежущих инструментов.....	91
<i>Рудак П.В., Шпак С.В., Куис Д.В., Латушкина С.Д., Рудак О.Г., Пискунова О.Ю.</i> Результаты электрохимических испытаний в среде продуктов сухой термодеструкции древесины образцов из быстрорежущей стали с многокомпонентными вакуумно-плазменными наноструктурными покрытиями.....	93
<i>Рудак П.В., Куис Д.В., Рудак О.Г., Барчик С., Бено П.</i> Методика испытаний на механо-химическое изнашивание образцов из быстрорежущей стали с многокомпонентными вакуумно-плазменными наноструктурными покрытиями.....	95

<i>Рудак П.В., Куис Д.В., Чаевский В.В., Рудак О.Г., Бир П., Борисюк П., Балтрушайтис А., Кятуракис Г.</i>	
Результаты испытаний на механо-химическое изнашивание образцов из быстрорежущей стали с многокомпонентными вакуумно-плазменными наноструктурными покрытиями.....	97
<i>Рудак П.В., Куис Д.В., Рудак О.Г., Барчик С., Бено П., Разумов Е.Ю.</i>	
Влияние химической стойкости поверхности дереворежущего инструмента на износостойкость в среде конденсата продуктов пиролиза древесины.....	99
<i>Рудак П.В., Куис Д.В., Барчик С., Бено П., Хренова Л.</i>	
Результаты исследований интенсивности механо-химического изнашивания поверхностей дереворежущего инструмента с наноструктурными вакуумно-плазменными покрытиями.....	101
<i>Осоко С.А., Дулевич А.Ф.</i> Исследование путей повышения КПД ленточного конвейера.....	103
<i>Киселев С.В., Блохин А.В., Дулевич А.Ф.</i> Исследование распределения температурного поля в полотне узкой ленточной пилы для распиловки бревен.....	104
<i>Царук Ф.Ф., Бельский С.Е., Русецкий А.Ч.</i>	
Усталостные характеристики медного сплава при циклическом деформировании в широком диапазоне частот.....	105
<i>Дулевич А.Ф., Осоко С.А.</i> Увеличение достоверности контроля деталей при массово-серийном производстве.....	107
<i>Царук Ф.Ф., Бельский С.Е., Блохин А.В., Пищов М.Н.</i>	
Прогнозирование низкочастотной усталости металлических материалов по результатам высокочастотных изгибных испытаний.....	108
<i>Лось А.М., Сурус А.И.</i> Проектирование многоблочных крюковых подвесок грузоподъемных машин.....	110
<i>Бельский С.Е., Андрейковец Э.П., Левитан В.Б.</i> Интенсификация процессов химико-термической обработки стали 5ХЗВЗМФС.....	112
<i>Бельский С.Е., Левитан В.Б.</i> Влияние термической обработки на сварные соединения сталей Р6М5 и 40Х.....	113
<i>Бельский С.Е., Русецкий А.Ч.</i> Исследование причин разрушения деталей насосных агрегатов нефтехимической отрасли.....	114
<i>Сурус А.И., Пищов М.Н., Лось А.М., Говен М.В.</i> Анализ эффективности поверхностного упрочнения деталей машин различными методами.....	115
<i>Лось А.М., Блохин А.В., Ярмолик С.В.</i> Применение предварительно-напряженных тросов для перераспределения напряжений в элементах несущих металлоконструкций.....	117

<i>Касперов Г.И., Левкевич В.Е., Мильман В.А.</i> Экономическая эффективность конструкций грунтовых ограждающих сооружений водоемов технического назначения.....	119
<i>Касперов Г.И., Левкевич В.Е., Миканович Д.С.</i> Техническое состояние водоемов технического назначения основа экологической безопасности.....	120
<i>Карпович С.И., Рудак П.В., Пискунова О.Ю.</i> Влияние ионно-плазменного азотирования на микротвердость и шероховатость поверхности инструментальной стали.....	121
<i>Карпович С.И., Карпович С.С., Рудак П.В.</i> Оптимизация угловых параметров ручных почвообрабатывающих приспособлений.....	123
<i>Куис Д.В., Свидунович Н.А., Пискунова О.Ю., Раковец А.С.</i> Влияние режимов термической обработки на структурное состояние сталей ледебуритного класса для инструментальной и технологической оснастки.....	125
<i>Куис Д.В., Свидунович Н.А., Окатова Г.П., Урбанович В.С., Ойченко В.М., Раковец А.С.</i> Влияние бора на микроструктуру и свойства композитов на основе нанюглерода с добавкой железа, полученные термобарической обработкой.....	126
<i>Куис Д.В., Свидунович Н.А., Волочко А.Т., Лежнев С.Н., Раковец А.С., Янушкевич В.Ю.</i> Влияние модификаторов содержащих нанюглеродные добавки на структурное состояние выплавляемых чугунов.....	127
<i>Куис Д.В., Соколов И.О., Свидунович Н.А., Рудак П.В., Пискунова О.Ю., Янушкевич В.Ю.</i> Структура и свойства газотермических композиционных функциональных покрытий полученных с применением нанюглеродных компонентов.....	128
<i>Аулин В.В., Панков А.А., Щеглов А.В.</i> Повышение эффективности рабочего процесса лесных сеялок на основе применения элементов и устройств пневмоструйной техники.....	129
<i>Буренков С.В., Забелкин С.А., Грачёв А.Н., Башкиров В.Н.</i> Переработка иловых осадков сточных вод термохимическим методом, при кондуктивном подводе тепла.....	131
<i>Соколова В.А., Беспалова В.В., Талыпов Ш.Г.</i> Использование новых лако-красочных материалов в качестве защитно-декоративной отделки древесины и древесных материалов.....	133
<i>Степанюк А.Р., Степчук И.В.</i> Моделирование нагрева частиц из дерева в процессе производства биотоплива.....	135