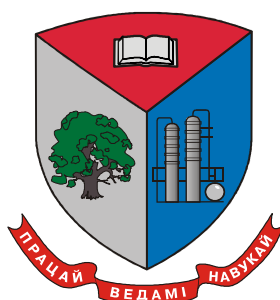


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный технологический университет»  
Минское областное отделение РГОО  
«Белорусское общество «ЗНАНИЕ»  
Международное общество ученых технического образования



**ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИКА  
ЛЕСНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**  
Тезисы докладов 82-й научно-технической конференции  
профессорско-преподавательского состава,  
научных сотрудников и аспирантов  
(с международным участием)

Минск 2018

УДК 630\*3+674 (06)(07.034.44)

**Технология и техника лесной промышленности:** тезисы 82-й науч.-технич. конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 06–07 февраля 2018 г. [Электронный ресурс] / отв. за издание И. В. Войтов; УО БГТУ. – Минск: БГТУ, 2018. – 123 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, д-р техн. наук, профессор И. В. Войтов

© УО «Белорусский государственный  
технологический университет», 2018

УДК 630.3

Н.В. Хорошун, начальник отдела  
промышленного производства  
Министерства лесного хозяйства РБ,  
м.э.н., м.т.н., доцент кафедры ОП и ЭН  
(БГТУ г. Минск)

## **АНАЛИЗ ВЫПОЛНЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОЦИАЛЬНО- ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ЛЕСНОЙ ОТРАСЛИ ЗА 2017 ГОД И ЗАДАЧИ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЛЕСНОЙ ОТРАСЛИ НА 2018 ГОД**

Организации отрасли выполнили все доведенные показатели социально-экономического развития и обеспечили выполнение задач, поставленных перед лесным хозяйством в 2017 году.

За 2017 год из всех видов рубок организациями отрасли заготовлен наибольший объем древесины за последние годы – 17,9 млн. куб. м, что на 2,8 млн. куб. м больше, чем в 2016 году. Задание выполнено всеми лесхозами отрасли.

Важным направлением деятельности организаций отрасли является развитие рынка лесозаготовительных услуг – одной из форм государственно-частного партнерства в лесном хозяйстве. За последние 5 лет объем лесозаготовительных услуг увеличился более чем в 4 раза и составил 5,5 млн. куб. м, что составляет более 30% от всего объема заготовки Минлесхоза при 12% в 2013 году.

Вместе с тем, сдерживающим фактором развития рынка услуг является невозможность предложить рыночную стоимость услуги в связи с низкими ценами на лесоматериалы, особенно технологическое сырье и балансовую древесину.

В лесозаготовительном производстве с целью дальнейшего увеличения объемов заготовки древесины, обеспечения безопасных условий труда необходимо развивать ее машинную заготовку.

В 2017 году харвестерами преимущественно отечественного производства заготовлено более 9 млн. куб. м древесины, что на 2,1 млн. куб. м больше объема механизированной заготовки в 2016 году. Доля механизированной заготовки многооперационными машинами составила 51% при 33% в 2013 году. В настоящее время в организациях отрасли имеется 254 харвестера, 304 форвардера, 709 сортиментовозов, 1241 машина погрузочно-транспортная.

Без данного парка техники невозможно было бы справиться в прошедшем году с буреломами на труднодоступных участках и значительными объемами усыхания в сосновых насаждениях.

Одним из основных направлений деятельности организаций отрасли является обеспечение деревообрабатывающих организаций республики древесиной. За 2017 год реализация круглых лесоматериалов

лесхозами отрасли на внутреннем рынке составила 12,4 млн. куб. м, или 132% к аналогичному периоду 2016 года. Увеличение составило более 3 млн. руб. Реализация деловой древесины составила 8 млн. куб. м, что на 2 млн. куб. м больше чем в 2016 году, и в 2,6 раза больше чем в 2013 году.

С учетом проведенной модернизации деревообрабатывающих цехов в 2017 году произведено почти 870 тыс. куб. м пиломатериалов, или 121 % к 2016 году. Объем высушенной продукции увеличился на 10 тыс. куб. м и составил 97 тыс. куб. м, или 111% к уровню 2016 года.

За 2017 год поставлено на экспорт лесопродукции и оказано услуг на сумму почти 150 млн. долл. США, что составляет 105% к 2016 году. Лесопродукция и услуги экспортировались в 30 стран мира. Из них основными экспортерами являются Польша, Литва, Румыния, Германия и Латвия.

В целях минимизации последствий от прекращения экспорта лесоматериалов уже в 2017 году были предприняты меры по сокращению доли в экспорте поставки необработанных лесоматериалов. Так, в 2017 году доля экспортной пилопродукции в реализации на внешний рынок увеличилась с 25% до 37%, а доля лесоматериалов сократилась с 52% до 45%.

Принимая во внимание достигнутые результаты отрасли, поручения Президента Республики Беларусь и Правительства в промышленном производстве отрасли в 2018 году необходимо обеспечить:

долю заготовки древесины харвестерами с учетом привлечения услуг сторонних организаций на уровне не менее 55%;

достижение доли заготовки древесины на услугах не менее 40%;

дальнейшее техническое обновление лесозаготовительной техники в соответствии с утвержденными планами – графиками закупок ГПЛХО на сумму около 50 млн. руб.;

модернизацию деревообрабатывающих производств в соответствии с утвержденной коллегией Минлесхоза Программой и сетевыми графиками на сумму не менее 15 млн. руб.;

загрузку лесозаготовительных и деревообрабатывающих мощностей в соответствии с доведенными заданиями;

строительство 15 лесохозяйственных дорог протяженностью не менее 101 км в соответствии с утвержденным Планом строительства лесохозяйственных дорог в 2018 году;

ежемесячное выполнение договорных обязательств по реализации лесопродукции на внутренний и внешний рынки в соответствии с заключенными контрактами.

УДК 630\*377

С.А. Войнаш, инженер по НТИ  
кафедры “Наземные транспортные системы”  
(Рубцовский индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВО “Алтайский  
государственный технический университет им. И.И. Ползунова”,  
г. Рубцовск, Россия)

### **СОРТИМЕНТОВОЗ ДЛЯ ЛЕСОЗАГОТОВОК В РАЙОНАХ СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА**

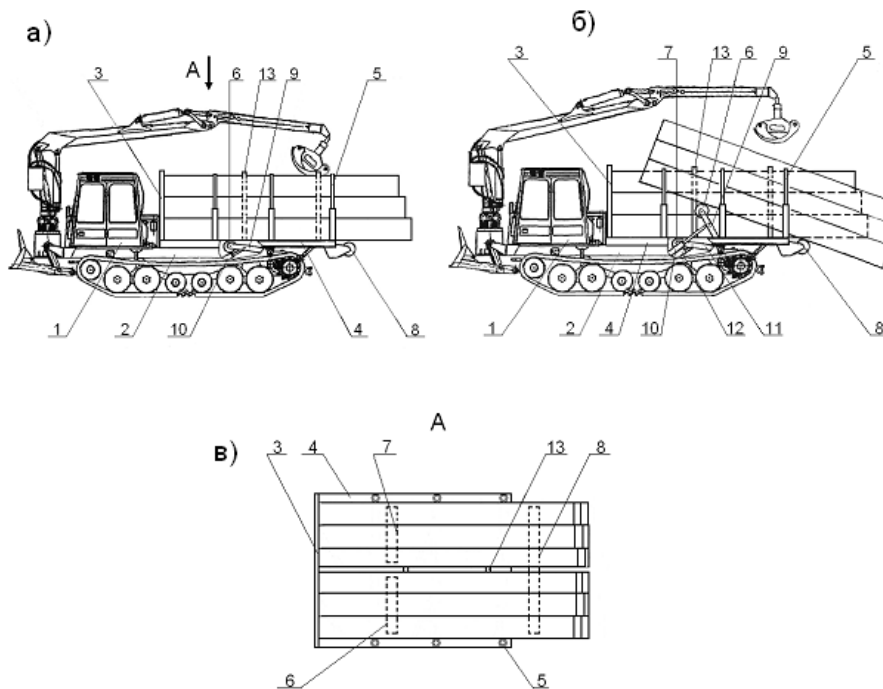
В России переход на прогрессивную скандинавскую технологию сортиментной заготовки древесины сдерживается отсутствием соответствующей техники отечественного производства. Учитывая мощную лесозаготовительную базу в районах Сибири и Дальнего Востока, создаваемая в России техника должна быть максимально приспособлена для работы в этих районах.

В настоящее время в Рубцовском индустриальном институте АлтГТУ им.И.И.Ползунова при активном участии автора ведется разработка нового лесотранспортного средства – сортиментовоза на базе манипуляторной трелевочной машины производства ОАО “Алтайское тракторостроительное объединение” [1-3]. Такое лесотранспортное средство, обладая повышенной опорной проходимостью, существенно отличается от широко известных колесных сортиментовозов зарубежного производства возможностью движения в тяжелых почвенно-климатических условиях, характерных для лесозаготовительного производства в районах Сибири и Дальнего Востока.

Проведенный анализ показал, что технический уровень разрабатываемого сортиментовоза может быть значительно повышен при использовании самосвальной разгрузки сортиментов. Автором предложены оригинальные схемные решения по самосвальной пакетной разгрузке сортиментовоза, по которым получены патенты РФ (№ 84792, № 91251, № 2418695, №2461472).

Например, в патенте № 2461472 “Сортиментовоз”, предусматривающий раздельную самосвальную разгрузку отсортированных групп сортиментов (по породам или размерам). Для обеспечения возможности такой разгрузки предложено смонтировать на раме грузовой платформы сортиментовоза устройство продольного разделения пачки сортиментов на правую и левую полупачки в виде стоек, установленных в продольной вертикальной плоскости симметрии рамы платформы, а систему самосвальной разгрузки выполнить с возможностью независимого воздействия на соответствующую полупачку сортиментов. Предложенное схемное решение представлено на рис. 1, где на рис.1,а изображен сортиментовоз при грузовом ходе, на рис.1,б

– сортиментовоз при самосвальной разгрузке левой полупачки сортиментов.



**Рисенок 1 – Общий вид гусеничного сортиментовоза с самосвальной разгрузкой**

При разгрузке левой полупачки сортиментов рамка 9 поворачивается гидроприводом в продольной вертикальной плоскости. Левый передний ролик 6 перемещается вертикально над верхней плоскостью рамы 4 платформы 3 и приподнимает над ней переднюю часть левой полупачки сортиментов. В результате наклона сортиментов, задняя часть левой полупачки сортиментов взаимодействует с поверхностью качения заднего ролика 8, благодаря чему создаются условия для самосвальной разгрузки данной полупачки сортиментов. Самосвальная разгрузка завершается выездом сортиментовоза из-под разгружаемой левой полупачки сортиментов. Правая полупачка сортиментов другой размерной группы остается на грузовой платформе 3 в транспортном положении, так как правый передний ролик 7 не перемещался вверх. Аналогично производится разгрузка правой полупачки сортиментов. При необходимости одновременная разгрузка обеих полупачек сортиментов производится синхронным выдвиганием штоков гидроцилиндров 10 и 12.

Автором сформулированы основы теории гусеничного сортиментовоза, позволяющие на стадии проектирования оценивать его проходимость и анализировать эксплуатационные режимы. Некото-

рые положения (например, методика разработки динамического паспорта) применительно к гусеничному сортиментовозу предложены автором впервые в мировой инженерной практике. Так, для анализа эксплуатационных режимов разработан усовершенствованный вариант динамического паспорта сортиментовоза, см. рис. 2, в котором наряду с динамическими характеристиками “по двигателю” и “по условиям движения” содержится номограмма нагрузки (второй квадрант). Приравнивая значения динамического фактора, взятые в первом и во втором квадрантах, можно определить значения рейсовых нагрузок, при которых сортиментовоз движется равномерно с данной скоростью в заданных условиях. Например, двигаясь на третьей передаче (скорость движения 3,8 км/ч) на подъем 5° в зимних условиях (при максимальном сопротивлении качению), сортиментовоз может транспортировать пачку сортиментов, объем которой составляет примерно 75% от номинального.

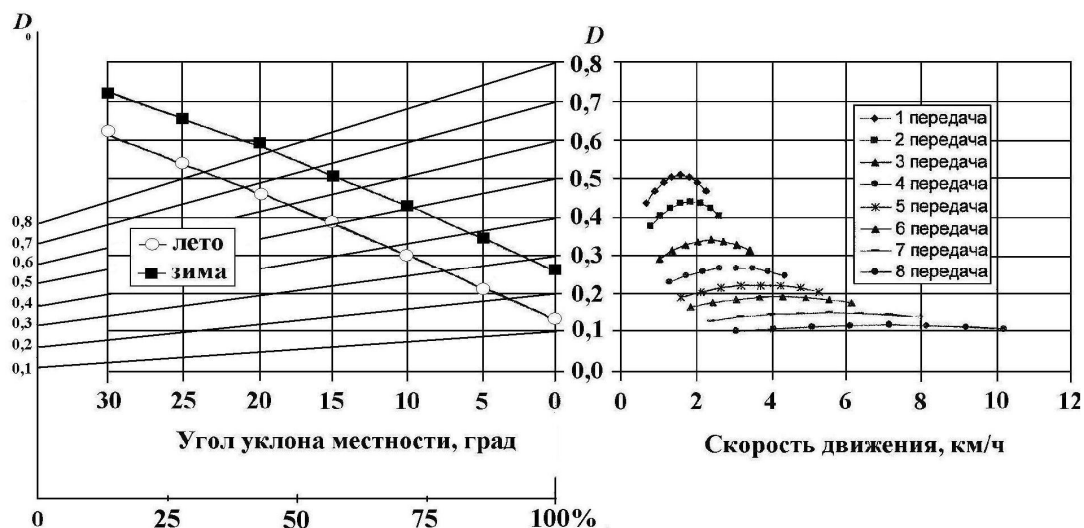


Рисунок 2 – Динамический паспорт сортиментовоза с номограммой рейсовой нагрузки

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Войнаш А.С., Войнаш С.А. Метод исследования эксплуатационных режимов трактора-сортиментовоза // Тракторы и сельхозмашины. – 2011. – № 5. – С.27-28.
2. Войнаш А.С., Войнаш С.А. Исследование влияния рейсовой нагрузки на проходимость гусеничного сортиментовоза // Изв.вузов. Лесной журнал. – 2011. – № 5. – С.47-53.
3. Войнаш А.С., Войнаш С.А. О выборе типа сортиментовоза // Известия ВолгГТУ: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – № 12. – С. 15-17. (Сер. Наземные транспортные системы. Вып. 4).

УДК 630\*363

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

## **ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ХОДОВОЙ СИСТЕМЫ И ТРАНСМИССИИ УНИВЕРСАЛЬНОГО ЛЕСНОГО ШАССИ**

Одним из путей кардинального улучшения всех фаз производства лесных культур является обеспечение качественной обработки почвы и механизированного ухода за культурами на первых годах жизнедеятельности после их посадки. Для этого в последние годы широко внедряются фрезерных орудий. В связи с этим разработка и внедрение универсального шасси в лесохозяйственном и лесозаготовительном производстве будет составлять возможность круглогодичного ритмичного проведения основных энергоемких операций по расчистке лесокультурных площадей, проведению реконструкции насаждений, производству лесных культур на всех лесокультурных площадях, расчистке трасс под дороги и ЛЭП [1]. Универсальное лесное шасси может агрегатироваться с различным дорожно-строительным оборудованием: отвалами различной конструкции и назначения, снегоочистителями, фрезами, косилками и т.д. В этой связи изготовление на отечественных предприятиях такого шасси, которое обеспечит выполнение широкого спектра лесовосстановительных и дорожно-строительных работ с высокой эффективностью и качеством, является перспективным направлением в развитии лесного машиностроения.

На основе анализа существующих конструкций лесозаготовительных и лесохозяйственных машин, а также необходимости применения имеющегося и перспективного навесного технологического оборудования для осуществления комплекса работ разработан эскизный проект, а также произведен выбор и обоснование параметров ходовой системы и трансмиссии универсального лесного шасси.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Лой, В. Н. Разработка многофункционального шасси для проведения лесохозяйственных работ / В. Н. Лой, С.Е. Арико, М. К. Асмоловский, А. О. Германович, Е. М. Дудко // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы МНТК – Минск: БГТУ, 2017. – ISBN 978-985-530-607-9. С 20-24.



УДК 674.093.4

Е.А. Леонов, канд. техн. наук  
(Минск, БГТУ)

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

## **ОБОСНОВАНИЕ ВМЕСТИМОСТИ СКЛАДА ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА В УСЛОВИЯХ КРУГЛОГОВОДОВОГО СПРОСА НА ЩЕПУ**

Имеющиеся сегодня рекомендации по обоснованию рациональных площадок для хранения топливной древесины не учитывают в полной мере особенности функционирования мини-ТЭЦ, создаваемых в условиях производственной деятельности деревообрабатывающих предприятий Республики Беларусь и обладающих производственной мощностью 1,2–18,0 МВт. Отличительным аспектом данных мини-ТЭЦ является утилизация образующихся в процессе производственной деятельности древесных отходов с целью получения энергии на собственные нужды (сушильное хозяйство, плитное производство и т.д.). При этом, в отличие от мини-ТЭЦ системы Минэнерго, данные энергообъекты характеризуются устойчивым и равномерным в течение года спросом на топливное древесное сырье.

С учетом вышеизложенного методика исследований включала в себя следующие элементы:

1. Выявление закономерностей функционирования площадки древесного топлива с учетом колебаний месячных объемов поставок топливной древесины на мини-ТЭЦ и отсутствия сезонного характера ее сжигания;

2. Компьютерное имитационное моделирование устойчивого функционирования площадки древесного топлива, основными этапами которой являлись [1–3]:

– последовательное вычисление разности между случайными значениями коэффициентов неравномерности поставки и потребления топливной древесины, генерируемые в соответствии с установленными законами распределения;

– суммирование полученных данных так, чтобы их сумма не перешла границы площадки древесного топлива (от 0 до вместимости площадки  $W_{отн}$ );

– фиксирование случаев, когда запас древесины был равным этим предельным границам и условно мог их превзойти;

– частное от деления количества таких случаев на общее число реализаций (вероятности отсутствия древесного топлива на площадке или ее переполнения) фиксируется программой и выводится на экран.

Для получения результата с достоверностью 0,99 произведен расчет необходимого числа итераций. Число повторов для каждой рассчитанной точки графика составило 1200, что соответствовало 100 годам функционирования площадки древесного топлива.

На основании полученных и обработанных экспериментальных данных о потоках древесного топлива в условиях круглогодичного спроса на щепу, а также разработанного алгоритма и программы расчета в пакете MATHCAD 14, установлено:

- неравномерность поставок и потребления древесного топлива на мини-ТЭЦ приводят к снижению загрузки машин и оборудования, потерям рабочего времени и т. д.;

- характер протекания поставки и потребления древесного топлива внутри года индивидуален для каждого предприятия, поэтому требует знания численных параметров фазовых работ конкретных предприятий;

- показателем, совокупно учитывающим влияние основных факторов на величину месячных объемов поставки и потребления древесного топлива, может быть коэффициент неравномерности  $K(t_i)$ ;

- при относительно постоянных условиях функционирования предприятий достоверные данные можно подучить на основании пяти последних лет работы;

- вероятности переполнения площадки древесного топлива и отсутствия сырья на ней резко снижаются с ростом относительной вместимости склада от 1,5 до 2,5 среднемесячных объемов производства;

- оптимальное значение вместимости площадки древесного топлива соответствует минимуму удельных приведенных затрат непосредственно по складу древесного топлива, смежным операциям и потерь сырья при хранении.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Леонов Е.А. Исследование хранения древесного топлива у потребителей // Труды БГТУ. №2. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. 2009. № 2. С. 89–93.

2. Леонов Е.А. Модель склада древесного топлива // Труды БГТУ. №2. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. 2011. № 2. С. 135–139.

3. Леонов Е.А. Устойчивое снабжение энергообъектов древесным топливом с созданием минимально необходимых запасов // Труды БГТУ. №2. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. 2014. № 2. С. 17–19.

УДК630\*372

А. О. Шошин, асп., С. П. Мохов, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск);  
В.А. Коробкин, зам. ген. конструктора, д-р техн. наук (ОАО МТЗ, г. Минск)

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА  
ТРЕЛЕВКИ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ КАНАТНОЙ ТРЕЛЕВОЧНОЙ  
УСТАНОВКОЙ НА БАЗЕ ТРАКТОРЕ МТЗ 1221**

Фундаментальные основы в области канатного транспорта и общей теории стального каната заложили Дукельский А.И., Савин Г.Н., Горошко О.А., Малиновский В.А., Качурин В.К., Глушко М.Ф. и др. Исследованием работы канатных трелевочных установок занимались известные советские и зарубежные ученые, такие как Алябьев В.И., Коротяев Л.В., Белая Н.М., Ходосовский М.В., Скобей В.В., Мартинцив М.П., Адамовский Н.Г., Матвеев Э.Н., Лыко Я.А., Бадера И.С., Барияляк В.В., Рудько И.М. и др.

Изучались вопросы динамики канатной системы при выполнении операций трелевки, подъема, стопорения лесоматериалов, множество трудов посвящено математическому моделированию работы стального каната в виде гибкой нити и др. При этом авторами незаслуженно был оставлен без внимания вопрос взаимодействия канатной системы и естественных препятствий, возникающих при трелевке. Данный вопрос особенно актуален для природно-производственных условий заболоченных лесосек Республики Беларусь, характерной особенностью для которых являются высокие пни порослевого происхождения.

Важной особенностью процесса перемещения лесоматериалов волоком или в полуподвесном положении является возникновение в канатной трелевочной системе фрикционных релаксационных автоколебаний. Такие автоколебания отличаются от гармонических и сопровождаются остановками и скачками скорости. Данная особенность была учтена в разработанном математическом описании.

Принципиальными отличиями от уже существующих расчетных моделей является возможность учитывать геометрические размеры препятствия при выполнении трелевки и подтрелевки, введение полиспафта в линию тягово-подъемного каната, учет особенностей мобильного транспортного средства и металлической опоры.

При разработке математического описания, включающего 21 степень свободы, использовались уравнения Лагранжа 2-го рода, которые в отличие от способов с использованием 2-го закона Ньютона и принципа Германа-Эйлера-Даламбера, наиболее подходит для описания сложных колеблющихся систем.

Были приняты допущения для исключения излишней усложненности модели, которые не должны значительным образом влиять на точность:

– привод канатной установки принимаем эквивалентным системе,

представленной в виде сосредоточенных масс, которые соединены между собой упругими и диссипативными элементами.

- несущий канат имеет форму двух цепных линий, пересекающихся в месте нахождения грузовой каретки;

- влияние промежуточных и конечных опор на изменение жесткости системы учтено с помощью приведенного модуля упругости системы канат-опоры;

- тягово-грузоподъемный и возвратный канаты рассматриваются как нагруженные собственным весом идеально гибкие упруго-вязкие нити, в виде реологической модели вязко-упругоготела Кельвина-Фойгта;

- массы жестких тел являются постоянными (за исключением переменной массы и моментов инерции приводных барабанов);

- коэффициенты продольной жесткости подвижных канатов являются переменными и зависят от длин участков канатов между грузовой кареткой и приводом;

- положение любой сосредоточенной массы в любой момент движения можно определить через соответствующие координаты (угловые – для масс, осуществляющих вращательное движение, и линейные – для масс с поступательным движением);

- конструктивные элементы привода с большими массами и жесткостями считают абсолютно жесткими с массой, сосредоточенной в центре тяжести;

- коэффициенты крутильной жесткости упругих элементов привода являются постоянными;

- участки подвижных тягово-грузоподъемного и обратного канатов рассматривают как гибкие нити, которые работают только на растяжение. Характер деформации подвижных канатов принят линейным, а общее перемещение сечений каната принято условно продольным;

- сила трения скольжения лесоматериала по волоку без препятствий задается уравнением фрикционных релаксационных автоколебаний;

- диссипативные силы пропорциональны скорости деформации упругих звеньев (упруго-вязкие свойства подчиняются гипотезе Фойгта);

- поперечные и крутильные колебания подвижных канатов не учитываются;

- диссипативная функция имеет линейный характер и зависит от коэффициентов сопротивления движению отдельных элементов установки.

Вывод: разработанное математическое описание процесса работы мобильной канатной трелевочной установки в виде нестационарной, голономной, детерминированной системы позволит определять нагрузки в основных узлах системы в зависимости природно-производственных условий и выполнять расчет необходимой мощности привода установки.

УДК 69.00.2.5

М. Т. Насковец, канд. техн. наук, проф. ;  
Н.В. Хорошун, начальник отдела промышленного производства  
Министерства лесного хозяйства РБ, м.э.н., м.т.н.,  
доцент кафедры ОП и ЭН  
(БГТУ г. Минск)

### **К ВОПРОСУ О СИСТЕМЕ МАШИН ДЛЯ СОДЕРЖАНИЯ И ТЕКУЩЕГО РЕМОНТА ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ДОРОГ**

Государственной программой строительства лесохозяйственных дорог в 2011–2015 годах в лесах Республики Беларусь предусматривалось ежегодное строительство не менее 100 км лесохозяйственных дорог. Всего за 2011–2015 годы построено и введено в эксплуатацию 570,1 км при плане 568,2 км. Согласно разработанной Подпрограмме строительства лесохозяйственных дорог в 2016–2020 годах в 2016 году при плане 100 км введено 101,2 км дорог.

Лесохозяйственные дороги, как и другие инженерные сооружения, требуют постоянного ухода, своевременного устранения разрушений, появившихся в процессе эксплуатации. Разрушение дорог, а также износ покрытия происходят как от воздействия нагрузок от автомобильного транспорта, так и в результате и влияния природно-климатических и иных факторов, к которым также относятся и лесные пожары.

В настоящее время при содержании и ремонте лесохозяйственных дорог в лесах Республики Беларусь в летний период имеют место более 10 видов ремонтных работ. Осенью лесохозяйственные дороги готовят к зиме. В зимний период основным видом работ по содержанию дорог является уборка снега и борьба с гололедом. Для обеспечения безаварийного движения зимой, особенно во время оттепелей, на уклонах, поворотах и перекрестках создаются запасы материалов, уменьшающих скольжение: мелкого гравия, золы, шлака или песка.

Ремонт и содержание играют главную роль в обеспечении нормального технического состояния лесохозяйственных дорог. Однако, несмотря на исключительную важность, эти работы не обеспечены в полной мере средствами механизации, и некоторые виды их выполняются вручную или малоэффективным оборудованием, иногда бессистемно.

В лесной отрасли Беларуси назрела проблема создания собственной системы машин для содержания и ремонта лесохозяйственных дорог. Данная система машин призвана обеспечить повышение эффективности содержания и ремонта лесохозяйственных дорог, увеличить экспортный потенциал строительной техники, производимой в Республике Беларусь, сэкономить финансовые ресурсы государственных лесохозяйственных учреждений за счет исключения дублирования разработки однотипных машин отечественными производителями.

Анализируя имеющийся опыт можно констатировать, что система машин, имеет региональный характер, так как ориентирована на отечественного производителя техники и содержит рекомендации по комплектам специализированных машин для отечественных базовых шасси и энергетических модулей.

В настоящее время машиностроительными предприятиями ОАО «Минский тракторный завод», ОАО «Минский автомобильный завод», ОАО «Амкодор» – управляющая компания холдинга» и другими выпускается специализированная дорожная техника. Анализ модельного ряда выпускаемой техники для строительной и аграрной отраслей народного хозяйства Беларуси представляет возможным предложить систему машин для ремонта и содержания лесохозяйственных дорог Республики Беларусь в летний и зимний период.

Создание парка отечественной строительной техники по объективным и субъективным причинам запаздывает, в т.ч. и по причине потери времени на приобретение негативного опыта. Естественно, заблаговременное создание системы машин под перспективные технологии и материалы позволит выиграть время для машиностроителей, и на момент внедрения перспективных технологий или материалов будет уже готова адаптированная под нее машина. Опыт создания отдельных фрагментов системы машин указывает на схожесть машин независимо от отрасли строительного комплекса, что позволяет создавать многофункциональные технические средства, имеющие не только одинаковые базовые машины, но и агрегируемое оборудование, отличающееся лишь исполнением конечного элемента – рабочего органа.

В перспективном плане ОАО «Амкодор» – управляющая компания холдинга» заложена проектируемая машина – мульчирователь АМКОДОР 2021. Естественно, для ухода за лесными массивами и их защиты, создания противопожарных полос, а также строительства, эксплуатации и ремонта лесохозяйственных дорог данная перспективная машины требуется, и должна входить в комплекс машин. В этой связи Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь полагает целесообразным спроектировать энергетическое средство со следующим набором сменного навесного оборудования типа: кусторез; фронтальный мульчер и мульчер для обочин; агрегат для переработки порубочных остатков; плуг – фреза; грейдер; виброкаток; виброплита; дробилка; косилка для обочин; сверло, бур и другие агрегаты и оборудование.

На основании изложенного, можно сделать вывод, что создание системы машин для круглогодичного содержания и ремонта лесохозяйственных дорог, позволяющей осуществлять весь комплекс восстановительных и ремонтных работ обосновано необходимо.

УДК 630\*383.4

М.Т. Насковец, проф., канд. техн. наук  
Н.И. Жарков, ст. науч. сотр.  
(БГТУ, г. Минск)

Н.В. Хорошун, начальник отдела управления производства и  
реализации продукции МЛХ  
(МЛХ, г. Минск)

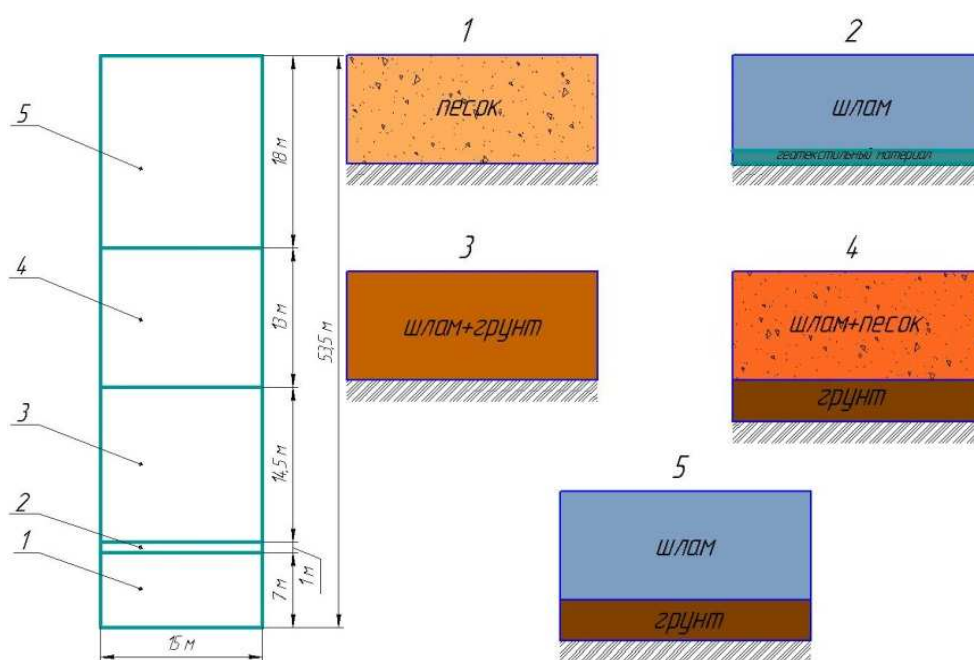
## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СОСТАВОВ НА ОСНОВЕ ГЛИНИСТО-СОЛЕВЫХ ШЛАМОВ НА ОПЫТНЫХ УЧАСТКАХ**

На основании анализа структуры и производственной деятельности государственных лесохозяйственных учреждений (лесхозов), расположенных в зоне размещения ОАО «Беларуськалий», для проведения научных исследований проведена закладка объектов опытного строительства в квартале № 69 на территории противопожарного разрыва Уречского опытно-производственного лесничества Слуцкого лесхоза (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Общий вид противопожарного разрыва**

Для проведения дальнейших экспериментальных исследований была разработана схема опытного участка и конструкции закладываемых объектов (рисунок 2). В качестве исходных материалов были выбраны: песчаный грунт, ПГМ, геосинтетика, естественный грунт.



1 – песчаный грунт; 2 – шлам на геосинтетическом материале, уложенные на естественный грунт; 3 – ПГМ, перемешанный с естественным грунтом; 4 – ПГМ, перемешанный с песком, уложенные на естественный грунт; 5 – ПГМ, уложенный на естественный грунт

**Рисунок 2 – Схема и конструкции заложения объектов на опытном участке**

Формирование каждого объекта проводилось дорожно-строительной машиной – челюстным автопогрузчиком (рисунок 3).



**Рисунок 3 – Технологический процесс устройства и вид объектов опытного участка**

На объектах опытного участка определяли физико-механические свойства составов: влажность, объемная масса, прочностные характеристики (таблица 1-3).



**Таблица 1 – Данные определения естественной влажности**

Тип грунта	Влажность грунта $W$ , %
ПГМ	35,74
Песчаный грунт	16,05
ПГМ с песчаным грунтом	24,51
Естественный грунт	23,5
ПГМ с естественным грунтом	26,86

**Таблица 2 – Данные определения объемной массы**

Тип грунта	Объемная масса грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Объемная масса скелета грунта $\rho_{ск}$ , г/см <sup>3</sup>
ПГМ	1,59	1,13
Песчаный грунт	2,89	2,44
ПГМ с песчаным грунтом	3,11	2,55
Естественный грунт	1,63	1,53
ПГМ с естественным грунтом	2,68	2,16

**Таблица 3 – Данные определения прочностных характеристик, МПа**

Тип грунта	Число ударов гири, N	Модуль деформации, $E_0$	Модуль упругости, $E_y$	Несущая способность, $p$
Песчаный грунт	8	9,3	32,5	0,082
ПГМ	4	6,2	21,7	0,054
Песчаный грунт	6	9,3	32,5	0,082
ПГМ с песчаным грунтом	5	7,75	27,12	0,068
Естественный грунт	3	4,65	5,4	0,041
ПГМ с естественным грунтом	4	6,2	21,7	0,054

УДК 630\*383

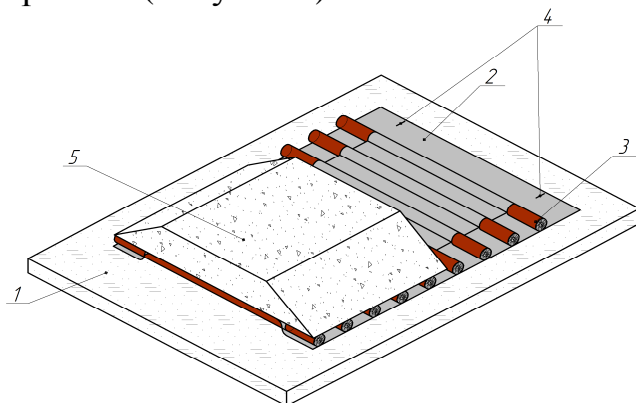
М.Т. Насковец, проф., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск);  
 А.А. Борозна, проф., канд. техн. наук (СПбГЛТУ, г. Санкт-Петербург)  
 А.К. Бовтрель, магистрант (БГТУ, г. Минск)

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В КОНСТРУКЦИЯХ ЛЕСНЫХ ДОРОГ

В практике дорожного строительства в Республике Беларусь и Российской Федерации приходится сталкиваться с решением задач по прокладке трасс автомобильных дорог, проходящих по участкам местности с различными типами грунтов. В настоящее время имеются эффективные конструкции, применяемые в различных грунтово-гидрологических условиях, позволяющие обеспечить проезжаемость большегрузного автотранспорта. Вместе с тем, особые трудности при эксплуатации транспортных путей возникают, когда основанием дороги служат мелкозернистые и пылеватые песчаные грунты либо торфяные и болотные, а также суглинистые и глинистые грунты. Для того, чтобы обеспечить движение транспортных средств по дорогам, устраиваемым на таких грунтах, необходимо как можно полнее учитывать еще и специфику работы дорожных конструкций с учетом воздействия подвижной нагрузки от колес большегрузных лесовозных автопоездов. Однако учесть все многообразие факторов, влияющих на работоспособность дорожных конструкций, задача сложная и она решается для каждого конкретного случая в отдельности.

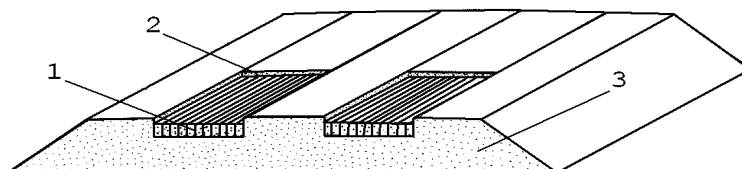
Вместе с тем следует сказать, что одним из наиболее эффективных способов решения задач повышения прочностных характеристик дорожных конструкций, устраиваемых на лесных дорогах, является введение в различные конструктивные слои или укладка на их границе геосинтетических прослоек из геосинтетических материалов.

Наиболее часто встречаемые в практике дорожного строительства горизонтальные прослойки из геосинтетических материалов (Рисунок 1).



1 – основание из слабого грунта; 2 – прослойка из геосинтетического материала; 3 – поперечные элементы; 4 – прорезы, симметричные оси дороги; 5 – земляное полотно

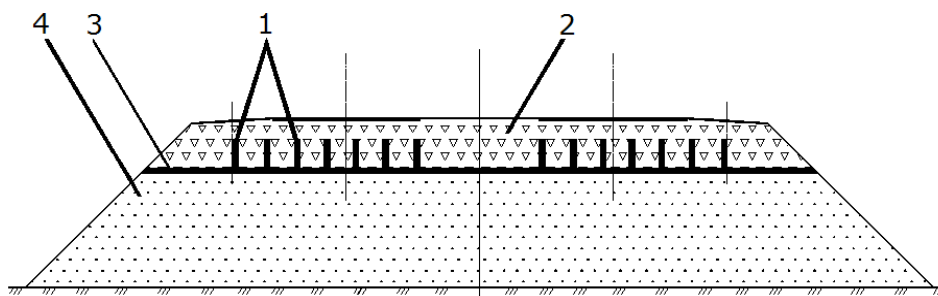
**Рисунок 1 – Насыпь с горизонтальной прослойкой и разреженным настилом**  
 К перспективным видам геосинтетических материалов необходимо отнести разработанные конструктивные решения в виде вертикальных полос, размещаемых в слоях дорожных одежд для их усиления (Рисунок 2).



1 – вертикальные упрочняющие прослойки; 2 – слой износа  
 3 – грунтовое основание

**Рисунок 2 – Колейная дорожная конструкция с вертикальными упрочняющими прослойками**

Апробированы также комбинированные прослойки их сочетания горизонтальных полотен с прикрепленными к ним перпендикулярно полосами (Рисунок 3).



1 – вертикальные полосы; 2 – дорожная одежда; 3 прослойка из геосинтетического материала; 4 – земляное полотно

**Рисунок 3 – Конструкция покрытия с комбинированной прослойкой**

Имеются разработки по использованию геосеток и объемных георешетчатых конструкций для усиления дорожного полотна (рисунок 4).



**Рисунок 4 – Применение геосеток для устройств дорожных одежд**

УДК 630\*383

М.Т. Насковец, проф., канд. техн. наук;  
 Н.И. Жарков, ст. науч. сотр.;  
 А.К. Бовтрель, магистрант  
 (БГТУ, г. Минск)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОТХОДОВ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА И КОНСТРУКЦИИ ПОДЪЕЗДНЫХ ПУТЕЙ НА ИХ ОСНОВЕ

Основными источниками образования древесных отходов являются различные лесопромышленные комплексы, деревоперерабатывающие комбинаты и целлюлозно-бумажные предприятия.

Предприятия лесопильно-деревообрабатывающего и химико-лесного комплексов получают древесину в основном в неокоренном виде. В зависимости от породы, возраста, участка ствола и других факторов на долю коры приходится от 8 до 15% объема древесины. При длительном хранении коры происходит ее частичное разложение с образованием соединений фенольного ряда, которые смываются осадками и талыми водами в окружающую среду, поэтому утилизация этих отходов, вовлечение их в промышленную переработку является весьма актуальной народнохозяйственной и экологической задачей.

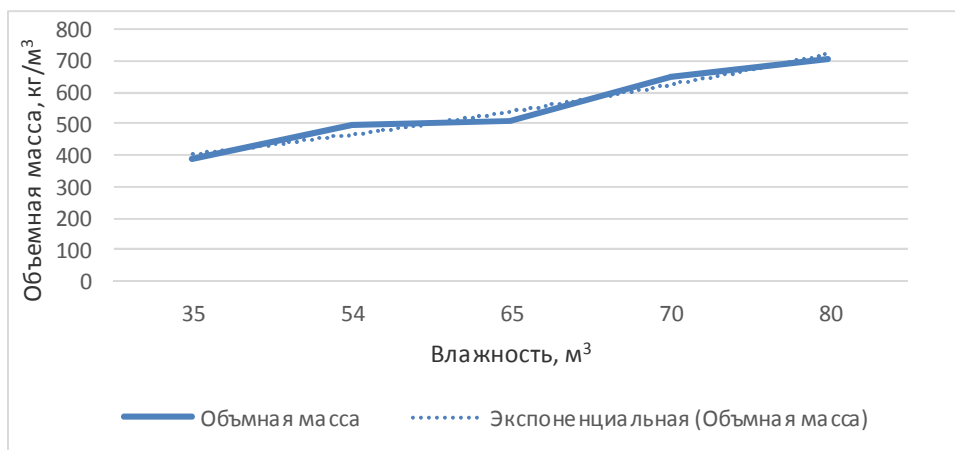
Одним из направлений использования таких отходов может являться их применение при строительстве различного рода транспортно-технологических путей, которые устраиваются на лесных территориях для обеспечения вывозки древесины и проведения лесохозяйственной деятельности.

Для изучения возможности применения данного вида отходов в дорожных конструкциях были исследованы различные их физико-механические свойства. В частности, как наиболее значимого параметра, для проведения дорожно-строительных работ определялся коэффициент уплотняемости таких отходов (таблица 1).

**Таблица 1 – Результат определения коэффициент уплотняемости**

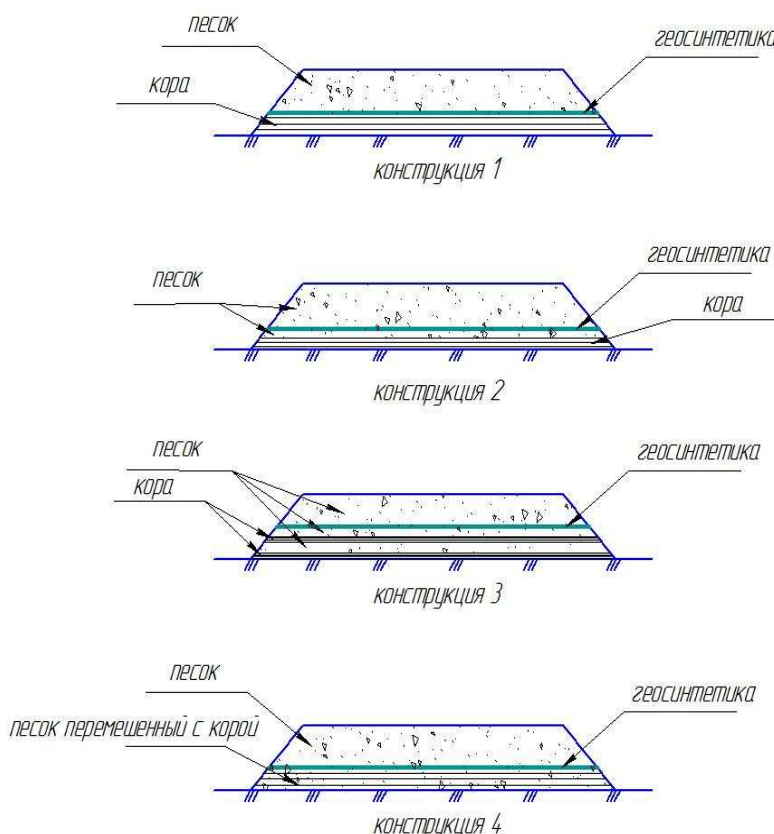
	Масса не уплотненной, кг	Масса уплотненной, кг	Объемная масса не уплотненной, кг/м <sup>3</sup>	Объемная масса уплотненной, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент уплотняемости короотходов
1	0,53	1,1	265	550	2,08
2	0,52	0,97	260	485	1,87
3	0,51	0,91	255	455	1,87
4	0,54	1,1	270	550	2,04
5	0,56	0,99	280	495	1,77

Следует отметить, что на степень уплотнения массы короотходов большое влияние оказывает влажность (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Зависимость объемной массы от влажности коры**

В результате исследований установлено, что наиболее эффективно данные отходы уплотняются при повышенном значении влажности (до 80%). Для практического применения разработаны и предложены следующие конструктивно-технологические решения (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Конструкции покрытий**

УДК 630\*377.4

В.С. Исаченков, ассист.;  
 В.А. Симанович, канд. техн. наук, доц.; А.Ю. Путрич, студ.  
 (БГТУ, Минск)

## ОБОСНОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОЛЕСНЫХ ТРЕЛЕВОЧНЫХ ТРАКТОРОВ ПРИ ОСВОЕНИИ ТРУДНОДОСТУПНЫХ ЛЕСОСЕК НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

На заготовке древесного сырья в настоящее время в Республике Беларусь используются колесные трелевочные трактора. Недостатком конструкции канатно-чокерного трелевочного оборудования таких машин является ее несовершенство, особенно при работе на грунтах с низкой несущей способностью. В случае буксования трактора, приходится оставлять пачку деревьев, выезжать на более доступное место, подтягивать ее к технологическому оборудованию, что приводит к увеличению времени транспортировки, и в конечном итоге снижению производительности (рис.1, рис.3а и рис.3б).

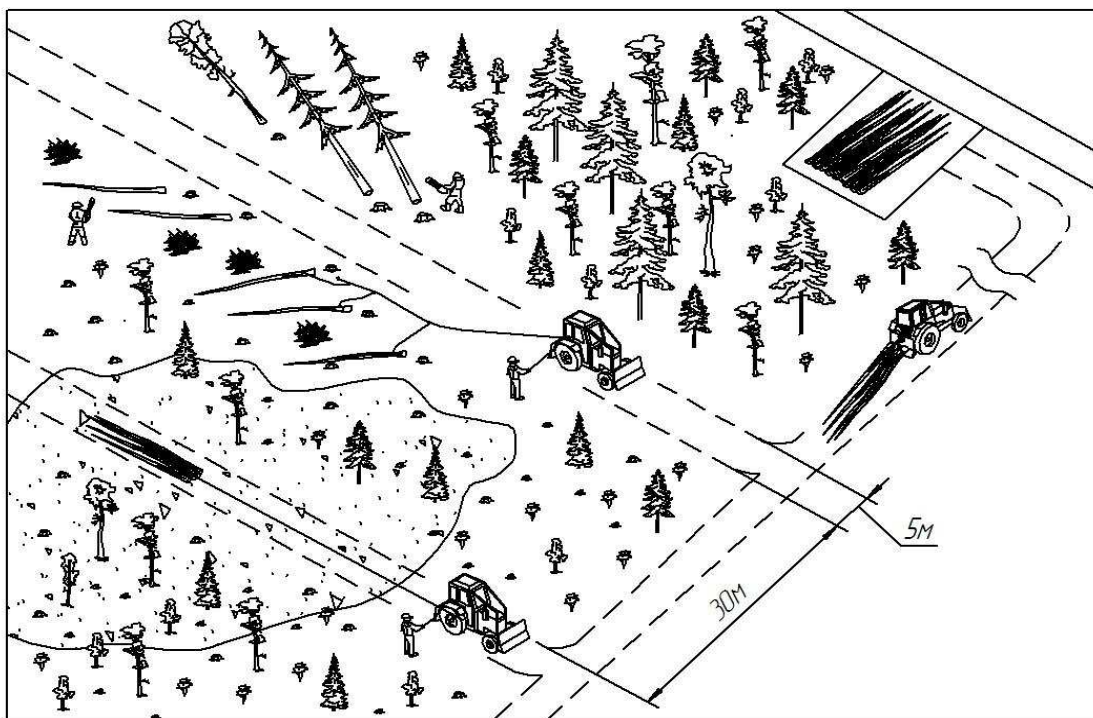
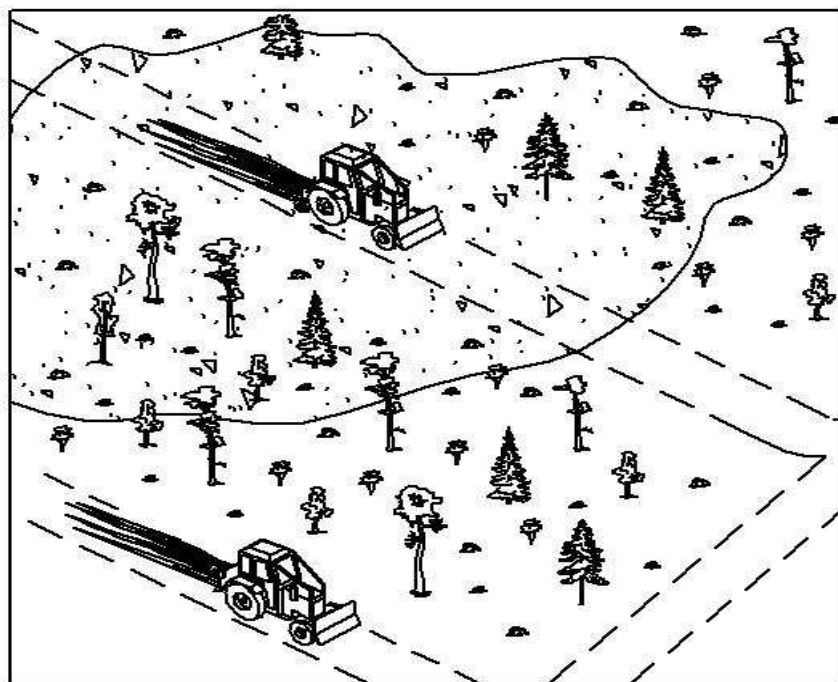


Рисунок 1 – Цикл трелевки при стандартном технологическом оборудовании

Для решения данной задачи на кафедре ЛМиТЛЗ было предложено изменить конструкцию технологического оборудования с установкой дополнительной опорной оси (рис. 2). В начальный момент

буксования технологическое оборудование переводится из навесного положения в прицепное, что позволяет исключить технологический прием по сбросу пачки, и колесный трелевочный трактор преодолевает проблемный участок не теряя темпа работы. После преодоления указанного участка модернизированное технологическое оборудование переводится в навесное положение.

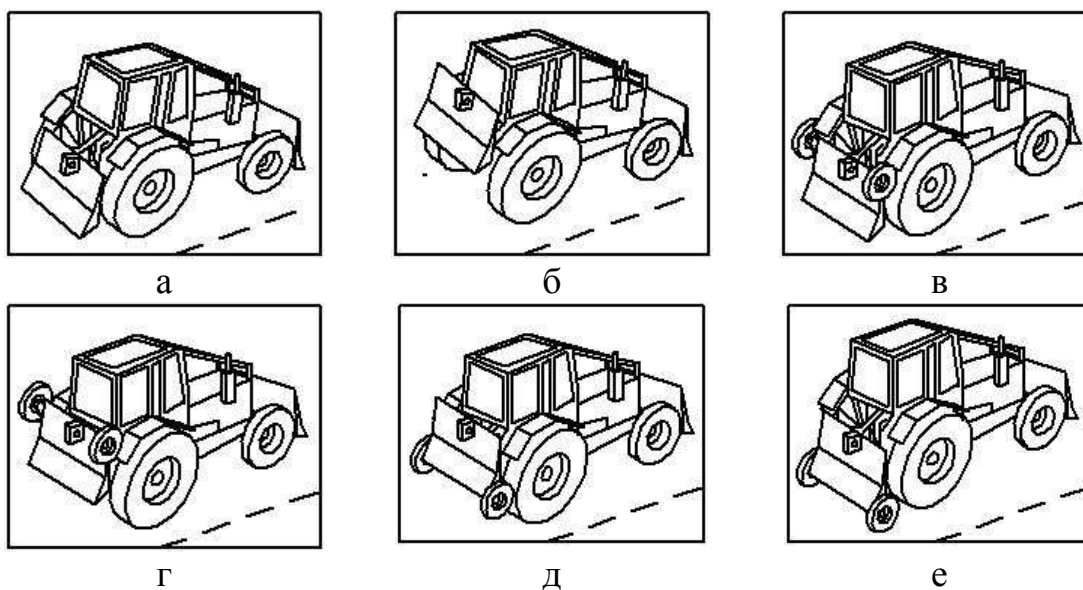


**Рисунок 2 – Технологический цикл трелевки при модернизированном технологическом оборудовании**

Колесный трелевочный трактора с модернизированным технологическим оборудованием при сборе и трелевке древесины работает следующим образом. Двигаясь по лесосеке, тракторист подъезжает к заранее поваленным деревьям, разворачивает колесное шасси транспортного средства. Управляя гидравлической системой из кабины, опускает щит до упора в землю, распускает канат и собирает пачку деревьев, подтаскивая ее к щиту (рис. 3в). В последующем гидравликой из кабины тракторист приподнимает щит и транспортирует пачку деревьев к месту разгрузки (рис. 3г).

В случае движения трактора по грунтам с низкой несущей способностью тракторист, управляя гидравликой из кабины транспортного средства, переводит дополнительную ось в крайнее нижнее положение относительно щита (рис. 3д). Под собственным весом пачка деревьев и щит становятся на дополнительную ось (рис. 3е). В этом

случае задний мост транспортного средства частично разгружается, а базовая машина работает как тяговое средство.



**Рисунок 3 – Положение технологического оборудования**

Часть нагрузки от пачки деревьев передается на дополнительную ось. Дополнительная ось выполнена и закреплена на щите так, чтобы при движении в случае преодоления труднодоступных мест ее колея смещена внутрь относительно колеи машины. В последующем транспортное средство выезжает на более доступное место, а тракторист приводит технологическое оборудование в транспортное положение, т.е. приподнимает щит, воздействуя на рычаги гидравлической системы трелевочного трактора (рис.3д). После приведения технологического оборудования в транспортное положение ось так же переводится в транспортное положение (рис.3г).

В случае преодоления препятствия повторно, операция по переводу технологического оборудования и дополнительной оси при преодолении труднопроходимых участков повторяется в последовательности, описанной выше.

При работе такой конструкции технологического оборудования значительно снижается повреждение поверхностного слоя грунта с растительностью, что приводит к быстрому восстановлению биологического разнообразия. Такая конструкция позволяет снизить нагрузки на поверхностный слой при преодолении труднопроходимых участков волока при трелевке. Одновременно достигается эффект совершенствования конструкции и повышение производительности работ на трелевке.



УДК 630\*377.4

В.С. Исаченков, ассист.;  
 В.А. Симанович, канд. техн. наук, доц.;  
 В.В. Климко, магистрант  
 (БГТУ, Минск)

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИЦЕПНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ТРЕЛЕВКЕ

В Республике Беларусь на заготовке древесного сырья в настоящее время используются колесные трелевочные трактора с канатно-чokerным технологическим оборудованием (рис.1а).



а

а – стандартное оборудование;

б – модернизированное оборудование

**Рисунок 1 – Колесный трелевочный трактор с канатно-чokerным технологическим оборудованием**

Основными потерями производительности на трелевке, для данных машин, при работе на почвогрунтах со слабой несущей способностью является необходимость сброса пачки, с последующей ее подтаскиванием.

Для решения данной задачи на кафедре ЛМиТЛЗ было предложено изменить конструкцию технологического оборудования с установкой дополнительной опорной оси (рис.1б). В начальный момент буксования технологическое оборудование переводится из навесного положения в прицепное, что позволяет исключить технологический прием по сбросу пачки, и колесный трелевочный трактор преодолевает проблемный участок не теряя темпа работы. После преодоления указанного участка модернизированное технологическое оборудование переводится в навесное положение.

**Таблица 1**

Объем трелюемой пачки, м <sup>3</sup>	Расстояние трелевки, м					
	50	100	150	200	250	300
0,15	7,37	6,36	5,61	5,01	4,53	4,13
0,26	11,97	10,43	9,25	8,31	7,54	6,9
0,65	27,84	24,32	21,63	19,48	17,69	16,23
0,85	37,74	33,02	29,4	26,5	24,08	22,1
1,28	56,2	49,24	43,9	39,59	36,01	33,06
1,5	63,75	56,08	50,14	45,3	41,32	38,01
1,7	71,48	62,97	56,36	51	46,51	42,8

В результате производственных испытаний была определена производительность колесного трелевочного трактора оснащенного как стандартным технологическим оборудованием (таблица 1), так и модернизированным (таблице 2).

**Таблица 2**

Объем трелюемой пачки, м <sup>3</sup>	Расстояние трелевки, м					
	50	100	150	200	250	300
0,15	13,26	10,32	8,48	7,19	6,28	5,5
0,26	20,52	16,37	13,64	11,7	10,22	9,09
0,65	46,89	37,71	31,62	27,22	23,85	21,26
0,85	63,08	50,92	42,8	36,91	32,39	28,9
1,28	93,26	75,54	63,65	54,98	48,31	43,15
1,5	103,59	84,76	71,89	62,42	55,05	49,31
1,7	115,4	94,71	80,51	70,01	61,82	55,43

Сравнительный анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о целесообразности применения для колесных трелевочных машин модернизированного канатно-чokerного технологического оборудования при трелевке древесного сырья на участках с почвогрунтами со слабой несущей способностью.

УДК 625.711.84

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

## **ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ШИН ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН И ПУТИ ИХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ**

Важным вопросом решения проблемы негативного влияния колесных лесозаготовительных машин на лесную экосистему является оценка взаимодействия ходовой системы с почвогрунтом.

Непосредственный контакт колесного движителя с почвогрунтом осуществляется через пневматическую шину, потому от ее эксплуатационных и технических характеристики зависят и эффективность работы машины, и состояние почвогрунта после прохода техники.

Пневматическая шина представляет собой резинокордную оболочку, заполненную сжатым воздухом и обладающей эластичностью во всех направлениях.

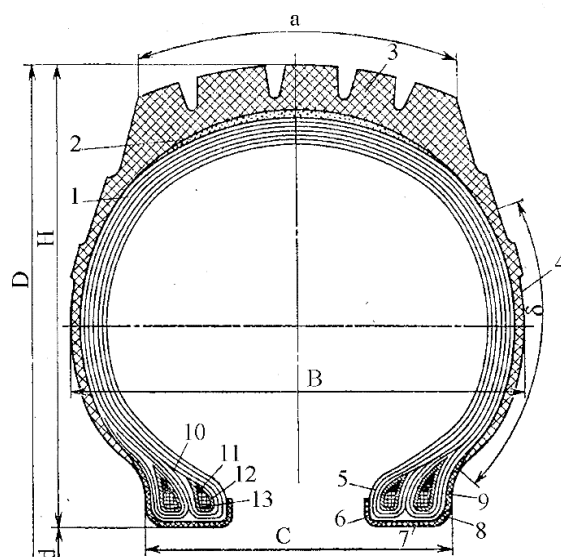
В зависимости от условий эксплуатации колесной техники, к конструкции шин могут предъявляться особые требования. Так, исходя из характера работы техники на лесосеке шины ЛЗМ должны иметь минимальное сопротивление качению, высокую износостойкость и долговечность при минимальной массе, обеспечивать амортизацию ударов и безопасность движения, самоочищаемость беговой дорожки при движении машины по деформируемым грунтам. Так же важным требованием является обеспечение минимального воздействия на почвогрунт.

Конструкция пневматической шины включает в себя покрышку (рисунок 1), камеру или герметизирующий слой, а также ободную ленту (она отсутствует в колесах с глубоким ободом).

Особенностями конструкции и характеристик шин, устанавливаемых на лесную колесную технику, является: надежная конструкция каркаса; дополнительное армирование боковых стенок; стальной армированный обод; рисунок протектора повышенной проходимости; низкое и сверхнизкое внутреннее давление воздуха в шине; использование систем автоматического регулирования внутреннего давления воздуха в шине.

Пути совершенствования конструкции шин для ЛЗМ:

– рациональный подбор типоразмерных характеристик шин для повышения контактной площади между шиной и почвогрунтом для снижения уплотнения почвогрунта;



1 – каркас; 2 – брекер; 3 – протектор; 4 – боковина; 5 – борт; 6 – пятка борта; 7 – основания борта; 8 – носок борта; 9 – бортовая лента; 10 – крыльевая лента; 11 – наполнительный шнур; 12 – обертка; 13 – бортовая проволока; В – ширина профиля; С – ширина раствора бортов; D – наружный диаметр; H – высота профиля; а – корона (беговая дорожка); б – боковина; d – посадочный диаметр

**Рисунок 1 – Общий вид покрышки пневматической шины**

– вариации рисунка протектора и формы грунтозацепов для уменьшения максимальной глубины колеи и снижения максимального давления на почвогрунт;

– изменение конструкции каркаса шины для снижения ее радиальную жесткость и увеличения площади пятна контакта.

Последнее направление совершенствования конструкции шины перспективно в случае применения новых материалов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Симанович, В. А. Колеса и шины лесных и лесотранспортных машин: учебное пособие / В. А. Симанович, В. А. Демидов, Д. В. Клоков. – Мн. : БГТУ, 2005. – 84 с.

2. Складенко, М. Шины для лесозаготовительной техники / М. Складенко. – Леспромформ. – 2012. – №3 (85). – С. 78–80.

3. Жуков, А. В. Теория лесных машин: учебное пособие / А. В. Жуков. – Мн.: БГТУ, 2001. – 640 с.

УДК 630\*2:502.174

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

## **ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ОТ ВЛИЯНИЯ ПРИРОДНЫХ КАТАСТРОФ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Беларусь часто страдает от стихийных бедствий, связанных с климатом – ураганных ветров, снеголомов, усыханий и др. Эти явления будут увеличиваться с изменением климата. Влияние изменения климата на леса уже наблюдается прямо и косвенно в Беларуси (изменение уровня грунтовых вод, распространение вредителей и ухудшение состояния насаждений из-за болезней). В течение 2011–2015 гг. из-за неблагоприятных погодных условий (47,2%), пожаров (43,69%), лесных заболеваний (7,24%), повышенной влажности (1,84%) и др. факторов было уничтожено в общей сложности 50 889 га лесов. В Беларуси лесное хозяйство и сельское хозяйство определены как наиболее уязвимые сектора к изменению климата.

В июле 2016 года Витебская и Минская области пострадали от самого сильного урагана в течение последних 15 лет. Это привело к повреждению 15600 га насаждений общим запасом около 4,5 млн. м<sup>3</sup>. При этом ущерб не ограничивался только лесами. Все это приводит к значительным финансовым и экономическим потерям для сектора лесного хозяйства и увеличивает затраты на восстановление лесов.

Специалисты БГТУ в 2017–2018 гг. выполняют проект Республики Беларусь и Всемирного банка «Оценка текущих потерь и улучшение экономического анализа затрат на происходящие в настоящее время катастрофические события в лесном секторе, связанные с климатом, основанные на международном опыте»<sup>1</sup>.

**Целью работы** является улучшение экономической оценки воздействия катастрофических погодных явлений на белорусские леса на основе проведения анализа имеющихся результатов исследований передовых стран в данной области, а также составление рекомендаций по совершенствованию экономической оценки с учетом существующей практики в Республике Беларусь.

<sup>1</sup> Проект выполняется при финансовой поддержке Глобального фонда по уменьшению опасности бедствий и восстановлению (GFDRR).



В соответствии с поставленной целью в процессе исследований выполняются две основные задачи:

*Задача А:*

- Проанализировать методику расчетов и измерений прямых объемов и потерь древесины в период с 2016 года и проведение дополнительных оценок;
- Оценить другие прямые потери. Например, дополнительные затраты на лесозаготовки, несчастные случаи, связанные с очисткой ветровалов, поврежденной инфраструктурой (дороги, мосты, линии электропередач и т. д.), потери недревесных продуктов, диких животных, для туризма, а также косвенные потери, такие как воздействие на почву и воду);
- Проанализировать планирование и реализацию операций по очистке и восстановлению участков лесфонда с учетом таких факторов, как эффективность, безопасность и последствия внезапного привлечения больших объемов древесины на рынок.

*Задача В:*

- Проанализировать экономические издержки, связанные с ветровалами в течение 2016 года и другими воздействиями, связанными с изменением климата (например, пожар, засуха, снеголом и т. д.), и методику их расчетов в Беларуси;
- Предложить новые методы для более точной оценки полных экономических потерь (а не только затрат на дополнительную очистку и подготовку площадки), включая воздействие на потерянный будущий прирост, снижение отпускных цен, местное сообщество и рабочую силу (например, путем внезапной активизация деятельности по очистке и восстановлению насаждений, за которой следуют более длительные периоды незапланированного отсутствия деятельности), недревесные лесные продукты и дикую природу, депонирование углерода и т. д.

Эта работа будет направлена на обеспечение эффективного лесоуправления и лесопользования и повышение устойчивости лесных насаждений при влиянии на них экстремальных погодных явлений с учетом изменений климата.

В рамках работы будет проанализирован размер ущерба от стихийных природных бедствий в лесах для древесной и недревесной продукции, экологии и социального фактора.

На основе проведенного анализа будут усовершенствованы экономические методики и методы оценки, позволяющие повысить оперативность и точность учета потерь в результате воздействия стихийных погодных явлений и затрат на их ликвидацию.

УДК 630\*36

П. А. Протас, доц., канд. техн. наук;  
Э. Д. Дудич, магистрант  
(БГТУ, г. Минск)

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОВЕДЕНИЯ НЕСПЛОШНЫХ РУБОК ГЛАВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

Важная роль в стратегии главного пользования отводится несплошным рубкам, под которыми понимается комплексная система лесовыращивания и рубок леса. Это система комплексного хозяйства в течение оборота рубки, обеспечивающая лесоводственно-экологический и социально-экономический эффект. Несплошные рубки обеспечивают увеличение размера пользования лесом за счет преимуществ выборочной формы хозяйства, оптимизацию пользования древесиной в условиях неравномерной возрастной структуры, позволяют более обоснованно решать вопросы соотношения главного и промежуточного пользования.

Начиная с 1994 года, наблюдается повышенный интерес к несплошным рубкам, их доля в общем объеме РГП стала постепенно увеличиваться, достигнув в 2006–2010 гг. – 14–15%; в 2011–2015 гг. – 17–19%. Основная часть несплошных рубок в разрезе групп пород распределяется неравномерно по областям, но везде доминируют постепенные рубки в хвойных древостоях.

В принятой в 2016 г. государственной программе «Белорусский лес» на 2016–2020 годы предусматривается выполнение «задачи 3», где одним из мероприятий является проведение несплошных рубок главного пользования в объеме не менее 20 % от общего объема заготовки древесины по рубкам главного пользования.

Следует отметить, что проведение несплошных рубок главного пользования может вестись как машинными комплексами, так и с применением бензопил. В БГТУ разработаны технологические схемы для разработки лесосек различными системами машин в зависимости от условий эксплуатации.

Таки образом можно сделать вывод, что потенциал у несплошных рубок главного пользования в Республике Беларусь достаточно большой. Однако необходим комплекс исследований с целью разработки рекомендаций, позволяющих внедрять данный вид рубок в условиях, при которых он будет наиболее эффективен.

УДК 630\*367

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

А. Зимелис, ассист., маг. техн. наук;  
(Латвийский государственный лесохозяйственный  
исследовательский институт «Силава», г. Саласпилс)

А. Савельев, доц., д-р. техн. наук;  
(Латвийский сельскохозяйственный университет, г. Минск)

### **ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ КОРЧЕВАТЕЛЯ НА БАЗЕ ЭКСКАВАТОРА «NEWHOLLAND»**

В настоящее время актуальным направлением является разработка и внедрение оборудования и машин для корчевки пней, что обеспечивает повышения эффективности использования древесного сырья. При небольшом объеме работ корчевка пней осуществляется с помощью ковша экскаватора.

В настоящее время ведутся работы по созданию более современных машин для корчевания. Так шведской фирмы «Gremo» представила радиоуправляемую машину с манипулятором и специальным корчевателем в виде изогнутой вилки с механизмом раскалывания.

При корчевке пней на отечественных предприятиях применялись лесные трактора с передней навеской рабочего органа в виде зубьев, что позволяло осуществлять корчевку за счет тягового усилия, подъемной силы или сочетания того и другого. Мозырский машиностроительный завод освоил выпуск корчевального оборудования МП-18-6, которое может навешиваться вместо бульдозерного отвала.

В странах Скандинавии для корчевания пней и корней, чаще всего применяются гусеничные экскаваторы со специальным оборудованием. На стрелу корчевальной машины на базе экскаватора навешивается: вилочный корчеватель, представляющий собой изогнутую вилку с несколькими зубьями или вилку с зубьями, копательной лопаткой и раскалывающим механизмом. При этом отсутствуют методики, позволяющие рекомендовать режимы эксплуатации данного оборудования и базового шасси. Учитывая, что эффективность применения манипуляторных корчевальных машин в значительной степени ограничены грузоподъемностью манипулятора, первоочередной задачей являлось установление зависимости влияния диаметра пня на усилие корчевки.

В данном направлении работ Савич В. Л., который установил зависимость вертикального усилия корчевки от диаметра пня, при этом погрешность результатов теоретических и экспериментальных исследований составила 8–10%.



Аналогичные исследования проводил Солдатенков В. И., которым установлено, что при удалении пней необходимо выделить две стадии формирования сил сопротивления. Первая стадия связана с внедрением рабочего органа в земляную поверхность вокруг корчюемого пня, в результате которого происходит перерезание как грунта, так и части корневой системы; вторая - связана с вертикальным подъемом пня.

Однако для моделирования процесса работы корчевателя на базе экскаватора «NEWHOLLAND» применялись результаты исследований Египко С.В., который установил необходимые усилия на корчевку пней вертикальным и горизонтальным движением. Разработанная с учетом вышеперечисленных результатов модель позволяет производить оценку устойчивости базового шасси манипуляторного типа при осуществлении операций корчевки, а также осуществлять оценку эффективности применения различных приемов работы в зависимости от уклона местности, диаметра пня и высоты его расположения, а также технических характеристик базового шасси.

В качестве базового был выбран экскаватор Newholland E215B, оценка поперечной устойчивости которого производилась на основании изменения реакций под гусеницами. При этом критическим считался момент времени, когда под одной из гусениц отсутствовала опорная реакция. Исследования показали, что данный корчеватель вертикальным усилием может эффективно осуществлять извлечение пней диаметром до 20 см на минимальном вылете манипулятора и до 45 см на максимальном.

В процессе исследований было установлено, что на процесс корчевания существенное влияние оказывают не только параметры базового шасси и корчюемого пня, но и приемы работы. Так при осуществлении корчевки вертикальным усилием потеря устойчивости базовым шасси наступает при меньших параметрах пня. В случае корчевки пней движением к себе под углом 45 градусов к вертикальной оси устойчивость против опрокидывания увеличивается на 28–33 %. При этом в случае корчевки в направлении близком к горизонтальному (под углом около 80 градусов к вертикальной оси) продольная устойчивость шасси обеспечивает возможность корчевки пней диаметром до 50 см на максимальном вылете. Однако при работе на грунтах с низкой несущей способностью существует вероятность бокового сползания.

Учитывая вышесказанное можно сделать вывод, что на устойчивость корчевателя существенное влияние оказывают не только параметры пней, но и параметры базового шасси, а также особенности технологического оборудования и приемы работы.

УДК 630\*383.4

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

## **УПРОЧНЕНИЕ ДОРОЖНЫХ ГРУНТОВ МАЛОЦЕМЕНТНЫМ ВЯЖУЩИМ С МИНЕРАЛЬНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ**

К настоящему времени накоплен большой опыт по применению как органических, так и неорганических вяжущих материалов для укрепления грунтов, используемых в дорожных конструкциях. Практика показала, что цементогрунтовые покрытия можно использовать на лесных автомобильных дорогах при условии защиты их слоем износа от непосредственного воздействия колес автопоезда. Однако технология укрепления грунта цементом до сих пор не получила широкого применения при строительстве лесных дорог.

Решающее значение для широкого применения в практику дорожного строительства цементогрунтовых слоев имеют следующие факторы: существенное снижение потребности в цементе при укреплении местных грунтов, высокие прочностные и деформативные свойства цементогрунта, соответствующие тяжелым условиям эксплуатации лесных дорог.

В результате проведены экспериментальные исследования и получены аналитические и графические зависимости физико-механических свойств укрепленных местных грунтов композиционным вяжущим различного гранулометрического состава, исходной влажности и др.

Разработанная методика подбора цементогрунта, укрепленного малоцементным вяжущим с минеральным наполнителем, имеет следующие преимущества:

- возможность выбора местных грунтов, наиболее пригодных для укрепления;
- более точное дозирование и равномерное распределение композиционного вяжущего в цементогрунте;
- возможность некоторого уменьшения дозировки вяжущих и других компонентов за счет применения отходов промышленных производств с обеспечением требуемого модуля упругости и прочности дорожной конструкции;
- снятие экологического налога с предприятий за счет использования их отходов при получении композиционного цемента;

УДК 630\*383.4

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

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛЕСОТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ С УЧЕТОМ ОЧЕРЕДНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ДОРОГ**

При планировании развития лесотранспортных сетей в экономических расчетах используют в основном прогнозную информацию – объемы вывозки, нормативы инвестиций, себестоимости перевозок, динамика возрастной структуры лесонасаждений. Определение перспективных объемов транспортных связей является наименее изученным этапом автоматизированной технологии проектирования лесотранспортной сети.

Для постоянного мониторинга лесотранспортных путей используется модуль разработанной программы – Макет 13 «Земли линейного протяжения»:

– ширина трасс лесных дорог, м, протяженность в границах квартала, км в обоих случаях с точностью до 0,1;

– для лесных автомобильных дорог, канав, каналов используются шифры состояния: 68 – состояние удовлетворительное и 69 – неудовлетворительное;

– назначение дороги: 1 – лесохозяйственная, 2 – лесовозная, 3 – пожарная, 4 – общего пользования, 5 – ветки.

– тип покрытия дорожного полотна и ширина проезжей части, м (точность 0,1): 1 – асфальтированные, 2 – бетонные, 3 – гравийные.

Определение периода строительства лесотранспортной сети производится на основе разработанного метода прогнозирования расположения лесотранспортных путей на долгосрочную перспективу.

Алгоритм разработанного метода прогнозирования расположения лесотранспортных путей на долгосрочную перспективу состоит в следующем:

1. Определяют рациональное размещение лесотранспортной сети.

2. Далее выбирают одно из приоритетных мероприятий, к нему добавляют мероприятия на соседних участках сети (условие последовательного строительства объектов) до исчерпания соответствующих ресурсных ограничений.

3. Затем распределяют транспортные связи с учетом «выполненных» мероприятий и проверяют соблюдение норм проектирования, вносят коррективы в список мероприятий, что меняет расход ресурсов на них и соответственно распределение по очередям.

УДК 630\*383.4

Е. И. Бавбель, доц., канд. техн. наук  
(БГТУ, г. Минск)

### **ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛЕСНЫХ ДОРОГ АВСТРИИ**

Австрия - горная страна, значительную территорию которого занимают Альпы - вытянутое горная гряда, состоящая из многих хребтов и массивов и круглых гор высотой до 3800 м. Среди разнообразных функций лесов Австрийским лесным законом охватываются такие четыре основные функции: коммерческая (хозяйственная), защитная, рекреационная и природоформирующая. 64,5% общей лесной площади используют целиком с эксплуатационной целью, а в защитных лесах ведется ограниченная хозяйственная деятельность, которая дает возможность получать доходы владельцам лесов, лесоведам и лесным работникам. Следует отметить, что в австрийских лесах более 100 лет принцип постоянного неистощающего лесопользования является главным законом ведения лесного хозяйства.

Поэтому австрийские леса характеризуются чрезвычайно хорошо развитой сетью лесных автодорог. Плотность дорог в лесных массивах составляет 3,5 - 7 км на 100 га. Лесные дороги имеют высокое качество дорожного полотна, что позволяет обеспечивать высокую скорость движения транспортных средств.

Лесозаготовку в частных и государственных лесах осуществляют специализированные предприятия, оборудованные специальной, созданной для работы в горных условиях, техникой. В государственных лесах работают крупные лесозаготовительные предприятия, которые строят лесные автодороги. В Австрии очень широкий размах приняло строительство и грунтовых лесных дорог на горных склонах. Только с 1950 по 1960 г. было построено 3 тыс. км новых дорог.

Главная задача проектирования лесных дорог состоит в том, чтобы с минимальными затратами на строительство и эксплуатацию проектируемой лесной дороги с учетом природно-климатических условий ее проложения в максимальной степени удовлетворить запросы пользователей дорог, обеспечив возможность непрерывного, удобного и безопасного движения с нормативными скоростями и установленными нагрузками

Параметры лесных дорог, имеют разные величины, что так же сдерживает эффективность транспорта на вывозке леса. Все это подтверждает о необходимости учитывать опыт ученых Австрии при разработке новой нормативной документации по проектированию и строительству лесных автомобильных дорог.

УДК 625.72:55

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

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДСМ НА ОСНОВАНИИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Проведенные нами экспериментальные исследования показывают, что в качестве физической модели упруго-вязкого слоя дорожной конструкции может быть принята модель "типичного тела". Закон деформирования которой имеет вид:

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

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

Испытывая любой дорожно-строительный материал, нас интересовала только зависимость "деформация — время". Затем, умышленно предполагая, что мы не можем построить кривую ползучести, а имеем только множество чисел  $\varepsilon$  (относительная деформация) и  $T$  (время).

Нами была составлена программа для выбора оптимальной функциональной зависимости из 16 видов кривых.

На основании анализа выданных результатов, убеждаемся в том, что данные совокупности чисел наиболее тесно связаны функциональной зависимостью вида:

$$\varepsilon = a * \exp(-\alpha * t) + c \quad (2)$$

Решая дифференциальное уравнение (1) относительно деформации, при нулевых начальных условиях имеем:

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma}{H} + \sigma \left( \frac{1}{E} - \frac{1}{H} \right) * \exp\left( - \frac{H * t}{E * n} \right), \quad (3)$$

что подтверждает о приемлемости закона деформирования (1) для дорожно-строительных материалов.

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.

УДК 630\*3

Р. О. Короленя, доц., канд. техн. наук;  
П. И. Зеленкевич, магистрант  
(БГТУ, г. Минск)

### **ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ШТАБЕЛЕЙ ДРЕВЕСИНЫ НА ПРИРЕЛЬСОВОМ СКЛАДЕ В ГЛХУ «ВОЛКОВЫССКИЙ ЛЕСХОЗ»**

В условиях нашей республики наибольшее распространение получили автомобильные перевозки заготовленной древесины.

Но в тоже время значительные объемы лесоматериалов перевозятся железнодорожным транспортом. Основные преимущества железнодорожного транспорта – относительно невысокая стоимость перевозок, большая грузоподъемность (средняя грузоподъемность грузовых эшелонов в Беларуси составляет около 3 тыс. т), регулярность функционирования во все времена года и часы суток. К недостаткам железнодорожного транспорта следует отнести жесткую привязку к сети, невысокую плотность железных дорог в Беларуси, а также жесткие требования по срокам загрузки вагонов и значительные штрафные санкции за просрочку времени.

В связи с этим, актуальной задачей является решение задачи рационального расположения штабелей древесины у погрузочного фронта прирельсовых площадок для минимизации затрат времени на осуществление погрузочно-перегрузочных операций при погрузке вагонов.

Для решения поставленных задач, проведен необходимый анализ осуществления погрузочно-перегрузочных операций на прирельсовом складе хранения лесоматериалов в ГЛХУ «Волковысский лесхоз».

Результатом проведенных исследований является разработка методики оптимального расположения штабелей лесоматериалов на прирельсовых складах, которая основана на использовании известного в логистике метода XYZ-анализа [1]. Методика внедрена лесозаготовительное производство ГЛХУ «Волковысский лесхоз» и в учебный процесс по дисциплине «Организация перевозки лесной продукции».

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Лукинский, В.С. Модели и методы теории логистики: учеб. пособие. – 2-е изд. / В.С. Лукинский [и др.]; под ред. В.С. Лукинского; Питер. – СПб., 2007. – 448 с.

УДК 674.038.5

С. В. Шетько, зав. каф., канд. техн. наук;  
Л. В. Игнатович, доц., канд. техн. наук;  
С. С. Гайдук, ст. преп., канд. техн. наук;  
(БГТУ, г. Минск)

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ И ПРИЕМОВ  
ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК  
МАЛОЦЕННЫХ МЯГКИХ ПОРОД ДРЕВЕСИНЫ  
ДЛЯ ЗАМЕНЫ ЦЕННЫХ ТВЕРДОЛИСТВЕННЫХ ПОРОД**

Своевременное внедрение новых технологий – одно из основных условий, чтобы производимая продукция соответствовала мировому уровню по всем параметрам и характеристикам. В Беларуси ценные твердолиственные породы составляют 3,6 % от основных лесообразующих пород, доля малоценных пород, составляет примерно 30%, в том числе: береза – 17%, ольха – 8%, тополь и осина – 5%.

При общей заготовке древесины около 19 млн. м<sup>3</sup> в год для производства изделий мебели и столярно-строительных изделий ее не хватает, особенно ценных твердолиственных пород. Сказанное предопределяет целесообразность снижения доли использования древесины твердолиственных пород в производстве столярно-строительных изделий и мебели благодаря замещению их малоценными породами, использование которых не нашло широкого применения в связи со сравнительно низкими физико-механическими и эксплуатационными показателями [1].

Проблема может быть решена за счет разработки специальной технологии использования более дешевых малоценных лиственных пород древесины, вместо ценных твердых лиственных. Благодаря высокой твердости, прочности и износостойкости древесина твердых лиственных пород, в частности дуба, находит широкое применение, при этом сырье определяет высокую стоимость продукции, вызванную главным образом дефицитом. Возникает потребность в улучшении декоративных свойств изделий из древесины мягких лиственных пород, которые не обладают высокими декоративными показателями: природной красотой, цветом и текстурой. В связи с этим идет постоянный поиск новых технологий, материалов и оборудования, способных решить поставленную задачу. В то же время необходимо следить, чтобы удешевление производства не отразилось на качестве выпускаемой продукции. Заменяя, дорогой материал на более дешевый, необходимо стремиться к сохранению эксплуатационных и эстетических характеристик.

Одним из способов улучшения эксплуатационных и эстетических характеристик древесины мягких лиственных пород является уплотнение древесины с дальнейшей имитационной отделкой методом крашения и глубокой печати.

Анализ отечественных и иностранных литературных и патентных источников за 15 лет, показывает перспективность разработки ресурсосберегающей технологии создания из древесины мягколиственных пород столярно-строительных изделий и конструктивных элементов мебели с использованием имитационной отделки методами уплотнения, крашения и глубокой печати.

Улучшение физико-механических, технологических и эксплуатационных свойств мягких лиственных пород древесины возможно путем, как термической обработки, так и уплотнения. Прессованная древесина имеет в несколько раз большую прочность, твердость и ударную вязкость, чем натуральная древесина. Её можно применять для изготовления опорных катков, шестерен, паркета и других целей [2].

Для изменения декоративных свойств древесины также можно использовать операцию крашения. Для окрашивания древесины используют синтетические (кислотные, прямые, основные и нигрозины) и естественные красители [3].

В последнее время все более широкое применение получают такие способы повышения декоративных свойств древесины и древесных материалов как аэрография, использование текстурной бумаги, печать на древесине, акваграфия, декалькомания, цифровая фотопечать, отделка древесины с применением декоративных эффектов.

Представленные методы улучшения декоративных свойств древесины мягколиственных пород являются актуальными и востребованными, однако требуют разработки технологии их применения с получением высоких эксплуатационных и эстетических свойств.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сведения о лесном фонде Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь / Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь. – Минск: Лесоустроительное Республиканское унитарное Предприятие «Белгослес», 2011. – 27 с.
2. Уголев, Б. Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения / Б. Н. Уголев. – М.: МГЛУ, 2001. – 340 с.
3. Трубников, Н. А. Повышение декоративных свойств древесины / Н. А. Трубников // Деревообрабатывающая промышленность. - 2007. – № 4.-С. 30–34.



УДК 674.52.002

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

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ**

Создание и разработка систем автоматизированного проектирования (САПР) – одно из главных направлений научно-технического процесса. Это объясняется тем, что промышленный потенциал 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 [1]. Поэтому в настоящее время в процессе проектирования мебели и изделий из древесины все больше используются САПР с целью ускорения и повышения качества процесса проектирования.

Как показывает практика в прямых затратах времени, чертёжные работы составляют более 30%, в то время как творческие – только 15% (дизайн и проектирование). Приблизительно третья часть временных затрат конструктора тратится на так называемые «косвенные проектные» работы (составление спецификаций, составление описаний, контроль чертежей, переписка). Отсюда следует, что первым направлением рационализации процесса проектирования является автоматизация выполнения «рутинных» этапов с помощью средств вычислительной техники [2].

В качестве примера использования рассмотрим программный продукт, который позволяет создавать трехмерные модели будущих изделий, с помощью которых можно оценить конструкцию и провести исследования различных свойств проектируемого изделия.

Готовые мебельные и столярные изделия включают в себя множество деталей, подборок и сборок. Наличие большого количества компонентов изделия вызывает необходимость выбора способа их оптимальной и логической организации в проекте. Часто встречаются такие узлы как рамочно-филенчатые фасады, мебельные ящики, цокольные коробки и некоторые корпуса, которые являются подборками изделия, зачастую однотипными, но с различными конфигурациями и типоразмерами. В процессе проектирования таких узлов конструктор сталкивается с двумя принципиальными подходами:

– проектирование в среде «деталь-сборка».

– проектирование в среде многотельной детали.

Моделирование подборок изделий данным способом ведет к перенаполнению проекта похожими деталями разной конфигурации: брусками, филенками, штапиками, раскладками, карнизами и т.д. Вследствие чего увеличивается потребность в вычислительных мощностях компьютера, а так же временных затратах на организацию и преобразование подборок и включение их в конечную сборку. Так же от конструктора требуется постоянная концентрация при многократном копировании таких узлов.

Второй способ проектирования узлов мебели основывается на многотельных деталях. Многотельная деталь состоит из нескольких твердых тел, которые не являются динамическими. Однако если необходимо представить динамическое перемещение тел, следует использовать сборку. При таком подходе не требуется создавать каждую деталь узла поотдельности и в отдельном файле. Простыми операциями выталкивания создаются отдельные панели корпуса (стенки, полки, перегородки и т.д.), операцией «бобышка по траектории» проектируются целые комплекты штапиков, рамок, карнизов в одном документе многотельной детали.

Таким образом для многотельной детали конструктор автоматически получает спецификацию элементов с их габаритными размерами, без использования формул, свойств, ссылок и т.д.; среда многотельного проектирования значительно снижает временные затраты конструкторской деятельности, а так же снижает потребность в ресурсах компьютера.

Исходя из вышеперечисленного, можно сказать, что основным направлением развитием проектирования мебели является внедрение систем автоматизирования проектирования с разработкой трехмерной модели готового изделия, что позволяет сократить время на проектирование и значительно повысить качество получаемой продукции.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бунаков П. Ю. Автоматизация мебельных предприятий: История и современность // Мебельщик. – 2005 – № 2 [Электронный ресурс]. URL: <http://forum.tecnocom-ug.ru/viewtopic.php?t=1557>. (Дата обращения 07.10.2016).

2. Нестеренко, Е. С. Основы систем автоматизированного проектирования [Электронный ресурс]: электрон. конспект лекций / Е. С. Нестеренко; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т) – Электрон. текстовые и граф. дан. (0,31 Мбайт). – Самара, 2013.

УДК 674.048

В. В. Тулейко, канд. техн. наук (ОАО «Речицадрев»);  
А. А. Барташевич, проф., канд. техн. наук;  
Л. В. Игнатович, доц., канд. техн. наук;  
С.В. Шетько, доц., канд. техн. наук  
(БГТУ, г. Минск)

### **КАРБАМИДОФОРМАЛЬДЕГИДНЫЕ СМОЛЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЛИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОАО «РЕЧИЦАДРЕВ»**

В ОАО «Речицадрев», на введенном в строй заводе синтетических смол освоен выпуск карбамидоформальдегидных смол различного назначения: марки КФС-110 – в качестве связующего для производства древесностружечных плит, КФС-120 – для производства фанеры, КФ-130, КФ-140, КФ-150, КФ-160, КФ-170 – для производства, соответственно, плит МДФ, для пропитки декоративной бумаги, для наружного слоя ковра древесностружечных плит, для ламинирования плит, для малотоксичных плит МДФ.

В качестве сырья для производства смол используется карбамидоформальдегидный концентрат – 40 %-ный малометанольный сормалин собственного производства. Производимые смолы выгодно отличаются стабильностью получаемых качественных характеристик смол. Производственные мощности позволяют выпускать 31,5 тыс. тонн смол в год. Производство ведется периодическим способом в двух реакторах объемом по 25 куб. м.

Процесс производства смолы высоко механизирован и автоматизирован. Для взвешивания продуктов применяются тензометрические устройства, которые позволяют четко придерживаться заданной рецептуры. Операции загрузки жидких и сыпучих компонентов – высоко механизированы. Управление процессом осуществляется оператором с автоматизированного рабочего места, которое оснащено компьютером, на дисплей которого выводится вся информация о процессе производства смол.

Управляемые программной логикой высокоавтоматизированные установки экологически безопасны. В очищенных каталитической конверсией выбросах отсутствуют загрязнители, благодаря чему загрязненные стоки отсутствуют.

УДК 674.048

А. А. Барташевич, проф., канд. техн. наук;

Л. В. Игнатович, доц., канд. техн. наук

(БГТУ, г. Минск)

Е. В. Коробко, проф., д-р техн. наук;

(ИТМО имени А. В. Лыкова НАН Беларуси)

## **КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СТОЛЯРНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ФАНЕРЫ ПОВЫШЕННОЙ ВОДОСТОЙКОСТИ**

Фанера общего назначения находит разнообразное применение: при изготовлении изделий строительного назначения или как конструкционный строительный материал, при производстве мебели при ремонте и т.д. Изделия или конструктивные элементы из фанеры могут эксплуатироваться в различной среде и при различных условиях. Важно знать основные факторы среды, в первую очередь внешние, и значимость их влияния на разрушение древесины. Это будет способствовать оптимальному выбору средств защиты композиционных материалов от различных неблагоприятных воздействий.

При идентификации внешних факторов, влияющих на разрушение древесины во время эксплуатации, проводят их классификацию по европейскому стандарту EN 315-2-2006. В соответствии с ним выделены пять классов условий службы древесины в зависимости от источников и особенностей увлажнения материала. Первый и второй классы службы – эксплуатация изделий в помещении. Третий, четвертый и пятый классы – эксплуатация на открытом воздухе.

Основными недостатками клееных композиционных древесных материалов (фанерной продукции) на основе традиционных карбамидоформальдегидных смол, являются их относительно не высокая водостойкость, а также повышенная токсичность (эмиссия формальдегида), негативно отражающиеся на конкурентоспособности этих материалов на отечественном и мировом рынках. Проведены опыты по определению прочности клеевых соединений при влажности в пределах 8 – 16%. Повышает водостойкость фанеры и долговечность является добавка специальных наполнителей в клеевую композицию. Таким наполнителем является диатомит, объемом 4 – 6 % по массе. Долговечность фанеры определялась циклическими испытаниями: 20 циклов замораживания при  $-20^{\circ}\text{C}$  (12 ч) и последующей выдержке при температуре  $+20^{\circ}\text{C}$  (12 ч). После 20 циклов прочность клеевого соединения уменьшилась примерно в 2 раза.

УДК 674.048

И. К. Божелко, зав. кафедрой ТДП, канд. техн. наук  
(БГТУ, Минск)

### **СОВРЕМЕННЫЕ ЗАЩИТНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОПИТКИ ДРЕВЕСИНЫ, ЭКСПЛУАТИРУЕМОЙ В XIII-М КЛАССЕ УСЛОВИЙ СЛУЖБЫ ПО ГОСТ 20022.0**

В соответствии с ГОСТ 20022.0 в XIII-м классе условий службы древесина находится в контакте с землей или пресной водой и подвергается воздействию влажности, что соответствует 4-му классу по EN 335-2. К данным деревянным изделиям и конструкциям относятся шпалы, опоры линий электропередач, ограды, наружные лестницы, элементы ландшафтного дизайна и т. д.

Креозот – это традиционное и наиболее эффективное защитное средство, полученное как побочный продукт процесса коксования. Однако креозот классифицируется как канцерогенный продукт и в соответствии с Регламентом по биоцидным продуктам находится под серьезным контролем в Европе. В качестве альтернативы креозоту производится ряд водорастворимых медьсодержащих антисептиков. Ранее наибольшее распространение среди них имели хром-медьсодержащие (ССА). Со временем их опасные для человека компоненты были заменены на более экологичные и нормативно приемлемые такие как, азолы и четвертичные аммиачные соединения (Tanalith E, Wolmanit, Korazit и др.).

Проведенные многолетние полигонные исследования древесины пропитанной водорастворимыми медьсодержащими антисептиками показали, что под воздействием постоянных влажностных колебаний и с учетом анизотропии самой древесины в деревянных изделиях возникают высокие напряжения, достигающие более 2 МПа, что является причиной возникновения глубоких пластевых трещин и причиной ее преждевременного гниения. В таких условиях креозот обладает существенными преимуществами перед современными водорастворимыми медьсодержащими антисептиками. В данном случае он также работает как влагозащитное средство, предохраняя изделия от появления трещин, которые в противном случае позволяют проникнуть грибам в зону непропитанной древесины и привести ее к гниению. Современные защитные средства для древесины эксплуатируемой в в XIII-м классе условий службы должны обладать не только био-, но и высокими влагозащитными свойствами. Достижение данных свойств возможно при создании устойчивых многофункциональных защитных систем типа Bio-Wood либо альтернативными дорогостоящими маслянистыми продуктами, такими как TANASOTE.

УДК 624.011.14; 674.812-41;

И. К. Божелко, зав. кафедрой ТДП, канд. техн. наук;

О. А. Ракуть, студ.  
(БГТУ, г. Минск);

А. А. Вьюгинова, ген. директор, канд. техн. наук  
(ООО «Ультранид», Российская Федерация);

А. В. Баранов, ведущий инж. (ИУП «Косвик», Республика Беларусь)

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ «КОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ»

Целью работы стало изучение физико-механических свойств «кованной древесины»: статической твердости, шероховатости поверхности, прочности клеевого шва при послойном скалывании, и сравнение их с необработанной древесиной.

Испытания проводились на образцах сосны с влажностью 12%. Прочность клеевого шва при послойном скалывании проводили согласно ГОСТ 25884-83, используя два вида клея: ПВА марки Kleiberit (D3) и ПУР марки Jowat (D3). Испытания по определению твердости проводились согласно ГОСТ 16483.17-81. Шероховатость определяли согласно ГОСТ 2789-73. Результаты испытаний представлены в таблице 1.

**Таблица 1 – Результаты испытаний**

Показатель	Необработанная древесина	«Кованая древесина»
Шероховатость: - $R_m$ , мкм	47,398	11,957
Статическая твердость: - по ядру, Н/мм <sup>2</sup> - по заболони, Н/мм <sup>2</sup>	19,2 16,9	20,7 18,5
Прочность клеевого шва, МПа: - ПВА - ПУР	5 5,5	4,3 4,9

В результате проведенных исследований установлено следующее:

– прочность клеевого шва необработанной древесины по сравнению с «кованной древесины» при использовании клея ПВА больше на 14%, при использовании ПУР больше на 10,9%;

– твердость по ядру у «кованной древесины» по сравнению с необработанной выше на 7,3%, а твердость по заболони выше на 9,5%;

– шероховатость «кованной древесины» значительно меньше чем у необработанной:  $R_a$  меньше на 62,3%,  $R_m$  – на 74,7%,  $R_z$  – на 74%.

УДК 667.613

В. Г. Василевич, магистрант; Н. В. Мазаник, доц., канд. техн. наук  
(БГТУ, г. Минск)

## **МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ НАРУЖНОЙ ОТДЕЛКИ ДРЕВЕСИНЫ**

Разнообразие биологических, химических, физико-механических, и структурных характеристик древесины обуславливает широкий спектр ее свойств. Влажность и температура являются факторами, оказывающими наиболее существенное влияние на эксплуатационные качества данного материала. В зависимости от температурных и влажностных колебаний древесина поглощает и выделяет влагу, изменяет свои размеры и прочностные показатели. Отделка древесины призвана минимизировать негативное влияние переменного климата и защитить изделия в период эксплуатации. Особенно сложной задачей является защита деревянных конструкций, эксплуатирующихся в непосредственном контакте с наружным воздухом, состояние которого не поддается регулированию. Резкие и частые перепады в параметрах окружающей среды часто приводят к тому, что защитные свойства лакокрасочной плёнки оказываются ниже заявленных производителем отделочного материала. Это приводит к большому количеству рекламаций со стороны потребителей и прямым убыткам компаний. Поэтому адекватное прогнозирование поведения материалов в условиях переменного климата и корректная оценка степени защищенности деревянных конструкций позволяют устранить недопонимания и сохранить доверие к производителям ЛКМ.

Особенностью тестирования лакокрасочных материалов является то, что конечная степень защиты зависит не только от свойств самого ЛКМ и амплитуды климатических изменений, но и от параметров нанесения защитно-декоративного слоя. Поэтому рекомендации по применению тех или иных материалов должны рассматриваться в комплексе с разработкой структуры покрытия, технологии нанесения и отверждения, которые могут обеспечить заявленный эффект. Выполненный анализ научно-технической литературы, посвященной методам испытаний защитных свойств лакокрасочных материалов, показал, что наиболее современным подходом является тестирование не самих ЛКМ или пленки в отрыве от конкретного субстрата, а испытание конечного материала, представляющего комплекс субстрат-пленка-технология. Рассмотрены стандартные и оригинальные методы испытаний, проведено сравнение эффективности методик, применяемых в Республике Беларусь и странах ЕС.

УДК 674-419.32

И.И. Веретиков, ассист. (БГТУ, г. Минск)

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ФАНЕРНОЙ ПРОДУКЦИИ**

Как композиционный материал, фанера обладает высокой механической прочностью, стабильностью форм, повышенной износостойкостью, высокой атмосферо- и теплостойкостью, является экологически безопасным материалом.

Данный материал применяют для облицовки стен и потолков, производства мебели, в изготовлении тары и упаковки, вагоно- и автомобилестроении. Однако температурное воздействие может разрушить клеевые соединения в фанере. Это в свою очередь сопровождается снижением прочностных показателей [1].

Оперативную информацию работоспособности клеевых соединений получают из ускоренных методов испытаний. Были произведены опытные исследования по влиянию температурных 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, используемых для обнаружения нарушения 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 температурных 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 IV/IV (3-х слойная). Древесная порода – береза. Испытания проводили на сухих образцах без предварительной обработки и на образцах, подвергнутых температурному воздействию. Также было осуществлено сквозное прозвучивание образцов до и после температурного воздействия на произвольной базе с контактной смазкой с помощью измерителя времени и скорости распространения ультразвука «Пульсар-2».

Расчет прочности образцов производился по формуле (1):

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



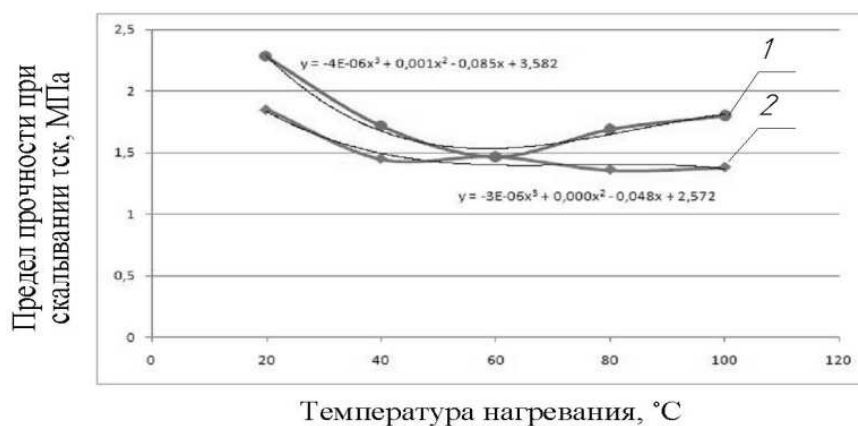
где  $R$  – прочность (МПа);  $V$  – числовое значение скорости ультразвука (м/с);  $A_i$  – коэффициенты ( $i = 0,1,2,3$ ), заносящиеся в прибор в экспоненциальной форме в МПа.

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	2,880
<i>Испытания образцов после температурного воздействия</i>	
<i>Фанера марки ФК</i>	
t= 40°C	1,450
t= 60°C	1,475
t= 80°C	1,360
t= 100°C	1,383
<i>Фанера марки ФСФ</i>	
t= 40°C	1,718
t= 60°C	1,475
t= 80°C	1,695
t= 100°C	1,805

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



1 – образцы фанеры ФСФ; 2 – образцы фанеры ФК

**Рисунок 1 – Графическая зависимость предела прочности фанеры до после температурного 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. - 243 с.

УДК 674.048

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

## **НОВЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ СРЕДСТВ В СТРУКТУРЕ ДРЕВЕСИНЫ.**

Целью работы является изучение методов наиболее точного определения защитных средств в структуре древесины после пропитки.

Кислоторастворимые формы металлов (медь, железо, свинец) определяются электрохимическими методами: вольтамперометрии, потенциометрии, кулонометрии, кондуктометрии и экстракционно-фотометрическими методами: спектрофотометрии, атомно-абсорбционной спектроскопии. Атомно-эмиссионный спектральный анализ самый быстрый и высокочувствительный метод идентификации и количественного определения малых содержаний элементов в растворе. В последнее время считается наиболее приемлемым для определения ультрамалых количеств металлов в растворе методы атомно-флуоресцентные и атомно-ионизационные. Однако применение этих методов затруднено в связи с необходимостью исследования чистых растворов. Эстрагированные растворы из древесины содержат ряд дополнительных включений, включая изменения вызванные реакциями с компонентами древесины.

Для исследования непосредственно пропитанной защитными средствами древесины применяются методы рентгенофлуоресцентного анализа, сканирующей электронной спектроскопии и другие.

Для определения содержания структурных изменений древесины сосны пропитанной проведены испытания с использованием сканирующего электронного микроскопа 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.

Однако при определении послойного содержания защитного средства и его основных компонентов влияющих на защитные свойства древесины не определялись ультрамалые доли веществ. Предложена методика подготовки образцов позволяющая более точно определять наличие химических элементов в структуре древесины.

УДК 674.048

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

## **МОНИТОРИНГ И РАСЧЕТ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ МОЩНОСТИ ЛИНИИ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПЛИТ ИЗ ДРЕВЕСНОГО ВОЛОКНА**

Целью работы является исследование эффективной производственной мощности цеха производству теплоизоляционных плит из древесного волокна по технологии Siempelkamp с учетом технических и технологических возможностей при достижении наивысших физико-механических показателей выпускаемой продукции.

Установлены основные причины влияющие на производительность пресса и качество выпускаемой продукции: смещение ленты, вызывающее одностороннее уплотнение ковра и одностороннее уплотнение по краям особенно у тонких плит, ложные сигналы на входном модуле весов могут исказить насыпной вес до 100г/м<sup>2</sup> возврат материала из зоны выбраковки отрицательно влияет на качество плиты и расход смолы, слишком узкий диапазон регулятора высоты выравнивающего узла по длине вызывает неравномерность настиления по длине, неравномерность генерирования пара в зону отверждения и надлежащего контроля образования «точки росы» по всей толщине ковра, малая мощность рафинера и мотор-редуктора накопительного бункера, отсутствие измерителя плотности ковра.

Рекомендовано постоянно контролировать положение ленты относительно оси конвейера, заземление на входном модуле весов, установить более мощную гарнитуру на рафинере и редуктор подачи волокна, установить термометры сопротивления для контроля температуры пара в зоне отверждения ковра, установить оборудование для измерения плотности непосредственно на линии, что создаст возможность оператору оперативно управлять процессом обеспечивая выпуск качественных плит. Решение технических вопросов позволит обеспечить высокую производительность и избежать выпуска продукции несоответствующей требованиям стандартов.

Расчет производительности рекомендовано вести с учетом скорости пресса, размеров плит по ширине и толщине, коэффициентов заполнения ковра, рабочего и машинного времени, а так же коэффициента замедления при запуске с учетом низкой температуре в цеху.

УДК 674.093

Н. В. Мазаник, доц., канд. техн. наук; Д. П. Бабич, ассист.;  
(БГТУ, г. Минск)

### **ОПТИМИЗАЦИЯ ДРОБНОСТИ СОРТИРОВКИ КРУГЛОГО ЛЕСА С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ОБЪЕМНОГО ВЫХОДА ПИЛОМАТЕРИАЛОВ**

Работа посвящена актуальной теме – повышению объемного выхода пиломатериалов при распиловке бревен. Исследования выполнены для условий ОАО «ФанДОК». В настоящее время лесопильный цех предприятия состоит из трех потоков, на каждом из которых распиливаются бревна определенных диаметров. На складе сырья, в связи с отсутствием сортировочного конвейера, производится ручная сортировка бревен на три группы: 16-20 см (1 поток); 22-30 см (2 поток); 32-38 см (3 поток). Такая кратность сортировки бревен может приводить к уменьшению объемного выхода пиломатериалов, поэтому одним из основных направлений по улучшению работы лесопильного цеха является оборудование склада сырья сортировочного конвейером с автоматическим устройством определения параметров бревен. Для проведения технологических и экономических расчетов такого решения требуется знать, как именно измениться объемный выход пиломатериалов при распиловке бревен по оптимальным поставкам для каждого четного диаметра.

Были составлены оптимальные поставки на распиловку бревен по методике проф. Батина Н. А. При помощи программы TLDP были рассчитаны как оптимальные, так и неоптимальные поставки для бревен заданных диаметров. На основании этих расчетов были рассчитаны средние выходы пиломатериалов при сортировке на три группы (существующий вариант) и по четным диаметрам. При расчете среднего выхода пиломатериалов учитывали распределение распиливаемых бревен по диаметрам. План раскроя принимали для выпилки 1000 м<sup>3</sup> пиломатериалов. Средний выход досок при раскрое бревен с наличием сортировки по диаметрам составляет  $\eta_{1cp}=58,4\%$ . Средний выход обрезных досок при раскрое бревен без сортировки по диаметрам составляет  $\eta_{2cp}=54,25\%$ . Таким образом, при внедрении на складе сырья предприятия сортировки круглого сырья по четным диаметрам произойдет увеличение объемного выхода пиломатериалов по плану раскроя на  $\Delta\eta_{cp}=\eta_{1cp}-\eta_{2cp}=58,4-54,25=4,15\%$ .

УДК 674.047.3

В. Б. Снопков, доц., канд. техн. наук; Д. П. Бабич, ассист.;  
(БГТУ, г. Минск)

## **ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ РЕЖИМОВ СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ КРУПНЫХ ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЧЕНИЙ**

Разработана программа проведения опытной камерной сушки деревянных шпал. В программе описана технология камерной сушки с применением прерывистого режима, причем продолжительность фаз «работа» и «пауза» планировалось определять в процессе сушки в зависимости от перепада влажности внутри сортиментов.

Проведена подготовка шпал к сушке: изготовлены две контрольные шпалы, в которых были насверлены отверстия для установки датчиков влажности. Диаметр отверстий составлял 100 мм, глубина которых определялась удаленностью зоны измерения влажности от поверхности. Были изготовлены также четыре опытные шпалы, торцы и одна из пластей которых были обработаны водонепроницаемым составом на основе эпоксидной смолы. Контрольные и опытные шпалы при формировании штабелей располагались в местах доступных для осуществления контроля при проведении сушки.

Опытная сушка проводилась в период с 22 марта по 07 апреля 2017 года, ее продолжительность составила 368 часов. За это время влажность опытных шпал уменьшилась с 59,5-94,0% до 20,2-41,8%. В период сушки контролировали текущие параметры сушильного агента, среднюю текущую влажность шпал, а также состояние шпал (наличие на их боковых поверхностях и торцах трещин).

Построены графики сушки по показателям средней влажности древесины в камере, а также по средней влажности опытных шпал. Построены графики распределения влажности по сечению опытных шпал в процессе сушки. Определено время появления и характер развития трещин в процессе сушки, эти данные сопоставлены с графиками сушки шпал. Установлены недостатки камеры используемой для проведения опытной сушки.

Проведенные опытные промышленные испытания подтвердили принципиальную возможность камерной сушки шпал с достижением их качества в соответствии с требованиями ГОСТ 78-2014.

УДК 674.816.2

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

## **ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ГИПСОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ С УВЕЛИЧЕННОЙ ДОЛЕЙ ДРЕВЕСНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ И ХИМИЧЕСКИМИ ДОБАВКАМИ В ГИПСОВОЕ ВЯЖУЩЕЕ**

Древесные композиционные материалы на основе минеральных вяжущих являются надежными и экологичными в использовании, обладают конструкционными механическими показателями, хорошо обрабатываются инструментом и удерживают металлический и иной крепеж. Гипсовые вяжущие позволяют изготавливать изделия любой формы, наиболее технологичны для изготовления и позволяют значительно ускорить процесс производства древесно-минеральных плит. Однако, гипс имеет свойство притягивать и аккумулировать влагу, из-за чего конструкции из материалов на основе гипсовых вяжущих нежелательно эксплуатировать снаружи помещений.

Снизить природный недостаток гипса и обеспечить устойчивость композитов можно несколькими путями: 1. Использовать отделочную или конструктивную гидроизоляцию; 2. Снизить количество гипса в структуре материала; 3. Добавлять химические компоненты, уменьшающие реакционную способность гипса к воде и заполняющие пористую структуру композита.

В этой работе использованы комбинированное решение поставленной задачи, состоящее из 2 и 3 пути.

В качестве наполнителя использовали стружку фракции 5/2 мм при наполнении измельченной древесиной 20,3 % по массе, в то время как стандартная технология предусматривает использование более мелкой фракции стружки и наполнение ею материала – не более 15 % по массе. Эти меры призваны решить задачу по пути 2.

В качестве химических добавок были использованы: гидрофобизирующее кремний-органическое соединение ГКЖ-11П, ингибиторы схватывания: лимонная кислота и известь, пластификатор и наполнитель – «наногипс», упрочнители: силикагель и лигносульфонаты. Эти меры призваны обеспечить решение задачи по пути 3.

Были оценены свойства гипсостружечных плит с высоким наполнением стружки и использованием вышеперечисленных добавок. В результате исследований, установлено, что оптимальными добавками является силикагель и ГКЖ-11П, увеличивающие прочность материала и снижающие водопоглощение материала.

УДК 674.816.2

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

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГИДРОФОБИЗИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА СВОЙСТВА ВЫСОКОПУСТОТНОГО ДРЕВЕСНО-ЦЕМЕНТНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА**

Древесно-цементные композиционные строительные материалы обладают низкой теплопроводностью и высоким звукопоглощением, имеют низкие себестоимость и вес. Влагостойкость является одним из основных недостатков, который ограничивает их использование в качестве универсального строительного материала.

Арболит – давно известный в советском строительстве материал, который, хоть и имел важнейшее народнохозяйственное значение, (утилизация большого количества отходов, производство дешевого энергоэффективного материала), но в силу предпочтений надежности, а не энергоэффективности и тем более экологичности, не получил глобального распространения. Современное положение дел в глобальной экономике и значительное загрязнение среды обитания человеком вернуло этот материал к жизни и оживило рынок строительных материалов из цементно-древесных композитов, однако вопрос стойкости к атмосферным воздействиям все еще актуален и полностью не решен.

В этой работе были проведены исследования по приданию водостойкости конструкционному блоку из древесно-цементного композита с использованием современных добавок к смесям на основе портландцементов. В качестве таких добавок были использованы кремнийорганические жидкости, суперпластификаторы, микро размерные заполнители пустот, а также широко распространенные на рынке комплексные добавки в бетоны.

Оценка эффективности добавок велась по плотности, прочности при сжатии, коэффициенту размягчения и классу прочности легких бетонов на основе органического наполнителя. Изготавливались образцы как из смеси с органическим наполнителем (щепой), так и из смеси с неорганическим наполнителем (песком).

В результате анализа полученных данных, установлено, что кремнийорганические соединения помогают добиться наибольшей прочности и коэффициента размягчения, однако при этом увеличивает плотность материала, т.е. вес готового блока. Комплексные добавки позволяют сохранить плотность низкой, но при этом, повысить прочность и коэффициент размягчения.

УДК 620.111.3

И. Г. Федосенко, доц., канд. техн. наук;  
Е.В. Чесновский, асп.  
(БГТУ, г. Минск)

## **ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКА ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО АНАЛИЗА ДРЕВЕСИНЫ ИСТОРИЧЕСКИХ ПОСТРОЕК**

В восстановлении культурных ценностей особое место занимает оценка качества археологической древесины и древесины в уникальных архитектурных строениях, не разрушая ее.

Наилучшим с точки зрения оценки структуры и скорости обследования является способ рентгенографии, однако с точки зрения безопасности и трудоемкости он ограничен в использовании и крайне нежелателен. Наиболее современным методом неразрушающей оценки состояния материала крупногабаритных элементов является томография. Метод томографии применим для выделенного из конструкции элемента, но на практике реализовать его трудно или невозможно по многим причинам. В частности, это невозможность разборки объекта на элементы по причине необратимости действий. Этих недостатков лишен способ определения изменения скорости звука, проходящего через материал. Высокочастотные колебания не вызывают разрушение материала, а значит могут быть использованы для диагностики хрупкой разрушенной древесины.

Скорость распространения ультразвуковых волн в материале зависит от его плотности и упругости, от наличия дефектов (трещин и пустот), определяющих прочность и качество. Следовательно, измерение затухания волны в элементах изделий, конструкций и сооружений можно получать информацию о: прочности и однородности; модуле упругости и плотности; наличии дефектов и их локализации, что даст возможность оперативно оценивать качество древесины элементов исторических построек непосредственно на месте их размещения, не разрушая их при этом.

Т. к. установлено отсутствие необходимых теоретических и практических знаний для проведения данного метода определения физико-механических свойств археологической древесины, были проведены исследования, в результате которых были найдены зависимости скорости распространения звука в продольном направлении от базисной плотности и влажности древесины сосны, ели, березы. Так же установлены зависимости предела прочности и модуля упругости от



скорости распространения звука в продольном и радиальном направлении, влажности и базисной плотности древесины сосны, ели, березы. Получены уравнения регрессии полиномиальной модели, зависимости предела прочности, модуля упругости и плотности, только от скорости распространения ультразвука вдоль волокон, для древесины сосны, ели и березы соответственно.

Установлено влияние шероховатости поверхности и толщины материала на точность метода. Доказано, что шероховатость поверхности древесины до 130 мкм и анализ элемента толще 26 мм не влияют на точность метода и позволяют пользоваться им оперативно и без введения поправочных коэффициентов.

Разработанный метод адаптирован к археологической древесине, на основании чего получен метод оценки свойств археологической древесины.

Предложена классификация древесины деревянных элементов исторических построек по степени деградации в зависимости от базисной плотности и трещиноватости (пористости).

Полученные модели, связывающие физико-механические свойства со скоростью ультразвука, пропущенного через структуру древесины, позволяют оценивать неразрушающим способом со значительной точностью состояние древесины и планировать мероприятия по консолидации материала, укреплению конструкции или замене утратившего несущую способность элемента. По результатам работы, разработаны рекомендации по способам оценки предела прочности, модуля упругости и плотности древесины различных пород и степени разрушения археологической и иной исторической древесины неразрушающими методами.

УДК 674.05:631.06

В. Т. Швед, магистрант;  
 А. А. Гришкевич, доц., канд. техн. наук; О. И. Морозова, инж.  
 (БГТУ, г. Минск)

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ШЛИФОВАЛЬНОЙ ШКУРКИ ПРИ ЕЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ШИРОКОЛЕНТОЧНЫХ ШЛИФОВАЛЬНЫХ МАШИНАХ ПРОХОДНОГО ТИПА

В повышении производительности и эффективности использования деревообрабатывающего оборудования большое значение имеет уровень качества подготовки дереворежущего инструмента к работе.

При работе на оборудовании для шлифования происходит потеря режущей способности шлифовального инструмента в результате заполнения пространства между зернами продуктами резания, что в значительной мере влияет на производительность процесса, увеличение энергопотребления, ухудшение качества обработанной поверхности [1].

На рисунке 1 представлен график зависимости мощности на резание от скорости подачи по экспериментальным данным, подтверждающих увеличение энергопотребления, связанное с заполнением пространства между зернами остатками продуктов резания.

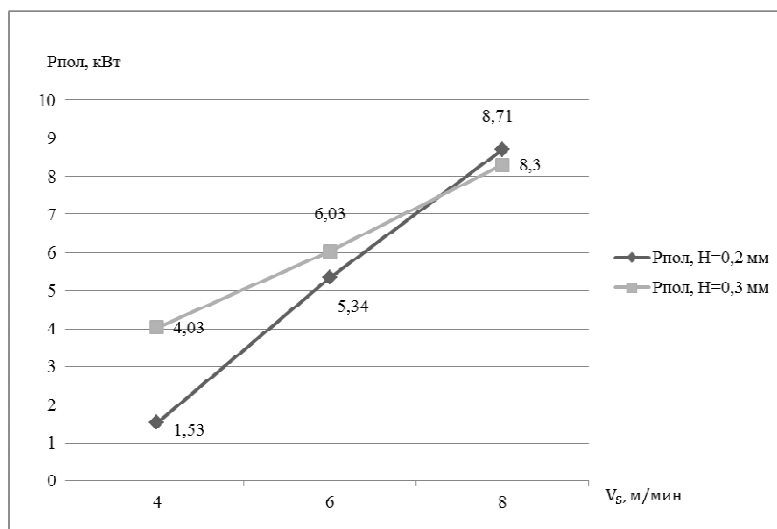
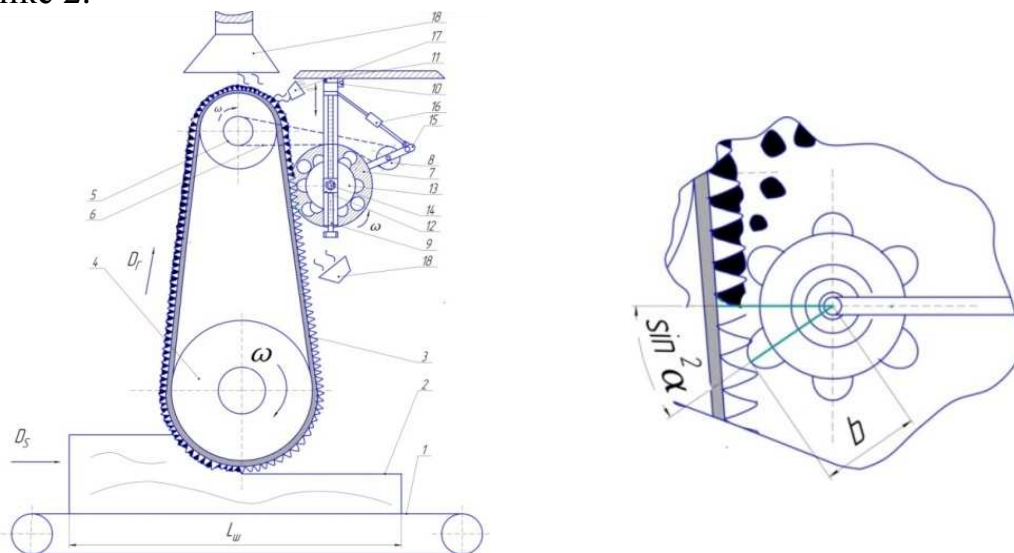


Рисунок 1 – Рост энергопотребления

Поэтому, существует необходимость в увеличении периода стойкости шлифовального инструмента (шлифовальной шкурки) и, как следствие, увеличении производительности процесса шлифования. Это возможно за счёт очистки шлифовальной ленты в процессе работы шлифовального узла, что улучшит её режущие характеристики, а следовательно повысит срок её службы до следующей замены инструмента. При этом производительность процесса не уменьшается.

Предлагается механизм, превосходящий предыдущие по возможности очистки шлифовальной ленты от остатков продуктов резания в качестве и эффективности. Суть его заключается в удалении продуктов резания с поверхности шлифовальной ленты во время её работы, путем механического воздействия (ударами) на неё с рабочей стороны. Процесс очистки шлифовальной ленты представлен на рисунке 2.



1 – подающий конвейер; 2 – заготовка; 3 – шлифовальная лента; 4 – приводной барабан; 5 – ведущий шкив механизма; 6 – ремень; 7 – натяжной шкив; 8 – ведомый шкив; 9 – винтовая передача; 10 – поворотный механизм; 11 – отверстия фиксации устройства в рабочем положении; 12 – ползун; 13 – барабан; 14 – рукоятка для отвода устройства; 15 – рукоятка для натяжения ремня; 16 – винтовая передача; 17 – воздушное сопло; 18 – приемник для удаления продуктов резания

**Рисунок 2 – Процесс очистки шлифовальной ленты**

Выводы: эффективность процесса шлифования напрямую зависит от состояния шлифовальной ленты, а увеличение скорости подачи с 4 м/мин до 8 м/мин повышает потребляемую мощность при припуске  $H=0,2$  мм до  $P_{пол}=8,71$  кВт, а при припуске  $H=0,3$  мм до  $P_{пол}=8,3$  кВт. Следовательно, своевременная очистка ленты повысит качество обрабатываемой поверхности и снизит энергопотребление.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гришкевич А. А., Костюк О.И. Методика и результаты исследований по удалению продуктов резания с поверхности шлифовальной шкурки // ДЕРЕВООБРАБОТКА: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды X Междун. евразийского симпозиума. – Екатеринбург, 2015. С. 156-162.

УДК621.934

Т. А. Машорипова, магистрант;  
А. Ф. Аникеев, доц., канд. техн. наук  
(БГТУ, г. Минск)

## **ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ СОВРЕМЕННОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ СВЕРЛЕНИЯ ЛДСП**

В деревообработке, и в частности в мебельном производстве, неотъемлемым инструментом в технологическом процессе являются сверла по дереву. В основном на деревообрабатывающих предприятиях используются два основных вида сверл: сверла винтовые с конической заточкой; сверла с центром и подрезателями; спиральные сверла.

Наиболее универсальным и распространенным видом является спиральное сверло по дереву. Спиральные сверла являются наиболее рациональными. Так, наличие винтовых канавок соответствующей формы дает возможность получить различные варианты режущей части. Размеры и формы режущей части спирального сверла не изменяются в результате периодических заточек[1]. Наряду с этим спиральные сверла обеспечивают высокую производительность и качество сверления древесины. Сверла с центром и подрезателями применяют для сверления точных неглубоких и относительно глубоких отверстий в твердой и мягкой древесине, ДСП и МДФ. С помощью центра с оптимизированной геометрией для центрирования достигается точное позиционирование отверстия. Боковые режущие кромки обеспечивают аккуратное разрезание волокон вблизи краев отверстия. Сверло с центром и подрезателями применяется для сверления отверстий без сколов в мягких и твердых породах древесины.

Сверла с центром и подрезателями с винтовым корпусом применяют для сверления точных относительно глубоких отверстий в твердой и мягкой древесине, ДСП и МДФ. Винтовая конструкция тела сверла обеспечивает отвод стружки из зоны резания. Боковые режущие кромки с буртиками обеспечивают аккуратное разрезание волокон вблизи краев отверстия. Проанализировав конструкции представленных сверл можно сделать вывод, что конструкции этих сверл имеют один общий недостаток. При обработке ламинированных ДСП, для обеспечения качества кромок отверстий (отсутствие сколов) на наружной и внутренней пластях детали, необходимо изменение (уменьшение) скорости подачи, что отрицательно влияет на производительность процесса. Этот недостаток можно устранить путем изменения скорости подачи на входе и выходе инструмента из материала, при постоянной осевой подаче. На рис.1 представлено неудовлетвори-

тельное качество [2] на входе и выходе сверла из древесностружечной плиты.



*a*

*б*

*a* – качество поверхности на входе сверла;

*б* – качество поверхности на выходе сверла

**Рисунок 1 – Неудовлетворительное качество обработки**

При обработке ЛДСП появляются дефекты в виде сколов кромки на входе, а чаще на выходе инструмента из материала. Это связано с тем, что древесностружечная плита является неоднородным слоистым материалом и при действии осевой силы верхние хрупкие слои отрываются (скалываются).

#### **Выводы**

- Широкое распространение в сверлильных станках получили сверла спиральные с направляющим центром и подрезателями.
- Недостатком существующих конструкций сверл является необеспечение качества кромок отверстий (присутствие сколов) на входе и выходе сверла из материала при постоянной скорости подачи, что отрицательно сказывается на производительности оборудования.
- Для обеспечения качества кромок отверстия (отсутствие сколов) при сверлении ЛДСП, необходимо разработать рациональные режимы резания, которые обеспечат требуемое качество.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Грубе, А.Э. Дереворежущие инструменты. – М.: Лесная промышленность, 1971. – 339 с.
2. Плиты древесно-стружечные. Технические условия: ГОСТ 10632-2007. Введен 01.06.2008. – Минск: Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2008. – 22 с.

УДК 674.055

О. И. Морозова, инж.;  
А. А. Гришкевич, доц., канд. техн. наук  
(БГТУ, г. Минск)

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ШЛИФОВАНИИ ДРЕВЕСИНЫ НА ЗАО «ХОЛДИНГОВАЯ КОМПАНИЯ «ПИНСКДРЕВ»**

Оценка эффективности разработанных энергосберегающих режимов шлифования древесины апробировалась на широколенточном станке, расположенном на лесопильном заводе филиала ЗАО «Холдинговая компания «Пинскдрев». Данная машина эксплуатируется в составе технологического потока при шлифовании мебельного щита, изготовленного из древесины сосны, березы и дуба. Шлифование осуществляется на станке BUTFERING STO 313 RRL, (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Шлифовальный станок  
BUTFERING STO 313 RRL**

На предприятии в основном шлифуется поверхность древесины березы на следующих режимах [1]:

- скорость подачи  $V_s = 5$  м/мин;
- скорость резания  $v = 20$  м/с;
- припуск на обработку  $h = 0,3$  мм.

В качестве абразива шлифовальной шкурки использовался карбид вольфрама (ВК3), метод насыпки абразивного зерна – электростатический, номера зернистости P80 и P120.

Экономический эффект рассчитан на основании и при использовании разработанных и рекомендованных к внедрению следующих режимов:

- скорость подачи  $V_s = 6$  м/мин;
- скорость резания  $v = 18$  м/с;
- припуск на обработку  $h = 0,2$  мм.

При расчете экономического эффекта за основу была принята «Инструкция по оценке эффективности использования результатов исследований и разработок в промышленности» [2].

**Выводы.** Практическое использование результатов исследования позволило: увеличить период стойкости шлифовальной шкурки на 12%; улучшить качество получаемой поверхности древесины; уменьшить затраты на закупку дереворежущего инструмента (шлифовальной шкурки) на 20%; уменьшить энергетические затраты на процесс шлифования (потребляемая мощность на шлифование уменьшилась на 8 %); увеличить производительность шлифовального оборудования на 12 %.

Применение данных режимов шлифования позволило увеличить количество обрабатываемого материала до 1000-1300 м. п. без появления прижогов на обрабатываемой поверхности. Годовой экономический эффект от использования результатов исследования составил 50.861.206 бел. руб. в ценах на 15.06. 2016 года.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Данные предприятия лесопильного завода филиала ЗАО «Холдинговой компании «Пинскдрев».
2. Инструкция по оценке эффективности использования результатов исследований и разработок в промышленности: постановление Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь и Национальной академии наук Беларуси, 22 декабря 2004 г. №8/3. – Минск, 2004. – 23 с.

УДК 674.053

В.В. Раповец, канд. техн. наук, доц.;  
И.К. Клепацкий, асп.;  
О.И. Морозова, инж.  
(БГТУ, г. Минск)

## **МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ФРЕЗЕРОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ**

Проведенный с использованием натуральных и вычислительных экспериментов анализ данных позволил сформировать концептуальную модель оптимизации технологических процессов деревообработки. В модели учитывается влияние параметров износа режущего инструмента на физико-механические характеристики процесса (усилие резания, крутящий момент, потребляемая мощность, температура в зоне резания, и др.), а также показатели качества обрабатываемой поверхности (шероховатость, сколы, прижоги, вырывы и т.п.). Динамика изменения параметров износа инструмента (радиус закругления лезвия и др.) также в общем случае зависит от текущих значений этих параметров, выбранных режимов резания и времени работы инструмента на этих режимах.

Модель оптимизации технологических процессов деревообработки отражает производственные условия: используемое оборудование, период времени, на который рассчитан процесс, динамика спроса на выпускаемые детали в течение этого периода и соответствующие требования к производительности, стоимость рабочей силы и других ресурсов и пр.

В качестве исследуемого процесса рассматривается процесс фрезерования деталей из древесины сосны на обрабатывающем центре с ЧПУ RoverB 4.35. Предполагаются заданными характеристики станка (эффективная мощность, частота вращения шпинделя и др.). Критериями качества рекомендуемых режимов принят набор основных технико-экономических показателей технологического процесса, включающий производительность, себестоимость и энергоемкость. Искомые режимы обработки должны удовлетворять ряду ограничений, учитывающих следующие организационно-технические, технологические и экономические факторы: заданные диапазоны возможных режимов обработки; требуемое качество обрабатываемой поверхности; предельно допустимые для используемого оборудования усилия резания, угловые скорости, крутящий момент и мощность на шпинделе; требуемая производительность; допустимые доли в общем выпуске деталей некондиционных (бракованных) деталей для каждой



из рассматриваемых категорий брака; заданный набор предпочтительных интервалов календарного времени работы оборудования между сменами инструмента.

Искомыми параметрами приняты: средняя толщина стружки  $a$ , (мм), скорость резания  $V$ , (м/с), время между сменами инструмента  $\tau_0$ , (мин). Исходные (более 20) параметры процесса: толщина срезаемого слоя  $h$ , (мм), ширина обработки  $H$ , (мм), диаметр фрезы  $D$ , (мм), число зубьев  $z$  фрезы, задний угол  $\alpha$ , (град) и др. Представлены расчетные зависимости для остальных характеристик процесса, например, число циклов обработки за период между сменами инструмента:

$$N_1 = N_1(a, V) = \frac{K\tau_0 - \tau_{см}}{l_x / S(a, V) + \tau_с},$$

где  $l_x / S(a, V)$  – время прохода фрезой одной детали;  $K\tau_0 - \tau_{см}$  – длительность работы оборудования в течение одной установки инструмента.

Выходными характеристиками процесса являются следующие: производительность  $\Phi(a, V)$ , (дет/мин), процесса в деталях в минуту; средняя себестоимость  $\tilde{C}_o(a, V)$ , (тыс. руб.), обработки одной детали; средняя энергоёмкость  $\tilde{E}(a, V)$ , (Вт·час), на единицу продукции.

При принятых предположениях и допущениях в модели сформулирована задача многокритериальной оптимизации:

$$\{ \Phi(a, V), \tilde{C}_o(a, V), \tilde{E}(a, V) \} \rightarrow \text{opt.}$$

Для решения сформулированной задачи в общем случае могут использоваться методы эвристики и метаэвристики, а также методы зондирования области поиска типа ЛП-последовательностей и случайного поиска[1]. Предложен эвристический метод роя частиц, хорошо зарекомендовавший себя при решении ряда задач, аналогичных исследуемой в работе.

**Выводы:** результаты исследований являются основой для разработки системы расчета оптимальных режимов резания для высокоскоростных процессов лезвийной обработки древесных материалов для деревообрабатывающих предприятий концерна «Беллесбумпром» и Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пантелеев, А.В. Методы оптимизации в примерах и задачах: учеб. пособие / А.В. Пантелеев, Т.А. Летова. – 2-е изд. – М. : Высш. шк., 2005. – 544 с.

УДК 674.059.001.24

А. А. Гришкевич, доц., канд. техн. наук;  
С. А. Гриневич доц., канд. техн. наук;  
Г. В. Алифировец, зав. лабораторией  
(БГТУ, г. Минск)

## РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОГО ФРЕЗЕРНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЩЕПЫ

Цилиндрические фрезы предназначены для переработки бревен с получением плоской или ступенчатой поверхности обработки. Они представляют собой набор дисков, оснащенных ножами. Основные достоинства цилиндрических фрез: возможность получения профильного бруса, выборка четвертей у бруса, относительная простота в конструкциях сборных фрез в целом и ножей в частности [1].

Для качественной обработки древесины и древесных материалов для лезвий фрез экспериментально установлены значения угла резания  $\delta$ , угла заострения  $\beta$ , переднего угла  $\gamma$ . Угол заострения лезвия ножа  $\beta$  оказывает влияние на его прочность.

Обзор конструкций режущих элементов фрез для агрегатной переработки древесины позволил установить угловые параметры ножей: угол заострения  $\beta=32^{\circ}-36^{\circ}$ , передний угол  $\gamma=40^{\circ}-45^{\circ}$ [2].

Рассмотрим варианты возможных конструкций фрез сборных для получения технологической щепы.

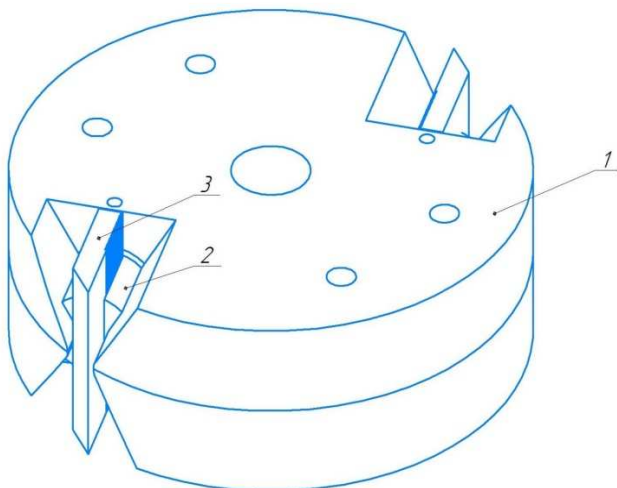
Вариант 1.

Проектируемая фреза сборная с адаптивными свойствами состоит из трёх основных элементов: 1 – корпус фрезы; 2 – ножедержатель; 3 – нож (рисунок 1).

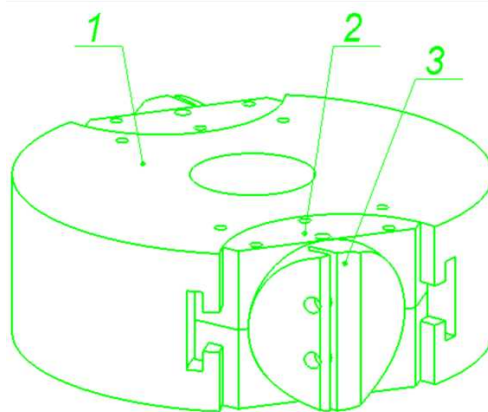
Вариант 2.

Проектируемая сборная фреза с изменяемыми угловыми параметрами (рисунок 2) состоит из трёх основных элементов: 1 – корпус фрезы; 2 – поворотный сегмент, состоящий из двух половин; 3 – ножедержатель.

Корпус фрезы состоит из двух частей, верхняя часть 1 и нижняя часть 2. В корпус фрезы устанавливаются 2 ножедержателя 4 в которых установлены ножи 3. Так же в корпусе имеются 4 отверстия 5 и 2 отверстия 6, для соединения верхней и нижней части корпуса и для фиксации ножедержателя в требуемом нам положении соответственно.



**Рисунок 1 – Сборная фреза адаптивными свойствами**



**Рисунок 2 – Фреза сборная с изменяемыми угловыми параметрами**

Произведены расчеты напряжения на срез насечек ножедержателя и расчет на срез ступеньки ножедержателя их значения составляют:  $\tau_{cp}=24,63$  МПа; и  $\tau_{cp}=10,48$  Мпа соответственно при допускаяемом напряжении на срез  $[\tau_{cp}]=60$  МПа. Рассчитаны элементы крепления на прочность и получены следующие значения напряжений:  $\sigma_r=11058773,9$  Па,  $\sigma_t=19609655,5$  Па,  $\sigma_{cp}=18259023$  Па. На основании произведенных расчетов можно сделать вывод, что конструкция фрезы с адаптивными свойствами и конструкция фрезы сборной с и изменяемыми угловыми параметрами отвечают требованиям технологического назначения.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Раповец В. В., Конструкции и расчеты фрезерно-брусующих станков: учеб. / В. В. Раповец, С. А. Гриневич, Н. В. Бурносков – Минск:, 2014. – 82 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 674.053

И.К. Клепацкий, асп.;  
В.В. Раповец, доц., канд. техн. наук  
(БГТУ, г. Минск)

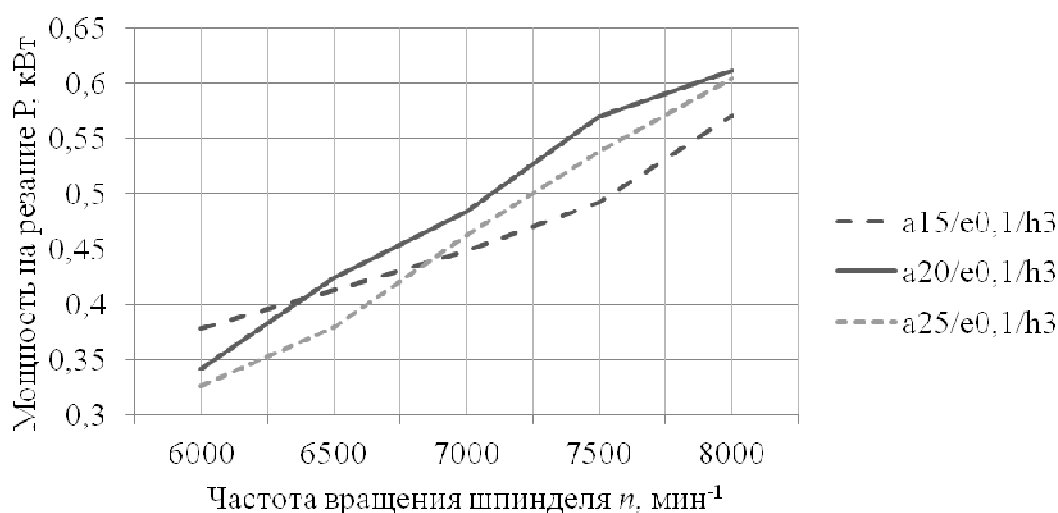
## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ АДАПТИВНЫМ ФРЕЗЕРНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

Для оптимизации высокоскоростных процессов механической обработки древесины и древесных материалов, в том числе параметров применяемого лезвийного режущего инструмента и режимов резания необходимо моделирование процесса на основе верифицированных экспериментальных данных, построение основных зависимостей технико-экономических характеристик [1].

На кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов были созданы все условия, для исследования энергоэффективных режимов: лаборатория оснащена современным оборудованием на базе обрабатывающего центра с ЧПУ *ROVERB 4.35*, разработано узконаправленное программное обеспечение и специально изготовленный адаптивный фрезерный инструмент. Для проведения эксперимента была разработана методическая сетка опытов. В качестве варьируемых параметров были выбраны частота вращения шпинделя  $n$ , мин<sup>-1</sup>, толщина стружки  $e$ , мм, высота снимаемого припуска  $h$ , мм, задний угол резания  $\alpha$ , град, и скорость подачи  $V_s$ , м/мин, как наиболее значимые технологические параметры в отрасли деревообработки, напрямую влияющие на мощность резания при фрезеровании.

Так как древесина материал анизотропный (различные пороки древесины, направления перерезания волокон и т. д.), то нельзя говорить о достоверности получения данных в какой-либо определённый момент времени. В ходе проведения эксперимента для каждого режима обработки (со своими уникальными значениями параметров), программным обеспечением записывался массив данных об изменении мощности резания на шпинделе с частотой обновления 0,06 секунд. Этот массив данных приводился к усреднённому значению, что равноценно использованию древесины однородной по структуре (с учётом пороков древесины).

Для более удобного представления результатов эксперимента, построены графики мощностей резания при разных значениях заднего угла  $\alpha$ , равного 15, 20 и 25 градусов, и например, при толщине  $e = 0,3$  мм и высоте припуска  $h = 3$  мм (рис. 1).



**Рисунок 1 – Графики изменения мощности на шпинделе при обработке открытым фрезерованием древесины сосны при толщине снимаемой стружки  $e = 0,3$  мм и высоте припуска  $h = 3$  мм**

Анализ построенных графиков показал, что оптимальные режимы, с точки зрения энергетической составляющей, будут иметь место при следующих значениях, приведённых в таблице 1.

**Таблица 1 – Режимы обработки**

Частота вращения шпинделя $n$ , об/мин	Толщина стружки $e$ , мм	Высота снимаемого припуска $h$ , мм	$\alpha$ , град	Скорость подачи $V_s$ , м/мин	Мощность $P$ (эксп), кВт
6000	0,1	3	20	6,20	0,328
6000	0,2	3	15	12,39	0,458
6000	0,3	5	15	14,40	0,535

**Выводы:** выявленные экспериментальным путем энергоэффективные режимы обработки могут быть рекомендованы для использования на деревообрабатывающих предприятиях при чистовой обработке древесины сосны на фрезерных станках с ручной подачей и деревообрабатывающих центрах с числовым программным управлением.

## 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 661

В.Т. Лукаш, ассист.;  
С. А. Гриневич, доц., канд. техн. наук  
(БГТУ, г. Минск)

## ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАТУПЛЕНИЯ ДЕРЕВОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Состояние режущей кромки инструмента играет важнейшую роль в процессе формирования поверхности резания и во многом определяет саму энергетику процесса резания. На рисунке приведена расчетная схема поперечной микрогеометрии лезвия с фаской по задней поверхности  $\eta_3$  и радиусом округления режущей кромки  $\rho$ .

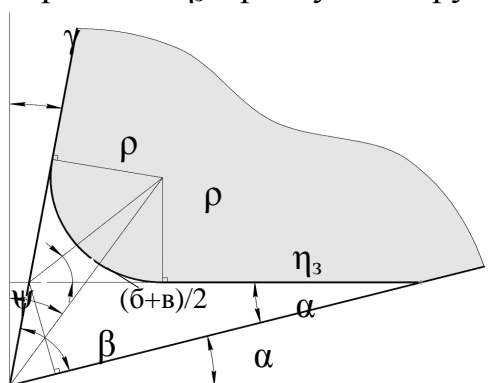


Рис. 1 – Расчетная схема к определению параметров поперечной микрогеометрии

Ряд известных ученых в области резания древесины и древесных материалов, таких как М.А. Дешевой, С.А. Воскресенский, В.И. Любченко и др., полагали, что в первом приближении объем изношенного слоя, стертого древесиной с единицы ширины лезвия инструмента, прямо пропорционален пути резания [0, **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, 3, **Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. Численно данный объем будет равен площади поперечного сечения изношенного слоя:

$$S = \varepsilon \cdot L, \quad (1)$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения изношенного слоя,  $\text{мкм}^2$ ;  $\varepsilon$  – интенсивность изнашивания,  $\text{мкм}^2/\text{м}$ ;  $L$  – путь резания, м.

Возьмем данную гипотезу за основу для последующего моделирования процесса затупления твердосплавного режущего инструмента. Для моделирования примем следующие допущения:

1) в результате интенсивного изнашивания задней поверхности зуба задний угол  $\alpha$  уменьшается до нуля и фаска  $\eta_3$  будет параллельна плоскости резания;

2) кривая, соединяющая переднюю и заднюю поверхности лезвия режущего элемента, представляет собой дугу окружности радиусом  $\rho$ ;

3) центры увеличивающихся дуг окружностей лежат на одной прямой  $OK$ , проведенной под углом  $\psi$  к нормали к плоскости резания.

Последнее допущение позволяет моделировать разный характер изнашивания. Так, при  $\psi$ , равном переднему углу  $\gamma$ , радиус округления  $\rho$  будет равен нулю и поперечная микрогеометрия лезвия будет характеризоваться только фаской по задней поверхности  $\eta_3$ . При дальнейшем увеличении  $\psi$  будет наблюдаться рост радиуса округления режущей кромки  $\rho$ . При  $\psi = \gamma + \beta/2$ , где  $\beta$  — угол заострения лезвия, величина фаски по задней поверхности  $\eta_3$  будет равна нулю и микрогеометрия лезвия будет характеризоваться только радиусом округления режущей кромки  $\rho$ .

Для определения параметров геометрии (рисунок) были выполнены вычисления и в результате получены следующие зависимости:

$$\rho = \sqrt{\frac{\varepsilon \cdot L}{\frac{\sin(\alpha + \beta)}{2 \sin \beta} \cdot \sin \alpha + A^2 \cdot \left( \operatorname{ctg} \frac{\alpha + \beta}{2} - \pi \cdot \frac{180 - \alpha - \beta}{360} \right)}} \cdot A; \quad (2)$$

$$\eta_3 = \sqrt{\frac{\varepsilon \cdot L}{\frac{\sin(\alpha + \beta)}{2 \sin \beta} \cdot \sin \alpha + A^2 \cdot \left( \operatorname{ctg} \frac{\alpha + \beta}{2} - \pi \cdot \frac{180 - \alpha - \beta}{360} \right)}} - \rho \cdot \operatorname{ctg} \left( \frac{\alpha + \beta}{2} \right). \quad (3)$$

$$\text{где } A = \frac{\sin(\alpha + \beta) \cdot \sin \alpha \cdot \sin(\psi - \gamma)}{(\cos \psi - \sin(\psi - \gamma)) \cdot \sin \beta} \quad (4)$$

Зависимости (2) и (3) позволяют определять величины параметров поперечной микрогеометрии лезвия режущего элемента с заданными угловыми характеристиками ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ) в любой момент фактического пути резания  $L$ . Так как выражения носят общий характер, их практическое применение возможно после реализации серии лабораторных исследований с целью определения параметров  $\psi$  и  $\varepsilon$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Воскресенский, С. А. Резание древесины / С. А. Воскресенский. — М. : Гослесбумиздат, 1955. — 200 с.
2. Дешевой, М. А. Механическая технология дерева: в 3 ч. / М. А. Дешевой. — Л. : Кубуч, 1934. — Ч. 1. — 512 с.
3. Любченко, В. И. Резание древесины и древесных материалов: учеб. пособие для вузов / В. И. Любченко. — 2 изд., испр. и доп. — М. : Моск. гос. ун-т леса, 2002. — 309 с.
4. Любченко, В. И. Резание древесины и древесных материалов: учеб. пособие для вузов / В. И. Любченко. — М. : Лесн. пром-сть, 1986. — 296 с.

УДК 674.055:621.934(043.3)

А. А. Гришкевич, доц., канд. техн. наук;  
В. Н. Гаранин, доц, канд. техн. наук;  
Д. Л. Болочко, магистрант  
(БГТУ, г. Минск)

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФРЕЗЕРОВАНИЯ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ РЕФЛЕКТОРНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ**

Цель представленной работы – теоретические и экспериментальные исследования модели механической обработки материалов рефлекторным фрезерным инструментом.

Задачи работы:

1. На основании 3D модели фрезерного инструмента с рефлекторными свойствами представить модель обработки материала указанным инструментом.
2. Произвести расчеты по определению закономерности поведения инструмента с рефлекторными свойствами в режиме обработки материала.

Основные выводы.

Моделирование процесса механической обработки материала фрезерным инструментом с ножом, имеющим прямолинейную режущую кромку, показывает на несущественное влияние площади снимаемого профиля на силу резания при изменении осевого угла  $\lambda$ . Уменьшение касательной составляющей силы резания при увеличении  $\lambda$  с 0 до 30 град. значительно превышает ее рост при одновременном увеличении площади удаляемого материала. Дальнейшее увеличение угла (выше 30 град.) не ведёт к уменьшению мощности. Это связано с тем, что при осевом повороте ножа увеличивается площадь поперечного сечения стружки, так как поверхность обработанной заготовки приобретает криволинейную форму.

Теоретические расчеты модели взаимодействия плоского ножа с обрабатываемым материалом показали работоспособность фрезы с рефлекторными свойствами, что позволило оценить требуемые условия фиксации элементов конструкции к корпусу инструмента.



УДК 674.093.6

В. Н. Гаранин, доц., канд. техн. наук;  
И. А. Зыков, студ.  
(БГТУ, г. Минск)

## **РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ УРОВНЯ ШУМА В ЛЕСОПИЛЬНОМ ЦЕХУ**

Цель представленной работы – повысить безопасность эксплуатации деревообрабатывающего оборудования путем разработки плана мероприятий по снижению уровня шумового загрязнения среды в лесопильном цеху.

Задачи работы:

1. Провести анализ ситуации с шумом в лесопильном цеху ГЛХУ «Лепельский лесхоз»;
2. Рассмотреть существующие способы борьбы с шумом при эксплуатации промышленного оборудования;
3. Разработать мероприятия по снижению шума в цеху ГЛХУ «Лепельский лесхоз»

В рамках выполнения работ по повышению безопасности эксплуатации деревообрабатывающего оборудования в лесопильном цеху ГЛХУ «Лепельский лесхоз» было уделено внимание изучению шума, возникающего при обработке древесины.

Измеряя уровень звука (шума) с помощью поверенного прецизионного 4-канального анализатора спектра ЭКОФИЗИКА 110А, и анализируя ситуацию по основным источникам их возникновения в лесопильном цеху ГЛХУ «Лепельский лесхоз» были выделены следующие основные источники шума:

1. Шум на ближайшем от машины рабочем месте от работы баббанной дробилки ЕВ 500-2/3/4:
  - эквивалентный уровень звука – 113 дБА (калеблющийся шум),
  - уровень звука – 104,6 дБА (постоянный шум).
2. Шум на ближайшем от машины рабочем месте от работы станка брусующего двухвального ТТ-5/600/400G:
  - уровень звука – 106 дБА (постоянный шум во время пиления),
  - уровень звука – 103,6 дБА (постоянный шум во время холостого хода).
3. Импульсный непостоянный шум от падения заготовок на рабочие ветви конвейеров.

Было установлено, что из-за конструктивных особенностей стен и крыши помещения, где установлено деревообрабатывающее оборудование, образующийся шум не поглощается строительными конст-

рукциями, из-за чего звуковое давление многократно отражается, вызывая дополнительное воздействие на обслуживающий персонал.

Для решения поставленной задачи было предложено использовать два метода борьбы с шумом: пассивный и активный. Активный способ основан на снижении шума от источника его возникновения, а пассивный – на поглощении шума. Для борьбы с шумом пассивным способом используют различного рода звукопоглощающие и звукоизоляционные материалы. Большое внимание в работе было уделено себестоимости проведения мероприятий по снижению уровня шумового загрязнения в лесопильном цеху ГЛХУ «Лепельский лесхоз».

Из активных методов борьбы с шумом было предложено использовать следующие моменты:

- инструмент с пониженными шумовыми характеристиками;
- во время ремонта установить в опоры подшипники с сепараторами из композиционных материалов;
- снизить частоты вращения шпинделей до рациональных значений по различным критериям;
- снизить вибрационные характеристики деталей линии лесопиления, испытывающие ударные нагрузки;
- оборудование, не участвующее непосредственно в обработке материала, установить вне лесопильного цеха.

Из пассивных методов борьбы с шумом было предложено использовать звукопоглощающие поверхности внутри лесопильного цеха.

#### Основные выводы

Таким образом, при изучении условий эксплуатации деревообрабатывающего оборудования в лесопильном цеху ГЛХУ «Лепельский лесхоз» следует обратить внимание на следующие моменты.

1. При выборе лесопильного оборудования необходимо обращать внимание на конструктивные решения, которые разработчики используют при создании станков и транспортных устройств для борьбы с шумом. Например, в современном машиностроении уже широко используются композиционные материалы, обладающие меньшими резанирующими характеристиками по сравнению с металлами.

2. При выборе расходных материалов также следует руководствоваться необходимостью снижать шумовое загрязнение. Для этих целей не всегда необходимо использовать дорогие узлы.

3. При организации лесопильного цеха необходимо обращать внимание на реверберационные свойства материалов стен и потолков помещения, где устанавливается деревообрабатывающее оборудование.

УДК 674.055-048.25:621.914.2

Г. В. Алифировец, зав. лабораторией;  
А. А. Гришкевич, доц., канд. техн. наук;  
В. Н. Гаранин, доц., канд. техн. наук,  
(БГТУ, г. Минск)

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПЕРИОДА СТОЙКОСТИ ПЛОСКИХ НОЖЕЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ФРЕЗ ПРОФИЛИРУЮЩИХ МАШИН**

Фрезерные узлы оборудования для комплексной переработки древесины на пилопродукцию и технологическую щепу, входящие в состав лесопильных линий, чаще всего оснащаются цилиндрическими, торцовыми и торцово-коническими сборными фрезами или коническими фрезами с подчищающим (прорезным) пильным диском на торцах фрез, т. е. сборным комбинированным пильным диском [1]. Конструкция инструмента, параметры его режущих элементов определяют качество и выход продукции, производительность и энергозатраты на переработку древесины.

На территории предприятия ОАО «Борисовский ДОК» установлена современная фрезерно-брусующая линия фирмы «LINSK», в состав которой входит фрезерно-пильный станок VPS 22, профилирующий с четырёх сторон бревно. После профилирования две боковые доски отделяются при помощи дисковых пил. Распил выполняется одновременно с верхней и нижней стороны бруса. Режущим инструментом фрезерно-пильного станка VPS 22 являются цилиндрические фрезы с плоскими ножами. Актуальной задачей является разработка методов повышения периода стойкости инструмента. На сегодняшний день одним из перспективных направлений упрочнения поверхности является ионно-плазменное азотирование. На территории Республики Беларусь на ведущих металлообрабатывающих предприятиях были изготовлены партии ножей для профилирующего станка VPS 22.

Изготовленные ножи были установлены на фрезерно-пильный станок VPS 22 и испытаны с целью определения их периода стойкости. Для сравнения на левую фрезу машины были установлены неупрочненные ножи, на правую – упрочненные. Проводимые промышленные испытания ножей показали увеличение их периода стойкости после применения технологии ионо-плазменного азотирования на 30 % в сравнении с немодифицированными ножами.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Боровиков, Е. М. Лесопиление на агрегатном оборудовании / Е. М. Боровиков, Л. А. Фефилов, В. В. Шестаков – М.: Лесная промышленность, 1985. – 216 с.

УДК 630\*:674.8.004.3+674.821

Н. М. Горбачев, гл. конструктор проекта  
(ИТМО им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, Минск)

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

## **ВОПРОСЫ БЕЗОПАСНОСТИ В ПРОИЗВОДСТВЕ И ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИЗМЕЛЬЧЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА**

Процессы измельчения древесины, изготовления топливных брикетов, гранул и использование ее в качестве топлива требуют решения задач обеспечения экологической и взрывопожарной безопасности, охраны труда и энергоэффективности производственных процессов. В круг решаемых задач входят изучение свойств продукта измельчения древесины (ИД), древесных материалов и утилизируемых изделий с содержанием инородных веществ. Результаты исследований являются основой соответствующей системы технического нормирования, повышения качества топлива, процессов его получения, транспортирования и использования, совершенствования оборудования и режимов его работы.

К показателям, требующим изучения относятся: горючесть и взрываемость, продукты горения, углы откоса, обрушения, уплотнение, сводообразование и опорожнение емкости, просеивание, псевдоожижение, отсев и сегрегация, изменчивость показателей в результате изменений среды пребывания и различных воздействий).

Исследованию свойств ИД имеет давнюю историю, однако появляются новые измельчаемые материалы, технологические процессы и, виды оборудования, методы обработки, которые актуализируют перед наукой и практикой решение новых задач. На основе получаемых результатов совершенствуется нормативно-техническая база, технологические процессы и оборудование. Например, ГОСТ Р 57909-2017 «Нанотехнологии. Порошки из наночастиц. Основные характеристики и методы их определения», серия ГОСТ 33103.1-2017 (ISO 17225-1:2014) «Биотопливо твердое. Технические характеристики и классы топлива» и др.

Работы в области изучения свойств и процессов с ИД активно ведутся за рубежом. Публикуемые результаты касаются показателей взрывопожарной опасности, горения, скорости нарастания избыточного давления, минимальной энергии и концентрационных пределов воспламенения, выделения вредных веществ, процессов сушки, термообработки и торрефикации, классификационных показателей материалов. БГТУ и ИТМО им. А.В. Лыкова НАН Беларуси проводят анализ источников информации, налаживают контакты для сотрудничества в области изучения свойств ИД.

УДК 621.928:674

Н. М. Горбачев, гл. конструктор проекта  
(ИТМО, им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, Минск),  
С. П. Трофимов, доц., канд. техн. наук (БГТУ, Минск)

## **ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ КОЛЬЦЕВЫХ ЖАЛЮЗИЙНЫХ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ С ПРОФИЛИРОВАННЫМИ КОЛЬЦАМИ В СИСТЕМАХ АСПИРАЦИИ**

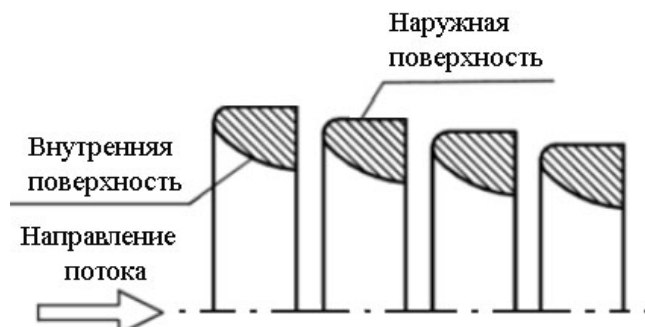
Наблюдается устойчивая тенденция роста пылевой нагрузки на предприятиях деревообрабатывающей промышленности. В связи с этим возрастает потребность в снижении габаритов и повышении эффективности пылеулавливающего оборудования. Известно, что жалюзийные пылеуловители являются наиболее компактными из сухих инерционных уловителей, габариты которых позволяют размещать их там, где установка других аппаратов не возможна.

Наиболее распространены конусные пылеуловители, состоящие из цилиндрического корпуса с размещенной в нем конической жалюзийной решеткой состоящей из набора соосно расположенных с определенным зазором друг от друга колец, диаметр которых монотонно уменьшается вдоль оси цилиндра. Запыленный воздух поступает со стороны основания конической решетки и разделяется ею на две части, одну очищенную составляющую примерно 90% и другую около 10%, в которой сосредоточена основная масса пыли. Через пылеотводную трубу, размещенную в вершине конической решетки обогащенный пылью поток отводится к отсасывающему пылеуловителю. Кольца этих пылеуловителей обычно изготавливаются из стального листа в виде усеченного конуса или из катанного уголка.

Работа таких пылеуловителей характеризуется следующими параметрами: коэффициент гидравлического сопротивления отнесенный к скоростному давлению потока во входном сечении устройства –  $\xi \approx 1,75$ ; степень очистки газа для частиц размером 5 мкм – 10 %, 50 мкм – 90%.

В результате работ выполненных в 80-е годы ОАО «Экорест» было установлено, что приданием кольцу специальной аэродинамической формы можно существенно увеличить эффективность жалюзийной решетки. Внутреннюю поверхность такого кольца характеризует обтекаемость, а тыльная обрезана перпендикулярно потоку и образует острую кромку. Моделирование потока показало, что при такой геометрии в зазоре между кольцами образуется устойчивый тороидальный вихрь, препятствующий выносу мелких частиц с внутренней поверхности конуса.

Эксперименты, проведенные с подобными (рисунок 1) жалюзийными решетками показали, что при запыленности газа до  $50 \text{ г/м}^3$  обеспечивается эффективность очистки для частиц размером  $5\text{--}50 \text{ мкм}$  на уровне  $80\text{--}95\%$ . Существенным является то, что при такой форме колец в широком диапазоне характеристик запыленного потока эффективность рассматриваемого устройства практически не меняется. Разработан типовой ряд таких аппаратов производительностью от  $2,5$  до  $50 \text{ тыс.м}^3/\text{ч}$ .



**Рисунок 1 – Схема размещения профилированных колец жалюзийного пылеуловителя**

Аппарат производительностью  $50 \text{ тыс.м}^3/\text{ч}$  представляет собой цилиндр диаметром  $0,8 \text{ м}$  длиной около  $4 \text{ м}$ . Широкое внедрение таких аппаратов сдерживается отсутствием научно-обоснованной нормативной базы по определению условий их применения. Вместе с тем, как нам представляется, полностью не исчерпан потенциал по оптимизации их аэродинамической схемы. Очевидна целесообразность проведения НИР и ОКР по совершенствованию и внедрению таких аппаратов в системах аспирации и пылеулавливания деревообработки и некоторых других производств.

Коэффициент инерционного пылеотделения определяется долей частиц, покинувших поток при изменении им направления в процессе обтекания препятствий. Интенсивность пылеотделения, в определенной области, характеризует, критерий Стокса, учитывающий соотношение сил инерции и сопротивление среды.

На практике эффективность жалюзийной решетки, как и импактора может быть определена функцией  $v = f(\sqrt{St})$ , где  $St$  – критерий Стокса. Существует критическое значение числа  $St$ , ниже которого улавливания частиц практически не происходит. Следует отметить, что эффективность решетки слабо зависит в широком диапазоне ( $500\text{--}25000$ ) от числа Рейнольдса определенного для межкольцевого зазора.

УДК 630\*:674

С. П. Трофимов, доц., канд. техн. наук (БГТУ, Минск);  
Т. Рогозинский, д-р инж., (UPP, Познань)

### **РАЗМЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЫЛИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ БЕРЕЗОВОЙ ФАНЕРЫ**

Процессы шлифования древесины и древесных материалов сопровождаются образованием мелкой пыли, попадание ее в рабочую зону и окружающую среду является фактором экологической, и взрывопожарной опасности для в виде взвеси и отложения является фактором вредного воздействия и повышения уровня взрывопожарной опасности.

Учет характеристик пыли необходим для решения вопросов оценки состояния воздуха рабочей зоны и степени вредного воздействия на здоровье, для и выбора и улучшения характеристик фильтрующего материала оборудования для очистки воздуха на выходе из систем аспирации, проектирования предприятий и обоснования размеров санитарно-защитных зон, оценки степени взрывоопасности производств и риска чрезвычайных ситуаций.

Пыль древесная была получена с фанерного производства ЗАО «Пинскдрев» при шлифовании березовой фанеры наждачной бумагой P60 и P80 на установке OSUS NOVA 160/4 K / FC-MCg, которая был оснащен 4-мя шлифовальными головками со шлифовальной лентой размером 1600×2800 мм.

Определение фракционного состава пыли от шлифования березовой фанеры, включая самую мелкую было проведено на лабораторном оборудовании Университета естественных наук в Познани при наличии взаимного интереса в получении данных для использования в различных целях.

При определении фракционного состав пыли были использованы просеивающая машина Retsch 200AS и лазерный дифрактометр Analysette 22 MicroTec Plus. Распределение частиц по размерам определялось взвешиванием с помощью электронных весов WPS 510 / C / 2. Средние значения трех измерений были приняты в качестве окончательного результата процедуры анализа.

Массовые доли пыли в предполагаемых диапазонах определяли с использованием лазерного дифракционного анализа в фракции Cs64 и всей массы пыли, созданной при шлифовании березовой фанеры.

Расчет содержания пылевых фракций в диапазонах 0,1–4 мкм, 4–10 мкм и последующих с интервалом 10 мкм осуществлялся по формуле

$$C_i = C_{s64} C_{Li}, \quad (1)$$

где  $C_i$  – пылевая фракция в предполагаемых диапазонах размеров всей массы пыли;  $C_{s64}$  – пылевая фракция, собранная во время ситового анализа в нижнем коллекторе;  $C_{Li}$  – массовые доли пыли в предполагаемых пределах, определенные с помощью лазерного дифракционного анализа в фракции  $C_{s64}$ .

**Таблица 1 – Фракционный состав березовой пыли шлифования фанеры**

Нижний предел, мкм	Верхний предел, мкм	Дискретное распределение в $C_{s64}$ фракции $dQ_3(x)$ , %	Кумулятивное распределение в $C_{s64}$ фракции $Q_3(x)$ , %	Fractions in the whole mass of dust, %
0,00	0,10	0,10	0,10	0,003962
0,10	4,00	2,33	2,42	0,095826
4,00	10,00	9,12	11,54	0,375709
10,00	20,00	21,24	32,79	0,875267
20,00	30,00	18,75	51,53	0,772329
30,00	40,00	14,64	66,17	0,603201
40,00	50,00	10,72	76,89	0,441657
50,00	60,00	7,62	84,51	0,313842
60,00	70,00	5,38	89,88	0,221457
70,00	80,00	3,60	93,49	0,148421
80,00	90,00	2,47	95,96	0,101805
90,00	100,00	1,61	97,57	0,066357
100,00	1 000,00	2,42	99,99	0,099822

Полученные данные позволяют сделать вывод – пыль шлифования березовой фанеры относительно грубая [1], однако в ней пыли обнаружены и очень мелкие частицы, присутствие которых может быть причиной ухудшения улавливания ее установками воздухоочистки систем аспирации, повышения риска для здоровья и уровня взрывопожарной опасности производств. Данные о фракционном составе пыли представляют интерес для продолжения исследований, включая рассмотрение процессов ее доизмельчения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1 Rogozinski, T. Dust creation during birch plywood production / T. Rogozinski, S. Trofimov. – Annals of Warsaw University of Life Sciences. – SGGW. Forestry and Wood Technology. No 98, 2017. – p. 99–103.



УДК 630\*:674

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

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ УГЛА ОТКОСА ИЗМЕЛЬЧЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

В процессах деревообработки образуется, перемещается и используется огромное количество измельченной древесины в виде отходов производства и продуктов целевого назначения для технологических нужд.

При проведении работ по изучению свойств измельченной древесины определялись различные показатели, характеризующие ее, включая угол откоса и влияние на него ряда факторов. Экспериментальные исследования влияния динамических воздействий на сыпучий материал были проведены на специально изготовленной лабораторной установке с регулируемой частотой встряхивания имитирующей условия транспортирования груза ленточным конвейером с роликоопорами на рабочей ветви.

Частота встряхивания материала  $n$  (1/с) при транспортировании его ленточным конвейером может быть определена по формуле

$$n = v/l, \quad (1)$$

где  $v$  – скорость движения тягового органа ленточного конвейера, м/с;  $l$  – межосевое расстояние роликоопор на рабочей ветви конвейера, м.

Расчет частоты  $n$  встряхивания сыпучего материала по формуле позволил определить диапазон изменения исследуемого фактора динамического воздействия на угол откоса груза. В таблице 1 приведен фрагмент результатов исследования сухой стружки, полученной при фрезеровании древесины бука.

**Таблица 1 – Влияние частоты встряхивания на угол откоса сухой буковой стружки фрезерования**

Частота встряхивания, 1/с	Диаметр цилиндра-накопителя порции ИД, $D_{ц}$ , мм					
	100			150		
	$h$ , мм	$d/2$ , мм	$\varphi$ , град	$h$ , мм	$d/2$ , мм	$\varphi$ , град.
0	120	100	50	150	155	44
2	80	130	31	90	160	29
4	40	135	17	50	170	16
5	30	160	11	35	180	11

Результаты исследования представляют практический интерес для решения некоторых проблем деревообрабатывающих производств и позволяют определить задачи последующих работ.

УДК (628.393.614.8)

Г.И. Касперов, доц., канд. техн. наук; В.Г. Ленская, студ.  
(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)

## **ЭКСПРЕСС-ОБСЛЕДОВАНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НА ИСКУССТВЕННЫХ ВОДОЕМАХ БЕЛАРУСИ**

Искусственные водоемы Беларуси выполняют важные хозяйственные функции и имеют большое экологическое значение. Вместе с тем они несут опасность аварий и некоторых других негативных явлений. В докладе рассматриваются результаты натурных обследований искусственных водоемов, выполненных в период с 2010 по 2016годы. Искусственные водоемы рассматривались, как источники опасных техногенных процессов и явлений.

В рамках ГПНИ «Информатика, космос и безопасность» проведено систематическое обследование технического состояния гидротехнических сооружений (ГТС) 105 водохранилищ Беларуси. В исследованиях участвовали работники Белорусского государственного технологического университета, Белорусского национального технического университета, Объединенного института проблем информатики НАН Беларуси, Университета гражданской защиты МЧС Республики Беларусь. Чтобы обследовать значительное количество водных объектов при ограничениях по финансовым затратам и времени был предложен подход, условно названный экспресс-обследованием.

Экспресс-обследование предполагает обследование водохранилища группой специалистов. Проводится общая оценка состояния водохранилища, его использования по назначению. Проводится наружный осмотр плотины, водосбросных или водопропускных сооружений, берегов водохранилища в местах примыкания к телу плотины. При этом выявляются, измеряются, описываются и фотографируются повреждения и деформации ГТС. При экспресс-обследовании рассматривается только надводная часть плотины. По окончании обследования вся собранная информация заносится в специализированную базу данных.

Все повреждения и деформации, выявляемые при экспресс-обследованиях, классифицированы на три группы: повреждения сооружений напорного фронта (дамб и плотин), повреждения водосбросных и водорегулирующих сооружений, повреждения берегов и

берегозащитных сооружений. По протяженности выделяются линейные и локальные (точечные) повреждения.

К повреждениям сооружений напорного фронта относили: разрушение гребня плотины и его покрытия, повреждения верхового и низового откосов плотины. Повреждения гребня плотины чаще носят линейный характер. В случае экстремального подъема уровня воды в водохранилище повреждения гребня плотины увеличивают вероятность перелива воды с последующим разрушением плотины. К повреждениям верхового откоса относили: размыв тела плотины, повреждения крепления откоса, вымыв грунта из-под плит крепления откоса, поломки, выбоины и смещения плит крепления, образование щелей между плитами крепления.

Наиболее опасное повреждение низового откоса – это суффозионный вынос грунта, возникающий при нарушении нормальной фильтрации воды через сооружение. Повреждения откосов плотины имели локальный, либо линейный характер. Эти повреждения могут привести к потере фильтрационной устойчивости плотины с последующим образованием прорана и прорывом плотины. Для укрепленных берегов характерны те же повреждения, что для верховых откосов дамб и плотин – это переработка берега, разрушение элементов крепления и вынос грунта из-под крепления.

Проведенные экспресс-обследования водохранилищ Беларуси позволили оценить техническое состояние ГТС. Проведена классификация выявленных повреждений и деформаций ГТС, определены наиболее распространенные повреждения.

Большинство ГТС имеют повреждения и нуждаются в профилактических ремонтных работах, однако состояние ГТС не является критическим и не несет возникновения гидродинамической аварии в ближайшие 3-5 лет. Состояние ГТС на отдельных водных объектах вызывает опасения и может привести к аварии в случае экстремальных паводков.

Экспресс-обследования показали свою эффективность, как средство оценки технического состояния ГТС. Целесообразно с периодичностью один-два года проводить экспресс-обследования всех водохранилищ и крупных прудов с целью выявления опасных повреждений ГТС, что позволит повысить эффективность мер по предупреждению гидродинамических аварий.

УДК (628.393.614.8)

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

В.Е. Левкевич, доц., канд. техн. наук;

Л.В. Бокуть, доц., канд. техн. наук  
(БНТУ, г. Минск);

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

## **ПОВРЕЖДЕНИЯ ПОДПОРНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НА ИСКУССТВЕННЫХ ВОДОЕМАХ БЕЛАРУСИ КАК ФАКТОР РИСКА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ АВАРИЙ**

Для устойчивого развития любой страны необходимо принятие мер по сокращению ущерба, причиняемого чрезвычайными ситуациями. Эти меры должны опираться на теорию анализа и управления риском. Анализ риска заключается в систематическом использовании всей доступной информации для идентификации опасностей и оценки риска возможных нежелательных событий.

Искусственные водоемы (водохранилища и пруды) являются источником риска возникновения гидродинамических аварий. Одним из факторов риска таких аварий являются повреждения подпорных гидротехнических сооружений (плотин и дамб), а также водосбросных и водорегулирующих сооружений. Для оценки повреждений гидротехнических сооружений проведено натурное обследование 105 водохранилищ, расположенных на территории Республики Беларусь.

В докладе приведены некоторые примеры нарушений, обнаруженных в результате натуральных экспресс-обследований технического состояния гидротехнических сооружений ряда водохранилищ: Волпа (Гродненская область, Волковысский район), Лаздуны (Гродненская область, Ивьевский район), Чигиринское (Могилевская область, Кировский район), Лепельское (Витебская область, Лепельский район), Млынокское (Ельский и Наровлянский районы Гомельской области) и пруд-накопитель у города Смолевичи (Минская область). Анализ результатов натуральных обследований водных объектов позволил выявить наиболее распространенные повреждения гидротехнических сооружений. Для обследованных водных объектов типичными являлись повреждения верхних откосов дамб и плотин. Регулярно наблюдается вымывание грунта из швов между плитами крепления откосов. На многих плитах имелись трещины и разломы. На многих водохранилищах зафиксированы локальные разрушения береговых склонов вблизи плотины. Повсеместно отмечается нарушения целостности бе-

тонных конструкций (бычков, балок, оголовков) водосбросных сооружений. Менее распространены, однако отмечены на ряде объектов такие опасные нарушения, как суффозионный вынос грунта из тела плотины, оползание грунтовых откосов в верхнем и нижнем бьефах, деформация металлических конструкций водосбросных сооружений.

Основные причины, вызывающие повреждения откосов плотин и береговых склонов это комплексное воздействие природных факторов. На вытянутых в плане русловых водохранилищах главной причиной повреждений являлись абразионные процессы, получающих развитие под комплексным воздействием ветровых волн, колебания уровней и течений. На относительно малых по площади водохранилищах и прудах, где длина разгона волны менее километра, главный вклад в повреждения вносят дождевая эрозия, ледовые воздействия, изменения уровня воды. Причинами повреждений гидротехнических сооружений могут быть ошибки в проектировании и строительстве.

Помимо повреждений, непосредственно связанных с опасностью гидродинамической аварии, в ходе экспресс-обследований по возможности фиксировались другие аспекты состояния водохранилищ. В частности, фиксировались разрушения берегов водохранилищ, являющиеся результатом абразионных процессов. Эти разрушения наносят ущерб лесному хозяйству, препятствуют сельскохозяйственному использованию земель, могут угрожать жилью и хозяйственным постройкам. Значительные разрушения берегов отмечены на Вилейском, Солигорском, Чижовском, Краснослободском водохранилищах.

Повреждения и деформации гидротехнических сооружений являются важным, но не единственным фактором риска гидродинамических аварий. Другими факторами риска являются природные явления (паводки, половодья, ледоход) и человеческий фактор (недостатки в квалификации и дисциплине обслуживающего персонала), а также возможные их сочетания, приводящие к различным сценариям развития событий. Особую опасность представляет одновременное сочетание всех факторов риска.

Проведенные обследования водохранилищ Беларуси показали, что большинство гидротехнических сооружений имеют повреждения и нуждаются в профилактических ремонтных работах, однако состояние гидротехнических сооружений не является критическим и не несет риска возникновения гидродинамической аварии в ближайшие три-пять года.

УДК 621.785.532

Adel Abdel Basset Rashid (Beirut Arab University, Lebanon, Tyre);  
Mourtada Srour, Assistan Professor (Lebanese University, Lebanon);  
Ф.Ф. Царук, доц., канд. техн. наук; С.Е. Бельский, проф., канд. техн. наук;  
М.Н. Пищов, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК УСТАЛОСТИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПОСЛЕ ЛАЗЕРНОГО УПРОЧНЕНИЯ**

Весьма актуальной является задача всемерного увеличения использования вторичного алюминия, получение которого позволяет снизить энергозатраты до двадцати раз по сравнению с первичным при существенно меньшей экологической нагрузке на среду обитания. Однако обоснованное использование вторичного алюминия для ответственных изделий требует проведения большого объема трудоемких усталостных испытаний. Для снижения трудоемкости и сокращения времени проведения усталостных испытаний, особенно при больших базах, весьма перспективным является использование высоких частот механических колебаний, позволяющих за приемлемый промежуток времени обеспечить наработку значительного числа циклов.

Объектом исследований в данной работе являлись плоские балочные образцы толщиной 2,0 мм из вторичного алюминиевого сплава АК8МЗ с различным содержанием железа и разным состоянием упрочненной лазером поверхности, которые колебались по второй собственной форме колебаний. Размеры и форма образцов были выбраны такими, что усталостное разрушение происходило в месте максимальных циклических напряжений, расположенных примерно посередине прямолинейного участка, что позволяло удобно исследовать изменение свойств материала и развитие усталостной трещины.

Установлено, что лазерное воздействие существенно влияет на усталостные свойства сплавов. Экспериментально установлена оптимальная величина процентного содержания железа в исследуемом сплаве с точки зрения повышенного уровня его усталостных свойств, которую можно принять в пределах одного процента, с допустимой величиной отклонения не более половины процента содержания железа. Можно предположить, что данное влияние железа сохранится и для других видов обработки поверхности данного сплава.

Представляется возможным, что подбором параметров лазерного воздействия на данный класс сплавов можно получать однородные структуры, не имеющие дефектов в виде крупных газовых включений и, благодаря этим обстоятельствам, обладающие повышенными характеристиками сопротивления усталости. Для правильного выбора параметров лазерного упрочнения необходимо проведение дальнейших исследований в данном направлении.

УДК 621.185.532

Ф.Ф. Царук, доц., канд. техн. наук;  
М.Н. Пищов, доц., канд. техн. наук;  
М.Д. Говен, магистрант  
(БГТУ, г. Минск)

## **ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ФАКТОРА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ УСТАЛОСТИ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА**

В работе приведены данные по влиянию высокочастотных механических колебаний, температуры и времени воздействия последней на усталостные характеристики моделей из алюминиевого сплава АМг2. Испытания отожженных и электрополированных образцов, вырезанных из металла одной поставки вдоль направления проката, проводились на частоте 18 кГц симметричного циклического изгиба. В качестве усталостной характеристики, чувствительной к воздействию температуры были выбраны пороговые напряжения, определявшиеся с помощью измерения микротвердости вдоль образца, колебавшегося на второй собственной форме.

Характер изменения микротвердости при нормальной и повышенных температурах был практически одинаков, что видно из подобия формы кривых изменения микротвердости. Также анализ экспериментальных данных позволил установить, что увеличение температуры выдержки приводит к отжигу дефектов структуры таким образом, что происходит закономерный сдвиг величины пороговых напряжений (напряжений, при которых фиксируется начало изменения микротвердости) в сторону их увеличения. Можно предположить, что при повышении температуры происходит устранение термически активируемых препятствий (точечных дефектов решетки, атомов твердого раствора) благодаря тому, что внутренние напряжения в структуре должны совершать меньшую работу по преодолению препятствий.

Учитывая то, что характер изменения пороговых напряжений как при низкой, так и высоких частотах остается практически неизменным при нормальных температурах, закономерно увеличиваясь с ростом частоты циклических напряжений, можно предположить, что установленная зависимость будет сохраняться и для низких частотах испытаний, регламентированных ГОСТом.

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.

УДК 621.785.532

Ф.Ф. Царук, доц., канд. техн. наук;  
М.Н. Пищов, доц., канд. техн. наук; Э.П. Андрейковец, магистрант  
(БГТУ, г. Минск)

## **ВЛИЯНИЕ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ НА СЛУЖЕБНЫЕ СВОЙСТВА АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА**

Объектом исследований в данной работе являлись плоские ба- лочные образцы толщиной 2,0 мм из алюминиевого сплава АК8МЗ с различным содержанием железа и разным состоянием упрочненной лазером поверхности, которые колебались по второй собственной форме колебаний.

Лазерное воздействие существенно влияет на поведение исход- ной литой структуры сплава и приводит к значительным ее изменени- ям. Наряду с увеличением гомогенности структуры, лазерная обра- ботка приводила к появлению в зоне термического влияния округлых газовых полостей, через которые и проходила усталостная трещина.

Экспериментально установлена оптимальная величина процент- ного содержания железа в исследуемом сплаве с точки зрения повы- шенного уровня его усталостных свойств, которую можно принять в пределах одного процента, с допустимой величиной отклонения не более половины процента содержания железа. Ожидаемо, что данное влияние железа сохранится и для других видов обработки поверхно- сти данного сплава.

Установлено, что лазерная обработка существенно влияет как на внешний вид поверхности исследованных вариантов сплава, делая ее более шероховатой, так и на структурные составляющие поверхност- ных слоев, приводя к оптически более гомогенной структуре, одно- временно вызывая появление газовых включений существенной вели- чины, по которым и проходит фронт усталостного повреждения.

Представляется возможным, что подбором параметров лазерного воздействия на данный класс сплавов можно получать однородные структуры, не имеющие дефектов в виде крупных газовых включений и, благодаря этим обстоятельствам, обладающие повышенными ха- рактеристиками сопротивления усталости. Для правильного выбора параметров лазерного упрочнения необходимо проведение дальней- ших исследований в данном направлении.

Результаты данной работы являются хорошей иллюстрацией эффективного применения метода высокочастотного нагружения для оперативного выявления дефектов, привносимых либо исследуемой технологией или же нарушением традиционной упрочняющей техно- логии, которые существенно влияют на усталостные характеристики конструкционных материалов.



УДК676.22.017

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

### **МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ И КОНТРОЛЯ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ УЗКИХ ЛЕНТОЧНЫХ ПИЛ**

Основной задачей при получении пиломатериалов является снижение энергозатрат совместно с рациональным использованием древесного сырья. Применение узких ленточных пил для распиловки бревен позволяет успешно решать данную задачу. Однако при их использовании, остро стоит проблема недостаточной усталостной долговечности пил, вызванной значительными напряжениями изгиба, возникающими в ее полотне при огибании шкивов станка.

На сегодняшний день наиболее перспективным путем повышения долговечности данного типа дереворежущего инструмента является проведение упругопластического деформирования, суть которого заключается в создании остаточных напряжений заданного значения в поверхностных слоях полотна пилы. Их создание возможно путем обкатки ленточной пилы на шкивах малого диаметра 88–116 мм, и со скоростью обкатки полотна по их поверхности 1,38–1,82 см/с. Значения диаметра шкива и скорость обкатки выбираются исходя из физико-механических свойств материала полотна ленточной пилы и толщины полотна. Деформирование проводится единовременно, перед началом работы инструмента и не требует последующего повторения ввиду незначительности релаксационных явлений в полотне ленточной пилы. Проведение упругопластического деформирования возможно в условиях деревообрабатывающих предприятий и не требует значительных материальных и энергетических затрат.

С целью обеспечения максимальной эффективности данного способа упрочнения необходим контроль за правильностью его проведения, который возможно осуществить по величине остаточного радиуса кривизны полотна пилы, напрямую зависящий от режимов проведения деформирования. Определение радиуса кривизны в свою очередь проводится на основании измерения стрелы прогиба образца на заданной базе измерения. Для этого упругопластическому деформированию подвергаются пилы из одной партии и совместно с ними на соответствующих режимах упрочнение проходит образец-свидетель представляющий собой отрезок полотна ленточной пилы из той же партии, что и сами пилы длиной 500-600 мм.

УДК 621.8076.50

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

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЗАКЛЕПОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СРЕДСТВАМИ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА**

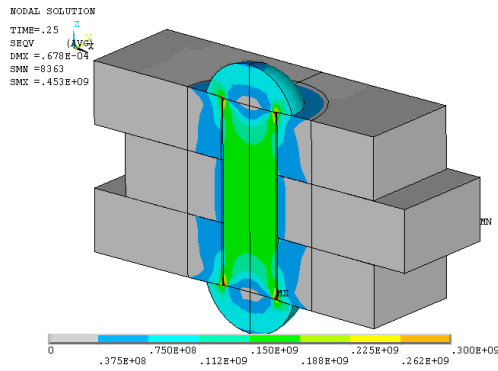
Заклепочное соединение является неразъемным. В большинстве случаев его применяют для соединения листов и фасонных прокатных профилей. Соединение образуется расклепыванием стержня заклепки, вставляемой в отверстие деталей. Такие соединения обладают высокой надежностью, удобством контроля качества, хорошей сопротивляемостью вибрационным и ударным нагрузкам. Недостатки: большой расход материала, высокая стоимость изготовления, шум при клепке.

Заклепки изготавливаются из алюминиевых сплавов, сталей, латуни, титана. Стальные заклепки обычно изготавливают из углеродистых сталей Ст2, Ст3 и др., а в специальных конструкциях – из легированной стали. Во избежание химической коррозии заклепки ставят из того же материала, что и соединяемые детали. В пакетах с сочетанием листов из легких сплавов, а также в пакетах, имеющих детали из легких сплавов и сталей, применяют заклепки из алюминиевых сплавов. В заклепочных соединениях, где присутствует сочетание деталей из неметаллических материалов применяют заклепки из легкодеформируемых материалов

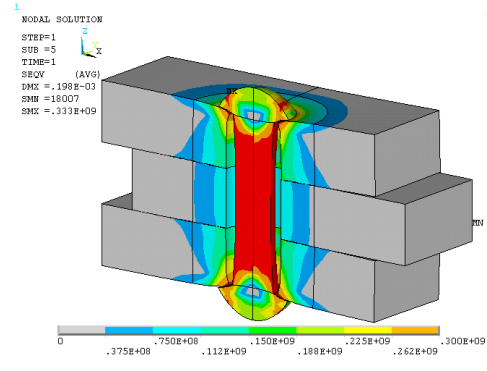
Исследования статической и динамической нагруженности выполнялись нами на примере двухсрезного предварительно напряженного заклепочного соединения, моделирующего соединение фрикционных накладок к тормозным дискам лесных машин. По типу заклепочного шва данный вид соединения относится к прочным швам, предназначенным для получения соединений высокой прочности и воспринимающим внешние нагрузки.

Модель заклепочного соединения до приложения растягивающих напряжений в заклепке представлена на рис. 1, модель соединения с напряженной заклепкой – на рис. 2.

На рис. 3 показано напряженно-деформированное состояние деталей заклепочного соединения при приложении к пластинам продольной нагрузки 85 кН.

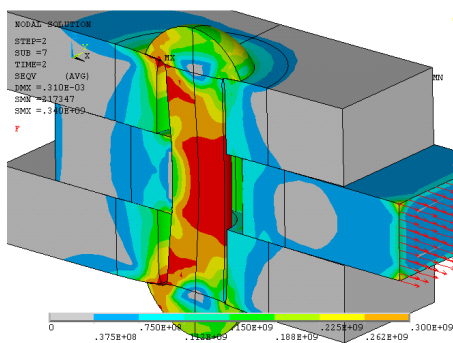


**Рисунок 1 - Заклепочное соединение до момента возникновения напряжений в заклепке**

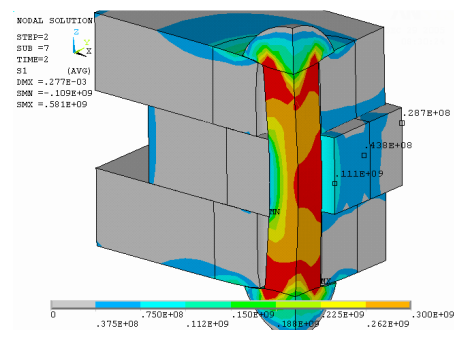


**Рисунок 2 - Заклепочное соединение с напряженной заклепкой**

В данном соединении использованы заклепки диаметром 10 мм. Максимальные напряжения в элементах конструкции достигают значения  $\sigma_{\max} = 340 \text{ Н/мм}^2$  (на рис. 3 отмечено как «мх»). Напряжения в самих соединяемых пластинах невелики, не превышают  $75 \text{ Н/мм}^2$ .



**Рисунок 3 - Эквивалентные напряжения в заклепочном соединении при приложении к пластинам продольной силы 85 кН**



**Рисунок 4 - Растягивающие напряжения в заклепочном соединении при приложении к пластинам продольной силы 115 кН**

На рис. 4 показаны растягивающие напряжения в заклепочном соединении при приложении динамически изменяющейся нагрузки приложенной к пластинам в максимальном значении 115 кН. Наибольшие напряжения здесь достигают  $\sigma_{\max} = 581 \text{ Н/мм}^2$  (на рис. 5 отмечено «мх»). Максимальный прогиб тела заклепки здесь достигает величины 277 мкм.

Проведенных исследования дают возможность оценить напряжения, как в самих заклепках, так и в пластинах. Это позволит подобрать требуемые оптимальные механические характеристики материалов изготовления деталей и их геометрические параметры.

УДК630.36:621.86

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

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРУЖЕННОСТИ УЗЛА КРЕПЛЕНИЯ РАСТЯЖКИ СТРЕЛЫ ГРУЗОВОГО КРАНА

Проектирование машин и несущих конструкций связано с большими затратами времени и материальных ресурсов на выполнение расчетных исследований и получение оптимального варианта. При этом главная цель может быть достигнута при соблюдении условий снижения стоимости и повышения надежности.

Нами проводились исследования нагруженности стрелы крана при подъеме номинального груза 25 т. На рисунке 1 показаны эквивалентные напряжения, возникающие в конструкции.

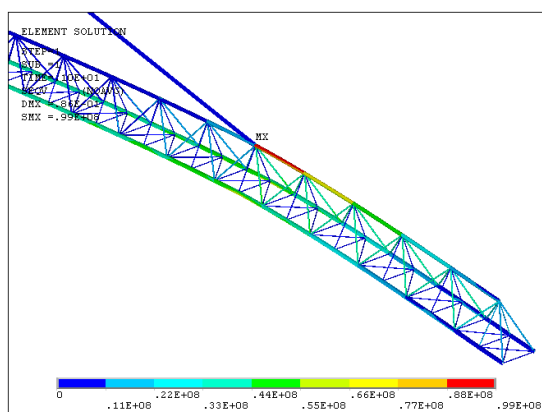


Рисунок 1 - Эквивалентные напряжения стрелы крана

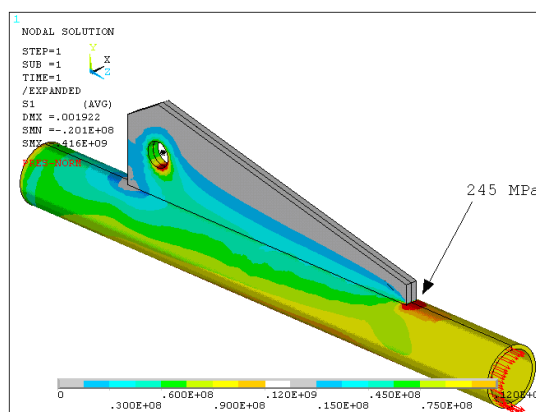
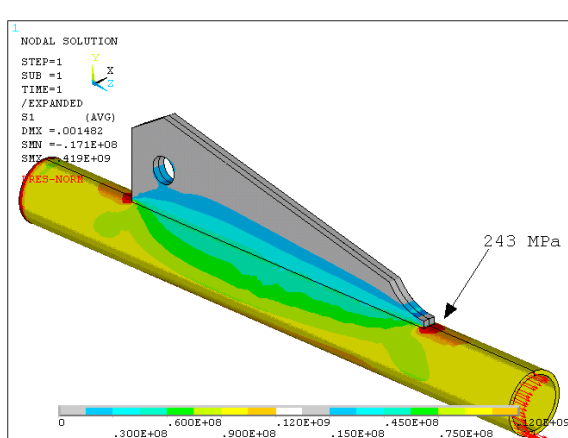


Рисунок 2 - Напряжения в узле крепления раскоса к верхнему поясу

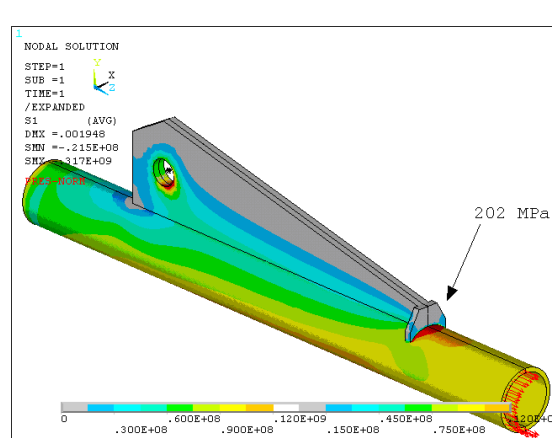
Конструкция стрелы, представленная на рисунке 1, выполнена в виде двух параллельных нижних и одного верхнего поясов, соединенных между собой продольной и поперечной треугольной решетками. Максимальные напряжения в элементах стрелы крана возникают в месте крепления поддерживающего раскоса (растяжки) к верхнему поясу фермы (на рисунке это место обозначено MX). Проведенные исследования показывают, что максимальные напряжения в верхнем поясе в месте крепления поддерживающего раскоса достигают величины  $\sigma_{\max}^p = 99 \text{ Н/мм}^2$ , а в нижнем поясе сжимающие напряжения не превышают величины  $\sigma_{\max}^{\text{сж}} = 44 \text{ Н/мм}^2$

Графическое изображение, приведенное на рисунке 2, позволяет оценить распределение напряжений в месте сварного соединения раскладки к верхнему поясу с помощью косынки. В данном случае максимальные напряжения возникают в сварных швах и достигают величины  $\sigma_{\max} = 245 \text{ Н/мм}^2$ .

Проводимые нами дальнейшие исследования были направлены на разработку способа крепления косынки к раскошу и поясу, позволяющего понизить напряжения в сварных швах. На рис. 3. видно, что снизить напряжения в сварном шве можно за счет изменения формы косынки. В таком случае напряжения уменьшаются, однако незначительно (243 МПа).



**Рисунок 3 - Напряжения в узле при измененной форме косынки**



**Рисунок 4 - Напряжения в узле при креплении косынки накладками**

На рисунке 4 представлено напряженное состояние элементов крепления косынки и поперечных накладок. Такой вид соединения позволяет снизить напряжения более значительно. Максимальные напряжения в таком случае достигают величины 202 МПа. Снижение напряжений в таком случае составляет 17,5%.

Используя метод конечных элементов, можно проводить и дальнейшие исследования напряженно-деформированного состояния стрелы крана при воздействии на нее поперечных ветровых нагрузок, динамических нагрузок. Правильно заданные свойства материала изготовления, граничные условия и условия нагружения гарантируют высокую точность расчетов и сходимость их с натурными исследованиями. Применение средств конечно-элементного анализа в совокупности с высокопроизводительной компьютерной техникой в настоящее время позволяет значительно снизить срок проектирование новых машин и механизмов.

УДК 621.785.532

А.И. Сурус, доц., канд. техн. наук;  
С.Е. Бельский, проф., канд. техн. наук;  
А.В. Блохин, доц., канд. техн. наук; А.М. Лось, ассист.  
(БГТУ, г. Минск)

## **О МЕХАНИЗМАХ ВЛИЯНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ НА УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И ПЕРСПЕКТИВАХ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

В работе показано, что механические колебания, используемые при поверхностном упрочнении, деталей машин в жидких средах влияют на все основные стадии процесса упрочнения.

Известно, что процессы диффузии атомов внедрения в основном идут по механизмам, связанным с дефектами кристаллической решетки (дислокации, вакансии).

Ультразвуковое воздействие на металл приводит к его деформации, увеличению плотности дислокаций и концентрации вакансий, то приводит к ускорению диффузии.

Однако создание деформации за счет введения колебаний осложняется технологическими трудностями ее реализации на деталях сложной конфигурации. Более приемлемой является схема, предусматривающая введение колебаний в насыщающую среду.

В этом случае повышение эффективности упрочнения связано с увеличением активности насыщающей среды за счет влияния колебаний на химизм процесса, интенсивным перемешиванием расплава, что способствует подводу новых порций активной среды к поверхности детали, удалению продуктов реакции и улучшением условий адсорбции активных атомов насыщающего вещества поверхностью изделия.

Из анализа литературных данных по использованию колебаний в других технологических процессах известен ряд явлений и вторичных эффектов, возникающих в жидких средах (кавитация, микро- и макропотоки, капиллярный эффект и т.д.) [1,2], а также влияние колебаний на ход некоторых химических реакций [3].

Таких эффектов можно достигнуть путем обычного перемешивания расплава или возбуждения в нем механических колебаний.

При обычном перемешивании или возбуждении колебаний малой интенсивности (при отсутствии кавитации) в расплаве образуются потоки не кавитационного происхождения (макропотоки).

При наличии на поверхности барьеров (выступы, канавки, отверстия) при протекании макропотока над ними происходит образование вихрей. Это частично интенсифицирует процесс.

При введении в расплав высокочастотных колебаний достаточной интенсивности в нем возникает кавитация.

При наличии кавитации пульсирующие и захлопывающиеся пузырьки образуют микропотоки, воздействующие на значительно меньшие участки, чем вихри при макропотоке.

Кроме того, скорость микропотоков образующихся при захлопывании пузырьков значительно больше скорости макропотоков. Таким образом, при воздействии захлопывающихся и пульсирующих кавитационных полостей в труднодоступных местах создаются микропотоки, обеспечивающие эффективное взаимодействие расплава с поверхностью, в то время как искусственные потоки (макропотоки) некавитационного происхождения приводят к образованию застойных зон в этих местах и, как следствие, недостаточному их насыщению активными элементами.

Эффективность воздействия высокочастотных механических колебаний на упрочнение труднодоступных мест, наряду с их влиянием на ход химических реакций в расплаве и обновлением последнего у обрабатываемых поверхностей, можно объяснить и дополнительным влиянием давления, развивающегося при захлопывании пузырьков, и также способствующего проникновению азота в металл.

Механизм воздействия высокочастотных механических колебаний на жидкие среды может быть использован и в других технологических процессах, например массообменных.

#### ЛИТЕРАТУРА.

1. Прохоренко П.П., Дежкунов Н.В., Коновалов Г.Е. Ультразвуковой капиллярный эффект // – Мн.: «Наука и техника», 1981. – 135 с.
2. Кувшинов Г.И., Прохоренко П.П. Акустическая кавитация у твердых поверхностей // – Мн.: «Навука і тэхніка», 1981. – 112 с.
3. Маргулис М.А. Звукохимические реакции и сонолюминисценция // – М.: «Химия», 1986. – 286 с.

УДК 62-408.2

П.В. Рудак, доц., канд. техн. наук;

М. Экевад, проф., PhD.;

(Технологический университет Лулеа, г. Шеллефтео, Швеция);

Ш. Барцик, проф., канд. техн. наук

(Технический университет в Зволене, г. Зволена, Словакия)

В.В. Чаевский, доц., канд. физ.-мат. наук; О.Г. Рудак, ассист.;

(БГТУ, г. Минск)

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕХАНО-ХИМИЧЕСКОГО ИЗНАШИВАНИЯ ДЕРЕВОРЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ

На рисунке представлены графические зависимости величины диагоналей  $d$  отпечатков на поверхности образцов из быстрорежущей стали Р6М5 с наноструктурированными вакуумно-плазменными покрытиями (Без покрытия (БП), ТК 12, АТ72, ТК13) при индентировании с нагрузкой 490,3 мН от времени механо-химического воздействия  $t$  в среде конденсата продуктов пиролиза древесины лиственных пород.

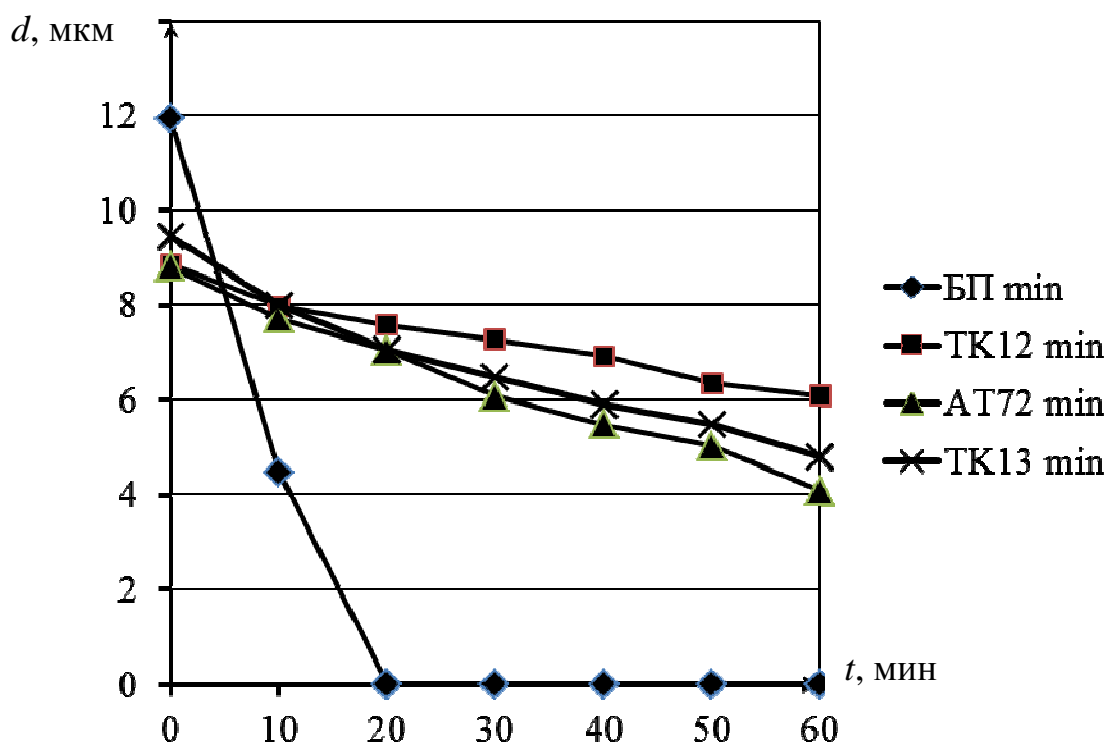


Рисунок – Графические зависимости величины диагоналей отпечатков от времени механо-химического изнашивания

Данные для построения получены на основе выполнения экспериментов с пятикратным дублированием.



УДК 62-408.2

П.В. Рудак, доц., канд. техн. наук;  
 М. Экевад, проф., PhD.;  
 (Технологический университет Лулеа, г. Шеллефтео, Швеция);  
 Ш. Барцик, проф., канд. техн. наук  
 (Технический университет в Зволене, г. Зволен, Словакия)  
 С.Д. Латушкина, зав. отделом (ГНУ «ФТИ НАН Беларуси»);  
 Д.С. Харитонов, ассист.; О.Г. Рудак, ассист. (БГТУ, г. Минск);  
 Е.Ю. Разумов, проф., д-р техн. наук;  
 (Поволжский государственный технологический университет, Россия)

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

На образцы быстрорежущей стали в условиях бомбардировки потоком низкоэнергетичных ионов газов выполнено осаждение наноструктурных покрытий следующих составов и на следующих режимах: (Ti, Al)N ( $I_{Ti}=50A$ ,  $I_{Al}=80A$ ,  $t=1ч$ ); TiN-Cu ( $I_{Ti}=I_{Cu}=60A$ ,  $t=1ч$ ); (Ti, Al)N ( $I_{Ti}=80A$ ,  $I_{Al}=50A$ ,  $t=1ч$ ).

Методом сухой перегонки древесины лиственных пород получены жидкие продукты ее сухой термодеструкции.

Выполнена электрохимическая импедансная спектроскопия (EIS); электрохимическая частотная модуляция (EFM); получены поляризационные кривые.

Установлено, что жидкие продукты пиролиза древесины за семь дней воздействия образуют на поверхности образцов с покрытиями (Ti,Al)N ( $I_{Ti}=50A$ ,  $I_{Al}=80A$ ,  $t=1ч$ ) и TiN-Cu ( $I_{Ti}=I_{Cu}=60A$ ,  $t=1ч$ ) изолирующий слой, о чем свидетельствует падение сигнала и высокие значения сопротивления по данным EIS.

На основе анализа данных EIS установлено, что для покрытия (Ti,Al)N ( $I_{Ti}=80A$ ,  $I_{Al}=50A$ ,  $t=1ч$ ) происходило значительное увеличение токов, что свидетельствует о разрушении покрытия и протекании процесса коррозии.

Исследования проводили с использованием потенциостата/гальваностата Metrohm Autolab PGSTAT 302N, оснащенного модулем анализа частот FRA32M. Потенциодинамические поляризационные кривые снимали в диапазоне потенциалов от  $-200$  до  $+200$  мВ.

УДК 621.185.532

Adel Abdel Basset Rashid;  
(Beirut Arab University, Lebanon, Tyre);  
Srour, Assistant Professor;  
(Lebanese University, Lebanon);  
С.Е. Бельский, проф.  
(БГТУ, г. Минск)

## **ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЧАСТОТНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК УСТАЛОСТИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Экспериментальные результаты в сочетании с рассмотренными литературными источниками по влиянию частоты механических колебаний на усталостную долговечность и кинетику структурно-чувствительных характеристик металлов и сплавов позволяют констатировать, что основные признаки усталостного накопления повреждаемости независимо от рассмотренной вариации частоты и дополнительного статического нагружения сохраняются: остается неизменной форма усталостной кривой; сопоставимы для разных частот и давлений значения ограниченных пределов выносливости; ориентация зарождающихся и распространяющихся усталостных трещин по отношению и направлению нормальных и касательных напряжений не изменяется; остается практически одинаковым влияние средних напряжений при асимметричных циклах нагружения; частота оказывает качественно одинаковое влияние на микротвердость, кинетику дислокационной структуры, электросопротивление, микродеформацию, амплитудно-временные зависимости рассеяния энергии.

На основании этого можно сделать заключение о единой физической природе усталостной повреждаемости на качественном уровне, однако выявление причин количественного различия этого процесса на разных частотах требует проведения теоретических и экспериментальных исследований.

Для алюминиевых сплавов, приготовленных с использованием вторичного сырья характерно значительное количество примесей, широкий интервал содержания основных компонентов, загрязненность неметаллическими включениями и газами, гетерогенность структуры. Для комплекса механических характеристик наиболее опасно наличие грубых включений железосодержащих фаз. Данные факторы существенно усложняют физическую картину развития процесса усталостного разрушения материала и приводит к необходимости учета взаимодействия дислокаций с атомами примесей.

Кроме того, в связи с тем, что многие детали, изготавливаемые с использованием вторичных материалов, работают в условиях повышенных температур (например, поршни и радиаторы) в разрабатываемой модели необходим учет и температурного фактора.

Для этого предпринята попытка теоретического анализа частотной зависимости эволюции элементов дислокационной структуры на первом этапе развития процесса усталостной повреждаемости. Рассмотрена динамика развития дефектов структуры дислокационным источником Франка-Рида в условиях циклического нагружения и статической поднагрузки. Выбор данного источника дислокаций обусловлен не только изученностью этой модели, но и его вкладом в механизм размножения дислокаций.

При оценке движения источника Франка-Рида проанализировано влияние частоты и асимметрии цикла знакопеременного циклического напряжения на движение дислокационного сегмента, особенно в процессе “срабатывания” источника при достижении критической дислокации от амплитудного значения знакопеременного напряжения в широком спектре частот.

Установлено, что для одинакового дислокационного среднего смещения на высоких частотах при равном статическом усилии необходимы значительно большие циклические напряжения, чем на низких частотах.

В большей степени частотная зависимость выражена у сталей 10 и 40Х, то есть у материалов с решеткой ОЦК. При значительно меньших по модулю напряжениях накопление повреждаемости наблюдается у меди М1 и сплава Д16, обладающих гранецентрированной решеткой.

УДК 621.185.532

Adel Abdel Basset Rashid;  
 (Beirut Arab University, Lebanon, Tyre);  
 Srour, Assistant Professor;  
 (Lebanese University, Lebanon);  
 С.Е. Бельский, проф.  
 (БГТУ, г. Минск)

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПРИМЕСЕЙ В СПЛАВЕ НА РАЗВИТИЕ УСТАЛОСТНОГО РАЗРУШЕНИЯ

В конструкционных материалах, в том числе и в алюминиевых сплавах, для придания им определенных эксплуатационных свойств, например, прочности, упругости, износостойкости и т.д. формируется определенный вид дефектной структуры, включающей в том числе протяженные и точечные дефекты, который позволяет либо стабилизировать положение дислокаций в пространстве, либо в ограниченных пределах допускать их смещение. Соответственно обеспечиваются определенные свойства по твердости, хрупкости, упругости материалов.

Нами рассмотрены некоторые особенности поведения дислокационного отрезка, находящегося в условиях воздействия знакопеременного напряжения низкой и промежуточной частоты при учете влияния температурных механизмов на упругое взаимодействие примесей замещения с дислокациями в окружающих и атмосферах точечных дефектов. Проанализирован вклад указанных процессов в характерные параметры металлов, описывающие свойства материалов в условиях близких к режимам усталостных нагрузок.

Критические напряжения наступления микропластичности являются результатом срабатывания дислокационных отрезков по сценарию Франка-Рида и при знакопеременном нагружении представляют собой некий аналог предела текучести при статическом нагружении.

При разработке модели представлено, что в модельном металлическом материале примесные атомы преимущественно являются атомами замещения с радиусами большими, чем атомы основы; так, что они притягиваются к области находящейся под экстраплоскостью и в этих положениях обладают отрицательной энергией связи. Соответственно дифференциальное уравнение, описывающее малые колебания отрезка в поле заданного знакопеременного напряжения целесообразно представить в следующем виде.

$$A \frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} + B \frac{\partial \zeta}{\partial t} - C \frac{\partial^2 \zeta}{\partial y^2} = \left( b\sigma - \frac{bG\epsilon_0}{4} \exp \left[ \left( \frac{W}{kT} \right) \right] \right) \sin \alpha t$$

здесь:  $A = \rho b^2 / \pi$  - эффективная масса дислокации, приходящаяся на единицу ее длины;  $\rho$  - плотность вещества;  $b$  - вектор Бюргерса;  $\zeta$  - величина смещения дислокационного сегмента из положения равновесия вдоль его длины  $y$ , которая минимальна в точках закрепления и достигает максимума в центре;  $t$  - время;  $B$  - коэффициент определяющий силу динамического вязкого трения сегмента, который является функцией температуры, поскольку определяется электронной и фононной составляющими воздействия на смещение атомов из положения равно-

весия;  $C = \frac{2Gb^2}{\pi(1-\nu)}$  - коэффициент определяющий упругое самовоздействие сегмента при растяжении;  $G$  - упругий модуль сдвига;  $\nu$  - коэффициент Пуассона;  $b\sigma$  - приведенное к длине дислокации амплитудное значение знакопеременной силы внешнего источника напряжения, дей-

ствующего с циклической частотой  $\omega$ ;  $\varepsilon = \frac{R_i - R_0}{R_0}$  - относительная разность радиусов примесных атомов  $R_i$  и собственных атомов  $R_0$ ;  $c_0$  - объемная равновесная концентрация примесных атомов вдали от дис-

локационного сегмента;  $W(r) = \frac{GbR_0^3 \varepsilon (1+\nu) \sin \theta}{3\pi(1-\nu)r}$  - общий вид выражения для энергии связи сегмента с примесными атомами в атмосфере Коттрелла, учитывающее их положение по отношению к экстраплоскости и их размер по отношению к собственным атомам металла;  $r$  - расстояние от ядра дислокации до примесного атома;  $\theta$  - азимутальный угол между вектором Бюргерса и радиус-вектором примесного атома  $r$ ;  $k$  - постоянная Больцмана;  $T$  - абсолютная температура.

Полученная зависимость критических напряжений начала процесса усталостного разрушения от частоты знакопеременных колебаний позволяет уточнить физическую модель развития процесса усталостного разрушения исследуемых алюминиевых сплавов.

УДК 621.185.532

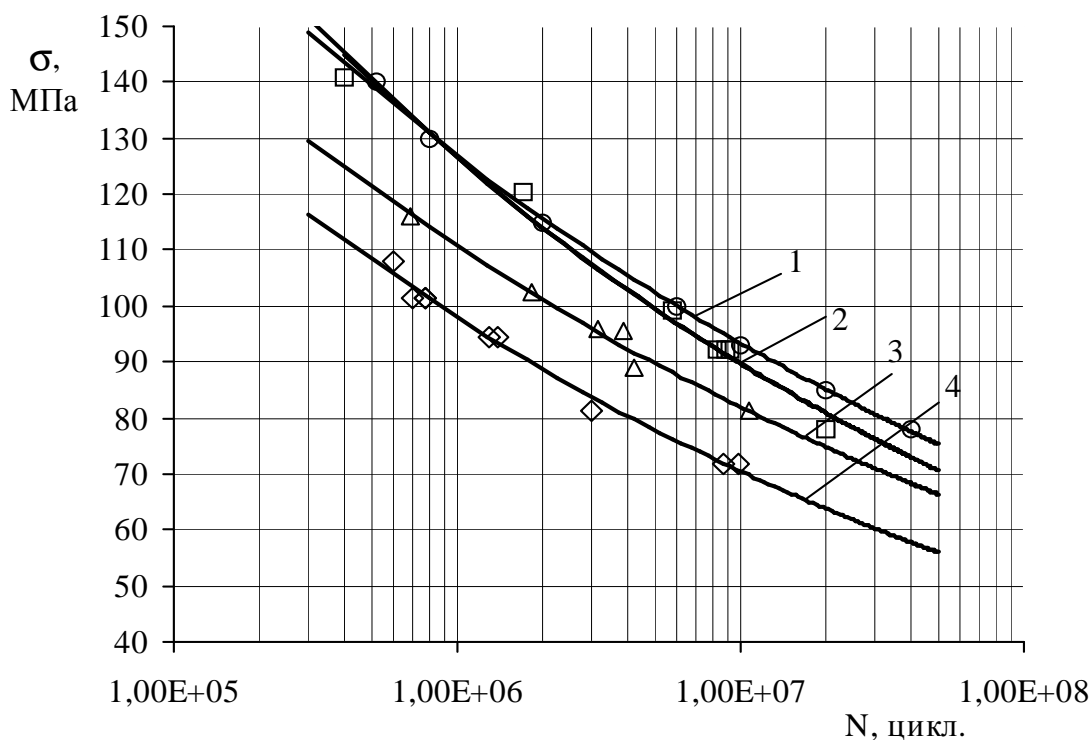
Adel Abdel Basset Rashid;  
(Beirut Arab University, Lebanon, Tyre);  
Srour, Assistant Professor;  
(Lebanese University, Lebanon);  
С.Е. Бельский, проф.  
(БГТУ, г. Минск)

### **ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ИСПЫТАНИЙ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ МНОГОЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ**

Результаты испытаний деформируемых алюминиевых сплавов (Д16, АМг2Н) показывают, что повышение температуры монотонно снижает усталостные характеристики на всех исследованных базах [1, 2], аналогичные результаты были получены и для литейного сплава Ал7 (рисунок 1). Определение пределов выносливости  $\sigma_N$  показывает, что повышение температуры в большей мере влияет на данный показатель, чем число циклов испытаний.

С возрастанием температуры влияние базы испытаний на величины  $\sigma_N$  уменьшается. Так, если для сплава Ал7 увеличение температуры с 20°C до 155°C, приводит к падению значения ограниченного предела выносливости при базе  $10^7$  циклов на 3 МПа, то рост температуры с 155°C до 270°C на той же базе приводит к снижению  $\sigma_N$  на 8 МПа. Данная зависимость в большей мере проявляется на меньших базах испытаний, при более высоком уровне напряжений. Так, для базы  $10^6$  циклов разность значений  $\sigma_N$  при 155 и 270°C возрастает уже в 2 раза, до 16 МПа. Однако, характер кривых усталости с повышением температуры испытаний существенно не изменяется, что показывает возможность использования высоких частот нагружения и для испытаний алюминиевых сплавов в условиях повышенных температур.

Значения  $\sigma_N$  для такого сплава ниже, чем для первичных Ал4 и Ал7, а повышение температуры приводит к более существенному снижению пределов ограниченной выносливости в 1,1–1,6 раза. При этом можно отметить, что характер усталостных кривых аналогичен, аналогично поведение пределов ограниченной выносливости как при нормальных, так и повышенных температурах (рост в 1,5–2,5 раза) для различных частот нагружения, что подтверждает целесообразность использования высоких частот нагружения для определения усталостных характеристик вторичных силуминов.



1 – 20°C; 2 – 155°C; 3 – 270°C; 4 – 340°C

**Рисунок – Усталостные кривые сплава Al7  
(частота испытаний 9 кГц) при различных температурах**

Для обоснованного использования высоких частот нагружения при повышенных температурах испытаний необходимо также рассмотреть влияние температурного фактора на развитие процесса усталостной повреждаемости, то есть исследовать изменение физико-механических характеристик материалов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Царук, Ф.Ф. К методике исследования усталостных свойств конструкционных материалов / Ф.Ф. Царук, С.Е. Бельский, А.В. Блохин // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2003. – Вып. XI. – С. 233–236.

2. Царук, Ф.Ф. Высокочастотное сопротивление усталости металлов при нормальных и повышенных температурах / Ф.Ф. Царук, С.Е. Бельский, А.В. Блохин // Современные методы проектирования машин. Расчет, конструирование и технология изготовления: сб. тр. 1-й междунар. науч.-техн. конф., Минск, 11–13 дек. 2002 г.: в 3 т. / Белорус.нац. техн. ун-т; под общ. ред. П.А. Витязя. – Минск, 2002 г. – Т. 2. – С. 409-411.

УДК 669.056.9:620.1.(047.31)

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

П. В. Рудак, доц., канд. техн. наук;

С. И. Карпович, вед. науч. сотр., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

## **ТЕХНОЛОГИЯ ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО РАСКРОЯ ЗАГОТОВОК ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ ИЗ ЛИСТОВОЙ СТАЛИ С ОДНОВРЕМЕННОЙ ТЕРМООБРАБОТКОЙ АБОЧИХ КРОМОК**

Применение ионно-плазменных технологий позволяет постоянно без дополнительных затрат модернизировать, совершенствовать конструкции выпускаемой продукции, обновлять номенклатуру выпускаемой продукции.

С использованием технологии плазменной резки изготовлены партии ручных почвообрабатывающих приспособлений, таких как рыхлитель многолезвийный, плоскорез комбинированный, плоскорез радиусный, мотыга многофункциональная. Основными материалами для изготовления ручных почвообрабатывающих приспособлений являются среднеуглеродистые и низколегированные стали. Для их изготовления применяют листовые стали толщиной 1,5-3 мм.

Наряду с листовой штамповкой для получения заготовок применяют плазменную резку. Ввиду высокой стоимости штамповой оснастки на этапе изготовления опытных партий и мелкосерийного производства ионно-плазменная технология имеет преимущества по мобильности применения и стоимости полученных заготовок. Токовые параметры плазменной резки лежат в пределах 30-100А, напряжение 110-130 В, скорость резки 2-5 м/мин. в процессе плазменной резки кромки паза нагреваются до высоких температур с образованием закалочных структур. В зависимости от марки стали и режимов резки твердость металла увеличивается до значений 17-42 HRC, в сравнении с начальной твердостью металла 10 HRC. По мере удаления от кромки реза величина твердости уменьшается. Зона повышенной твердости достигает величины до 5-6 мм и зависит от токовых параметров резки.

Глубина внедрения рабочей кромки приспособлений зависит от ее угловых параметров. При небольших глубинах вдавливания угловые параметры почти не влияют на глубину, разница составляет порядка 10%. При больших нагрузках различие достигает 30%, а при увеличении угла заточки до 45° имеет тенденцию к уменьшению. Для ручных почвообрабатывающих приспособлений практическое значение имеет угол заточки 45°.

Предложена конструкция и изготовлены в цехе товаров народного потребления холдинга Белаз опытные образцы ручных приспособлений для проведения полевых испытаний.



УДК 669.056.9:620.1.(047.31)

С.И. Карпович, вед. науч. сотр., канд. техн. наук; (БГТУ, г. Минск);

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

О. Ю. Пискунова, инж. (БГТУ, г. Минск)

## **СПОСОБ СОЗДАНИЯ СЖИМАЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ НА ЛЕЗВИИ РЕЖУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Прогресс в инструментальной отрасли связан с появлением новых классов инструментальных материалов – быстрорежущие стали, твердые сплавы, сверхтвердые материалы.

Дополнительные возможности повышения эксплуатационных показателей инструмента в настоящее время связывают с разработкой технологий нанесения поверхностных упрочняющих покрытий. Технологии осаждения пленочных покрытий являются одним из способов формирования наноструктурных материалов, функциональные свойства которых могут существенно отличаться от свойств в монолитном состоянии. Варьирование химическим составом и свойствами упрочняющего покрытия с учетом формирования многослойных наноструктур в сочетании со свойствами металла основы обеспечивает возможности управления основными показателями композиционного инструментального материала. Оптимизация технологических параметров формирования поверхностного упрочнения обеспечивает дополнительные возможности повышения эксплуатационных показателей инструмента.

Характер затупления дереворежущего инструмента имеет свою специфику. Это связано с особенностями строения древесины и свойствами материалов на ее основе, геометрией и режимами резания дереворежущим инструментом. Применение поверхностных упрочняющих технологий ведет к перераспределению величин износа по передней и задней поверхностям. Износ рабочего клина дереворежущего инструмента преимущественно протекает по задней поверхности, что позволяет рекомендовать увеличить задний угол.

Эксплуатационные свойства инструмента с поверхностным упрочнением зависят не только от свойств упрочненного слоя, но и от структуры и свойств основного металла. Подтверждена необходимость сохранения твердости основного металла не ниже HRC 50 после формирования износостойкого покрытия. Для изготовления дереворежущего инструмента рекомендуются марки хромистых инструментальных сталей с содержанием хрома 6-8%.

Заточка дереворежущего инструмента с упрочняющим покрытием проводится по задней поверхности с сохранением упрочненного слоя на передней поверхности. Отсутствие упрочняющего покрытия после заточки на задней поверхности частично обеспечивает эффект самозатачивания, что увеличивает суммарную стойкость инструмента.

УДК 621.793

Д.В. Куис, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск);  
И.О. Соков, доц., канд. техн. наук (БНТУ, г. Минск);  
Н.А. Свидунович, проф., д-р техн. наук (БГТУ, г. Минск)  
А.С. Кравченко, ст. науч. сотр.; О.Ю. Пискунова, инж.  
Я.А. Потоцкий, студ.; Р.И. Ланкин, студ. (БГТУ, г. Минск)

### **ГАЗОТЕРМИЧЕСКИЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОКРЫТИЯ, ПОЛУЧЕННЫЕ 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 и на замену которых ежегодно расходуются значительные средства.

Методами рентгеноструктурного анализа, рентгенофлуоресцентного анализа, световой и сканирующей микроскопии с микро-рентгеноспектральным анализом были исследованы фазовый и элементный состав, микрохимический состав, структурное состояние образцов композиционных газотермических покрытий нанесенных плазменным способом без оплавления и с оплавлением. Исследования не выявили принципиальных отличий в фазовом составе. Пористость оплавленных покрытий  $\approx 1-3\%$ , пористость неоплавленных покрытий  $\approx 5\%$ . В исследуемых покрытиях поры имеют неправильную форму. Площадь пор в сечении, нормальном границе раздела между покрытием и основой, меньше, чем в сечении параллельном границе. Данный фактор обусловлен особенностями послойного формирования покрытий. Установлено, что использование нанокремниевых компонентов в составах покрытий обеспечивает уменьшение дефектности границы раздела покрытие-основа, что положительно сказывается на их адгезии.

Результаты исследования микротвердости указывают на однородность формируемых покрытий с некоторым снижением микротвердости в переходной зоне. Установлено, что на эксплуатационные свойства композиционных покрытий оказывают влияние режимы их формирования – оптимальные свойства для выбранных составов композиционных материалов получены при токе дуги плазматрона 420 А, напряжении 80 В и дистанции напыления 90 мм.

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, зав. отделом, д-р техн. наук  
(ГНУ «ФТИ НАН Беларуси», г. Минск);  
С.Н. Лежнев, канд. техн. наук  
(Рудненский индустриальный институт, Республика Казахстан);  
А.С. Раковец, асп.; В.Ю. Янушкевич, маг.; М.В. Петровский, студ.  
(БГТУ, г. Минск)

### **ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ МОДИФИКАТОРОВ, СОДЕРЖАЩИХ НАНОУГЛЕРОДНЫЕ КОМПОНЕНТЫ, НА ПЕРВИЧНУЮ СТРУКТУРУ СЕРОГО ЧУГУНА**

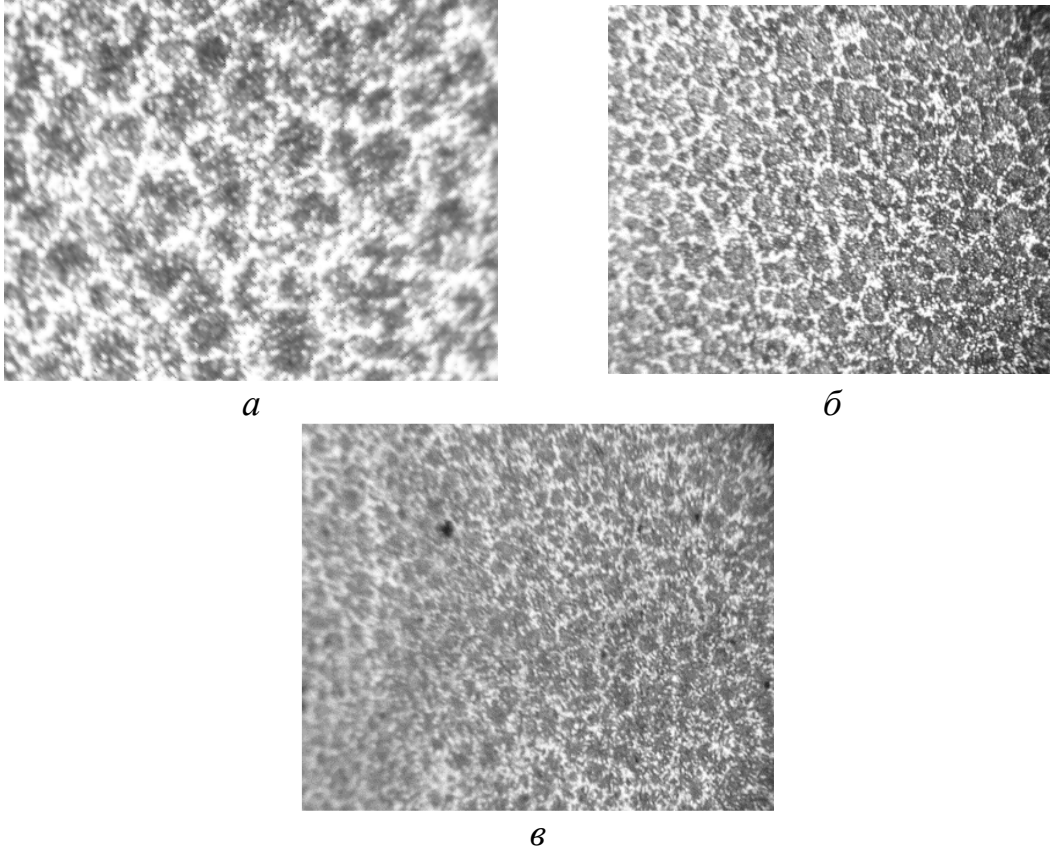
Учитывая широкое использование в различных отраслях промышленности литых деталей из чугуна и необходимость повышения качества и эксплуатационных свойств отливок, одним из наиболее актуальных направлений является оптимизация существующих и внедрение новых процессов внепечной обработки расплавов. Учитывая широкое использование в различных отраслях промышленности литых деталей из чугуна и необходимость повышения качества и эксплуатационных свойств отливок, наиболее актуальным направлением является оптимизация существующих и внедрение новых процессов внепечной обработки расплавов. Модифицирование является одним из наиболее эффективных, гибких и универсальных методов воздействия на кристаллизацию с целью получения благоприятной структуры графита и металлической матрицы, а, следовательно, и высоких свойств отливок.

При разработке комплексных модификаторов серого чугуна в рамках данной работы в качестве базового графитизирующего модификатора был выбран широко используемый на практике ферросиликобாரиевый модификатор ФС65Ба4 для инокулирующего модифицирования серого, высокопрочного и чугуна с вермикулярным графитом. Он значительно эффективнее традиционно используемого для этой же цели ферросилиция ФС75.

В качестве нанокуглеродных компонентов использовали фуллереносодержащую сажу. С целью обеспечения усвоения высокодисперсных углеродных частиц расплавом в качестве добавок в составе комплексного модификатора применяли прессованные алюминийкремниевые лигатуры, содержащие нанокуглеродные компоненты.

Эффективность модификаторов определяется многими критериями. При этом, основными критериями оценки эффекта модифицирования принято считать увеличение числа эвтектических зерен, уменьшение склонности чугуна к отбелу, уменьшение степени переохлаждения в процессе кристаллизации эвтектики. Увеличение числа

эвтектических зерен при модифицировании чугуна можно считать основным критерием оценки эффекта модифицирования, который соответствует зародышевой теории процесса. Остальные критерии служат дополнительными характеристиками основного эффекта.



**Рисунок – Макроструктура эвтектических зерен немодифицированного (а) и модифицированного FC60Ba22 (б), FC60Ba22+C+Al+Si (в) серого чугуна (x20)**

Исследования первичной структуры немодифицированного и модифицированных чугунов показали высокую эффективность разрабатываемых модификаторов (рис. 1), что свидетельствует об уменьшении величины переохлаждения при эвтектической кристаллизации модифицированного чугуна.

Таким образом, использование комплексного модификатора, включающего в себя стандартный модификатор FC65Ba4 и полученную лигатуру, состоящую из алюминия и фуллереновой сажи показало высокую эффективность разрабатываемых модификаторов. Об этом свидетельствует увеличение количества эвтектических зерен и уменьшение отбела, по сравнению с немодифицированным чугуном и модифицированным FC65Ba4.

УДК 621.934(043.3)

С.Д. Латушкина, канд. техн. наук;  
О.И. Посылкина, науч. сотр.  
(ГНУ «ФТИ НАН Беларуси»)  
Д.В. Куис, доц., канд. техн. наук;  
П.В. Рудак, доц., канд. техн. наук;  
О.Ю. Пискунова, инж., М.В. Петровский, студ.  
(БГТУ, г. Минск)

### **ЭВОЛЮЦИЯ СТРУКТУРЫ И ФАЗОВОГО СОСТАВА ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ, ЛЕГИРОВАННЫХ АЛЮМИНИЕМ**

В течение последних десятилетий упрочняющие покрытия, полученные физическими и химическими методами, нашли широкое применение в области защиты обрабатываемого инструмента от износа. В настоящее время развивается целое научное направление – трибология покрытий, способствующее получению новых знаний, связанных с повышением долговечности и надежности узлов трения машин, механизмов и инструментов.

В настоящей работе для формирования многокомпонентных покрытий использовалась вакуумно-дуговая модернизированная установка УРМЗ.279.048, оснащенная сепаратором макрочастиц.

Покрытия формировались путем одновременного распыления двух катодов (титана и алюминия) в среде очищенного азота, потенциал смещения на подложке составлял – 60 В. Рентгеноструктурный анализ проводился с помощью рентгеновского дифрактометра ДРОН-3 в интервале углов 30-120° в фильтрованном  $\text{Cu-K}_\alpha$ -излучении. Использование основных характеристик дифракционных максимумов позволило рассчитать параметр решетки ( $d$ ), размер областей когерентного рассеяния ( $L$ ).

Микротвердость покрытия измеряли нанотвердомером Duramin 5 при нагрузке 25 г. Для проведения наноиндентирования в работе использовался зондовый комплекс NanoIndenter G200 «Agilent» для измерений механических параметров методом непрерывного вдавливания по методике Оливера-Фара, с применением трехгранного алмазного индентора Берковича с радиусом закругления при вершине 20 нм при вдавливании наноиндентора на глубину 500 нм

В результате рентгеноструктурного анализа покрытий с различным соотношением элементов обнаружено, что основной фазой в составе покрытий при содержании алюминия 10-25 ат. % является кристаллическая фаза твердого раствора  $(\text{Ti,Al})\text{N}$  с кубической структу-

рой типа NaCl, в то время как при содержании алюминия в покрытии 30 ат.% происходит образование гексагональной фазы  $Ti_3Al_2N_2$  (табл. 1). В результате проведенных исследования покрытий с атомным содержанием алюминия 40-55% было выявлено наличие двух фаз TiN и AlN (табл. 1).

Установлено, что размер кристаллитов в направлении роста составил от 1,5 до 13 нм в зависимости от концентрации алюминия в покрытиях.

**Таблица 1– Фазовый и элементный состав покрытий T-Al-N**

Технические параметры			Элементный состав, ат. %				Фазовый состав покрытий	
$I_{Ti}, A$	$I_{Al}, A$	$P_{N_2}, Па$	Ti-Al-N система	Ti	Al	N		$C_{Al}/C_{Ti}$
70	50	$0,3 \times 10^{-2}$	$Ti_{0,90}Al_{0,10}N$	54,65	6,10	39,25	0,11	(Ti,Al)N
70	60	$0,3 \times 10^{-2}$	$Ti_{0,80}Al_{0,20}N$	51,65	13,13	35,22	0,25	(Ti,Al)N
50	60	$0,3 \times 10^{-2}$	$Ti_{0,70}Al_{0,30}N$	50,01	21,19	28,80	0,42	$Ti_3Al_2N_2$
50	65	$0,3 \times 10^{-2}$	$Ti_{0,60}Al_{0,40}N$	38,68	27,35	33,97	0,71	TiN, AlN
40	70	$0,3 \times 10^{-2}$	$Ti_{0,45}Al_{0,55}N$	31,66	37,63	30,71	1,19	TiN, AlN

В зависимости от способа и условий осаждения нитрида титана его микротвердость не превышает 20-22 ГПа. Введение в состав покрытий на основе нитрида титана алюминия приводит к повышению их микротвердости до 25-39 ГПа в зависимости от концентрации алюминия (табл. 2). Однако только высокая твердость покрытия не является достаточным условием обеспечения повышенных эксплуатационных свойств покрытий. Для повышения стойкости к упругой деформации материал должен обладать высокой твердостью ( $H$ ) при одновременном низком модуле упругости ( $E$ ). Высокая твердость гарантирует устойчивость к абразивному износу, а низкий модуль упругости обеспечивает высокую устойчивость к пластической деформации и позволяет заданной нагрузке распространяться в более широких пределах. Количественной сравнительной характеристикой сопротивления материала к упругой деформации разрушению служит величина отношения нанотвердости к эффективному модулю упругости ( $H/E^*$ ), называемая индексом пластичности. Таким образом, механические свойства нанокompозитных покрытий характеризуются как твердостью  $H$ , так и эффективным модулем упругости,  $E^* = E/(1 - \nu^2)$ , а также упругим восстановлением  $W_e = H^2/E^*$  ( $E$  – модуль Юнга,  $\nu$  – коэффициент Пуассона). Зная величины  $H$  и  $E^*$ , можно рассчитать соотношение  $H^3/E^{*2}$ , величина которого характеризует сопротивление материала пластической деформации. В настоящей работе данные величины были рассчитаны по кривым нагрузки/разгрузки, полученным с использованием нанотвердомера.

Исходя из анализа рассчитанных характеристик, следует, что покрытия системы Ti-Al-N, характеризуются высокими значениями, как упругого восстановления, так и сопротивления пластической деформации (табл. 2).

**Таблица 2 – Механические характеристики покрытий**

Покрытие	$H$ , ГПа	$E^*$ , ГПа	$H/E^*$	$W_e$ , ГПа	$H^3/E^{*2}$ , ГПа
Ti <sub>80</sub> Al <sub>20</sub> N	32,8	350	0,093	3,07	0,29
Ti <sub>70</sub> Al <sub>30</sub> N	34,3	345	0,994	3,410	0,339
Ti <sub>60</sub> Al <sub>40</sub> N	30,2	353	0,086	2,584	0,221
Твердый сплав ВКЗОМ	21,5	665	0,69	0,032	0,02

Высокая твердость покрытий в сочетании с высоким сопротивлением к деформации позволяет рекомендовать данные покрытия для упрочнения режущего инструмента с целью снижения его абразивного и адгезионного износа.

УДК669.24/29.018:[539/25+539/26]

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

В.С. Урбанович, зав. отделом, канд. ф.-м. наук  
(ГО НПЦ по материаловедению НАН Беларуси, г. Минск);

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

А.С. Раковец, асп.; М.В. Петровский, студ. (БГТУ, г. Минск)

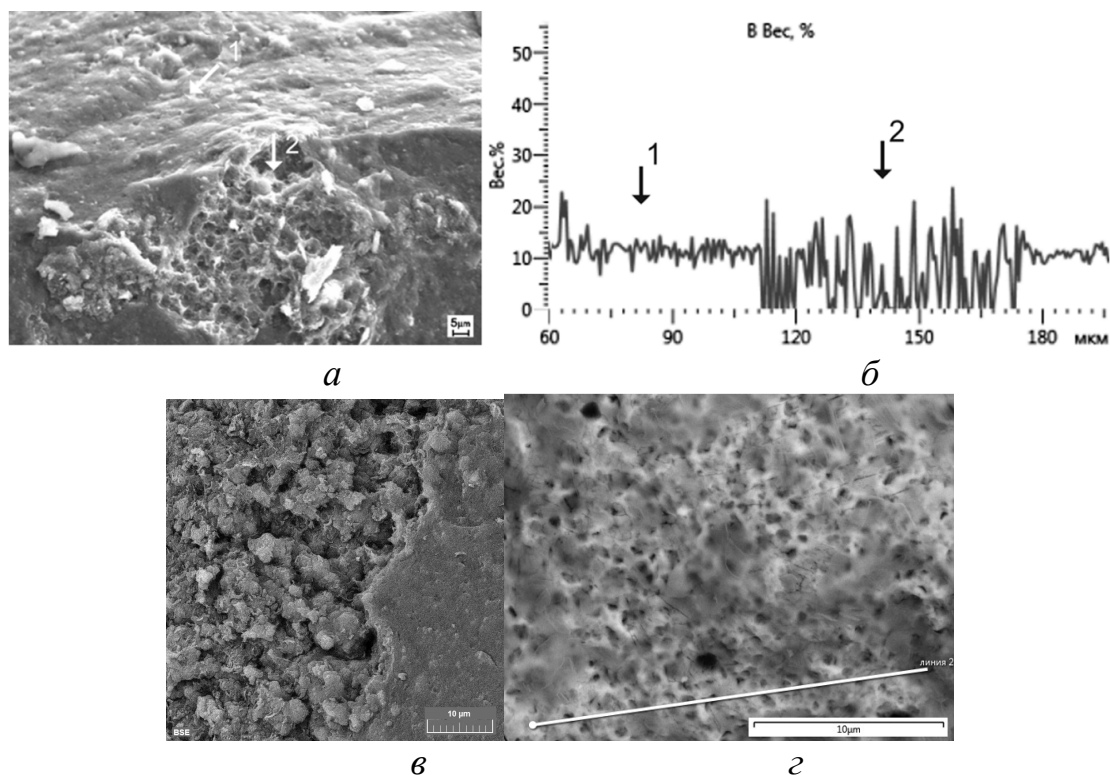
## **СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ НАНОСТРУКТУРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ НАНОУГЛЕРОДА С ДОБАВКАМИ БОРА И ЖЕЛЕЗА**

Изучение фазовых превращений в системе ультрадисперсных компонентов бор-углерод связано с перспективами синтеза методами нанотехнологии новой нанокерамики с уникальными физико-механическими свойствами, особенно с учетом того, что для бораинтенсивная пластическая деформация однозначно связана с формированием в композитах наноструктурного состояния.

Методом высокоэнергетической консолидации путем легирования аморфным бором ранее полученного композита на основе не содержащей фуллеренов нанодисперсной экстрагированной фуллереновой сажи с добавкой железа ( $C_{Эфс}-10\%Fe$ ) получен новый сверхлегкий, изотропно супертвердый с высокой трещиностойкостью и упругостью углеродный аморфно-нанокристаллический композиционный материал  $C_{Эфс}-10\%B-10\%Fe$ . Композит имеет аморфную углеродную основу-матрицу, заполненную упрочняющими ее нанокристаллитами карбидов и боридов Fe и карбоборидов, супертвердыми частицами углеродной фазы и частицами Fe, преобразованными в новый по структуре и свойствам карбид железа (рис. 1).

Как и прогнозировалось, легирование бором, обладающим уникальными свойствами, привело к существенным положительным изменениям структуры и свойств нанокompозита  $C_{Эфс}-10\%B-10\%Fe$ : структура стала ярко выражено гетерофазной, в лучших образцах (таблица 1) микротвердость углеродной матрицы возросла в ~2-4 раза, супертвердых частиц до  $HV_{300}=29...89$  ГПа и во многих частицах близка к твердости алмаза –  $HV_{300-500}$  до 100 ГПа, частиц на основе Fe-C – до 9,2...15,8 ГПа, размер кристаллитов связующей "фазы-основы" уменьшился и составляет 0,5...11,9 nm – уровень аморфно-нанокристаллический. Удельный вес сверхлегкого композита составляет 2,13...2,168 г/см<sup>3</sup>.





*а, в* – излом по фазе-основа и по частице карбида Fe;  
*б* – концентрационные кривые распределения бора при сканировании через участок по линии на рис. *г*; *в, г* – включения дисперсных Fe-В наночастиц по фазе-основа (*в*) и по частице карбида Fe

**Рисунок – Образец композита  $C_{Эфс}B-Fe-34$**

Анализ результатов проведенного исследования позволил предложить следующий механизм структурообразования в композите  $C_{Эфс}-10\%B-10\%Fe$  супертвердых углеродных частиц с микротвердостью на поверхности близкой к твердости алмаза.

Высокоэнергетическая консолидация смеси порошков – нанодисперсного углерода, аморфного бора и порошка карбонильного железа создает в композите  $C_{Эфс}-10\%B-10\%Fe$  в течение 30...140 с условия скоростной диффузии с образованием из железного порошка новых по структуре и свойствам карбидов железа с поверхностным переходным Fe-C диффузионным слоем, легированным бором, превращающимся в сверхтвердое аморфное углеродное покрытие (рис. *в*), одновременно внутри частиц железа образуются упрочняющие его нанокристаллиты карбидов и боридов Fe и карбоборидов (рис. *в, г*). Полученный композит по своему структурному состоянию, изотропной супертвердости, трещиностойкости, низкой плотности может иметь широкое применение как износостойкий, абразивный и конструкционный материал, изготовленный на дешевом безфуллереновом сырье.

УДК 620.178.3

Д.В. Куис, доц., канд. техн. наук;  
Н.А. Свидунович, проф., д-р техн. наук  
(БГТУ, г. Минск)

А.С. Раковец, асп.; В.Ю. Янушкевич, маг.; Р.И. Ланкин, студ.  
(БГТУ, г. Минск)

## **СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СТАЛЕЙ ЛЕДЕБУРИТНОГО КЛАССА, ПОДВЕРГНУТЫХ ИОННО-ПЛАЗМЕННОМУ АЗОТИРОВАНИЮ**

Циклические контактные нагрузки, действующие на рабочие поверхности деталей машин и механизмов, к которым относятся зубчатые колеса, подшипники качения, рельсы и рельсовые колеса, прокатные валки, толкатели кулачков, бойки, элементы червячных, гипоидных, винтовых, цепных и глобоидальных передач, направляющие, шлицевые соединения с телами качения, обгонные роликовые муфты и т.д., - являются причиной потери их работоспособности. Среди возможных путей повышения контактной выносливости таких деталей большое внимание отводится упрочняющим технологиям, созданию необходимой структуры поверхностного слоя.

Методами рентгеноструктурного анализа, световой и сканирующей электронной микроскопии с микрорентгеноспектральным анализом, измерения микротвердости были исследованы фазовый состав, микрохимический состав, структурное состояние и микротвердость полутеплостойких хромистых сталей класса X12M для инструментальной и технологической оснастки после термической обработки на различных режимах, подвергнутых ионно-плазменному азотированию. Ионно-плазменное азотирование проводили при температуре 470°C в течении 30 часов. Исследованиями установлено, что на поверхности образуется диффузионный упрочненный слой глубиной до 0,5 мм с микротвердостью до 12 ГПа, что в свою очередь будет определять уровень эксплуатационных свойств.

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.

УДК 621.87

М.М. Гарост, доц., канд. техн. наук;  
А.А. Шнаркевич, доц., преп. - стажер  
(БНТУ, г. Минск)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ ЕЗДОВОЙ БАЛКИ**

Козловые краны в отличие от мостовых эксплуатируются на открытых погрузочно-разгрузочных площадках, складах, на лесозаготовительных и лесоперерабатывающих предприятиях, площадках для монтажа сборных строительных сооружений и оборудования, перегрузки крупнотоннажных контейнеров и длинномерных грузов в условиях переменных температур при атмосферных осадках и различных скоростях ветра.

Большие пролеты козловых кранов допускают прокладку между их опорами (ногами) нескольких железнодорожных путей нормальной или узкой колеи, что обеспечивает высокую пропускную способность склада.

Наиболее важным и сложным вопросом при проектировании козловых кранов является разработка металлоконструкций мостов и ездовых балок. Эти элементы, кроме нагружения от собственного веса крана и веса груза, воспринимают нагрузки от неравномерного движения крановых опор или, так называемые, перекосные нагрузки.

Низкая надежность козловых кранов связана со спецификой работы на складе леса. Данные краны выполняют не столько работу по подъему-опусканию груза, сколько работу по его перемещению вдоль рельсового пути. Это обусловлено необходимостью созданием больших сезонных запасов древесины и сложившейся технологией работ по сортировке и погрузке лесоматериалов.

Наиболее распространенным конструктивным исполнением ездовых балок являются коробчатые балки с прямолинейными стенками. Элементы таких балок являются технологичными по условиям изготовления и сборки, осуществляемой, как правило, при помощи сварки. Но такие конструкции имеют большое количество свариваемых элементов, что значительно увеличивает трудоемкость и себестоимость изготовления балок.

Одним из способов сокращения количества дополнительных элементов в коробчатых балках является использование стенок с гофрами. Так же применяются коробчатые балки с криволинейными или многогранными стенками.

По результатам анализа различных конструкций ездовых балок нами предлагается конструкция сечения ездовой балки с двумя штампованными полусферическими боковыми стенками. Боковая

стенка имеет 15 гибов. Такая форма позволяет сэкономить на элементах жесткости, значительно удешевить производство. Между собой боковые стенки соединяются посредством прокатной квадратной или прямоугольной трубы при помощи электрозаклепок. К верхней и нижней полке боковые стенки привариваются электросваркой.

В предлагаемой конструкции гибы боковых стенок выступают в качестве продольных ребер жесткости. За счет этого возможно уменьшение толщины листа, используемого для боковых стенок.

Масса одного погонного метра спроектированной ездовой балки составляет 46,6 кг, тогда как массы аналогичных по длине двутавровой балки и балки с криволинейными стенками равны 50 и 83,6 кг соответственно.

УДК 621.87

И.Г. Пимонов, доц., канд. техн. наук (ХНАДУ, г. Харьков);  
М.М. Гарост, доц., канд. техн. наук (БНТУ, г. Минск)

### **РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ ГИДРОПРИВОДА ЛЕСНЫХ МАШИН**

Надежность и безотказность гидросистемы лесных машин во многом определяют их производительность, величину затрат средств при эксплуатации и степень воздействия на окружающую среду. Заводы-изготовители гарантируют надежную работу гидромашин на рабочих жидкостях (РЖ) в интервале температур от  $-40$  до  $+75$  °С.

Поддержание теплового режима гидропривода лесных машин, в котором имеются значительные потери мощности (до 30 %) вследствие дросселирования РЖ, - весьма сложная техническая проблема, требующая существенного увеличения вместимости бака, или применения эффективной системы искусственного охлаждения. В последнем случае вначале впустую теряется мощность в гидроприводе, а затем затрачивается дополнительная мощность на работу системы охлаждения.

На основании проведенного исследования устройств для регулирования температуры РЖ в мобильных машинах предложена усовершенствованная система (патент на корисну модель №82210 від 25.07.2013), состоящая из гидробака с расположенной в нём подвижной перегородки и, герметичной по отношению к стенкам и днищу бака, управление которой осуществляется с помощью гидроцилиндра. Порошковая полость гидроцилиндра, на штоке которого установлена

пружина, трубопроводом соединена со сливной магистралью, на которой перед входом в бак установлен дроссель, перепад давления на котором зависит от температуры РЖ. При поступлении через дроссель на слив в бак холодной РЖ, имеющей большую вязкость, повышается давление в трубопроводе и поршневой полости гидроцилиндра, что вызывает перемещение поршня, который через шток поворачивает подвижную перегородку, сжимая при этом пружину в штоковой полости. Подвижная перегородка становится в свое начальное положение, образуя вместе со стенками бака две, гидравлически изолированные, полости А и Б. РЖ, циркулируя в меньшей по объему полости А ускоренно прогревается, вязкость ее уменьшается, что вызывает уменьшение давления перед дросселем, в трубопроводе и в поршневой полости гидроцилиндра. Вследствие этого за счет усилия сжатой пружины в штоковой полости гидроцилиндра передвигается поршень, уменьшая поршневую полость. Шток через тягу вызывает поворот перегородки в гидробаке. Между полостями А и Б образуется щель, которая растет по мере прогрева РЖ, постепенно подключая к циркуляции в гидроприводе все больший ее объем. В конечном положении подвижная перегородка упирается в стенку бака своей нижней частью, а через зазор между верхней частью перегородки и стенкой бака проходит весь поток РЖ. Перегородка способствует перемешиванию (турбулизации) РЖ, что улучшает теплообмен между РЖ и стенками бака.

Подвижная перегородка выполнена из теплоизоляционного материала, который уменьшает теплообмен между полостями А и Б, ускоряя нагрев РЖ в начале работы гидропривода, и практически не влияет на регулирование температуры РЖ при появлении гидравлического соединения между полостями А и Б.

Предлагаемая система может быть использовано при производстве и переоборудовании баков гидравлических приводов машин. На её изготовление имеется техническая документация.

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Н.В. Хорошун</i> Анализ выполнения показателей социально-экономического развития лесной отрасли за 2017 год и задачи по повышению эффективности промышленной деятельности лесной отрасли на 2018 год.....	3
<i>С.А. Войнаш</i> Сортиментовоз для лесозаготовок в районах Сибири и Дальнего Востока.....	5
<i>В.Н. Лой, М.К. Асмоловский, А.О. Германович</i> Выбор и обоснование параметров ходовой системы и трансмиссии универсального лесного шасси.....	8
<i>Е.А. Леонов, Д.В. Клоков</i> Обоснование вместимости склада древесного топлива в условиях круглогодичного спроса на щепу.....	9
<i>А. О. Шошин, С. П. Мохов, В.А. Коробкин</i> Математическое описание процесса трелевки лесоматериалов канатной трелевочной установкой на базе тракторе МТЗ 1221.....	11
<i>М. Т. Насковец, Н.В. Хорошун</i> К вопросу о системе машин для содержания и текущего ремонта лесохозяйственных дорог.....	13
<i>М.Т. Насковец, Н.И. Жарков, Н.В. Хорошун</i> Результаты исследований физико-механических свойств составов на основе глинисто-солевых шламов на опытных участках.....	15
<i>М.Т. Насковец, А.А. Борозна, А.К. Бовтрель</i> Перспективы применения геосинтетических материалов в конструкциях лесных дорог.....	18
<i>М.Т. Насковец, Н.И. Жарков, А.К. Бовтрель</i> Исследование отходов лесопромышленного производства и конструкции подъездных путей на их основе.....	20
<i>В.С. Исаченков, В.А. Симанович, А.Ю. Путрич</i> Обоснование перспектив использования колесных трелевочных тракторов при освоении труднодоступных лесосек на территории Республики Беларусь.....	22
<i>В.С. Исаченков, В.А. Симанович, В.В. Климко</i> Особенности применения прицепного технологического оборудования на трелевке.....	25
<i>Ю. И. Мисуно, П. А. Протас</i> Особенности конструкции шин лесозаготовительных машин и пути их совершенствования.....	27
<i>П. А. Протас, А. В. Ледницкий</i> Пути совершенствования оценки экономических потерь от влияния природных катастроф в лесном хозяйстве Республики Беларусь.....	29

<i>П. А. Протас, Э. Д. Дудич</i> Перспективы проведения несплошных рубок главного пользования в Республике Беларусь.....	31
<i>С. Е. Арико, А. Зимелис, А. Савельев</i> Оценка устойчивости корчевателя на базе экскаватора «NEWHOLLAND» .....	32
<i>П. А. Лыщик, А. И. Науменко, Е. И. Бавбель</i> Упрочнение дорожных грунтов малоцементным вяжущим с минеральным наполнителем .....	34
<i>Е. И. Бавбель, П. А. Лыщик</i> Моделирование лесотранспортной сети с учетом очередности строительства дорог .....	35
<i>Е. И. Бавбель</i> Опыт проектирования лесных дорог Австрии .....	36
<i>Лащенко А. П.</i> Определение реологических параметров ДСМ на основании математического моделирования .....	37
<i>Р. О. Короленя, П. И. Зеленкевич</i> Обоснование оптимального расположения штабелей древесины на прирельсовом складе в ГЛХУ «Волковысский лесхоз» .....	38
<i>С. В. Шетько, Л. В. Игнатович, С. С. Гайдук</i> Оценка эффективности методов и приемов повышения эксплуатационных характеристик малоценных мягких пород древесины для замены ценных твердолиственных пород .....	39
<i>С. С. Гайдук</i> Автоматизация проектирования изделий из древесины .....	41
<i>В. В. Тулейко, А. А. Барташевич, Л. В. Игнатович, С. В. Шетько</i> Карбамидоформальдегидные смолы для производства плитных материалов на ОАО «Речицадрев» .....	43
<i>А. А. Барташевич, Л. В. Игнатович, Е. В. Коробко</i> Конструктивные особенности столярно-строительных изделий на основе фанеры повышенной водостойкости .....	44
<i>И. К. Божелко</i> Современные защитные средства для пропитки древесины, эксплуатируемой в XIII-М классе условий службы по ГОСТ 20022.0 .....	45
<i>И. К. Божелко, О. А. Ракуть, А. А. Вьюгинова, А. В. Баранов</i> Исследование свойств «Кованой древесины» .....	46
<i>В. Г. Василевич, Н. В. Мазаник</i> Методы испытаний лакокрасочных материалов для наружной отделки древесины .....	47
<i>И. И. Веретиков</i> Применение метода неразрушающего контроля при изучении влияния температурного воздействия на прочностные показатели фанерной продукции .....	48

<i>О.К. Леонович, А. Ю. Антоник</i> Новые методы исследований закрепления защитных средств в структуре древесины .....	50
<i>О.К. Леонович, А. Ю. Антоник, Ю. В. Домасевич</i> Мониторинг и расчет производственной мощности линии по производству теплоизоляционных плит из древесного волокна .....	51
<i>Н. В. Мазаник, Д. П. Бабич</i> Оптимизация дробности сортировки круглого леса с целью повышения объемного выхода пиломатериалов .....	52
<i>В. Б. Снопков, Д. П. Бабич</i> Промышленные испытания режимов сушки пиломатериалов крупных поперечных сечений .....	53
<i>И. Г. Федосенко, А. В. Усович</i> Изучение свойств гипсостружечных плит с увеличенной долей древесного наполнителя и химическими добавками в гипсовое вяжущее .....	54
<i>И. Г. Федосенко, Д. В. Козека</i> Исследование влияния гидрофобизирующих добавок на свойства высокопустотного древесно-цементного композиционного материала .....	55
<i>И. Г. Федосенко, Е.В. Чесновский</i> Применение ультразвука для неразрушающего анализа древесины исторических построек .....	56
<i>В. Т. Швед, А. А. Гришкевич, О. И. Морозова</i> Результаты исследования увеличения производительности шлифовальной шкурки при ее эксплуатации на широколенточных шлифовальных машинах проходного типа .....	58
<i>Т. А. Машорипова, А. Ф. Аникеенко</i> Достоинства и недостатки современного инструмента для сверления ЛДСП .....	60
<i>О. И. Морозова, А. А. Гришкевич</i> Практическое использование результатов исследования при шлифовании древесины на ЗАО «Холдинговая компания «Пинскдрев» .....	62
<i>В.В. Раповец, И.К. Клепацкий, О.И. Морозова</i> Модели оптимизации технологических режимов фрезерования древесины .....	64
<i>А. А. Гришкевич, С. А. Гриневич, Г. В. Алифировец</i> Разработка адаптивного фрезерного инструмента для исследования процесса цилиндрического фрезерования при получении технологической щепы .....	66
<i>И.К. Клепацкий, В.В. Раповец</i> Энергоэффективная обработка древесины адаптивным фрезерным инструментом .....	68
<i>В.Т. Лукаш, С. А. Гриневич</i> Геометрическое моделирование затупления дереворежущего инструмента .....	70
<i>А. А. Гришкевич, В. Н. Гаранин, Д. Л. Болочко</i> Моделирование процесса фрезерования древесных материалов рефлекторным инструментом .....	72



<i>В. Н. Гаранин, И. А. Зыков</i> Разработка мероприятий по снижению уровня шума в лесопильном цеху .....	73
<i>Г. В. Алифировец, А. А. Гришкевич, В. Н. Гаранин</i> Результаты исследований периода стойкости плоских ножей цилиндрических фрез профилирующих машин.....	75
<i>Н. М. Горбачев, С. П. Трофимов</i> Вопросы безопасности в производстве и при использовании измельченной древесины в качестве топлива.....	76
<i>Н. М. Горбачев, С. П. Трофимов</i> Опыт применения кольцевых жалюзийных пылеуловителей с профилированными кольцами в системах аспирации .....	77
<i>С. П. Трофимов, Т. Рогозинский</i> Размерные характеристики пыли при шлифовании березовой фанеры .....	19
<i>С. П. Трофимов</i> Определение изменчивости угла откоса измельченной древесины .....	81
<i>Г.И. Касперов, В.Г.Ленская, В.Е.Левкевич, В.А. Мильман</i> Экспресс-обследования гидротехнических сооружений на искусственных водоемах Беларуси .....	82
<i>Г.И. Касперов, В.Е.Левкевич, Л.В.Бокуть, В.А. Мильман</i> Повреждения подпорных гидротехнических сооружений на искусственных водоемах Беларуси как фактор риска гидродинамических аварий.....	84
<i>Adel Abdel Basset Rashid, Mourtada Srouf, Ф.Ф. Царук, С.Е. Бельский, М.Н. Пищов</i> Исследование характеристик усталости алюминиевых сплавов после лазерного упрочнения ....	86
<i>Ф.Ф. Царук, М.Н. Пищов, М.Д. Говен</i> Влияние температурного фактора на характеристики усталости алюминиевого сплава .....	87
<i>Ф.Ф. Царук, М.Н. Пищов, Э.П. Андрейковец</i> Влияние состояния поверхности на служебные свойства алюминиевого сплава.....	88
<i>А.В. Блохин, С.В. Киселев</i> Методика проведения и контроля упругопластического деформирования узких ленточных пил.....	89
<i>А. М. Лось, С. В. Ярмолик, А. В. Блохин</i> Моделирование напряженно-деформированного состояния заклепочных соединений средствами конечно-элементного анализа.....	90
<i>А. М. Лось, А. И. Сурус, М. Н. Пищов</i> Исследование нагруженности узла крепления растяжки стрелы грузового крана .....	92
<i>А.И. Сурус, С.Е. Бельский, А.В. Блохин, А.М. Лось</i> О механизмах влияния механических колебаний на упрочнение деталей машин и перспективах их использования .....	94
<i>П.В. Рудак, М. Экевад, Ш. Барцик, В.В. Чаевский, О.Г. Рудак</i> Результаты исследований механо-химического изнашивания дереворежущих инструментов из быстрорежущей стали .....	96

<i>П.В. Рудак, М. Экевад, Ш. Барцик, С.Д. Латушкина, Д.С. Харитонов, О.Г. Рудак, Е.Ю. Разумов</i>	
Результаты электрохимических исследований методом импедансной спектроскопии в среде продуктов сухой термодеструкции древесины образцов из быстрорежущей стали с многокомпонентными вакуумно-плазменными наноструктурными покрытиями.....	97
<i>Adel Abdel Basset Rashid, Mourtada Srouf, С.Е. Бельский</i>	
Теоретический анализ частотной зависимости характеристик усталости конструкционных материалов .....	98
<i>Adel Abdel Basset Rashid, Mourtada Srouf, С.Е. Бельский</i>	
Теоретический анализ влияния примесей в сплаве на развитие усталостного разрушения.....	100
<i>Adel Abdel Basset Rashid, Mourtada Srouf, С.Е. Бельский</i>	
Влияние температуры испытаний на характеристики многоциклового усталости алюминиевых сплавов.....	102
<i>С. С. Карпович, П. В. Рудак, С. И. Карпович</i>	
Технология ионно-плазменного раскроя заготовок почвообрабатывающих приспособлений из листовой стали с одновременной термообработкой рабочих кромок.....	104
<i>С.И.Карпович, С.С. Карпович, О. Ю. Пискунова</i>	
Способ создания сжимающих напряжений на лезвии режущих элементов.....	105
<i>Д.В. Куис, И.О. Соколов, Н.А. Свидунович, А.С. Кравченко, О.Ю. Пискунова, Я.А. Потоцкий, Р.И. Ланкин</i>	
Газотермические композиционные функциональные покрытия, полученные с применением нанокремниевых компонентов .....	106
<i>Д.В. Куис, Н.А. Свидунович, А.Т. Волочко, С.Н. Лежнев, А.С. Раковец, В.Ю. Янушкевич, М.В. Петровский</i>	
Влияние комплексных модификаторов, содержащих нанокремниевые компоненты, на первичную структуру серого чугуна.....	107
<i>С.Д. Латушкина, О.И. Посылкина, Д.В. Куис, П.В. Рудак, О.Ю. Пискунова, М.В. Петровский</i>	
Эволюция структуры и фазового состава вакуумно-плазменных покрытий, легированных алюминием .....	109
<i>Н.А. Свидунович, Д.В. Куис, Г.П. Окатова, В.С. Урбанович, В.М. Ойченко, А.С. Раковец, М.В. Петровский</i>	
Структурообразование наноструктурных композиционных материалов на основе нанокремниевых добавок бора и железа.....	112
<i>Д.В. Куис, Н.А. Свидунович, А.С. Раковец, В.Ю. Янушкевич, Р.И. Ланкин</i>	
Структура и свойства сталей ледебуритного класса, подвергнутых ионно-плазменному азотированию.....	114

<i>М.М. Гарост, А.А. Шнаркевич</i> Исследование конструкций и определение рационального сечения ездовой балки.....	115
<i>И.Г. Пимонов, М.М. Гарост</i> Регулирование температуры рабочей жидкости гидропривода лесных машин.....	116