

Учреждение образования
«Белорусский государственный
технологический университет»

ТРУДЫ БГТУ

Научный журнал

*Издается с июля 1993 года
Выходит один раз в месяц*

№ 2 (158) 2013 год

**ЛЕСНАЯ
И ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩАЯ
ПРОМЫШЛЕННОСТЬ**

Минск 2013

Учредитель – учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»

Главный редактор журнала – Жарский Иван Михайлович, ректор, профессор, кандидат химических наук

Редакционная коллегия номера:

Н. П. Вырко, профессор кафедры транспорта леса БГТУ, доктор технических наук, профессор (главный редактор номера);

Т. В. Соловьева, профессор кафедры химической переработки древесины БГТУ, доктор технических наук, профессор (заместитель главного редактора номера);

В. Б. Кунтыш, профессор кафедры энергосбережения, гидравлики и теплотехники БГТУ, доктор технических наук, профессор;

И. И. Леонович, профессор кафедры строительства и эксплуатации автомобильных дорог БНТУ, доктор технических наук, профессор;

А. В. Вавилов, заведующий кафедрой строительных и дорожных машин БНТУ, доктор технических наук, профессор;

В. В. Штабинский, ведущий научный сотрудник РУП БелдорНИИ, кандидат технических наук;

И. М. Грошев, начальник ЦЗЛ ОАО «Витебскдрев», кандидат технических наук;

Л. В. Игнатович, доцент кафедры технологии и дизайна изделий из древесины БГТУ, кандидат технических наук, доцент (секретарь)

Адрес редакции: ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.

Телефоны: главного редактора журнала – (+375 17) 226-14-32,

главного редактора номера – (+375 17) 327-07-28.

E-mail: root@bstu.unibel.by, <http://www.bstu.unibel.by>

Свидетельство о государственной регистрации средств массовой информации

№ 1329 от 23.04.2010, выданное Министерством информации Республики Беларусь.

*Журнал включен в «Перечень научных изданий Республики Беларусь
для опубликования результатов диссертационных исследований»*

Редактор Р. М. Рябая

Компьютерная верстка: Е. В. Ильченко, О. Ю. Шантарович

Корректор Р. М. Рябая

Подписано в печать 23.05.2013. Формат 60×84¹/₈.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 30,6. Уч.-изд. л. 32,8.

Тираж 110 экз. Заказ 168.

Издатель и полиграфическое исполнение: УО «Белорусский государственный технологический университет».

ЛИ № 02330/0549423 от 08.04.2009. ЛП № 02330/0150477 от 16.01.2009.

Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.

НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС. ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ

УДК 630*36

А. С. Федоренчик, кандидат технических наук, профессор (БГТУ)

ФОРМИРОВАНИЕ МОБИЛЬНЫХ СИСТЕМ МАШИН ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ

Предложена концепция и показана целесообразность развития модульных систем комплексной переработки древесного сырья на базе мобильных систем машин. Выполнена их классификация и обоснованы варианты систем машин для переработки деловой и дровяной древесины, отходов лесозаготовок, зелени в условиях лесосеки и терминалов.

The conception and the expediency of modular integrated wood processing systems based on mobile machines are proposed. Their classification is made and options of machine systems for the processing of business and fuel wood, wood wastes, greens in cutting areas and terminals are substantiated.

Введение. Перед предприятиями лесного комплекса страны в нынешнем пятилетии стоит задача роста производства эффективных заменителей круглых лесоматериалов, углубленной их переработки, утилизации отходов в энергетических целях [1, 2].

Имеющиеся на сегодня недостатки, вытекающие из территориальной и организационно-технологической разобщенности лесных производств, затрудняют осуществление единой технической политики в деле рационального использования древесины и резкого повышения производительности труда в целом по лесному комплексу. В условиях конкурентного функционирования перерабатывающих предприятий различных форм собственности и мощности рыночных форм продажи леса на корню в стране имеют место встречные перевозки древесины. Затраты на ее хранение и доставку (транспортные, перевалочные, биржевые и др.) на крупных лесоперерабатывающих предприятиях возросли настолько, что нередко превышают расходы лесохозяйственных и лесозаготовительных предприятий на ее заготовку и вывозку. Деконцентрированность лесосек, малые их площади и запасы, труднодоступность части лесфонда, отсутствие требуемого количества дорог, возрастающие объемы ветровально-буреломной древесины обуславливают перио-

дический характер деятельности лесозаготовительных структур с присущими ему дорогостоящими перебазировками и серьезно снижают возможности эффективного использования древесных ресурсов.

В этой связи представляет интерес путь решения данной проблемы для малообъемных предприятий, осуществляющих заготовку древесины, на основе развития и внедрения мобильных систем машин (МСМ). В широком понимании мобильной можно назвать машину, которую легко доставить к месту нахождения сырья, не требующую работ по возведению фундамента, прокладыванию коммуникаций.

Успехи лесного машиностроения, в том числе и отечественного, позволяют в настоящее время не только полностью исключить ручной труд при проведении рубок главного и промежуточного пользования, но и обеспечить процесс комплексной переработки древесины с помощью МСМ как на лесосеке, так и на терминалах (промежуточных складах) у дорог круглогодичного действия. Строить нижние склады и цеха по переработке древесного сырья с инженерными коммуникациями – дорогостоящее мероприятие. Для ранее построенных складов в населенных пунктах часто нет свободных территорий для расширения. Кроме того, вывозить из леса готовую продукцию или

полуфабрикат экономически более выгодно, так как увеличивается коэффициент загрузки транспортных средств с 0,67 (круглые лесоматериалы) до 1,00 (пиломатериалы), во многих случаях возможна прямая доставка продукции потребителю, что сокращает расстояние вывозки в среднем до 1,5 раза. Из-за технологических трудностей (рассредоточенность, малый запас на единице площади, низкий коэффициент полндревесности, (например, для сучьев и ветвей равен 0,12; вершинок – 0,30; обрезок стволов и бревен – 0,40) вывозка отходов экономически невыгодна, поэтому они часто остаются на лесосеке и сжигаются.

1. Системы машин. Под *системой машин* для комплексной переработки древесного сырья понимаем совокупность машин и оборудования для выполнения необходимых взаимосвязанных по технологическим, техническим и эксплуатационным параметрам операций, обеспечивающих выпуск целевого продукта в заданных природно-производственных условиях. В зависимости от целевого назначения получаемой продукции и технически реализуемых

возможностей выделим семь групп МСМ для комплексной переработки древесного сырья (рис. 1).

Первая группа машин, предназначенная для производства щепы, подразделяется на три МСМ: 1.1 – для производства топливной щепы; 1.2 – производства технологической щепы; 1.3 – производства любой щепы.

Вторая группа машин предназначена для переработки пиловочника, заготавливаемого в первую очередь в лесах, загрязненных радионуклидами. Учитывая, что в нем загрязнена периферийная часть, а сердцевинная является чистой, из нее можно дополнительно получить различную пилопродукцию, оставляя загрязненную часть в виде горбылей, реек и опилок на лесосеке. Данная группа машин подразделяется на две МСМ: 2.1 – для выпилки шпал, досок, брусев; 2.2 – получения профилированной продукции. *Третья группа* машин предназначена для переработки деловой древесины. В ней выделим следующие МСМ: 3.1 – для изготовления кольев; 3.2 – для производства оцилиндрованных изделий.

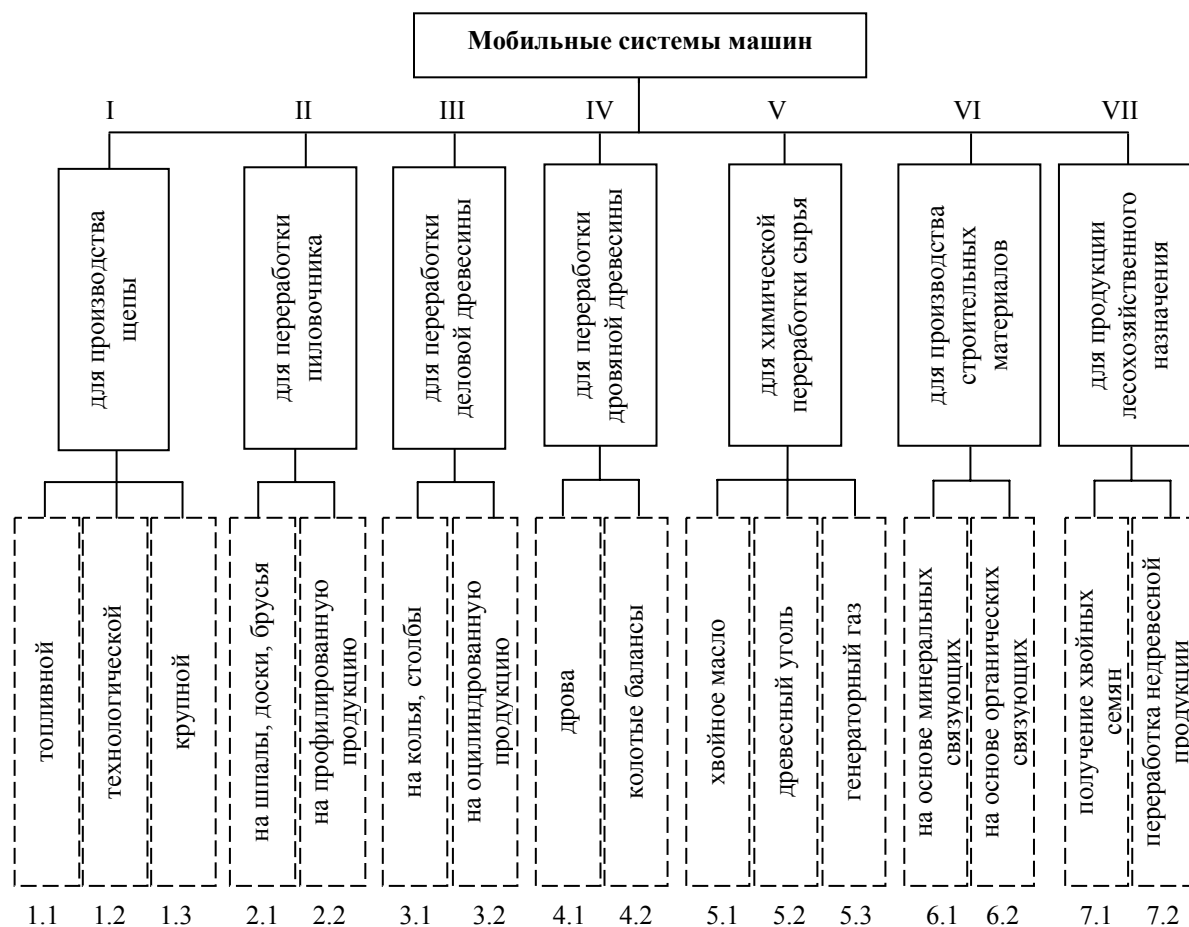


Рис. 1. Мобильные системы машин для комплексной переработки древесного сырья: I–VII – номер группы машин; 1.1–7.2 – номер системы машин

Четвертая группа машин предназначена для переработки дровяной древесины. В ней можно выделить следующие МСМ: 4.1 – для изготовления дров; 4.2 – производства колотых балансов. *Пятая группа* машин, осуществляющая химическую переработку биомассы дерева, подразделяется на три МСМ: 5.1 – для выработки хвойного масла из древесной зелени; 5.2 – получения древесного угля; 5.3 – газификации древесины. *Шестая группа* машин предназначена для производства строительных материалов. Она включает две МСМ: 6.1 – для производства материалов на основе минеральных связующих; 6.2 – производства материалов на основе органических связующих. *Седьмая группа* машин предназначена для получения продукции лесохозяйственного назначения и включает следующие МСМ: 7.1 – для получения хвойных семян из шишек; 7.2 – переработки недревесной продукции (ягод, грибов и др.).

Состав и выбор оборудования в рассматриваемых МСМ зависят от многих факторов: объема лесозаготовок и номенклатуры вырабатываемой продукции; места выполнения операций и вида перерабатываемого сырья; вида силовой базы для привода механизмов и природно-производственных условий. В качестве силовой базы могут использоваться колесные или гусеничные трактора, дизель-электростанции, линии электропередач, газогенераторные установки. В зависимости от вида оборудования технологические и переместительные операции той или иной МСМ могут выполняться последовательно разными машинами или одной, к которой технологические агрегаты подключаются поочередно по мере накопления того или иного вида сырья (полуфабриката).

В этой связи при разработке новых и выборе имеющихся машин для реализации требуемых техпроцессов приоритет должен отдаваться машинам:

- исключаящим или минимизирующим ручной труд;
- специализированным по сравнению с машинами общего назначения;
- многооперационным по сравнению с однооперационными;
- обеспечивающим автоматизированную обработку сырья (отходов) по инвариантным схемам, позволяющим вести одновременный учет продукции и непосредственный обмен информацией на расстоянии;
- допускающим возможность нетрудоемкого агрегатирования с навесным и (или) прицепным технологическим оборудованием и сменным комплексом специализированных устройств;
- не требующим больших трудозатрат на перебазировку;

– имеющим меньшую массу, габариты, удельное давление на грунт, расход топлива или работающим на энергии, полученной из древесной биомассы.

На сегодня степень отработанности и масштабов применения предложенных к рассмотрению МСМ для комплексной переработки древесного сырья разная, но все они предполагают взаимодействие с системами машин, осуществляющими заготовку деловой древесины.

Наиболее отработанными и широко применяемыми являются МСМ 1.1 для производства топливной щепы. Только в Республике Беларусь с их помощью ежегодно заготавливается около 750 тыс. м³ топливной щепы, а к концу 2015 г. этот объем должен составить 1500 тыс. м³. Данные системы, основу которых составляют самоходные или прицепные барабанные рубильные машины (МР-25, МР-40, МР-100, «Амкодор-2902» и др.) и технологии их работы, достаточно подробно описаны в литературе [3].

Актуальность применения МСМ 1.2 для производства технологической щепы, которая широко распространена в США, Канаде, Австралии, в нашей стране возрастает в связи с завершением строительства ряда крупных заводов по производству плитных материалов суммарной мощностью по переработке сырья 1030 тыс. м³. Ведущей в системе является сучкорезно-окорочно-рубильная машина компании «Peterson Pacific» [4]. Она может конструктивно состоять из одного или двух самостоятельных блоков (сучкорезно-окорочного и рубильного), выполненных каждый на своей раме-прицепе и иметь разные мощности и производительность.

Основу МСМ 1.3 для производства топливной и технологической щепы составляют самоходные рубильные машины, предназначенные для измельчения пневокорневой и «старой (отслужившие шпалы, заборы, срубы и т. п.)» древесины. Машины таких фирм, как «Doppstadt», СБИ, «Lindner», позволяют при измельчении отделять почвогрунты и металлические включения. Их отличительной способностью является возможность замены измельчающего органа (массивный стальной, кованный молотковый, многоножевой), что позволяет получать различные виды измельченного материала – дробленку, щепу различных фракций, сырье для производства пеллет. Данные МСМ дают возможность успешно утилизировать не только древесное сырье, но и строительный мусор, коммунальные отходы.

С помощью второй группы машин из лесов, загрязненных радионуклидами, ежегодно можно добывать до 300 тыс. м³ чистой пилопродукции.

В качестве режущего инструмента в МСМ 2.1 для выпилки шпал, брусьев, досок чаще всего применяются ленточные пилы, но могут использоваться круглые и цепные. На мобильных станках этой системы выход пиломатериалов может достигать 50–70%. Лидером по количеству выпускаемых модификаций мобильных лесопильных станков является хорошо известная фирма «Wood-Mizer». Ее станок серии «Super LT-40HD» имеет дизельный двигатель мощностью 40 л. с. с турбонаддувом. В состав также входит прицепное устройство, ось с колесами, тормоза, световая сигнализация. Ленточная пила позволяет осуществлять распиловку бревен диаметром до 71 см и длиной до 6,5 м. Линейка станков данной фирмы может оснащаться легким околостаночным оборудованием, что облегчает процесс распиловки. Конкуренцию данной фирме пытаются составить многочисленные производители из России, выпускающие аналогичное по конструкции или назначению оборудование (мобильные пилорамы МПР-1, «Соболь», «Алтай», «Тайга», «Молома» и др.).

В состав МСМ 2.2 входят мобильные ленточнопильные станки, оснащенные дополнительным устройством для профилирования бруса, и фрезерно-пильные установки. Например, ленточная пилорама LOGOSOL LM PRO оснащена фрезером «Логфреза LM 410». На профилно-брусующем станке MP-100 установлен строгальный шпиндель с четырьмя фигурными ножами, позволяющими изготавливать профилированный брус, шпалы, фигурные колонны и др. На станке сначала получают брус и затем, не снимая его со станины, придают ему требуемый профиль. К станкам серии LT можно дополнительно установить дебаркер (коросниматель) фирмы «Wood-Mizer», который убирает кору перед тем, как пила входит в бревно.

Примером передвижной фрезерно-пильной установки является агрегат УПФП-1М, предназначенный для переработки круглых тонкомерных бревен на обрезной пиломатериал за один проход бревна. Привод рабочих органов агрегата осуществляется от вала отбора мощности трактора МТЗ-82. Агрегат расположен на одноосном прицепе и транспортируется по лесным дорогам трактором. Фрезерный блок выполнен из двух цилиндрических фрез диаметром 250 мм. Пильный блок допускает размещение пяти круглых пил с максимальным диаметром 450 мм. После фрез полученный двухкантный брус подается на распиловку. На агрегате может вырабатываться брус сечением 100×100 мм и менее, доска обрезная толщиной 25, 30, 40 и 50 мм [5].

Для предприятий, ведущих лесозаготовки, разработку ветровально-буреломных лесосек, прокладку через лесные массивы линий электропередач, нефте- и газопроводов представляют интерес системы машин других групп. Так, из тонкомерной и короткомерной древесины, образуемой при этом, МСМ 3.1 могут быть изготовлены колья и столбы. Широкое применение доля этих целей в Европе получили мобильные установки ROBOPEL-150, ROBOPEL-250, которые агрегируются с колесным трактором типа МТЗ-82 и позволяют обрабатывать соответственно бревна диаметром 150 и 250 мм и длиной 1,89 и 2,51 м. Наряду с окоркой и оцилиндровкой бревен с помощью ножевого диска специальным приспособлением можно осуществлять их заточку.

МСМ 3.2 позволяет получать различные изделия из бревен, которые при обработке фиксируются по торцам, т. е. в центрах по своей оси. Длина обрабатываемых бревен при этом может изменяться в диапазоне 1,5–7,5 м, а диаметр 14–65 см. Агрегат «Мастер ОЦ-550» за одну установку бревна выполняет оцилиндровку, выборку паза и чашек. Он позволяет производить конусообразные бревна, опоры линий электропередач. Установки LIDER LRO-1M, ОС-2 осуществляют оцилиндровку бревен диаметром до 24 см. Агрегат КНТ-2, смонтированный на двухосной колесной платформе, делает оцилиндровку бревна, выполняет соединительные угловые врубки, выбирает четверть для изготовления деталей домостроения. В качестве силовой базы для привода рабочих органов используется с дизель-электрическим агрегатом АД.75-Т/400 передвижная электрическая станция ЭДС-75, расположенная на двухосном прицепе МАЗ 5207В [5].

Многочисленность машин и агрегатов для переработки низкокачественного сырья на дрова и колотые балансы указывает на повышенный интерес европейских компаний к данному технологическому направлению. Принцип работы МСМ 4.1 можно видеть на рис. 2. Мобильная система XYLOG 550, расположенная на одноосном прицепе, получает привод технологического оборудования от вала отбора мощности колесного трактора. Она позволяет бревна длиной до 6 м поштучно распиливать на чураки, раскалывать их в автоматическом режиме на 2/4/8/16 частей в зависимости от диаметра и загружать поленья в транспортное средство. Разной сложности и модификации «дровяные процессоры» производят фирмы «Rabaud», «Dalen», «IGLAND», «WoKretzer», «FARMI», «JAPA», «Foresttechnik Lochner», «POSH» и многие другие.

Колотый баланс может производиться на передвижном агрегате НТО-1, входящем в

МСМ 4.2. Оборудование агрегата навесное, монтируется на заднюю подвеску трактора МТЗ-82 и включает в себя: раму, пильный узел и станок для раскалывания чураков. Привод пилы осуществляется от вала отбора мощности трактора через карданный вал, а привод гидроцилиндра колуна от гидросистемы трактора. Отметим, что ряд агрегатов, входящих в МСМ 4.1, после небольшой перестройки также могут производить колотые балансы.

Пятая группа машин для химической переработки древесного сырья в настоящее время представлена меньшим количеством оборудования. На предприятиях лесной промышленности для выработки хвойного (эфирного) масла используется передвижная установка ППУ-1А (МСМ 5.1). Она смонтирована на полозьях. В основу ее работы положен способ перегонки зелени с водяным паром. Количество получаемого пихтового масла за один цикл до 40 кг, при расходе дров – 0,25 м³/ч. Древесный уголь на лесосеке получают с помощью углевывжигательных печей УВП-4 и УВП-5, смонтированных на одноосном прицепе или саях, МСМ 5.2. В качестве сырья используются кусковые отходы лесозаготовок и дровяная древесина. В основе получения угля лежит процесс термического разложения сырья в цилиндрических камерах без доступа воздуха. Годовое производство угля на одну печь составляет не менее 600 м³, при расходе дров для сжигания в топке печи не более 350 м³.

Хорошие перспективы для массового применения имеет МСМ 5.3, позволяющая получать газифицированное топливо из возобновляемого древесного сырья. Например, в МВТУ им. Н. Э. Баумана разработана мобильная автономная установка на базе двигателя внутреннего сгорания, работающая на таком газообразном топливе и предназначенная для выработки тепловой и электрической энергии мощностью 8–20 кВт [6]. Ее использование позволяет получить ощутимые экономические, социальные и экологические эффекты, связанные с экономией нефтяных топлив (в среднем около 850 кг в год на каждую единицу установленной мощности). Аналогичный эффект может быть достигнут и при совместной работе многочисленных небольших газогенераторов с современными электрогенераторами, в совокупности представляющими электростанции.

Шестая и седьмая группы машин представлены единичными видами оборудования, что говорит об отсутствии широкого спроса на них у производителей. Примером МСМ 6.1 может являться мобильный смесеприготовительный комплекс Билимбаевского экспери-

ментального завода для обеспечения рассредоточенных объектов строительства арболитовой или королитовой смесью [7]. Его технологическое оборудование смонтировано на прицепе щеповоза ЛТ-7А и позволяет производить на основе древесной щепы (коры) и цемента, воды и добавок строительные материалы – арболит и королит. Для получения хвойных семян из шишек созданы передвижные машины ШП-0.06 (шишкосушилка) и МОС-1А, входящие в состав МСМ 7.1. Система машин для переработки недревесной продукции МСМ 7.2 находится в стадии разработки.

2. Производительность систем машин.

Системы машин, осуществляющие комплексную переработку древесного сырья под открытым небом, фактически заменяют многостаночные линии последовательного агрегатирования, производящие аналогичную продукцию в условиях лесных складов или цехов. Если линия объединяет n станков, то с учетом надежности оборудования при жестких связях машин в потоке, когда между ними нет буферных емкостей, сменная производительность линии $\Pi_{ж}$ составит [8]

$$\Pi_{ж} = \mu_{то} \cdot \varphi \cdot T \cdot \prod_{i=1}^n K_{т}^{(i)},$$

где $\mu_{то}$ – интенсивность обработки предметов труда в потоке, определяется минимальным значением интенсивности обработки сырья, полученная по техническим характеристикам машин потока; φ – коэффициент, учитывающий простои по организационным и другим причинам; T – продолжительность смены за вычетом подготовительно-заключительного времени и времени нормированного отдыха; n – число машин в потоке; $K_{т}^{(i)}$ – внутрисменный коэффициент технической готовности i -той машины, указывающий на вероятность того, что машина окажется работоспособной в произвольно выбранный момент времени в установившемся процессе эксплуатации.

Исследования [8–10] показали, что при введении в поточную линию буферных емкостей транзитного и тупикового типов между машинами производительность линии возрастает соответственно до 20 и 35%. Однако размеры буферных емкостей в стесненных лесоскладских и цеховых условиях ограничены. Они усложняют поточные линии и удорожают процесс их строительства. Работа машин в лесу или на терминалах лишена в значительной мере этих недостатков, т. к. всегда имеются площади для создания запасов сырья, полуфабрикатов и готовой продукции.



Рис. 2. Мобильная система машин для производства дров

Если представить технологию целевого продукта в виде аддитивной структуры машин, последовательно выполняющих операции обработки, то сменную производительность синхронизированной системы машин можно определить по формуле [11]

$$\Pi = \frac{1}{\sum \frac{1}{\Pi_i}},$$

где Π_i – сменная производительность i -й машины в выбранной технологии; $i = 1, 2, 3, \dots$ – число машин в технологии.

Тогда, например, для МСМ из трех машин сменная производительность составит

$$\Pi = \frac{\Pi_1 \Pi_2}{\Pi_1 \Pi_2 + \Pi_1 \Pi_3 + \Pi_2 \Pi_3}.$$

Логично предположить, что при неограниченных величинах запасов сырья, полуфабрикатов и готовой продукции создаются условия для автономной работы машин. Производительность системы машин в этом случае будет определяться производительностью наименее производительной машины Π_m , входящей в поток. Поэтому максимальная производительность наименее производительной машины, входящей в МСМ, при ее независимой работе будет предельной производительностью потока.

Качество работы МСМ по производительности в работе [11] предлагается оценивать значением коэффициента $K_{пр}$.

$$K_{пр} = \frac{\Pi}{\sum \Pi_i}.$$

На основании вышеизложенного для этих целей можно использовать и коэффициент

$$K'_{пр} = \frac{\Pi}{\Pi_m}.$$

Он показывает степень использования потенциала по производительности МСМ согласно определенной технологии.

Закключение. В связи с тем, что возможности экстенсивного развития лесозаготовок исчерпаны, важное значение имеет формирование концепции их развития. Внедрение модульных систем комплексной заготовки и переработки древесного сырья на базе мобильных систем машин является перспективным решением вопросов лесозаготовки для лесозаготовительных предприятий малой и средней мощности. Уровень современного лесного машиностроения позволяет создавать разнообразные мобильные системы машин, вовлекающие дополнительно в переработку значительные объемы отходов лесозаготовок и низкокачественной древесины, образующейся при разработке труднодоступных и ветровально-буреломных лесосек путем производства эффективных заменителей круглых лесоматериалов, углубленной их переработки и выпуска древесного топлива.

Рассмотренные технологии комплексного лесопользования на базе модульных систем машин в дальнейшем могут позволить выйти на создание мобильных лесозаготовительных структур круглогодичного действия с терминалами, обеспечивающими полный цикл переработки древесины и недревесной продукции и не нуждающимися в подводе электроэнергии.

Литература

1. Государственная программа развития лесного хозяйства Республики Беларусь на 2011–2015 годы: утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 03.11.2010. – Минск, 2010. – 28 с.
2. Программа социально-экономического развития концерна «Беллесбумпром» на 2011–2015 годы: утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 03.11.2010. – Минск, 2010. – 28 с.

стров Респ. Беларусь от 05.01.2011. – Минск, 2011. – 45 с.

3. Федоренчик, А. С. Энергетическое использование низкокачественной древесины и древесных отходов / А. С. Федоренчик, А. В. Ледницкий. – Минск: БГТУ, 2010. – 446 с.

4. Федоренчик, А. С. Инновационное производство технологической щепы на лесосеке // Труды БГТУ. – 2012. – № 2 (149): Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – С. 3–7.

5. Гомонай, М. В. Технология переработки древесины: учеб. пособие / М. В. Гомонай. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2008. – 231 с.

6. Маслов, Ю. П. Мобильная автономная установка на базе ДВС для выработки электрической и тепловой энергии из местных видов топлива и возобновляемых отходов / Ю. П. Маслов, А. В. Рассказов, А. А. Уйминов // Новости теплоснабжения. – 2009. – № 8. – С. 18–22.

7. Коробов, В. В. Переработка низкокачественного сырья / В. В. Коробов, Н. П. Рушнов. – М.: Экология, 1991. – 288 с.

8. Федоренчик, А. С. Расчет пропускной способности многостаночных потоков с последовательным расположением оборудования / А. С. Федоренчик, Н. Ф. Ковалев // Лесной журнал. ИВУЗ. – 1986. – № 6. – С. 61–67.

9. Залегаллер, Б. Г. Технология работ на лесных складах / Б. Г. Залегаллер. – М.: Лесная пром-сть, 1980. – 232 с.

10. Редькин, А. К. Математическое моделирование и оптимизация технологий лесозаготовок: учеб. для вузов / А. К. Редькин, С. Б. Якимович. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2005. – 504 с.

11. Беленький, Ю. И. Совершенствование лесозаготовительного производства путем оптимизации технологических процессов на лесосеке: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Ю. И. Беленький; Сев. федер. ун-т им. М. В. Ломоносова. – Архангельск, 2012. – 41 с.

Поступила 12.03.2013

УДК 630*36

А. С. Федоренчик, кандидат технических наук, профессор (БГТУ)**ОЦЕНКА ПРИМЕНИМОСТИ ЛЕСНЫХ МАШИН «АМКОДОР»**

Показаны влияние лесозаготовительных параметров лесосечного фонда страны на выбор систем лесных машин «Амкодор», масштабы их применения в рамках территориально-структурных подразделений исходя из технических и технологических возможностей.

The influence of the country's forest fund exploitative parameters on choosing for systems of forest machinery «Amkodor», the scope of their application within the territorial divisions based on the technical and technological possibilities are shown.

Введение. В соответствии с Государственной программой развития лесного хозяйства Республики Беларусь на 2011–2015 годы к 2015 году с использованием многооперационной лесозаготовительной техники планируется заготавливать 70% от всего объема древесины и обеспечить тем самым освоение расчетной лесосеки на 95% [1]. Особое место при этом отводится лесным машинам «Амкодор», среди которых валочно-сучкорезно-раскряжевные «Амкодор 2551» и «Амкодор 2541»; погрузочно-транспортные «Амкодор 2661-01» и «Амкодор 2682-01»; трелевочные «Амкодор 2243», «Амкодор 2243В», «Амкодор 2242В» и валочно-трелевочная «Амкодор 2243С»; рубильная на базе форвардера «Амкодор 2902» и комбинированная «Амкодор 2661-02»; погрузчики для лесных грузов «Амкодор 352Л» и «Амкодор 352Л-01». Краткая техническая характеристика семейства лесных машин «Амкодор» приведена в табл. 1.

Многооперационные машины марки «Амкодор» полностью освоили цепочку современной технологии заготовки древесины в виде

сортиментов, хлыстов или щепы на рубках главного и промежуточного пользования [2]. Семейство этих машин совершенствуется и пополняется. Ряд машин успешно адаптируется не только на рынке Беларуси.

Вместе с тем опыт практической работы в нашей стране показывает, что годовая выработка на лесные машины «Амкодор» на лесозаготовительных предприятиях колеблется в значительном диапазоне. Имеют место существенные повреждения лесной среды. При решении вопросов выбора систем машин, масштабов их применения в рамках территориально-структурных подразделений, а также при оценке их экономической эффективности важно объективно оценить возможность освоения лесосечного фонда этими машинами исходя из их технических и технологических возможностей.

1. Лесозаготовительная характеристика лесосырьевой базы. Применительно к организации лесопользования в Республике Беларусь необходимость анализа условий произрастания насаждений обусловлена возможностью их последующего освоения.

Таблица 1

Техническая характеристика лесных машин «Амкодор»

Марка машины	Масса, т	Мощность двигателя, кВт	Колесная формула	Ширина, мм	Вылет манипулятора, м	Макс. диаметр срезаемого дерева, мм	Макс. грузовой момент, кН·м	Грузоподъемность, кг/тяговое усилие, кН
Амкодор 2551	15,0	124,6	6К6	2900	9,5	670	100	–
Амкодор 2541	14,0	132,0	4К4	2725	9,5	520	–	–
Амкодор 2583	21,0	132,0	8К8	2878	10,0	750	160	–
Амкодор 2531	9,0	88,0	4К4	2300	7,13	450	55	–
Амкодор 2661-01	15,4	114,0	6К6	2900	8,2	–	80	12 000/–
Амкодор 2662-01	16,0	124,6	6К6	2970	8,2(10,3)	–	95	14 000/–
Амкодор 2682-01	18,0	124,6	8К8	2970	8,2(10,3)	–	95	14 000/–
Амкодор 2641	12,9	109,0	4К4	2725	7,3	–	65	7500/–
Амкодор 2661-02	16,7	132,0	6К6	2870	10,3	–	–	13 000/–
Амкодор 2652	7,7	60,0	тележка	2250	5,5	–	42	9000/–
Амкодор 2243(В)	16,0	109,0	4К4	2875	4,9	–	95	–/90
Амкодор 2243С	16,5	109,0	4К4	2875	5,8	320	–	–
Амкодор 2902	22,0	132,0	6К6	2900	10,3	–	80	–
Амкодор 352Л	13,8	132,0	4К4	2470 (2900)	4140 (4540)	–	–	5000/–

В работе [3] предложены четыре типа местности, включающие пять экологических групп, и дана характеристика эксплуатационных показателей каждого типа.

К первому типу местности (категории) отнесены леса на песчаных и супесчаных галечниковых и каменистых почвах недостаточного и безызбыточного увлажнения.

Второй тип местности включает леса на песчаных, супесчаных и с мелкими суглинками почвах повышенного увлажнения. В периоды весенней и осенней распутицы несущая способность их падает, но летние осадки на проходимость машин влияют незначительно.

К третьему типу местности отнесены леса на суглинистых и глинистых почвах, которые резко снижают несущую способность при избыточном увлажнении в любой период года. Тракторы быстро разрушают растительный слой и образуют глубокие колеи на волоках.

Четвертый тип местности представляют переувлажненные (глеевые) минеральные почвы и торфяно-болотные, наиболее неблагоприятные для лесозаготовки. С учетом того, что разработка таких лесосек ограничивается несущей способностью грунтов и доступностью освоения, четвертый тип местности разбит на два подтипа: IV.1 – леса на минеральных глеевых и оторфованных почвах с мощностью торфа до 50 см; IV.2 – леса на болотных почвах мощностью торфа более 50 см.

В табл. 2 приведено распределение типов местности по областным лесохозяйственным объединениям с указанием площади в процентах.

Таблица 2

Распределение типов местности по областям

ГПЛХО	Тип местности, площадь, %				
	I	II	III	IV.1	IV.2
Брестское	38,3	31,1	7,6	11,3	11,7
Могилевское	34,7	45,7	6,8	6,5	6,3
Минское	36,8	41,9	4,1	8,7	8,5
Гомельское	43,6	33,8	7,9	8,3	6,4
Гродненское	51,8	36,5	3,3	4,3	4,1
Витебское	18,4	41,8	10,5	15,0	14,3
Итого по республике	37,2	38,5	6,7	9,1	8,5

Связь выделенных типов местности с экологической группой, серией типов леса, эдафотопом, номерами почвенно-типологических групп представлена в работе [3], а их несущая способность – в табл. 3.

На основании данных перечета лесосечного фонда с использованием картографических материалов по крутизне склонов выделено три градации местности: 0–10°, 10–15° и более 15°, так как анализ работы существующих машин показал, что большинство из них работает без ограничений по рельефу в течение всего года при крутизне склонов до 10°.

так как анализ работы существующих машин показал, что большинство из них работает без ограничений по рельефу в течение всего года при крутизне склонов до 10°.

Таблица 3

Эксплуатационные показатели типов местности

Тип местности	Уровень грунтовых вод, м	Несущая способность, кПа	Сезон разработки лесосек
I	2,5 и >	70–200	На протяжении года
II	0,5–2,5	40–70	Лето, зима, сухая осень
III	0,5 и >	30–60	Лето, зима
IV	0–1,0	20–30	Сухое лето, зима
	0–0,5	< 20	Зима

Эксплуатационные показатели деревьев в разрезе классов крупности приведены в табл. 4. Для определения параметров харвестерной головки необходимо знать взаимосвязь между средним объемом хлыста, средним диаметром хлыста и размерами сучьев.

Таблица 4

Эксплуатационные показатели деревьев

Класс крупности	Параметры деревьев		
	Диаметр, см	Высота, м	Объем ствола, м ³
Молодняки и мелкокольевые	до 15	до 17	0,14–0,17
Маломерные	до 19	до 20	0,18–0,21
Среднемерные	до 22	до 23	0,22–0,29
Крупномерные	более 23	более 24	0,30–0,45

2. Оценка применимости машин. Для оценки возможности освоения лесными машинами «Амкор» отведенного в рубку лесосечного фонда рассмотрим понятие коэффициента применимости [4].

Коэффициент применимости K^{np} – безразмерная величина, характеризующая возможность освоения заданного лесосечного фонда машиной при соблюдении условий ее рационального функционирования и соблюдения лесоводственно-экологических требований. При этом принимается, что если машина, входящая в систему, не имеет ограничений, обусловленных соотношением ее технических возможностей и лесозаготовительных условий, то значение K^{np} ее равно 1. Если же работа машины в рассматриваемых условиях невозможна, например, из-за большой крутизны склонов или при диаметре дерева больше, чем позволяет

спилить захватно-срезающее устройство, то значение этого коэффициента будет равным 0. При частично возможных условиях работы машины (системы машин) значение коэффициента применимости данной машины будет находиться в пределах $0 \leq K^{np} \leq 1$.

В зависимости от рассматриваемого периода работы, при котором условия функционирования лесной машины, характеризуемые теми или иными факторами, могут изменяться, значение K^{np} можно рассматривать как постоянную величину либо как функцию времени. Приняв за временной интервал одну смену, вероятнее всего, значение K^{np} машины будет величиной постоянной, если год – то оно будет изменяться по сезонам года, и в первую очередь из-за изменения несущей способности грунтов.

Учитывая лесозаготовительную характеристику лесосечного фонда страны, технические характеристики лесных машин «Амкодор», условия их предпочтительного применения за год, через коэффициент применимости выразим в табл. 5.

Классификация природных условий отвечает общепринятой в СНГ, за исключением крупномерности леса. С учетом специфики лесосечного фонда страны к мелким относятся насаждения со средним объемом хлыста до $0,2 \text{ м}^3$, средним – с объемом хлыста $0,21-0,5 \text{ м}^3$, крупным – с объемом хлыста более $0,5 \text{ м}^3$. Рельеф местности с

крутизной склонов до 15° относится к равнинному, свыше 15° – холмистому. Следует отметить, что совершенствование планирования рубок по кварталам года, практика разработки заболоченных лесосек зимой, применение технологий, обеспечивающих выстилку волоков порубочными остатками, введение в систему машин бензиномоторных пил и др. расширяют объемы возможного применения большинства рассматриваемых лесных машин «Амкодор».

По величине коэффициента применимости можно судить о перспективности и целесообразности применения (закупки, выпуска) лесозаготовительных машин или систем машин в конкретных природно-производственных условиях или на предприятии.

3. Методика определения коэффициента применимости машин. Если необходимо определить объемы освоения лесосечного фонда системой машин применительно к рассматриваемому региону (области) или производственному структурному подразделению (лесхозу) более детально, можно воспользоваться следующей методикой.

Представим совокупность природно-производственных условий лесхоза в виде множества A . Оно включает в себя подмножества: $B = \{b_1, b_2, b_3, b_4, b_5\}$ – несущую способность грунта; $C = \{c_1, c_2, c_3, c_4, c_5\}$ – средний объем хлыста; $D = \{d_1, d_2, d_3\}$ – рельеф местности, то есть $A \subseteq B$, $A \subseteq C$, $A \subseteq D$.

Таблица 5

Коэффициенты применимости машин «Амкодор»

Марки машин	Значение коэффициента применимости, K^{np}									
	Рельеф местности		Тип местности					Крупномерность леса		
	равнинный	холмистый	I	II	III	IV.1	IV.2	мелкий	средний	крупный
Амкодор 2541	1	0*	1	1	0*	0	0	1	1	0
Амкодор 2551	1	0*	1	1	1	0*	0	0*	1	1
Амкодор 2583	1	0**	1	1	1	1	0*	0*	1	1
Амкодор 2243С	1	0	1	1	0*	0	0	1	0*	0
Амкодор 2641	1	0**	1	1	0*	0	0	1	1	0*
Амкодор 2661-01	1	0**	1	1	0*	0	0	0*	1	1
Амкодор 2652	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1
Амкодор 2662-01	1	0**	1	1	0*	0	0	0*	1	1
Амкодор 2682-01	1	0**	1	1	1	0*	0*	0*	1	1
Амкодор 2661-02	1	0**	1	1	1	0*	0	0*	1	1
Амкодор 2243В	1	0**	1	1	1	0*	0	0*	1	1
Амкодор 2243	1	0	1	1	0*	0	0	1	1	1
Амкодор 352Л	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1
Амкодор 2902	1	0	1	1	0*	0	0	1	1	0*
Амкодор 2904	1	0	1	1	0*	0	0	1	0*	0*
Амкодор 2061	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1

Примечание. 1 – работа возможна без ограничений; 0 – работа не возможна; 0* – работа возможна, но с меньшей эффективностью; 0** – работа возможна с ограничениями по силе тяги и по устойчивости.

Здесь элементы подмножества: b_1 – b_5 – соответственно представляют несущую способность грунтов I, II, III, IV.1, IV.2 типов, кПа; c_1 – c_5 – соответственно выражают следующие градации объемов хлыста, м³: 0,14–0,17; 0,18–0,21; 0,22–0,29; 0,3–0,45; 0,45 и более; d_1 – d_3 – соответственно отражают типы рельефа с уклоном: до 10°; 10–15°; более 15°. В общем виде коэффициент применимости – это степень соответствия технических возможностей машины пересечению ($A = B \cap C \cap D$) перечисленных выше подмножеств. Каждое подмножество содержит конечное число элементов, входящих в него, то есть они являются счетными. Каждый из элементов определенного подмножества имеет свой удельный вес. Сочетание всех элементов множества конечно и носит многовариантный характер. При практических расчетах можно исключить сочетания элементов множества, не имеющих смысла в реальности.

Тогда коэффициент применимости машины, K^{np} , например, для лесхоза, может быть определен по формуле

$$K^{np} = \left(\sum_{b=1}^5 K_b^n \cdot S_b \right) / \sum_{b=1}^5 S_b,$$

где K_b^n – коэффициент применимости машины на категории грунта b_1 – b_5 ; S_b – площадь лесфонда лесхоза с соответствующей категорией (несущей способностью) грунта, %.

$$K_b^n = K_b^c \cdot K_c^n \cdot K_d^n,$$

где K_b^c – коэффициент, характеризующий возможность эксплуатации машины на b -й категории грунта в течение года; K_c^n , K_d^n – коэффициенты, учитывающие соответственно применимость машин по среднему объему хлыста и по типу рельефа.

Коэффициенты K_c^n и K_d^n определяются по формулам:

$$K_c^n = \sum_{c=1}^5 f_c^n \cdot P_c \quad \text{и} \quad K_d^n = \sum_{d=1}^3 f_d^n \cdot P_d,$$

где f_c^n , f_d^n – коэффициенты, учитывающие возможность применения машины в рамках элементов подмножества соответственно среднего объема хлыста и рельефа местности. Их значения равны 0, когда применение машины невозможно, и 1 – когда нет ограничивающих условий для применения; P_c , P_d – удельный вес (доля площади) соответствующих элементов подмножества.

Зная коэффициент применимости машин, коэффициент применимости системы лесных машин, K_{cm}^{np} определяют по минимальному значению коэффициента машин, входящих в систему:

$$K_{cm}^{np} = K_n^{np} \rightarrow \min,$$

где K_n^{np} – коэффициент применимости n -й машины в системе.

В условиях нашей страны основным ограничивающим фактором применения лесозаготовительных машин в целом и «Амкодор» в частности является несущая способность грунтов или почвенно-грунтовые условия. В период мягкой зимы для полного освоения лесосечного фонда (тип местности IV.1 и IV.2), при разработке которого коэффициент применимости рассматриваемых машин не превышает 0,3, целесообразно применение мобильных канатных установок. Это наиболее актуально для Витебской и Брестской областей.

Заключение. В связи с ростом объемов лесозаготовок применение лесных машин «Амкодор» будет возрастать. Данные машины практически не имеют ограничений для освоения лесосечного фонда страны по рельефу и крупномерности леса, но имеют ограничения при работе на грунтах IV и частично III типов. Выбор варианта системы машин для заготовки деловой древесины и технологической щепы в конкретных природно-производственных условиях должен производиться на основе соответствующих технико-экономических расчетов.

Литература

1. Государственная программа развития лесного хозяйства Республики Беларусь на 2011–2015 годы: утв. 03.11.2010 М-вом лесного хоз-ва Респ. Беларусь. – Минск, 2010. – 28 с.
2. Федоренчик, А. С. Состояние и пути развития лесозаготовок в Республике Беларусь / А. С. Федоренчик // Лесной вестник Моск. гос. ун-та леса. – 2013. – № 1 (93). – С. 175–179.
3. Федоренчик, А. С. Типизация лесных территорий Беларуси для разработки требований по организации и проведению лесосечных работ / А. С. Федоренчик, В. Г. Меркуль, И. В. Соколовский // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. – 1999. – Вып. VII. – С. 8–12.

Поступила 12.03.2013

УДК 629.113.012.1:629.113.002

А. Р. Гороновский, доцент, кандидат технических наук, проректор по воспитательной работе (БГТУ);
С. П. Мохов, доцент, кандидат технических наук, заведующий кафедрой (БГТУ);
С. Н. Пищов, кандидат технических наук, доцент; (БГТУ); **С. Е. Арико**, ассистент (БГТУ)

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВЕДУЩИХ МОСТОВ АВТОТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНИКИ МАЗ

Работа посвящена исследованию напряженно-деформированного состояния и усталостной долговечности деталей portalного моста. Разработаны конечно-элементные модели деталей portalного моста и их сопряжений. На основе конечно-элементных моделей выполнена оценка напряженно-деформированного состояния узлов моста и оценка их усталостной долговечности. Даны рекомендации по рациональным путям снижения нагруженности деталей моста и изменению конструкторской документации.

The work is devoted to the study of stress and fatigue life of parts of the bridge portal. Developed finite element models of parts of the bridge and portal interfaces. On the basis of finite element models of the estimate of the stress-strain state of the bridge components and assessment of their fatigue life. The recommendations for rational ways of reducing the loading of parts of the bridge and the changing of design documentation.

Введение. Экспериментальные исследования прочности и долговечности portalного моста выявили детали и элементы сопряжений с низким ресурсом: опорные балки, верхние болты соединения опорных балок моста с картером бортового редуктора, болты соединения цапф с бортовым редуктором. С целью установления причин низкой долговечности указанных элементов и разработки рекомендаций по корректировке конструкторской документации было проведено математическое компьютерное конечно-элементное моделирование работы мест сопряжений цапф и балок с бортовым редуктором portalного моста.

Основная часть. При конечно-элементном моделировании взаимодействия опорных балок с бортовым редуктором учитывались предварительное натяжение крепежных болтов и трение на сопрягаемых поверхностях (постоянный коэффициент трения 0,3) [1]. Схема нагружения сопряжения опорной балки с бортовым редуктором portalного моста приведена на рис. 1. Величина прикладываемого к балке усилия составляла $2F_{ст} = 53,6$ кН. При расчетах усталостной долговечности нагрузка изменялась с амплитудой $\pm F_{ст}$ и частотой 3 Гц относительно $F_{ст}$ [2].

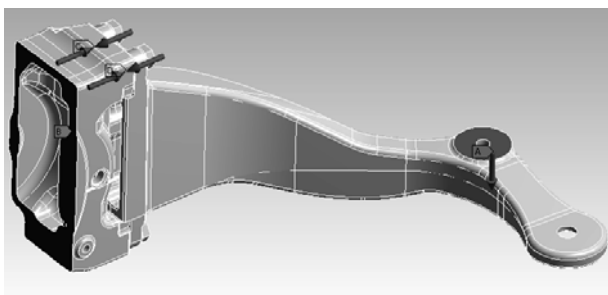


Рис. 1. Схема нагружения сопряжения опорной балки с бортовым редуктором portalного моста

С целью увеличения точности получаемых результатов при расчетах применялась тетраэдральная конечно-элементная сетка с размерами ребер конечного элемента 5 мм. В областях концентрации напряжений величина ребер элементов уменьшалась до 5 раз.

Для сокращения времени расчета в состав модели включена лишь сопрягаемая часть бортового редуктора, которая «жестко» фиксировалась в пространстве по 6 степеням свободы (рис. 2).

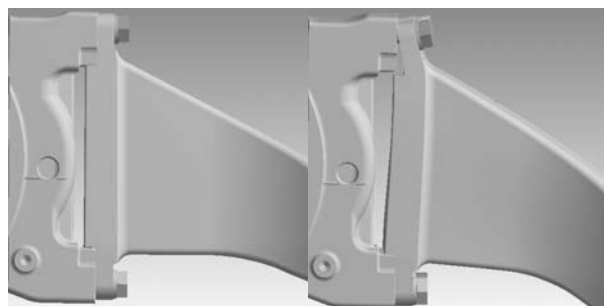


Рис. 2. Начальное и деформированное состояния опорной балки (абсолютные перемещения граней увеличены в 60 раз)

При исследовании усталостной долговечности конструкции сопряжения опорной балки с portalным редуктором полагалось, что детали сопряжений выполнены при строгом соблюдении конструкторской документации, обладают равномерной по объему структурой металла, имеющего физико-механические характеристики [3], которые приведены в таблице.

Работа элементов сопряжений и общий вид деформированного состояния опорной балки приведены на рис. 2 и 3. Из рисунков видно, что наибольшие деформации испытывают верхняя проушина балки и болты ее крепления.

Физико-механические характеристики

Опорная балка		
Материал	Сталь 40Л	
Термообработка	Закалка + отпуск	
$\sigma_{0,2}$	МПа	343
$\sigma_{п}$	МПа	540
σ_{-1}	МПа	–
Болт крепления		
Материал	Сталь 40Х	
Покрытие	Ц6...9 хр. ГОСТ 9.301-86	
$\sigma_{0,2}$	МПа	490
$\sigma_{п}$	МПа	655
σ_{-1}	МПа	380

Анализ разработанной модели показал, что опорные балки испытывают значительные эквивалентные напряжения в местах, изображенных на рис. 3.

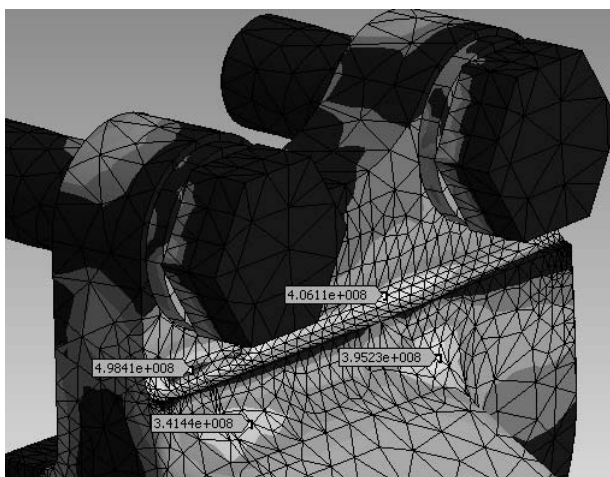


Рис. 3. Распределение эквивалентных напряжений на опорной балке portalного моста

Величина эквивалентных напряжений на гранях верхней проушины достигает 490 МПа, что превышает предел пропорциональности материала на 147 МПа. Работа детали при таких нагрузках ведет к накоплению в них усталостных напряжений и снижению ресурса.

Высокие напряжения, возникающие в детали, являются следствием недостаточных геометрических параметров рассматриваемых сечений и наличия концентраторов, которые образуются в процессе фрезерования контактных поверхностей.

Причиной усталостного разрушения болтов следует считать воздействующие на них растягивающие и изгибающие нагрузки. Обусловленные ими нормальные напряжения в сечении болтов сконцентрированы большей частью по нижней поверхности их ножек.

Расчетные исследования показали, что наименее долговечными деталями сопряжения явля-

ются верхние болты крепления и проушина опорной балки. Установлено, что потеря работоспособности соединения наступит через 112 620 циклов нагружения переменной нагрузкой, вследствие разрушения верхних болтов крепления, и через 474 200 циклов нагружения, вследствие разрушения верхней проушины опорной балки. При этом оба отказа являются независимыми.

Начальным местом разрушения опорной балки следует считать область концентратора на крайнем, ближнем к точке приложения нагрузки ребре проушины.

Проведенные исследования позволили выработать ряд направлений повышения прочности исходной конструкции балок:

- 1) использование дополнительного ребра жесткости;
- 2) увеличение толщины проушины за счет фрезерования лишь посадочных отверстий под болты ее крепления;
- 3) увеличение толщины за счет наращивания задней стенки проушины;
- 4) уменьшение уровня положения болтов.

Использование дополнительного ребра жесткости (рис. 4) в конструкции верхней проушины позволяет перераспределить напряжения и уменьшить их величину в местах концентрации на 180 МПа.

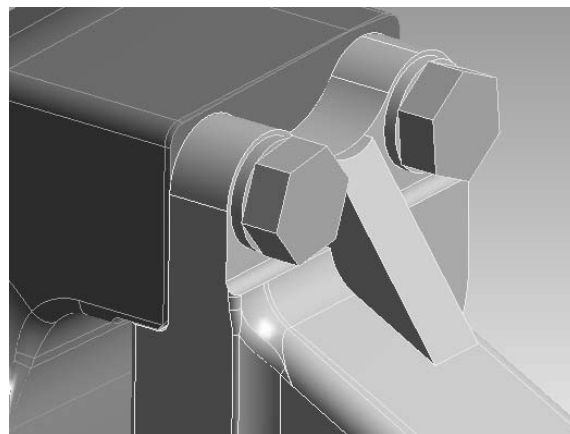


Рис. 4. Использование дополнительного ребра жесткости в конструкции опорной балки

В верхней части ребра жесткости при этом образуется концентратор с величиной эквивалентного напряжения, достигающей 429 МПа. При увеличении радиуса скругления места стыка ребра жесткости с проушиной до 15 мм напряжения в месте образования концентратора уменьшаются до 267 МПа, что является допустимой величиной.

Такое изменение конструкции уменьшает величину эквивалентных напряжений, возникающих в ножках верхних болтов крепления до 488 МПа, что значительно увеличивает их ресурс.

Теоретические исследования показали, что при наличии ребра жесткости в конструкции верхней проушины безотказная работа сопряжения будет обеспечена в течение 10^6 циклов нагружения, за исключением болтов крепления, чей ресурс увеличится до 428 тыс. циклов. Масса опорной балки при этом незначительно увеличится на 140 г и составит 30,025 кг.

Недостатком такого изменения конструкции следует считать отсутствие возможности фрезеровки передней грани проушины за один проход в случае изготовления ребра жесткости литейным способом.

Целесообразно проводить не полное фрезерование грани, а лишь мест под установку шайб болтов крепления (рис. 5). Такой подход позволит увеличить толщину проушины на 3,5 мм до 24 мм, исключить возникновение на ее передней грани концентратора напряжений и уменьшить максимальные эквивалентные напряжения в конструкции. Однако это приведет к увеличению напряжений в области соединения верхней проушины с основной балкой. Величина эквивалентных напряжений при этом будет достигать 398 МПа.

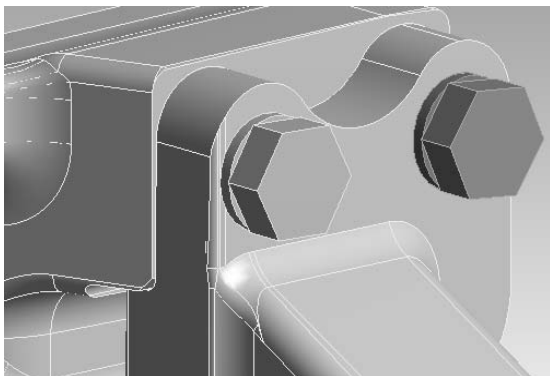


Рис. 5. Распределение эквивалентных напряжений на опорной балке портального моста в конструкции с увеличенной толщиной верхней проушины и опущенными на 7 мм болтами ее крепления

Вследствие увеличения толщины проушины растет длина свободной части ножек болтов крепления, что приводит к увеличению напряжений в местах их вкручивания в редуктор при работе на изгиб. Величина эквивалентных напряжений в ножках болтов при этом увеличивается на 38 МПа.

Уровень расположения верхних болтов значительно влияет на величину возникающих напряжений как у основания проушины, так и на ножках самих болтов. Установлено, что перемещение уровня расположения болтов вниз на 7 мм в конструкции без фрезерования передней грани проушины позволяет снизить максимальные напряжения у ее основания на 75 МПа.

Конструкционно возможным представляется снижение уровня болтов вниз до 12 мм, что позволит снизить максимальные эквивалентные напряжения до 297 МПа.

Увеличение толщины проушины за счет наращивания ее задней стенки имеет ряд негативных последствий. Ее увеличение вызовет уменьшение горизонтальной опорной полки и рост контактных напряжений и напряжений сдвига на ней. С другой стороны, такое изменение конструкции повлечет за собой увеличение длины балки и несоответствие отверстий в опорных элементах балки, демпфера и рамы, что также нерационально. Такое изменение конструкций не избавляет ее от концентратора напряжений в передней части проушины и представляется конструкционно нецелесообразным.

Экспериментальными исследованиями установлено, что наряду с опорными балками, низким ресурсом обладает узел сопряжения опорной цапфы с редуктором портального моста. Общий вид такого сопряжения и схема его нагружения представлены на рис. 6.

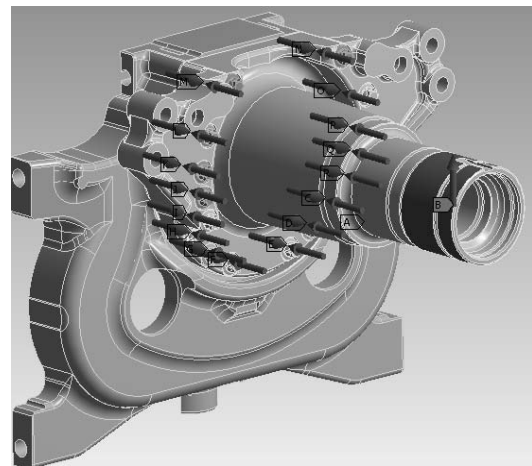


Рис. 6. Общий вид и схема нагружения опорной цапфы

Исходная радиальная нагрузка 107,2 кН, прилагаемая по опорной поверхности цапфы, распределялась неравномерно и была максимальной со стороны сжатия. Результирующий вектор ее приложения был направлен вертикально вверх, что приводило к симметричному нагружению левой и правой сторон сопряжения относительно вертикальной плоскости симметрии. Усилия затяжки винтов составили 4956 Н на каждый из 16 винтов крепления. Закрепление бортового редуктора проводилось по всей поверхности его продольного вертикального сечения. Нагрузка, прикладываемая к цапфе, была распределена неравномерно по нижней части цилиндрической поверхности.

Напряжения, возникающие на внутренней поверхности редуктора и внешней опорной поверхности цапфы, имеют контактный характер и обуславливают требования к их поверхностной прочности, а следовательно, хим- и термообработке.

Величина эквивалентных напряжений, возникающих в корпусных деталях (цапфе и картере бортового редуктора), не превышает 339 МПа, что ниже $\sigma_{0,2}$ при указанной в таблице предварительной термообработке деталей.

Отметим, что напряжения на внутренней контактной поверхности редуктора с цапфой распределены неравномерно. Высокие (до 310 МПа) напряжения в верхней части редуктора вызваны взаимодействием с сопрягаемой поверхностью цапфы. Напряжения в нижней части, напротив, вызваны значительной деформацией винтов крепления.

Исследования показали, что напряжения, возникающие в корпусных деталях, не влияют на общий ресурс сопряжения в пределах 10^6 циклов нагружения. Теоретический расчет ресурса элементов сопряжения позволил установить, что наименее долговечными деталями, определяющими общую наработку до отказа сопряжения, являются 3 нижние пары винтов крепления цапфы. Потеря работоспособности нижней пары винтов произойдет в среднем через 185–190 тыс. циклов нагружения.

Малый ресурс нижних винтов может быть обусловлен значительными растягивающими и изгибающими усилиями, действующими на них. Отсутствие срезающих усилий и, соответственно, напряжений сдвига на ножках винтов обуславливается достаточной величиной посадочных отверстий в цапфе, диаметр которых больше диаметра ножек применяемых винтов на 2,5 мм. Конструкция сопряжения и расчетные усилия затяжки винтов не допускают возможности смещения цапфы в вертикальном направлении на величину, близкую к величине зазора между ножками винтов и внутренней поверхностью посадочного отверстия в цапфе. Отсутствие в винтах деформаций сдвига также подтверждается равномерным распределением напряжений вокруг их ножек на поверхности сопряжения бортового редуктора с цапфой.

В результате конечно-элементного моделирования установлено, что увеличение ресурса нижних винтов после применения фасок в посадочных отверстиях цапфы при проведении экспериментальных исследований стало следствием перераспределения напряжений в теле винта с его ножки на шайбу головки, а также на соседние болты крепления и область взаимодействия верхнего ребра цапфы с редуктором. Данное перераспределение напряжений было вызвано уменьшением опорной поверхности головки вин-

тов с цапфой и их удалением от осей винтов, что снизило жесткость соединения. При этом величина напряжений в зоне контакта ножки с головкой винта возросла до 313 МПа, а в зоне наибольших напряжений уменьшилась до 440 МПа.

Значительно снизить величину напряжений в двух нижних парах винтов позволяет увеличение диаметра их ножек с 14 до 16 мм. Такое изменение конструкции приводит к уменьшению эквивалентных напряжений в нижней паре винтов до 375 МПа, а второй с низу пары винтов – до 208 МПа

Приведенное изменение конструкции позволяет снизить эквивалентные напряжения в элементах сопряжения цапфы с бортовым редуктором до требуемого уровня и обеспечить безотказную работу сопряжения в течение 10^6 циклов нагружения.

Заключение. Компьютерное моделирование нагруженности деталей порталного моста и оценка их прочности и долговечности подтвердили низкий ресурс верхних болтов крепления опорных балок, верхних проушин опорных балок и нижних винтов крепления опорных цапф.

По результатам исследований был разработан комплекс мер, направленных на повышение прочности и долговечности указанных деталей.

Для повышения долговечности опорных балок порталного моста рекомендуется применить в их конструкции ребра жесткости шириной 20 мм или отказаться от фрезерования передней грани верхней проушины и снизить уровень положения болтов ее крепления от 7 до 12 мм. Установлено, что применение ребра жесткости в нижней части опорной балки не является эффективным. Указанные рекомендации можно также использовать совместно.

Для обеспечения безотказной работы сопряжения опорных цапф с бортовым редуктором следует вместо двух нижних пар винтов с диаметрами ножек 14 мм применять винты с диаметрами ножек 16 мм.

В качестве дополнительной меры, способствующей более равномерному распределению напряжений в деталях указанного сопряжения, можно использовать фаски на посадочных отверстиях цапфы.

Литература

1. Огородникова, О. М. Конструкционный анализ в среде ANSYS / О. М. Огородникова. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2004. – 68 с.
2. Ицкович, Г. М. Соппротивление материалов / Г. М. Ицкович // М.: Высшая школа, 1966. – 512 с.
3. Трощенко, В. Т. Соппротивление усталости металлов и сплавов / В. Т. Трощенко, Л. А. Сочновский. – Киев: Наукова думка, 1987. – 348 с.

Поступила 21.02.2013

УДК 630*363.7

В. Н. Лой, кандидат технических наук, доцент, декан (БГТУ);
А. О. Германович, магистр технических наук, аспирант (БГТУ)

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ САМОХОДНОЙ РУБИЛЬНОЙ МАШИНЫ С АВТОНОМНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

Мобильные рубильные машины широко применяются в Республике Беларусь для получения возобновляемого вида топлива. Измельчение древесного сырья в топливную щепу с применением мобильной рубильной машины сопровождается вибрацией ее агрегатов и модулей, учет которой необходим при проектировании данной техники. Разработана математическая модель самоходной рубильной машины с автономным двигателем, которая позволяет обосновать рациональные параметры и сделать вывод о соответствии этих параметров условиям работы.

Mobile chippers are widely applied in the Republic of Belarus for the renewable fuel. Chopping wood raw material in fuel chips accompanied by vibration units and modules, mobile chipper, whose consideration is needed in the design of the technique. A mathematical model of self-propelled chipper self engine that allows you to justify the rational parameters and to conclude that the terms of these parameters.

Введение. В настоящее время во многих странах мира наблюдается повышение интереса к возобновляемым источникам энергии. Это связано с непрерывно уменьшающимися запасами ископаемых энергоносителей, ухудшением экологии, связанной с газовыми выбросами, приводящими к парниковому эффекту, а также стремлением многих стран к энергонезависимости и энергобезопасности. Одним из таких источников энергии является древесина. Переработка отходов лесозаготовок при помощи мобильных рубильных машин является одной из наиболее доступных и в то же время эффективных технологий переработки древесины на топливную щепу [1].

Работа мобильной рубильной машины связана с резко-переменным характером воздействия технологической или полезной нагрузки. Вследствие этого при измельчении древесного сырья появляются колебания, учет которых необходим при проектировании рубильной машины.

Длительное воздействие вибрации вызывает негативные изменения физиологических функций человека. Объективно неблагоприятное действие вибрации выражается в виде пониженной работоспособности, головных болей, бессонницы, некоторого нарушения координации движения, снижения чувствительности

пальцев и других проявлений, что в итоге приводит к снижению производительности работы непосредственно самого оператора, а следовательно, и к снижению производительности рубильной машины в целом.

Основная часть. В процессе измельчения древесного сырья к резцам прикладываются усилия (P), величины которого зависят от сопротивления резанию (рис. 1). Усилие (P), которое приложено к резу, в процессе резания изменяется. Оно достигает максимума при внедрении и падает до наименьшего значения в момент отделения щепы от древесного сырья [2, 3]. Такое изменение усилий резания приводит к вынужденным колебаниям рубильного агрегата. Возмущающее (момент M) воздействие от периодически изменяющихся сил резания можно представить в виде функции, изменяющейся по гармоническому закону [4]:

$$M = M_0 \sin \omega t. \quad (1)$$

Исследование динамики рубильной машины на мобильном шасси невозможно без учета работы двигателя как источника заданной мощности. Вопросы математического описания работы двигателя решались исследователями по-разному в зависимости от поставленных задач и требуемой точности приближений.

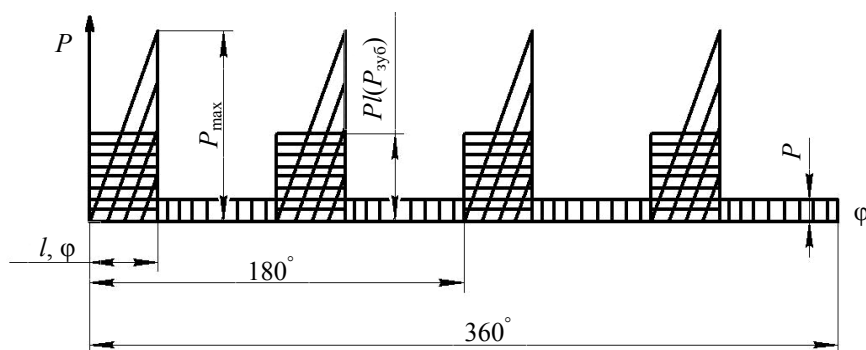


Рис. 1. Работа силы резания при срезании элементов щепы

Так, И. Б. Барский, В. Я. Анилович и Г. М. Кутюков [5] в соответствующих расчетах задавались мгновенным значением крутящего момента двигателя по скоростной характеристике, в литературе [6] разработана модель двигателя в функции крутящего момента от положения рейки топливного насоса и частоты вращения коленчатого вала. Аналогичное математическое описание двигателя используется в литературе [7]. В работе Ю. В. Хромова [8] двигатель определяется частичными скоростными характеристиками, а в источнике [9] – частичными регуляторными.

Для рассматриваемой динамической системы моделирование работы двигателя в функции крутящего момента от частоты вращения производилось по регуляторной характеристике. Крутящий момент двигателя на регуляторной и корректорных ветвях характеристики в функции от частоты вращения (n) определялся по следующим зависимостям соответственно [10]:

$$M_d = \frac{(n_x - n) \cdot M_{en}}{n_x - n}; \quad (2)$$

$$M_d = M_{e_{\max}} - \left(\frac{n}{n_H} - \frac{\alpha}{1 - \alpha} \right)^2 \cdot (M_{e_{\max}} - M_e), \quad (3)$$

где n_x – частота вращения двигателя на холостом ходу, M_{en} – номинальный крутящий момент двигателя, $M_{e_{\max}}$ – максимальный крутящий момент двигателя; α – коэффициент степени снижения частоты вращения коленчатого вала.

Таким образом, для получения наиболее полного представления о процессе колебаний рубильной машины на мобильном шасси необходимо учитывать комплексное воздействие возмущений от крутящего момента двигателя и неравномерного процесса измельчения древесного сырья, действующих на эквивалентную систему.

На основании исследования физических моделей (опытных образцов) мобильных рубильных машин, отражающих взаимодействия подсистем машины, таких как двигатели, привод, рубильный агрегат, а также возмущающих факторов была составлена расчетная схема математической модели работы машины (рис. 2). При этом распределение массы машины, привода рубильного агрегата заменены сосредоточенными, соединенными безинерционными упругодемпфирующими связями, т. е. реальная динамическая система с бесконечным числом степеней свободы заменена схемой с конечным числом степеней свободы.

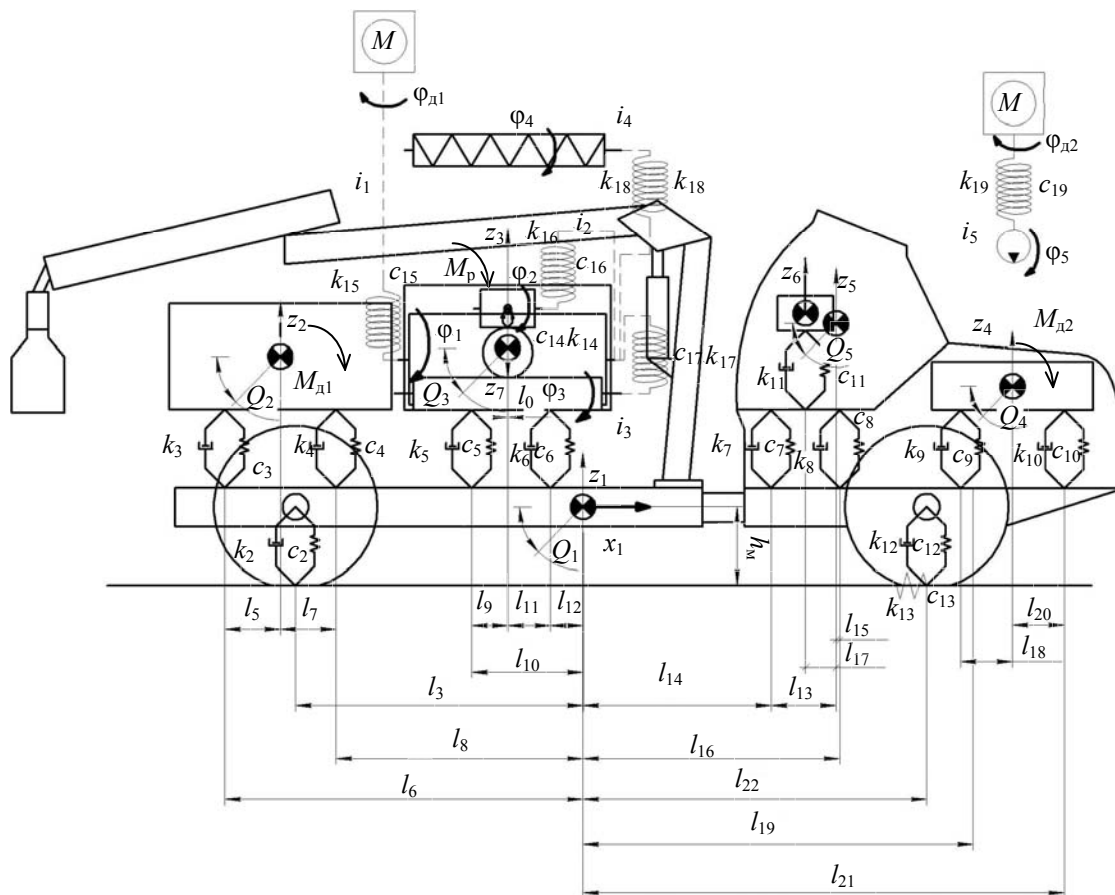


Рис. 2. Расчетная схема математической модели работы рубильной машины на мобильном шасси

Основными упругодемпфирующими элементами рубильной машины на мобильном шасси являются: шины, оборудование, кабина, кресло оператора и двигатель.

Каждой дискретной массе исследуемой машины соответствует независимая, изменяющаяся во времени координата (степень свободы).

Основной задачей динамического исследования является определение движения системы, элементы привода рубильного агрегата, т. е. нахождение независимых, изменяющихся по времени координат (степеней свободы), характеризующих положение всех масс данной системы.

Имитационная модель указанной машины включает множество упругих и демпфирующих элементов, массы которых при наличии возмущений колеблются, что отражается на динамике работы машины, нагруженности агрегатов и узлов, а также оказывает вредное воздействие на оператора.

При построении расчетной схемы рубильной машины на мобильном шасси приняты следующие общепринятые допущения: распределенные массы машины заменены сосредоточенными, которые соединены между собой безынерционными упругодемпфирующими связями; высокочастотные колебания шестерен, валов и других деталей привода как со сосредоточенными, так и распределенными параметрами не рассматриваются; упругие характеристики шин – квазилинейные, а силы неупругого сопротивления – пропорциональные скорости деформации [11, 12].

Расчетная динамическая схема имеет двадцать степеней свободы, описывающих колебания в продольной вертикальной плоскости. Положение рубильной машины на мобильном шасси определяется следующими обобщенными координатами: углом поворота коленчатого вала двигателей – $\varphi_{д1}, \varphi_{д2}$; углами поворота механизма привода рубильного барабана, прижимного ролика, подающего транспортера, винтового конвейера, насоса гидросистемы технологического оборудования – $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, \varphi_5$ соответственно; вертикальными, продольными и угловыми перемещениями центров тяжести базовой машины, двигателя привода рубильного барабана, рубильного агрегата, двигателя базой машины, кабины, кресла оператора, древесного сырья – $z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6, z_7, x_1, Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5$ соответственно.

Расчетная динамическая схема работы рубильной машины имеет обозначения: $c_2, c_3, c_4, c_5, c_6, c_7, c_8, c_9, c_{10}, c_{11}, c_{12}, c_{14}, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6, k_7, k_8, k_9, k_{10}, k_{11}, k_{12}, k_{14}$ – коэффициенты вертикальной жесткости (Н/м) и сопротивления (Н·с/м) шин, креплений двигателя привода рубильного барабана, рубильного агрегата, кабины, двигателя базовой машины, кресла оператора,

прижимного подающего ролика соответственно; c_{13}, k_{13} – коэффициенты горизонтальной жесткости (Н/м) и сопротивления (Н·с/м) передних шин и почвогрунта, приведенные к точкам контакта колес машины с опорной поверхностью; $c_{15}, c_{16}, c_{17}, c_{18}, c_{19}, k_{15}, k_{16}, k_{17}, k_{18}, k_{19}$ – коэффициенты угловой жесткости (Н) и сопротивления (Н·с) валов привода рубильного барабана, прижимного, подающего ролика, подающего транспортера, винтового конвейера, привода гидросистемы технологического оборудования соответственно; i_1, i_2, i_3, i_4, i_5 – передаточные числа приводов рубильного агрегата и гидросистемы технологического оборудования; h_m – вертикальная координата центра тяжести машины, м; $l_3, l_4, l_5, l_6, l_7, l_8, l_9, l_{10}, l_{11}, l_{12}, l_{13}, l_{14}, l_{15}, l_{16}, l_{17}, l_{18}, l_{19}, l_{20}, l_{21}$ – горизонтальные координаты, м; $M_{д1}, M_{д2}, M_p$ – возмущающие моменты двигателя привода рубильного агрегата, двигателя привода гидросистемы технологического оборудования, рубильного агрегата, Н·м.

Для составления системы дифференциальных уравнений, входящих в состав математической модели, описывающей колебательные процессы, которые происходят с рубильной машиной на мобильном шасси во время ее работы, использовали уравнение Лагранжа второго рода:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} + \frac{\partial R}{\partial \dot{q}_i} = Q_i, \quad (4)$$

где T и Π – кинетическая и потенциальная энергии системы соответственно, Дж; R – диссипативная функция Релея, Дж; q_i – обобщенная координата; Q_i – внешние обобщенные силы, Н.

При подстановке выражения кинетической, потенциальной энергий и диссипативной функции Релея рубильной машины на мобильном шасси в уравнение Лагранжа второго рода получена система дифференциальных уравнений, которая описывает колебательные процессы, происходящие с машиной в процессе измельчения древесного сырья.

Решение системы дифференциальных уравнений второго порядка производилось с помощью системы программирования MathCAD 14. В результате решения системы дифференциальных уравнений получены матрицы отклонений каждой степени свободы и их первые производные в зависимости от времени протекания процесса (рис. 3, 4).

Массово-геометрические параметры, необходимые для описания исследуемой динамической системы, были приняты с учетом существующих аналогов самоходных рубильных машин с автономным двигателем. Моменты инерции агрегатов и элементов приводов рубильной машины получены расчетным путем.

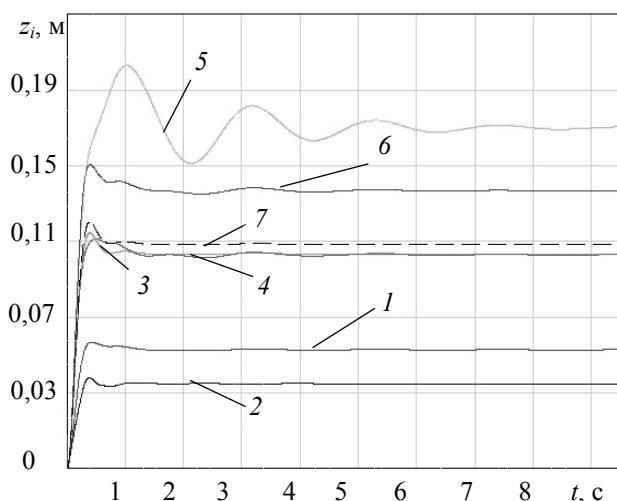


Рис. 3. Изменение вертикальных перемещений центров тяжести:

1 – базовой машины; 2 – двигателя привода рубильного барабана; 3 – рубильного модуля; 4 – двигателя базой машины; 5 – кабины; 6 – кресла оператора; 7 – древесного сырья

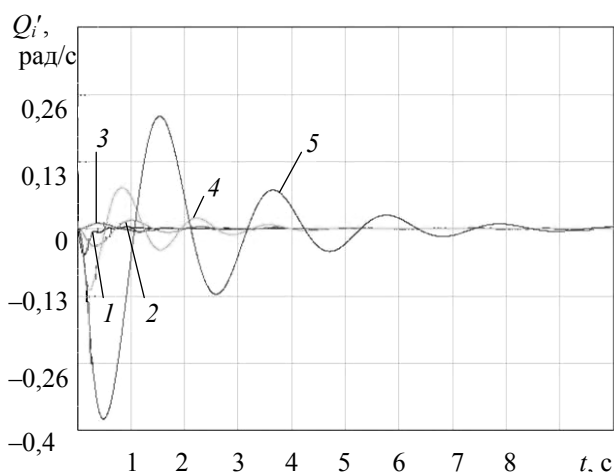


Рис. 4. Изменение скорости

угловых перемещений центров тяжести:
1 – базовой машины; 2 – двигателя привода рубильного барабана; 3 – рубильного модуля; 4 – двигателя базовой машины; 5 – кабины

Максимальные амплитуды колебаний наблюдаются в начальный период работы рубильной машины, а при $t > 9$ с, вследствие наличия упругодемпфирующих элементов, колебания затухают. Аналогичное явление наблюдается и с изменениями скоростей вертикальных перемещений центров тяжести остова, рубильного модуля, кабины и оператора.

Заключение. Исследование динамических процессов, происходящих при работе рубильной машины на мобильном шасси с автономным двигателем, при помощи математической модели позволяет обосновать ее рациональные пара-

метры (жесткость виброизолирующих элементов, шин, компоновка) и сделать вывод о соответствии этих параметров условиям работы.

Снижение воздействий вибрации на самоходную рубильную машину приведет к повышению ее производительности, а также к уменьшению затрат на ее эксплуатацию.

Литература

1. Федоренчик, А. С. Энергетическое использование низкокачественной древесины и древесных отходов / А. С. Федоренчик, А. В. Ледницкий. – Минск: БГТУ, 2010. – 446 с.

2. Вальщиков, Н. М. Рубительные машины / Н. М. Вальщиков. – Л.: Машиностроение, 1970. – 328 с.

3. Бершадский, А. Л. Резание древесины / А. Л. Бершадский, Н. И. Цветкова. – Минск: Выш. школа, 1975. – 304 с.

4. Белов, В. В. Динамика машин и виброзащита: учеб. пособие / В. В. Белов, Г. М. Хвесько. – Минск: БГТУ, 2009. – 129 с.

5. Барский, И. Б., Динамика трактора / И. Б. Барский, В. Я. Анилович, Г. М. Кутьков. – М.: Машиностроение, 1973. – 520 с.

6. Симанович, В. А. Обоснование приемов трелевки и параметров технологического оборудования колесных тракторов кл. 30 кН с целью повышения их тягово-сцепных свойств: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / В. А. Симанович. – Минск, 1985. – 266 л.

7. Клоков, Д. В. Обоснование параметров и оценка динамических показателей лесной колесной погрузочно-транспортной машины: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / Д. В. Клоков; Белорус. гос. технол. ун-т. – Минск, 2001. – 20 с.

8. Хромов, Ю. В. Расчетно-экспериментальное определение динамических характеристик автотракторных дизелей / Ю. В. Хромов // Автомобильная промышленность. – 1965. – № 2. – С. 5–7.

9. Марков, В. А. Формирование частичных регуляторных характеристик дизеля / В. А. Марков // Автомобильная промышленность. – 2002. – № 6. – С. 7–12.

10. Тракторы. Дипломное проектирование / А. Ф. Андреев [и др.]; под ред. В. В. Будько – Минск: Выш. шк., 1985. – 158 с.

11. Лой, В. Н. Улучшение тягово-сцепных свойств и проходимости колесной трелевочной машины на базе трактора «Беларусь»: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / В. Н. Лой; Белорус. гос. технол. ун-т. – Минск, 2003. – 20 с.

12. Жуков, А. В. Основы проектирования специальных лесных машин с учетом их колебаний / А. В. Жуков, Л. И. Кадолко. – Минск: Наука и техника, 1978. – 264 с.

Поступила 20.02.2013

УДК 625.089.42

И. И. Тумашик, кандидат технических наук, доцент, заместитель декана (БГТУ);
Н. П. Вырко, доктор технических наук, профессор (БГТУ)

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЛЕСНЫХ ДОРОГ, УСТРОЕННЫХ НА НЕСВЯЗНЫХ ГРУНТАХ

В статье проведен анализ совокупности способов увеличения несущей способности и про-
ежаемости лесных автомобильных дорог. Рассмотрены способы применения геосинтетических
материалов, устройства гравийных и щебеночных покрытий, поверхностной обработки и про-
питки, указаны достоинства и недостатки данных способов.

The analysis of a set of methods to increase the carrying capacity forest automobile roads. The
methods of application of geosynthetic materials, devices, gravel and crushed stone coating, surface
treatment and impregnation, are the advantages and disadvantages of these methods.

Введение. Состояние лесозаготовительного
производства в республике обязывает более ра-
ционально и тщательно решать дорожно-тран-
спортные задачи. В первую очередь это касается
повышения несущей способности лесных авто-
дорог и, как следствие, повышения прочности и
устойчивости дорожной конструкции в целом.

Опорная сеть дорог, которая обеспечивает
круглогодичную вывозку древесины, за послед-
ние годы расширилась. Несмотря на это, суще-
ствует проблема движения тяжелых лесовоз-
ных автопоездов по лесным дорогам. Часто до-
роги приходится сооружать в самых неблаго-
приятных условиях: на участках с низкой не-
сущей способностью, обусловленной легким
механическим составом грунтов; склонностью
к пучинообразованию; неудовлетворительной
водопроницаемостью и наличием избыточной
влаги в естественном состоянии.

Строительство лесных дорог на слабых
грунтах сопряжено с большими трудностями,
поэтому для повышения прочности и устойчи-
вости применяются различные инженерные
решения: укрепление скелетными добавками и
минеральными вяжущими, использование раз-
личного вида геосинтетических материалов
(полотен, геосеток, георешеток, геомембран),
устройство свайных полей (на высоких насы-
пях) и т. п. [1].

Дорожное покрытие подвергается система-
тическому воздействию колес автомобилей. От
типа и состояния дорожного покрытия зависят
важнейшие показатели работы автомобильного
транспорта, скорость движения, расход мощно-
сти автомобиля, износ шин, амортизация транс-
портных средств. Наиболее значительное влия-
ние на стоимость перевозок оказывают скорость
движения и расход мощности автомобиля.

Основными эксплуатационными показате-
лями, определяющими несущую способность
дороги, являются прочность и ровность покры-
тия. Прочность дорожной одежды характеризу-
ется модулем упругости, определяющим сопро-

тивление материалов дорожной одежды внеш-
ним нагрузкам. Требуемый модуль упругости
дорожной одежды должен обеспечивать доста-
точный запас прочности с учетом возможности
роста интенсивности движения. Его устанавли-
вают в зависимости от категории дороги.

Ровность покрытия оказывает влияние на
показатели, характеризующие условия движе-
ния автомобилей. Одна из важных проблем по-
вышения производительности автомобильного
транспорта – повышение скорости движения.
Среди многих факторов, от которых зависит
увеличение скорости движения, существенным
является именно ровность покрытия.

Основная часть. *Геосинтетические мате-
риалы.* Использование геосинтетических мате-
риалов представляет собой один из наиболее
эффективных методов по увеличению несущей
способности насыпей на слабых основаниях, в
которых механические свойства грунтов не мо-
гут обеспечить необходимого уровня устойчи-
вости и несущей способности.

При конструировании земляного полотна
геосинтетические материалы используются для
достижения равномерности осадки, поглоще-
ния нагружающих усилий и часто также в це-
лях уменьшения расхода дорогих инертных ма-
териалов. Геосинтетические материалы (и пре-
жде всего георешетки) формируют базовый
композит с гранулированным материалом, бла-
годаря внутреннему сцеплению, действие кото-
рого эффективно именно в несвязных грунтах и
даже в грунтах, образованных торфами и мяг-
кими илами. Основные преимущества от ис-
пользования геосинтетических материалов при
строительстве лесных дорог:

- возможность сооружения оснований на
грунтах с низкой несущей способностью;
- армирование всех видов насыпей, устро-
енных на свайных основаниях;
- снижение деформаций в теле насыпи;
- разделение слоев инертных материалов в
теле насыпи;

– возможность использования грунтов низкого качества;

– достижение требуемых высоких скоростей на автомобильных дорогах.

Укрепление добавками. Для улучшения проезжаемости грунтовые дороги укрепляют добавками. Наблюдения показывают, что несвязные грунты, обладающие крупнозернистым скелетом с содержанием крупнопесчаных и гравийных частиц 45–75% и глинистых – 6–12% (оптимальный состав), не размокают и не теряют своей несущей способности даже при значительном увлажнении.

Если естественный грунт проезжей части дороги по своему составу отличается от оптимальной смеси, к нему добавляют недостающие частицы и доводят до оптимального состава. При введении добавок в естественный грунт должно быть обеспечено хорошее перемешивание, тщательное профилирование и уплотнение. Грунтовые дороги улучшают на всю ширину земляного полотна. Толщина улучшенного слоя назначается 15–35 см с поперечным уклоном 3–4%.

Улучшенные грунтовые дороги хорошо сохраняют профиль и обеспечивают проезд при небольшой интенсивности движения (до 50 автомобилей в сутки). При более интенсивном движении поверхность дороги деформируется и требует усиленных работ по профилированию покрытия. Более надежно повысить водоустойчивость грунтов и их связность можно введением добавок минеральных (цемента, извести) и органических (битумов, дегтей) вяжущих материалов. Наиболее пригодны для обработки добавками вяжущих материалов супесчаные грунты и грунты оптимального гранулометрического состава. Обработанные добавками грунты становятся устойчивыми, и их применяют для устройства покрытий при движении автомобилей большой грузоподъемности (лесовозов).

Гравийные покрытия. Гравийные покрытия устраивают серповидного или полукорытного профиля непосредственно на земляном полотне или на подстилающем слое из песка. Толщину гравийного покрытия в зависимости от условий движения назначают 8–16 см однослойного и 25–30 см двухслойного. Для нижнего слоя возможно применение смесей с крупностью зерен до 70 мм, для верхнего – не более 25 мм. Гравийные покрытия относятся к переходному типу, их устраивают на дорогах с интенсивностью движения более 100 авт./сут. В хорошем состоянии гравийное покрытие обеспечивает скорость движения до 60 км/ч.

Щебеночные покрытия. Для устройства щебеночных покрытий применяют искусственно дробленый каменный материал, чаще известняковый, имеющий прочность при сжатии не ниже 60 МПа. Для нижних и средних слоев

щебеночных оснований и покрытий применяют фракционный щебень крупностью 40–70 и 70–120 мм; для верхних слоев оснований и покрытий – 40–70 мм; для расклинивания – 5–10, 10–20 и 20–40 мм. Щебень слабых пород применяют размером более 70 мм.

Как правило, щебеночное покрытие устраивают в корытном профиле в один слой толщиной 10–18 см, а при толщине более 18 см – в два слоя. Для нижнего слоя используют менее прочный щебень. Поверхности покрытия придают поперечный уклон до 3%.

Щебеночное покрытие довольно быстро приобретает предельный износ и малоустойчиво при интенсивном автомобильном движении (на магистралях). Касательные усилия от колес движущегося автомобиля расстраивают связность щебенки, в результате чего покрытие быстро разрушается. Чтобы повысить связность щебенки, водонепроницаемость покрытия и устранить пылимость, щебень обрабатывают битумными и дегтевыми материалами.

Поверхностная обработка. Поверхностную обработку устраивают для создания на покрытии коврика из мелкодробленого каменного материала, обработанного битумом. Такой коврик предохраняет покрытие от износа, повышает шероховатость, ровность и водоустойчивость дорожной одежды. Шероховатую поверхностную обработку устраивают как при строительстве новых одежд, так и при восстановлении шероховатости на изношенной скользкой поверхности существующих покрытий. Устройство поверхностной обработки в первую очередь необходимо предусматривать на следующих участках: спусках, горизонтальных кривых малого радиуса, пересечениях в одном уровне, а также подходах к этим участкам на расстоянии не менее 50–100 м и на других трудных участках дороги.

При одиночной поверхностной обработке тщательно очищают поверхность обрабатываемого покрытия от пыли и грязи, затем автогудронаторами разливают органические вяжущие материалы жидких марок или быстрораспадающиеся эмульсии из расчета 0,5–0,8 л/м², после чего рассыпают мелкие фракции дробленого щебня (размером 3–15, 15–20 мм) кубовидной формы. Щебень уплотняют легкими катками. Окончательное формирование покрытия происходит при движении автомобилей. При двойной поверхностной обработке делают второй розлив вяжущего и вторую россыпь минерального материала с уплотнением его катками.

Второй розлив вяжущего выполняют немедленно после укатки первой россыпи минерального материала или через некоторое время (две-три недели), когда первый слой сформирован и уплотнен движением [2].

Поверхностную обработку можно производить способом укладки мелкозернистой смеси щебня и песка, обработанной битумом в установке. При этом способе на подготовленное основание слоем 2–3 см укладывают готовую смесь в теплом, горячем или холодном состоянии и уплотняют. Для повышения шероховатости на поверхность уплотненного слоя укладывают черный щебень (крупностью 10–15 или 15–20 мм) слоем в одну щебенку, после чего укатывают поверхность слоя 3–4 проходами легкого катка до погружения щебенки в основной слой не более 2/3 своего размера.

Пропитка. При устройстве покрытия по способу пропитки верхний недоуплотненный слой щебня пропитывают битумом или дегтем на глубину 4–8 см, после чего рассыпают более мелкий щебень (клинец) и интенсивно уплотняют его тяжелыми катками. При укатке происходит заклинивание щебенки и остывший вяжущий материал обеспечивает их связность. Для увеличения водонепроницаемости и создания коврика износа верх слоя пропитки делают поверхностную обработку с россыпью мелкого щебня крупностью 5–10 мм. Покрытия, устроенные по способу пропитки, имеют достаточную прочность, хорошую шероховатость. Недостатком этого типа покрытия является значительный расход битума и неравномерное обволакивание щебенки битумом. Излишки битума приводят к образованию сдвигов, волн и, наоборот, недостаток битума вызывает уменьшение связности щебенки, выпадение их при движении автомобилей и дальнейшее разрушение покрытия. Указанные недостатки в большей степени исключаются при устройстве щебеночных покрытий по способу смешения на дороге.

Смешение минеральных материалов с органическими вяжущими. Покрытия из гравийных и щебеночных материалов, обработанных битумом или дегтем методом смешения, устраивают преимущественно на магистральных дорогах с большой интенсивностью движения. Смешение минеральных материалов с органическими вяжущими возможно непосредственно на дороге или в специальных установках [3]. В первом случае на дорогу вывозят подобранный по гранулометрическому составу гравий или щебень, прочность которого должна соответствовать характеру и интенсивности движения. Наибольшая крупность частиц в составе смеси зависит от толщины укладываемого слоя. Для перемешивания с вяжущим используют дорожные фрезы и дисковые бороны.

После смешения материал автогрейдером равномерно распределяют в пределах ширины проезжей части и профилируют с заданным поперечным уклоном. Уплотняют катками на пневматических шинах или самоходными катками массой 8–10 т. Толщина слоя покрытия,

устроенного по способу смешения на дороге, может быть в пределах от 4,5 до 8 см.

Более эффективно для перемешивания материалов непосредственно на дороге использовать специальные самоходные машины. Такая машина, двигаясь вдоль дороги, перемещает при помощи погрузчика минеральный материал из валика в лопастную мешалку для смешения с вяжущим, а затем готовая смесь распределяется по основанию, профилируется и укатывается. Преимуществом способа смешения на дороге является полная механизация всех процессов производства и использование материалов без подогрева.

Щебеночные и гравийные материалы можно смешивать с вяжущими в стационарных установках. В этом случае подбирают по гранулометрическому составу плотную минеральную смесь с крупностью зерен 0–25, 0–45 или 0–70 мм. Более крупнозернистую смесь укладывают в нижний слой. Обработанные органическим вяжущим щебеночные и гравийные смеси укладывают в горячем, теплом или холодном состоянии. Для приготовления теплых и холодных смесей применяют жидкие вяжущие материалы. Технология работ такая же, как и при устройстве асфальтобетонных покрытий. При смешении минеральных и органических вяжущих материалов в стационарных установках качество перемешивания при меньшем расходе вяжущего значительно лучше и в связи с этим прочность материалов получается выше.

Заключение. Применяя известные способы увеличения несущей способности дорог и комбинируя их, возможно существенно повысить проезжаемость лесных транспортно-технологических путей, снизить процесс колеобразования и в конечном счете уменьшить себестоимость вывозки древесного сырья.

Литература

1. Вырко, Н. П. Способы улучшения несущей способности оснований автомобильных дорог / Н. П. Вырко, М. Т. Насковец, С. В. Ярмолик // Технические вузы – республике: материалы 52-й науч.-техн. конф., Минск, 1997: в 3 ч. / Белорус. гос. политехн. акад. – Минск, 1997. – Ч. 3. – С. 129.
2. Тумашик, И. И. Укрепление грунтовых лесотранспортных путей комбинированным вяжущим / И. И. Тумашик // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2007. – Вып. XV. – С. 88–91.
3. Тумашик, И. И. Повышение несущей способности грунтовых дорог устроенных на связных грунтах / И. И. Тумашик // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 2004. – Могилев, 2004. – С. 197–198.

Поступила 21.02.2013

УДК 625.731.4

Н. П. Вырко, доктор технических наук, профессор (БГТУ);
И. И. Леонович, доктор технических наук, профессор (БНТУ);
М. Н. Демидко, кандидат педагогических наук, доцент (БГТУ)

ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ ВОДНО-ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ГРУНТА ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

В статье рассмотрен вопрос об изменении водно-теплового режима грунта земляного полотна во времени, т. е. в различных погодных-климатических условиях. В годовом цикле изменения водно-теплового режима выделено пять периодов: накопительный (осеннее насыщение влагой), зимний период влагонакопления, вымерзания, период насыщения, период оттаивания и восстановления водно-теплового режима.

In the article the question of changing the hydrothermal regime of soil subgrade in time, in different climatic conditions. The annual cycle of changes in water and heat regimes, five periods: the accumulation, winter moisture accumulation, saturation period, the period of thaw and restore summer.

Введение. Одним из факторов, влияющим на прочность и устойчивость земляного полотна, являются атмосферные осадки, выпадающие на поверхность земляного полотна, дорожной одежды. Они могут расходоваться на сток, испарение и просачиваться в грунт (инфильтрация).

Возможность и интенсивность поступления влаги в грунт определяются его водопроницаемостью.

Основная часть. Динамика развития водно-теплового режима, как процесс изменяющийся во времени – накопление, водонасыщение, высыхание грунта, дает возможность установить, как изменяется прочность и устойчивость грунта земляного полотна. Этот процесс происходит в течение года, в котором и выделяются вышеуказанные пять периодов.

1. Накопительный период – осеннее насыщение влагой грунта земляного полотна вследствие проникания поверхностных вод (атмосферные осадки). В этот период влажность грунта составляет $W_{ос} \leq (70-75\%)W_T$, где W_T – предел текучести грунта.

2. Зимнее накопление влаги происходит в процессе промерзания грунта. Накопленная влага в течение промерзания грунта перераспределяется. Перераспределение влаги происходит в результате действия сил кристаллизации и наличия температурных градиентов в земляном полотне. В этот период влажность грунта повышается и составляет примерно $W_3 = (85-95\%)W_T$.

3. В третьем периоде происходит вымерзание влаги, он связан не только с погодными условиями, но и с наличием снега на обочинах, откосами дороги. В этот период влажность грунта земляного полотна находится в стадии равновесия.

4. Период насыщения – влажность грунта земляного полотна резко увеличивается за счет влаги, поступающей с поверхности земляного полотна (атмосферные осадки), а также и в результате оттаивания грунта как сверху, так и

снизу. Скорость оттаивания, установленная нами, для условий Беларуси составляет 3–4 см/сут, а влажность грунта $W \geq (85-90\%)W_T$.

5. Пятый период – это период восстановления летнего водно-теплового режима.

Таким образом изменение влажности грунта в верхней части (рабочей зоне) можно описать синусоидным законом

$$W_t = W_0 \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi),$$

где W_0 – минимальная влажность грунта в летний период; ω – частота изменений; t – время; φ – фаза.

Указанная закономерность относится лишь к верхней части земляного полотна на глубину до $(2,5-3)D$, если считать от поверхности проезжей части (D – диаметр круга равный по площади отпечатку следа колеса).

Исследования показывают, что интенсивное водонасыщение грунта происходит в первые 5 сут, а по истечении 15–25 сут почти прекращается. Увеличение влажности грунта в первые 5 сут достигает 60–70% по отношению к первоначальной.

Другим фактором, существенно влияющим на водно-тепловой режим грунта земляного полотна, является глубина его промерзания. Исследования показывают, что промерзание грунта зависит от его типа, влажности, интенсивности и продолжительности действия отрицательной температуры воздуха, температуропроводности грунта.

Заключение. В результате проведенных исследований установлено, что динамика развития водно-теплового режима зависит от совокупности природных, климатических факторов и времени.

Насыщение грунтов влагой наступает тем раньше, чем меньше его первоначальная влажность, а промерзание грунта оказывает существенное влияние на изменение фазового состава грунта.

Поступила 15.02.2013

УДК 630.332.3:662.63

А. В. Вавилов, доктор технических наук, профессор (БНТУ);
А. О. Моисеев, аспирант (БНТУ)

ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ МУЛЬЧЕРА ДЛЯ РАСЧИСТКИ ЛЕСНЫХ ПЛОЩАДЕЙ

В статье предлагается создать фрезу для измельчения пней и коневой системы на глубину до 20 см на лесосеках с целью удаления препятствий при последующем создании лесных культур и пополнения почвы органикой.

The development of a milling cutter for chopping stumps and a root system to a depth of 20 cm at logging sites to remove the obstacles to the subsequent forest plantations and replenish the soil with organic matter is considered in the article.

Введение. В связи с наметившейся тенденцией использования лесосечных отходов и малоценных маломерных деревьев в энергетических целях встает задача перед созданием лесных культур на очищенных лесосеках пополнять почву на них органическим удобрением. Таким удобрением может быть мелкоизмельченная пневая древесина. Ликвидация пней как препятствия облегчит механизированное создание лесных культур и будет содействовать прямолинейности рядков будущих лесонасаждений. Такую задачу можно решить при использовании мульчеры-фрезы, с помощью которой фрезеруются пни и получаемая щепа разбрасывается по расчищаемой площади.

Основная часть. Подготовка лесокультурной площади включает операции по созданию необходимых условий для обработки почвы под лесные культуры и последующих агротехнических приемов. Особое значение это мероприятие имеет на вырубках, где выполняются в настоящее время основные объемы искусственного лесовосстановления.

Лесокультурная площадь считается подготовленной к лесопосадкам, когда на ней уже прошли лесозаготовки и удалены лесосечные отходы и маломерные деревья [1, 2].

В соответствии с лесным кодексом Республики Беларусь необходимым условием для успешного выращивания лесных культур является агротехнический уход за ними. Агротехнический уход, желателен механизированный, проводится в целях предотвращения зарастания поверхности почвы сорной травянистой и древесно-кустарниковой растительностью, содействия накоплению влаги в почве и т. п.

Для механизации агротехнических уходов за культурами на вырубках в настоящее время применяются различные средства механизации.

Дисковые плуги и бороны хорошо измельчают поросль и заделывают ее на определенную глубину, но очень энергоемки и требуют двукратного прохода в перекрестных направлениях [3]. Из-за наличия пней рядки посаженных

лесных культур имеют криволинейную форму, что затрудняет механизированные агротехнические уходы и проходы в перекрестных направлениях.

Поэтому возникает необходимость использования машин для фрезерования пней и обеспечения благодаря этому в дальнейшем прямолинейных рядков лесных культур. Фрезерование пней с одновременной заделкой щепы в почвогрунт возможно с помощью мульчеров.

Как известно, мульчер (лесной измельчитель, англ. mulcher) – это фрезерное оборудование, предназначенное для измельчения древесины, пней и корней. Мульчеры могут монтироваться на применяемые в лесном хозяйстве республики трактора (рис. 1) [4].



Рис. 1. Мульчер, установленный на шасси трактора МТЗ 1221В.2

Мульчер, работающий с погружением фрезы в почвогрунт, для подготовки его на лесосеке под лесные культуры называется «ротаватор» (Rotovator). Основные элементы ротаватора показаны на рис. 2.

На ротор устанавливаются подвижные или неподвижные резцы (рис. 3). Причем на ротор, предназначенный для установки подвижных молотков, нельзя установить неподвижные резцы, и наоборот. Этот класс оборудования в нашей стране, к сожалению, мало известен, хотя его применение может быть экономически весьма эффективным.

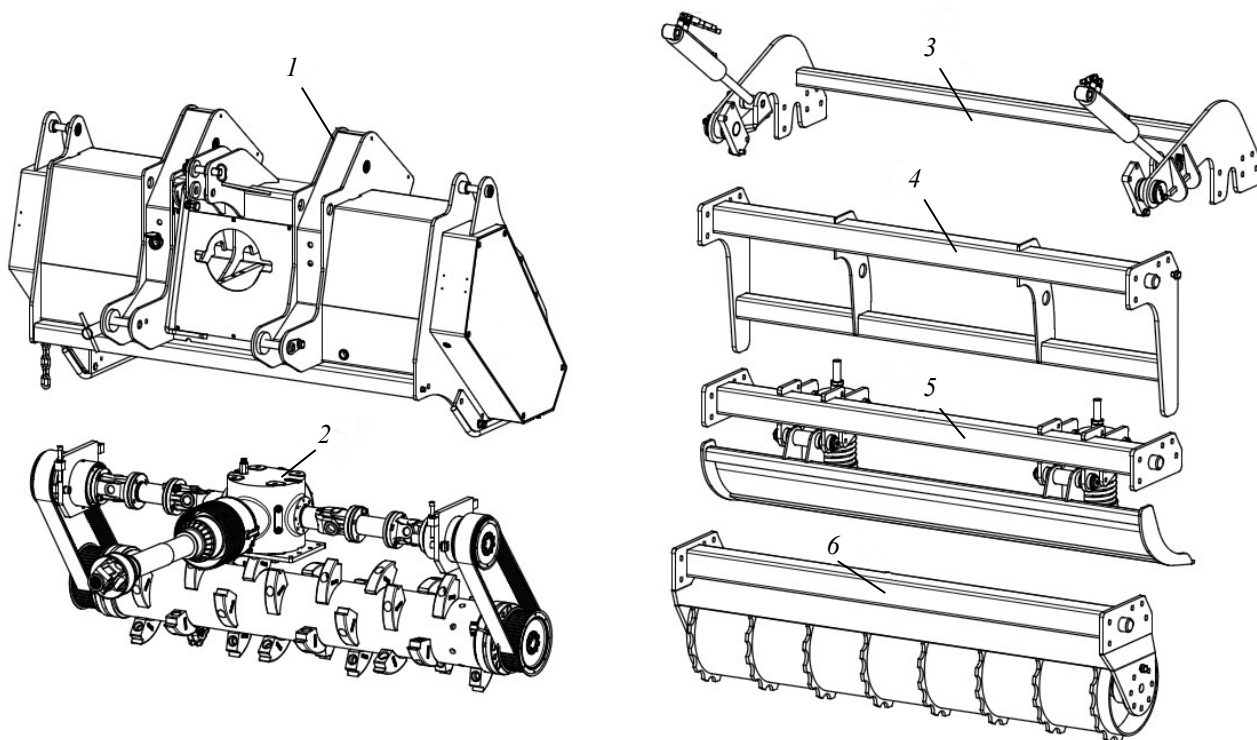


Рис. 2. Основные элементы мульчера:

1 – корпус фрезы; 2 – ротор с компонентами привода; 3 – адаптер для дополнительного оборудования; 4 – толкающая рама; 5 – грейдерное лезвие; 6 – уплотняющий ролик



а



б

Рис. 3. Ротор мульчера с резами:

а – подвижными; б – неподвижными

Ротоваторы (почвенные фрезы) позволяют измельчать корни и пни, разрыхлять почву. Такие машины подходят также для создания противопожарных полос и восстановления заброшенных территорий. Ротоваторы, рассчитанные на работу с мощными тракторами, способны обрабатывать территории с пнями до 40 см в диаметре и погружаться в грунт до 50 см, обеспечивая глубокую обработку почвогрунта. При этом используется ротор большого диаметра (более 1 м), вращающийся с небольшой скоростью [4]. На рис. 4 показана схема фрезерования пней ротоватором.

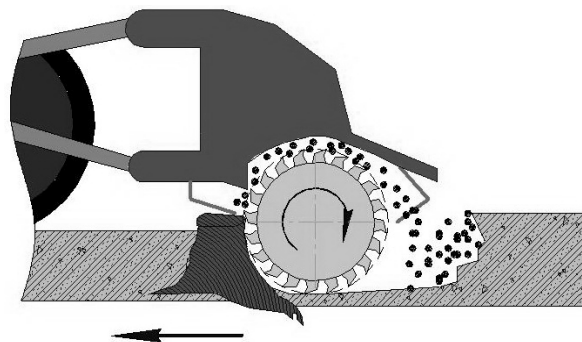


Рис. 4. Схема фрезерования пней ротоватором

На нашем рынке наиболее распространены мульчеры производства Италии (FERRI, FAE, Seppi M, Orsi), Германии (АНWI) и США (BANDIT, Baumalight, Loftness).

Несмотря на схожесть конструкций мульчеров, режущие инструменты (подвижные и неподвижные резцы) у различных производителей не взаимозаменяемы. В ряде случаев конструкция резцов защищена патентами [4].

В условиях недостаточного финансирования лесохозяйственных работ в нашей стране многие предприятия лесной отрасли не могут позволить себе приобрести импортные мульчеры из-за их высокой стоимости (средняя цена импортной техники составляет 70 тыс. у. е.). Также стоит отметить высокую стоимость и сложность обслуживания импортных мульчеров, а именно замены изношенного режущего инструмента – резцов. В этой связи встает задача о создании отечественного мульчера, а ее решение позволит отечественным лесохозяйственным организациям страны.

Для решения этой задачи в Беларуси созданы хорошие предпосылки. Минский тракторный завод выпускает типоразмерный ряд тракторов, в том числе лесохозяйственной и лесопромышленной направленности. Это дает возможность создавать мульчерные агрегаты различной производительности благодаря изменению ширины захвата и диаметра мульчера в зависимости от мощности энергетического средства.

В настоящее время в Республике Беларусь уже создано несколько мульчеров, но данные машины имеют ряд недостатков. К основным недостаткам новой техники можно отнести малую глубину фрезерования (до 10 см), что приводит к относительно быстрому возобновлению роста нежелательной растительности, быстро-

му износу резцов фрезерного оборудования, что, в свою очередь, увеличивает энергоемкость производимых работ по очистке лесосечных площадей. Поэтому необходимо продолжать совершенствование технологии и конструкции фрезы для снижения энергоемкости работ по уничтожению нежелательной растительности.

Выводы. Для качественного создания лесных культур прямолинейными рядами на вырубках необходимо предварительное измельчение пней мульчерами-фрезами.

Для создания мульчера по расчистке лесных площадей, прежде всего вырубков, в республике имеются необходимые предпосылки: выпуск Минским тракторным заводом типоразмерного ряда тракторов – потенциальных базовых машин для навешивания таких мульчеров и опыт создания мульчеров несколькими машиностроительными предприятиями Беларуси для дорожной отрасли и мелиорации.

Литература

1. Вавилов, А. В. Механизация процессов отделения и переработки маломерной древесины / А. В. Вавилов. – Минск: Ураджай, 1982. – 64 с.
2. Вавилов, А. В. Механизация подготовительных работ при лесовосстановлении / А. В. Вавилов. – Минск: Ураджай, 1985. – 44 с.
3. Пономарев, С. В. Обоснование параметров активных рабочих органов машины для агротехнического ухода за лесными культурами на вырубках: дис. ... канд. техн. наук 05.21.01 / С. В. Пономарев. – Воронеж, 2008. – 190 л.
4. Тикачев, В. Мульчеры и измельчители пней: Мобильные машины специального назначения для измельчения древесины / В. Тикачев // ЛесПромИнформ. – 2010. – № 4 (70). – С. 76–81.

Поступила 04.03.2013

УДК 674.8.05:630*614

А. П. Матвейко, доктор технических наук, профессор (БГТУ)

ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ НЕПОСРЕДСТВЕННО НА ЛЕСОСЕКАХ

Даны основные положения по разработке инновационной технологии производства топливной щепы на вырубленных лесосеках. Изложены технология и организация работ на заготовке топливной щепы из оставшегося древесного сырья на лесосеках.

Substantive provisions on working out of innovation technology of manufacture fuel chips on cut down woodsites and the maintenance of the created project are given. The technology and the organisation of works on producing fuel chips from the remained wood raw materials is stated.

Введение. Запасы древесного сырья для производства топливной щепы в ГЛХУ Минлесхоза и на других предприятиях различны. Это создает определенные трудности при расчете потребности в оборудовании для производства и поставки щепы потребителям и эффективном использовании этого оборудования. В этой связи целесообразно рационализировать решения вопросов заготовки и поставки щепы потребителям, используя исследования А. В. Вавилова, и в частности его работу [1].

Технология и машины для производства топливной щепы. Для измельчения древесного сырья на топливную щепу наиболее целесообразно использовать самоходные или передвижные рубильные машины «Амкодор 2902» и «Беларус МР 25.02» с бункером-накопителем для щепы. Для доставки заготовленной щепы с лесосек потребителям целесообразно использовать автощеповозы МАЗ-6501А3 со сменным контейнером и САТ-105 без надставных бортов.

Технология работ проста и состоит из следующих операций: подбора и переработки дре-

весного сырья на щепу с подачей ее в бункер-накопитель рубильной машины с предварительной по мере необходимости разделкой длинных кусков стволовой древесины и тонкомерных деревьев на более короткие части бензиномоторными пилами «Штиль MS 341» или «Хусварна 357 ХР» либо аналогичными им; подвозка заготовленной щепы после заполнения бункера-накопителя на придорожный (верхний) склад и выгрузки ее в контейнер или кузов автощеповоза; возвращения рубильной машины на лесосеку к месту измельчения древесного сырья на щепу и т. д.; доставки заполненного щепой контейнера или автощеповоза потребителю и выгрузки щепы; возвращения контейнера или автощеповоза обратно на придорожный (верхний) склад.

Машины и механизмы для эффективного их использования следует сформировать в системы.

Производительность самоходной или передвижной рубильной машины с бункером-накопителем для щепы в условиях лесосеки может быть определена по предложенной нами формуле (1).

$$\Pi_{\text{см}} = \frac{(T - t_{\text{п-3}})\varphi_1 V_6}{\left(\frac{10^4 V_6}{A \cdot Q_{\text{га}} \cdot i \cdot k} - 1\right) \frac{a}{v_{\text{дв}}} + \frac{10^4 V_6}{A \cdot Q_{\text{га}} \cdot i \cdot k} (t_2 + \frac{A \cdot Q_{\text{га}} \cdot i \cdot k}{10^4 \cdot l \cdot b \cdot h \cdot z \cdot n \cdot \varphi_1' \cdot \varphi_2 \cdot \varphi_3} + t_4) + \frac{S}{v_{\text{тр}}} + t_5 + \frac{S}{v_x}}, \quad (1)$$

где T – продолжительность смены, с; $t_{\text{п-3}}$ – время на подготовительно-заключительные операции, с; φ_1 – коэффициент использования рабочего времени; V_6 – вместимость бункера-накопителя для щепы, м³; A – площадь лесосеки (делянки, пасеки), осваиваемая лесозаготовительной техникой с одной технологической стоянки, м²; $Q_{\text{га}}$ – ликвидный запас древесины на 1 га, м³; i – интенсивность рубки леса; зависит от вида рубки и технологии заготовки древесины; k – коэффициент, показывающий какая часть фитомассы спеленных деревьев подлежит переработке на щепу; a – среднее расстояние между двумя смежными технологическими стоянками рубильной машины, м; $v_{\text{дв}}$ – скорость движения рубильной машины при переездах с одной технологической стоянки на другую, м/с; t_2 – время на приведение гидроманипулятора рубильной машины в рабочее положение, с; l – длина вырабатываемой

щепы, м; b , h – соответственно ширина и высота приемного окна подающего устройства рубильной установки, м; z – число ножей на диске или барабане рубильной установки, шт.; n – число оборотов диска (барабана), с⁻¹; φ_1' – коэффициент использования рабочего времени рубильной установки; φ_2 – коэффициент использования подающего механизма рубильной установки; φ_3 – коэффициент плотности подаваемого материала в рубильную установку; t_4 – время на приведение гидроманипулятора рубильной машины в транспортное положение, с; S – среднее расстояние вывозки заготовленной щепы на придорожный склад, м; $v_{\text{тр}}$ – скорость движения рубильной машины с полным бункером-накопителем щепы по волоку, м/с; t_5 – время на выгрузку щепы из бункера-накопителя в автощеповоз (контейнер), с; v_x – скорость движения рубильной машины с пустым бункером-накопителем на лесосеку, м/с.

Системы машин для заготовки щепы и доставки ее потребителям

Наименование	Системы машин			
	первая		вторая	
	марка	кол-во	марка	кол-во
Рубильная машина	Амкодор 2902	1	Беларус МР-25.02	1
Автощеповоз	МАЗ-6501А3 со сменным кон- тейнером	2	САТ-105 без надставных бортов	2
Бензиномоторная пила	Штиль MS 341 или Хускварна 357 XP	1	Штиль MS 341 или Хускварна 357 XP	1
Сменный объем производства, м ³		49		40

Приняв для расчета производительности рубильных машин $T = 28\ 800$ с, $t_{п-з} = 2400$ с и используя данные производства и справочной литературы, получим по формуле (1) производительность машины «Амкодор 2902» – 49 м³/см, машины «Беларус МР-25.02» – 40 м³/см.

Производительность автощеповоза на вывозке щепы из лесосек потребителям может быть определена по следующей формуле (2):

$$P_{см} = \frac{[T - (t_{п-з} + t_{л} + t_0 S_0)] V_B}{\left(\frac{a}{S_M} + b\right) t_M S_M + t_{yc} S_{yc} + t_B S_1 + t_{y-в} + t_{п} V_B}, \quad (2)$$

где T – продолжительность смены, с; $t_{п-з}$ – время на подготовительно-заключительные операции; $t_{л}$ – время на предрейсовый медицинский осмотр и личные надобности, с; t_0 – время нулевого пробега 1 км в обоих направлениях автощеповозом, с; S_0 – расстояние нулевого пробега от гаража до конторы предприятия, км; V_B – нагрузка на рейс автощеповоза, м³; a , b – коэффициенты, зависящие от расстояния вывозки щепы; t_M – время пробега автощеповозом 1 км в обоих направлениях по магистрали, с; S_M – расстояние вывозки щепы по магистральной дороге, км; t_{yc} – время пробега автощеповозом 1 км в обоих направлениях по лесовозному усю, с; S_{yc} – расстояние вывозки щепы по лесовозному усю, км; t_B – время на ожидание встречного автощеповоза на 1 км пробега в порожнем направлении, с; S_1 – протяженность дороги с однополосным движением, км; $t_{y-в}$ – время на установку автощеповоза под погрузку и выгрузку и время на выгрузку щепы на один рейс, с; $t_{п}$ – время на погрузку 1 м³ щепы в автощеповоз, с.

Приняв для расчета производительности автощеповоза $T = 28\ 800$ с, $t_{п-з} = 2160$ с, $t_{л} = 270$ с и используя данные производства и справочной литературы, получим по формуле (2) следующие производительности автощеповозов:

– при заготовке щепы рубильной машиной «Амкодор 2902» производительность автощеповоза МАЗ-6501А3 – 24,7 м³, автощеповоза САТ-105 без надставных бортов – 22,7 м³;

– при заготовке щепы рубильной машиной «Беларус МР-25.02» производительность автощеповоза МАЗ-6501А3 – 22,6 м³; автощеповоза САТ-105 без надставных бортов – 20,6 м³.

По данным расчетов возможно сформировать две системы машин для заготовки топливной щепы и доставки ее потребителям, указанные в таблице.

Годовая производительность системы машин зависит от числа машино-смен работы ведущей машины в год и ее производительности в смену. При числе рабочих дней в году 250 и односменной работе количество машино-смен работы в год ведущей машины составит 190. Тогда годовая производительность системы машин будет равна: первой – 9310 м³; второй – 7600 м³.

Заключение. 1. Разработанная технология, выбранные две системы машин для заготовки топливной щепы и поставки ее потребителям приемлемы для использования любым учреждением (предприятием) и обеспечивают полную загрузку оборудования и рабочих при наличии в учреждении (на предприятии) не менее 7600 м³ древесного сырья для производства щепы.

2. При переработке низкокачественной древесины и отходов лесозаготовок на топливную щепу целесообразно одновременно перерабатывать на щепу и дрова.

Литература

1. Вавилов, А. В. Энергосберегающие процессы и технические средства для заготовки топливной щепы из лесосечных отходов / А. В. Вавилов, М. Н. Пашковский, Ю. В. Соколовский // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. – 2007. – Вып. XV. – С. 34–37.

Поступила 20.02.2013

УДК 630*383:625.7

М. Т. Насковец, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой (БГТУ);
Г. С. Корин, ассистент (БГТУ); **А. И. Драчиловский**, аспирант (БГТУ)

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОТЕКСТИЛЬНОГО МАТЕРИАЛА «СПАНБЕЛ» ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ОПЫТНЫХ ОБЪЕКТОВ ЛЕСНЫХ ДОРОГ ВТОРОСТЕПЕННОГО ЗНАЧЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИХ ИСПЫТАНИЙ

В статье содержатся сведения об использовании отечественного геосинтетического материала «Спанбел» на лесных дорогах второстепенного значения. Приведены результаты экспериментальных исследований по определению прочностных показателей опытных объектов с использованием экспрессных методов измерений.

This article describes how to use the domestic geosynthetic material "SpunBel" on forest roads of secondary importance. The results of experimental studies to determine the strength characteristics of experienced objects using fast methods of measurement.

Введение. В лесной отрасли Республики Беларусь из всех видов транспорта главное и ведущее место по праву принадлежит автомобильному. В связи с ежегодным ростом транспортных средств важное значение имеют лесные дороги, предназначенные для вывозки заготовленной древесины. Для строительства новых транспортных путей и ремонта уже существующих необходимо значительное привлечение материальных и денежных средств, а также задействование трудовых ресурсов. Правильная эксплуатация дорог является необходимым условием общей эффективности дорожного строительства. Но для того чтобы лесные дороги было возможно использовать на протяжении всего года, необходимо не только грамотно организовать движение по ним транспорта, но и качественно производить содержание и ремонт дорожного покрытия, всех элементов и искусственных сооружений (мостов, водопропускных труб).

Основная часть. Геотекстиль – это синтетический нетканый материал, выпускающийся в полотнах различной длины и ширины, толщина этого материала также может варьироваться в широких пределах. Геотекстиль нашел применение практически в каждой области строительной сферы, и с каждой поставленной перед ним задачей он справляется хорошо. Но особо активно геотекстиль применяется в дорожном строительстве, а также при проведении работ по прокладке коммуникаций, создании дренажных систем и т. д. Этот материал хорошо воспринимает и равномерно распределяет нагрузки, армирует отдельные слои грунта и целые конструкции (в том числе и откосы и обочины дорог), при специальной обработке служит для создания гидроизолирующего слоя и т. д. Также геотекстиль применяется для создания фильтров, предотвращающих суффозию грунтов, капиллярно-прерывающих и дренирующих прослоек в конструкции дорожного полотна и т. д. [1].

Необходимо заметить, что геотекстиль может существенно снизить затраты на строительство и эксплуатацию дорог, проведение инженерных систем и т. д. В частности, при применении этого материала стоимость строительства одного километра дороги снижается более чем на треть, а затраты на эксплуатацию снижаются в несколько раз. При этом сокращаются и временные затраты на проведение строительных работ. Еще одно достоинство геотекстиля – он экологически чист, что в последние годы стало особенно ценным во всех строительных материалах.

На протяжении последних лет кафедра транспорта леса УО «Белорусский государственный технологический университет» проводит научные исследования по разработке конструктивно-технологических решений, направленных на обеспечение движения лесовозных автопоездов при освоении труднодоступного лесосечного фонда. Основой при конструировании являются теоретические предпосылки взаимодействия отсыпаемых в насыпи грунтов с поверхностью слабого основания, а также закономерности распределения нагрузок по глубине устраиваемого типа дороги. Предлагаемые технические разработки выполнены на уровне патентов и прошли испытания в лабораторных и производственных условиях.

Чтобы повысить прочностные качества слабых оснований, применяемых при строительстве лесных дорог на участках местности, характеризующихся низкой способностью грунтов, перед отсыпкой насыпей следует устраивать дополнительные стабилизирующие слои. В зависимости от степени увлажнения и типа грунта основания проработаны различные варианты конструктивного исполнения таких слоев. Основу их составляют геотекстильные материалы, обладающие определенной степенью гибкости и растяжения. Они могут быть использованы как индивидуально в виде горизонтальных и вертикальных прослоек,

так и в сочетании с хворостяной выстилкой и поперечных деревянных элементов, из которых устраивают сплошной либо разреженный настил.

В течение последних лет строительство опытных участков с применением геотекстиля «ТУПАР SF» и «Спанбел» осуществлялось в Осиповичском, Кличевском, Бельничском, Бегомльском, Быховском, Телеханском и других лесхозах. «Спанбел» – отечественный термокрепленный материал массой 150 г/м^2 и пределом прочности при растяжении 14 кН/м , стоимостью $3200 \text{ руб. за } 1 \text{ м}^2$. Общая протяженность по районам строительства приведена в табл. 1.

Исходя из требований на выполнение работ разрабатывались конструкции лесных автомобильных дорог для обеспечения проезда по ним грузевых автопоездов с заданными параметрами. Также необходимо было дать предложения, какую из разработанных конструкций следует применять на имеющихся участках строящихся объектов.

Плохая проходимость лесных дорог, расположенных на заболоченных участках местности, – одна из самых острых и труднорешаемых задач. Для ее разрешения предлагалось устройство различного рода настилов и сланей.

В местах интенсивного колееобразования лесных дорог предлагается использовать дорожные конструкции с использованием геосинтетической прослойки и древесных отходов (рис. 1).

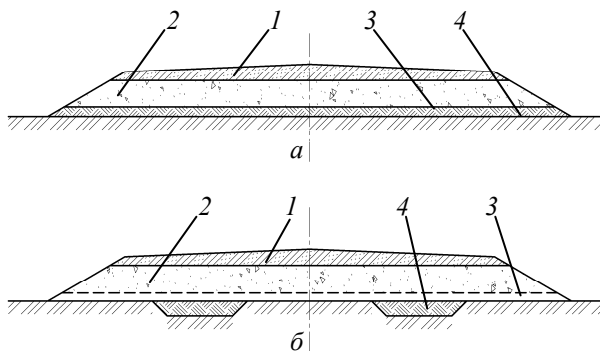


Рис. 1. Дорожная конструкция с геосинтетической прослойкой и отходами лесозаготовок в пониженных местах (а), при наличии колее (б): 1 – песчано-гравийная; 2 – песок; 3 – геосинтетический материал; 4 – отходы лесозаготовок

При устройстве дорожной одежды выполняются следующие операции:

- 1) разравнивание, планировка и уплотнение основания;
- 2) укладка лесосечных отходов на выровненное грунтовое основание;
- 3) укладка геосинтетического материала в поперечном направлении по всей ширине земляного полотна;
- 4) растяжение материала в поперечном направлении;
- 5) отсыпка дренирующего грунта поверх уложенного материала;
- 6) уплотнение покрытия.

Особенностью строительства является то, что дорожные работы осуществлялись не комплектом машин, а отдельной машиной, выполняющей основные технологические операции. В данном случае погрузчиком фронтального типа «Амкор» или экскаватором с самосвалом (рис. 2–5).



Рис. 2. Укладка порубочных остатков на спланированное основание и раскатка нетканого синтетического материала



Рис. 3. Отсыпка грунта на полотно дороги

Таблица 1

Общая протяженность лесных автомобильных дорог по районам строительства

Лесхоз	Количество опытных участков	Общая протяженность, м
Осиповичский	4	950
Бельничский	3	200
Быховский	3	540
Кличевский	8	1286
Телеханский	1	166
Бегомльский	2	160
<i>Всего</i>	21	3302

Таблица 2

Результаты испытаний

Наименование показателей	Объект			
	1	2	3	4
1. Сопротивление вдавливанию рабочего наконечника E_w , Н	393,0	310,0	282,0	308
2. Модуль упругости покрытия E_g , МПа	64,1	53,8	49,7	53,1
3. Удельное сцепление C_g , МПа	0,032	0,027	0,026	0,027
4. Угол внутреннего трения φ_g , град	27	23	21,5	22
5. Работоспособность опытного участка, кол-во проездов	100	99	50	100



Рис. 4. Разравнивание грунта погрузчиком



Рис. 5. Уплотнение дорожного покрытия



Рис. 6. Общий вид пенетromетра ПГ-3М

Производственные испытания и оценка работоспособности опытных объектов заключались в определении прочностных показателей. К ним относятся: модуль упругости, удельное сцепление, угол внутреннего трения, работоспособность покрытия. Эти показатели определялись с помощью пенетromетра ПГ-3М.

Пенетromетр ПГ-3М – прибор статического действия, принцип действия которого основан на измерении сопротивления пенетрации. Для определения коэффициента уплотнения грунта использован принцип двойной пенетрации. Испытания на данном участке повторяют в 5–8 точках (расстояние между точками не менее 10 см) и определяют среднее значение показаний индикатора. После проведения пенетрации на индикаторе отображаются значения всех показателей. На рис. 6 показан общий вид пенетromетра.

Работоспособность дорожных конструкций характеризуется количеством проходов автомобилей до момента образования колеи, препятствующей движению.

В табл. 2 показаны результаты испытаний опытных объектов в Колбчанском лесничестве Кличевского лесхоза.

Полученные результаты испытаний свидетельствуют о высоких прочностных показателях дорожных конструкций и достаточной работоспособности опытных участков.

Заключение. Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы.

1. При строительстве второстепенных лесных дорог рекомендуется использовать геосинтетический материал «Спанбел».

2. Особенностью строительства, с целью снижения финансовых затрат, является использование универсальной многофункциональной машины.

3. Предложенная методика определения прочностных показателей опытных участков с использованием пенетromетра ПГ-3М дает возможность проведения операционного контроля качества уплотнения грунтов земляного полотна.

4. Разработанные экономичные конструкции обеспечивают достаточную работоспособность и высокие прочностные показатели.

Литература

1. Полотно иглопробивное геотекстильное для транспортного строительства. Технические условия: СТБ 1104-98. – Введ. 01.01.1999. – Минск: Стройтехнорм, 1999. – 16 с.

Поступила 21.02.2013

УДК 630*383:625.7/.8

С. В. Красковский, кандидат технических наук, доцент, заместитель декана (БГТУ)
**МЕТОДИКА РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ ЛЕСНЫХ ДОРОГ,
УПРОЧНЕННЫХ ОБЪЕМНЫМИ ГЕОРЕШЕТКАМИ**

Рассмотрены предпосылки упрочнения объемными георешетками конструкций лесных дорог, устроенных из грунтов и песчано-гравийных смесей. Обоснована необходимость разработки методик расчета на прочность упрочненных конструкций. Предложена методика учета упрочняющего элемента в виде георешетки при расчете на прочность дорожной конструкции, находящейся в объемном напряженном состоянии; приведена упрощенная расчетная схема упрочненной конструкции. Даны последовательность расчета и перечень решаемых задач, отмечены достоинства и область применения методики.

Preconditions of reinforcing are considered by solid geolattices of constructions of the timber roads arranged from soil and sand-gravel mixes. Need of development of calculation procedures on durability of the reinforced constructions is proved. The technique of the accounting of a reinforcement element in the form of a geolattice is offered at calculation on durability of the road construction being in a volume tension; the simplified settlement scheme of the strengthened construction is provided. The sequence of calculation and the list of solved tasks are given, advantages and a technique scope are noted.

Введение. При строительстве лесных дорог в качестве дорожно-строительных материалов для устройства конструктивных слоев широко используются песчаные и супесчаные грунты, грунты с добавками (скелетными или улучшающими), песчано-гравийные смеси. Под воздействием транспортной нагрузки такие дорожные конструкции находятся в объемном напряженном состоянии, которое зачастую приводит к возникновению остаточных деформаций сдвига [1]. Вследствие этого на покрытии могут появиться разрушения (неровности, волны, колеи), что ухудшает эффективность работы лесовозного автотранспорта.

Применение объемных георешеток (далее – георешеток) в конструкциях лесных дорог позволяет создать упрочненный слой «георешетка – заполнитель», имеющий повышенные сдвиговую прочность и жесткость по отношению к слою из неупрочненного заполнителя. Однако даже наличие упрочненного слоя не всегда препятствует образованию остаточных деформаций как в неупрочненных слоях конструкции, так и непосредственно в упрочненном слое, что свидетельствует о неправильно выбранном конструктивном решении. Поэтому расчет на прочность упрочненных конструкций лесных дорог должен позволять определять толщину слоев дорожной одежды, проверять на сдвигоустойчивость грунт, подстилающий упрочненный слой, и подбирать георешетку с требуемыми деформативными и прочностными характеристиками.

Основная часть. Применение георешетки как упрочняющего элемента в конструкции лесной дороги целесообразно в случае, если при расчете на прочность критерий сдвигоустойчивости в ее слоях является определяю-

щим. С учетом этого и на основе результатов проведенных ранее исследований [2–4] предложенная ниже методика учета упрочняющего элемента в виде георешетки при расчете на прочность дорожной конструкции, находящейся в объемном напряженном состоянии, включает следующие этапы.

Этап 1. Установление группы расчетной нагрузки и ее расчетных параметров – величины нагрузки и размеров площадки, по которой она равномерно распределена; определение числа приложений расчетной нагрузки за срок службы дорожной конструкции.

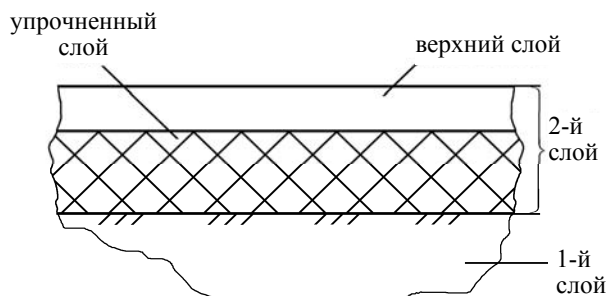
Этап 2. Назначение прочностных и деформационных характеристик грунтов (песчано-гравийных смесей) слоев предварительно разработанной конструкции лесной дороги: сцепления; угла внутреннего трения; модуля упругости.

Этап 3. Оценка прочности конструкции лесной дороги по теории Мора – Кулона, наиболее применимой к грунтам. Определение в результате этого глубин наступления и прекращения предельного состояния в конструкции, которое приводит к накоплению остаточных деформаций в ее слоях и способствует образованию колеи и других разрушений.

Этап 4. Выбор типа георешетки и ее геометрических параметров, определение с учетом этого следующих характеристик упрочненного слоя: коэффициента армирования; сцепления; угла внутреннего трения; модуля упругости.

Этап 5. Проектирование расчетной схемы упрочненной конструкции лесной дороги, которая в общем случае упрощенно показана на рисунке. Приведение данной конструкции к двухслойной для упрощения расчетов при определении напряжений в ее слоях. Для этого

нижним (первым) слоем нужно считать подстилающий грунт; верхним (вторым) слоем – слой, состоящий из упрочненного слоя грунта и верхнего слоя грунта, толщина которого назначается с учетом глубины наступления в нем предельного состояния.



Расчетная схема упрочненной конструкции лесной дороги

Этап 6. Расчет напряжений в слоях упрочненной конструкции с помощью теории Мора – Кулона. При этом расчет напряжений необходимо выполнять послойно.

Этап 7. Проверка наличия в упрочненной конструкции зон предельного состояния. Для этого необходимо проанализировать напряженное состояние по глубине конструкции. Отсутствие зон предельного состояния в ее слоях будет означать, что георешетка с выбранными характеристиками позволяет полностью предотвратить появление остаточных деформаций и, тем самым, образование колеи. При наличии зон предельного состояния в слоях конструкции необходимо перейти к этапу 8.

Этап 8. Перерасчет напряжений в слоях конструкции с помощью теории Мора – Кулона и следующей гипотезы. Достижение предельного состояния в каком-либо слое не будет являться предельным в целом для всей конструкции, так как появление остаточных деформаций в каком-либо слое будет компенсироваться увеличением напряжений в слоях, работающих в упругой стадии. Наиболее вероятно появление остаточных деформаций в нижнем слое. В этом случае напряжения в зоне остаточных деформаций должны компенсироваться увеличением напряжений в верхнем и упрочненном слоях, а также в упругой зоне нижнего слоя.

Этап 9. Анализ напряженного состояния по глубине конструкции после перераспределения напряжений в ее слоях и проверка наличия в конструкции зон предельного состояния.

Отсутствие зон предельного состояния в слоях конструкции после перераспределения напряжений будет означать, что георешетка с выбранными характеристиками позволяет прак-

тически полностью предотвратить появление остаточных деформаций. В обратном случае необходимо увеличивать толщину упрочненного слоя, т. е. высоту ячеек георешетки, уменьшать длину граней ячеек или изменять угол между гранями.

Этап 10. Классификация геометрических параметров выбранной георешетки:

- 1) параметры оптимальны при отсутствии остаточных деформаций во всех слоях;
- 2) параметры оптимальны не в полной мере при появлении остаточных деформаций в упрочненном слое;
- 3) параметры неоптимальны при появлении остаточных деформаций во всех слоях.

Необходимо отметить, что с увеличением длины граней ячеек и числа приложений расчетной нагрузки вариативность в выборе георешетки с оптимальными параметрами снижается, а при увеличении высоты ячеек – повышается.

Заключение. Приведенная методика расчета позволяет комплексно учитывать характеристики упрочняемых грунтов и применяемых георешеток; оценивать и прогнозировать напряженное состояние упрочненных конструкций лесных дорог; подбирать оптимальные параметры различных георешеток для конкретных типов грунтов (песчано-гравийных смесей) и на основании этого разрабатывать новые или оптимизировать существующие конструкции лесных дорог с георешетками.

Литература

1. Лыщик, П. А. Исследование напряженно-го состояния в грунтовой дороге под воздействием колес лесовозного автопоезда / П. А. Лыщик, С. С. Макаревич, С. В. Красковский // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2006. – Вып. XIV. – С. 56–58.
2. Лыщик, П. А. Сопротивление сдвигу грунта, армированного объемной георешеткой / П. А. Лыщик, С. С. Макаревич, С. В. Красковский // Вестник БНТУ. – 2007. – № 4. – С. 5–8.
3. Красковский, С. В. Расчет и оптимизация конструкций лесных дорог, армированных объемными георешетками / С. В. Красковский, П. А. Лыщик, С. С. Макаревич // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2008. – Вып. XVI. – С. 65–69.
4. Красковский, С. В. Сдвиговая прочность грунта, армированного объемной георешеткой / С. В. Красковский // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 19–20 апреля 2007 г.: в 3 ч. / Белорусско-Российский университет; ред. кол. И. С. Сазонов [и др.]. – Могилев, 2007. – Ч. 2. – С. 107–108.

Поступила 21.02.2013

УДК 625.814.22

П. А. Лыщик, кандидат технических наук, профессор (БГТУ);
А. И. Науменко, магистр технических наук, аспирант (БГТУ)

ТРЕБОВАНИЯ К УКРЕПЛЕННЫМ ДОРОЖНЫМ ГРУНТАМ

Успешное решение проблем вывозки заготовленной древесины тесно связано с необходимостью значительно увеличить объемы строительства лесных автомобильных дорог, создать опорную сеть магистральных дорог и расширить строительство дорог в местности с труднодоступным лесосечным фондом.

The successful decision of problems of transportation of the prepared wood is closely connected with necessity of substantial growth of volumes of building of wood highways, creations of a basic network of the main roads and expansion of building of roads to districts with remote wood fund.

Введение. В последние годы в лесном комплексе страны намечается тенденция увеличения объемов дорожного строительства. Строятся дороги как постоянного действия – магистральные пути, так и временные лесные дороги. Для их строительства используются и природные, и искусственные строительные материалы. Переход лесной отрасли на вывозку заготовленной древесины в сортаментах повлекло увеличение осевых нагрузок и скоростей движения лесовозных автопоездов. В этой связи к лесным дорогам предъявляются повышенные требования.

Освоение лесных ресурсов и увеличение объемов лесозаготовок обусловлено вводом в эксплуатацию лесов, произрастающих в неблагоприятных условиях, в том числе и на заболоченной местности. В этих районах, как правило, отсутствуют традиционные дорожно-строительные материалы для устройства дорожных одежд и пригодные грунты для возведения земляного полотна.

Одним из направлений увеличения прочности и долговечности дорожных конструкций принято считать улучшение физико-механических свойств грунтов. В данном направлении проводятся исследования на кафедре транспорта леса БГТУ.

Первая задача, которую нужно решить, – это установление основных требований, которые предъявляются к дорожным грунтам.

В результате анализа материалов литературных источников и проведенных исследований представляется возможность установления основных требований и характеристик дорожных грунтов.

Основная часть. Для устройства дорожных оснований и покрытий из укрепленных грунтов, приготовленных в смесительных установках, применяют осадочные нецементированные крупнообломочные и песчаные грунты, супеси всех разновидностей, а при укреплении методом смешения на дороге также применяются и легкие суглинки, подвергаемые при необходимости предварительному рыхлению.

Возможность укрепления тяжелых суглинков и глин зависит от наличия средств механизации, которые могут обеспечить размельчение этих грунтов и равномерное распределение в них вяжущих материалов [1].

При строительстве лесных автомобильных дорог укрепленные различными вяжущими грунты допускается применять:

- для устройства оснований и подстилающих слоев одежд с усовершенствованными покрытиями;

- устройства подстилающих слоев, оснований и покрытий одежд облегченного и переходного типов;

- упрочнения верхней части земляного полотна.

С целью снижения расхода вяжущих, повышения плотности (сдвигоустойчивости) и улучшения физико-механических свойств укрепленных грунтов следует подбирать смеси крупнообломочных грунтов оптимального состава.

Крупнообломочные грунты оптимального или близкого к оптимальному зернового состава, неоднородные пески (гравелистые, крупные, средней крупности), супеси с числом пластичности более 3 (преимущественно супеси легкие крупные, легкие пылеватые), а также легкие суглинки наиболее пригодны для укрепления органическими вяжущими, поскольку не требуют введения гранулометрических добавок.

Крупнообломочные грунты неоптимального состава, однородные пески и супеси с числом пластичности менее 3 целесообразно укреплять органическими вяжущими после улучшения их зернового состава добавками дисперсных материалов: зол уноса, золошлаковых смесей, тонкодисперсных шлаков, цементной пыли, отходов дробления камня, молотых известняков, опок и др., а также легких суглинков. Количество добавок дисперсных материалов составляет 10–30% массы грунта и уточняется при лабораторном подборе состава смесей.

При соответствующем технико-экономическом обосновании допускается укрепление

вышперечисленных грунтов без введения добавок дисперсных и других веществ битумными эмульсиями (или жидкими нефтяными битумами) совместно с неорганическими вяжущими.

Супеси тяжелые пылеватые, суглинки легкие и легкие пылеватые с числом пластичности до 12 допускается укреплять без внесения гранулометрических добавок органическими вяжущими (кроме карбамидоформальдегидных смол) с добавкой извести или других активных и поверхностно-активных веществ в соответствии с ТКП 45-3.03-19-2006 [2].

Глинистые грунты с числом пластичности более 12 до введения в грунт вяжущих материалов необходимо размельчить до требуемой по ТКП 45-3.03-19-2006 степени размельчения [2]. Относительная влажность глинистых грунтов при этом должна составлять 0,3–0,4 влажности границы текучести.

Для укрепления битумными эмульсиями пригодны тяжелые суглинки и тяжелые пылеватые грунты с числом пластичности не более 15.

Суглинки с числом пластичности более 15 следует укреплять битумными эмульсиями после введения в грунт гранулометрических добавок (песков гравелистых, крупных, средней крупности или отходов камнедробления) и извести. Количество этих добавок назначают в пределах 25–50% массы улучшаемого грунта.

При определении пригодности грунтов для укрепления вяжущими необходимо учитывать требования, предъявляемые к грунтам по зерновому (гранулометрическому) составу, происхождению (генезису), степени засоленности, содержанию органического вещества (гумуса),

значению водородного показателя среды (рН), влажности, а также требования и ограничения.

Пригодность грунтов для укрепления вяжущими материалами устанавливают, руководствуясь нормативными документами, такими как СТБ 1521-2005 [3]. При этом дополнительно учитывают следующие требования: нецементированные обломочные грунты, укрепляемые вяжущими, не должны содержать частиц размером от 2 до 50 мм более 50% по весу. В смесях, укладываемых в покрытие или при устройстве основания в один слой, содержание частиц крупнее 50 допускается не свыше 10%. В случае укрепления крупнообломочных грунтов или смесей, содержащих частицы размером до 25 мм, общее количество фракции от 2 до 25 мм допускается не более 70% по весу грунта.

Наиболее пригодными для укрепления являются крупнообломочные щебенистые и гравелистые грунты, супеси легкие и крупные, легкие суглинки, близкие к оптимальному составу, с числом пластичности от 3 до 12.

В табл. 1 указаны основные требования, предъявляемые к грунтам, укрепленным минеральными вяжущими.

Цементогрунтовые основания и покрытия устраивают в один или два слоя в зависимости от расчетной толщины, с учетом, что толщина каждого слоя должна быть не менее 10 см и не более 20 см в плотном теле.

Для предварительных подсчетов необходимого количества цемента для укрепления грунтов допускается принимать ориентировочные нормы расхода, указанные в табл. 2.

Таблица 1

Требования к образцам из грунтоцемента

Наименование испытаний	Единица измерения	Значение показателей		
		для магистралей I и II категории	для магистралей III категории	для веток и усов
Предел прочности при сжатии водонасыщенных образцов в возрасте, сут: 28 7	МПа	Не менее 4 Не менее 2	Не менее 2 Не менее 1,2	– Не менее 0,6
Предел прочности при сжатии водонасыщенных образцов после испытания на замораживание – оттаивание (для образцов в возрасте 28 сут)	МПа	Не менее 3,0	Не менее 1,5	Не менее 3,0
Водонасыщение после испытания на замораживание – оттаивание в % по весу (сверх оптимальной влажности)	%	Не более 2	Не более 4	Не испытывается
Коэффициент уплотнения, определяемый по отношению к оптимальной плотности	–	Не менее 0,98	Не менее 0,98	Не менее 0,95
Влажность смеси при перемешивании и уплотнении	Не должна отличаться от оптимальной влажности более чем на ±2%			

Таблица 2
Расход вяжущих материалов (ориентировочный)

Наименование грунтов	Неорганические вяжущие материалы (цемент, известь)	
	для покрытий	для оснований
Крупнообломочные несцементированные грунты (гравийные, дресвяные), а также грунтогравийные и грунтощебеночные смеси, близкие к оптимальному составу	$\frac{4-6}{80-120}$	$\frac{3-5}{60-100}$
Пески разнообразного состава, в том числе мелкие и пылеватые, а также супеси с числом пластичности менее 3	$\frac{5-8}{100-160}$	$\frac{4-7}{80-140}$
Супеси с числом пластичности 3-7 и легкие суглинки (пылеватые и непывеватые)	$\frac{8-10}{160-200}$	$\frac{6-8}{125-175}$
Суглинки тяжелые и суглинки тяжелые пылеватые	$\frac{11-14}{220-260}$	$\frac{8-11}{160-220}$
Глины песчанистые, глины пылеватые	$\frac{13-15}{225-275}$	$\frac{10-12}{220-240}$

Примечание. В числителе указано количество вяжущего в процентах от массы грунта, в знаменателе в килограммах на 1 т грунта.

Карбонатные разновидности глин с числом пластичности до 22 можно укреплять цементом после введения добавок песка, гравия или отходов камнедробления.

Чистые пески или мелкозернистые гравийные либо щебенистые смеси, не содержащие глинисто-пылеватых фракций, допускается укреплять цементом после предварительного введения в них добавок суглинистых грунтов, отходов камнедробления или же добавок золы-уноса. Добавка в несвязные грунты (пески, гравий) тонких фракций, играющих роль мелкого заполнителя, существенно снижает добавку цемента. Укреплять цементом мелкие одномерные пески (дюнные, барханные и др.) без введения гранулометрических добавок допускается в тех случаях, когда земляное полотно также возводится из песчаных грунтов.

В этом случае дозировка цемента потребует несколько большая, чем для укрепления грунта оптимального состава.

Наибольшая прочность и погодоустойчивость при наименьшем расходе цемента достигается при обработке грунта оптимального гранулометрического состава.

Искусственное улучшение грунта до оптимального состава добавлением гравийных и песчаных или пылевато-глинистых фракций должно быть обосновано технико-экономическим расчетом.

Гумусовые горизонты дерново-подзолистых и полуболотных почв укреплять цементом не разрешается. При проведении земляных работ гумусовые горизонты почв указанных типов следует удалять или отсыпать в нижние слои насыпей.

Грунты, укрепленные известью или известью с различными добавками, характеризуются относительно меньшей морозоустойчивостью, чем цементогрунты.

Заключение. Портландцементы, шлакопортландцементы и другие их разновидности, применяемые для укрепления грунтов, должны удовлетворять требованиям ГОСТ 10178-85 [4].

В целях повышения механической прочности цементогрунта и уменьшения расхода цемента желательно применять тонкомолотые портландцементы с большой удельной поверхностью.

Потери при прокаливании цемента, применяемых при укреплении грунтов, не должны превышать 2%. Содержание свободной извести в цементе, применяемом для укрепления грунтов, является желательным и не нормируется.

Литература

1. Руководство по грунтам и материалам, укрепленным органическими вяжущими / Росавтодор. – М., 2003. – 48 с.
2. Автомобильные дороги. Нормы проектирования: ТКП 45-3.03-19-2006. – Введ. 01.07.06. – Минск, 2006. – 48 с.
3. Материалы, укрепленные неорганическими вяжущими, для покрытий и оснований автомобильных дорог. Технические условия: СТБ 1521-2005. – Введ. 01.07.12. – Минск, 2012. – 24 с.
4. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия: ГОСТ 10178-85. – Введ. 01.01.87. – Минск, 1987. – 8 с.

Поступила 20.02.2013

УДК 625.8:666.9

П. А. Лыщик, кандидат технических наук, профессор (БГТУ);
С. В. Плышевский, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);
А. И. Науменко, магистр технических наук, аспирант (БГТУ)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ВЯЖУЩЕГО ДЛЯ УКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЛЕСНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

В тех районах строительства лесных дорог, где нет прочных каменных материалов и высокого качества песков, возникает необходимость в замене дорогостоящего привозного камня и песка местным грунтом, укрепленным вяжущим материалом. Применение укрепленных грунтов, в том числе и различными отходами промышленности в конструктивных слоях дорожных одежд, обеспечивает значительное снижение стоимости строительства дорог и уменьшает потребность в привозных каменных материалах.

In those areas of building of wood roads where there are no strong stone materials and high quality of sand, there is a necessity for replacement of an expensive imported stone and sand the local ground strengthened by the knitting material. Application of the strengthened soils including strengthened with a various waste of the industry in constructive layers of road clothes, provides considerable depreciation of building of roads and reduces requirement for imported stone materials.

Введение. Возросшая в последние годы интенсивность движения создала перед дорожниками задачу: не имея высококачественных природных материалов в необходимых объемах, строить новые дороги, реконструировать существующие и укреплять их малоприспособными доломитовыми породами и отходами различных производств. Одновременно эти дороги должны отвечать требованиям прочности, долговечности и соответствовать нагрузкам от тягово-подвижного состава, используемого на вывозке древесины.

Создание таких дорожных конструкций может быть основано на использовании укрепленных грунтов.

Основная часть. Укрепленные грунты разнообразных состава и свойств характеризуются изменением прочностных и деформационных свойств в весьма широком диапазоне. Такие изменения в свойствах и прочностных характеристиках будут зависеть от вида применяемого вяжущего материала, его дозировки, свойств и состава грунта, от климатических условий местности.

Практический опыт проектирования и строительства автомобильных дорог с применением укрепленных грунтов в конструктивных слоях дорожных одежд показывает, что в назначении тех или иных слоев, их сочетании и толщины не может быть шаблона и единого решения для всех условий. Не все условия изучены с достаточной полнотой, однако сегодня уже накоплен большой опыт, позволяющий обоснованно применять укрепленные грунты в дорожных основаниях и покрытиях [1].

Большое разнообразие вяжущих и других веществ, применяемых для укрепления грунтов в широком диапазоне их гранулометрического, минералогического и химического составов, а также генезиса требует тщательного и внимательного подхода к их выбору.

При укреплении грунтов протекают во времени сложные и взаимосвязанные взаимодействия, направленные на превращение дискретного грунта в прочный монолитный слой.

Методы комплексного укрепления грунтов в зависимости от вида вяжущего подразделяются на следующие основные группы [2]:

- укрепление грунтов цементом;
- укрепление грунтов известью;
- шлаковое укрепление;
- комбинированное (комплексное) укрепление.

В процессе укрепления грунтов, взаимодействия неорганических вяжущих и коллоидно-глинистой составляющей грунты образуют материалы, обладающие повышенной морозостойкостью и долговечностью. Особенно это относится к комплексно укрепленным грунтам.

Так, для расширения сырьевой базы вяжущих материалов предлагается использовать комплексное минеральное вяжущее на основе портландцемента с микронаполнителями. В качестве наполнителей предлагается использовать тонкомолотые гранитоидные отсеvy Микашевичского карьера и твердые отходы асбестоцементных изделий (АЦИ), ОАО «Красносельскстройматериалы» и ПРУП «Кричевцементношифер». Количество данных отходов составляет около 850 т ежегодно.

Основным показателем качества цемента является его марка, численно выражающая гарантированный предел прочности при сжатии образцов, изготовленных в стандартных условиях. Исследование процесса твердения композиционного вяжущего с использованием в качестве добавок тонкомолотых гранитоидных отсеvов и боя асбестоцементных изделий как в отдельности, так и их смесей проводили на образцах-кубиках [3].

Таблица 1

Результаты определения прочности образцов цементогрунта при сжатии

№ п/п	Состав вяжущего, % по массе	Прочность образцов, МПа		
		7 сут	14 сут	28 сут
1	100Ц	22,19	37,79	48,79
2	10От90Ц	23,21	25,66	32,53
3	20От80Ц	25,73	29,41	33,46
4	30От70Ц	22,11	25,29	26,88
5	50От50Ц	16,78	20,50	24,61
6	10Ш90Ц	20,59	24,49	28,92
7	20Ш80Ц	20,30	22,91	24,61
8	30Ш70Ц	19,02	22,14	23,40
9	50Ш50Ц	16,75	18,82	22,95
10	10Ш10От80Ц	19,34	23,29	35,06
11	10Ш20От70Ц	19,96	26,59	38,37
12	10Ш30От60Ц	17,75	20,41	24,54
13	10Ш50От40Ц	13,27	16,08	18,50
14	20Ш10От70Ц	17,10	18,36	22,01
15	20Ш20От60Ц	16,99	22,83	23,59
16	20Ш30От50Ц	14,54	15,60	19,22
17	20Ш50От30Ц	14,01	14,53	15,65
18	30Ш10От60Ц	16,94	17,28	21,29
19	30Ш20От50Ц	17,11	18,74	21,22
20	30Ш30От40Ц	15,39	17,45	19,87
21	30Ш50От20Ц	13,45	14,08	16,04
22	50Ш10От40Ц	15,31	16,36	16,88
23	50Ш20От30Ц	14,69	15,81	16,51
24	50Ш30От20Ц	13,47	14,01	14,87
25	50Ш50От	9,67	10,51	11,02

Примечание. Ш – твердые отходы АЦИ; От – гранитоидные отсевы; Ц – портландцемент марки 500.

Содержание в портландцементе добавки принимали 10, 20, 30, 50%. Для изучения вяжущих свойств полученных смесей готовили на их основе цементные растворы в соотношении песок : сухая смесь 3 : 1. Водоцементное отношение принимали одинаковым для всех смесей – равным 0,4. Готовили по двенадцать кубиков каждого состава. Твердение их проводили по режиму: первые сутки в формах на воздухе, затем после распалубки в воде. Через 7, 14, 28 сут кубики извлекались из воды и испытывались на прочность при сжатии [4]. Результаты испытаний представлены в табл. 1.

По полученным данным построены графики кинетики твердения образцов, которые показаны на рис. 1–6.

Как видно из полученных графических зависимостей, прочность образцов с течением времени твердения увеличивается. Гранитоидный отсев и отходы асбестоцементных изделий в первые трое суток ускоряют процесс твердения смесей, и прочность при этом возрастает по сравнению с контрольными образцами из портландцемента на 8–60%. Особенно высокие приросты прочности показывает состав комплексного вяжущего с содержанием 20% тонкомолотого гранитоидного отсева. Меньшее значение прироста прочности наблюдается при введении 50%-ной добавки микронаполнителей.

Обращает на себя внимание идентичность характера всех кинетических кривых комплексного вяжущего как с тонкомолотым гранитоидным отсевом, так и с отходами асбестоцементных изделий и их смесями, причем набор прочности происходит в прямой зависимости от времени твердения.

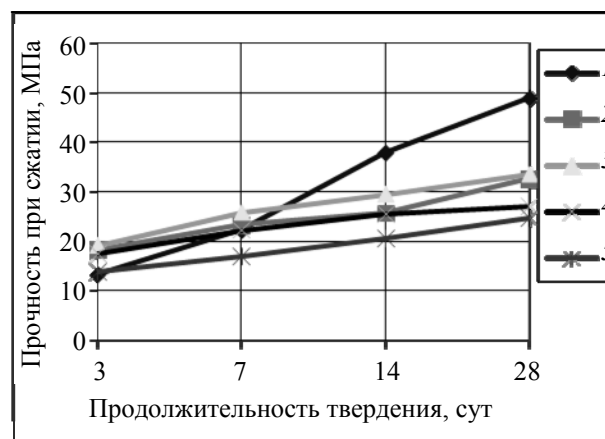


Рис. 1. Кинетика твердения портландцемента и комплексного вяжущего с добавкой гранитоидного отсева:
1 – ПЦ; 2 – ПЦ + 10% От;
3 – ПЦ + 20% От;
4 – ПЦ + 30% От; 5 – ПЦ + 50% От

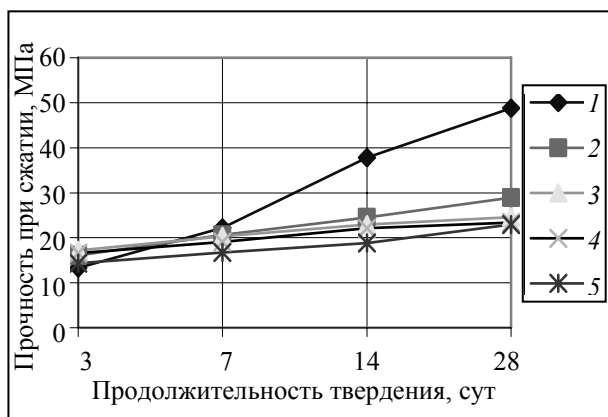


Рис. 2. Кинетика твердения портландцемента и комплексного вяжущего с добавкой твердых отходов асбестоцементных изделий:
 1 – ПЦ; 2 – ПЦ + 10% АЦИ; 3 – ПЦ + 20% АЦИ;
 4 – ПЦ + 30% АЦИ; 5 – ПЦ + 50% АЦИ

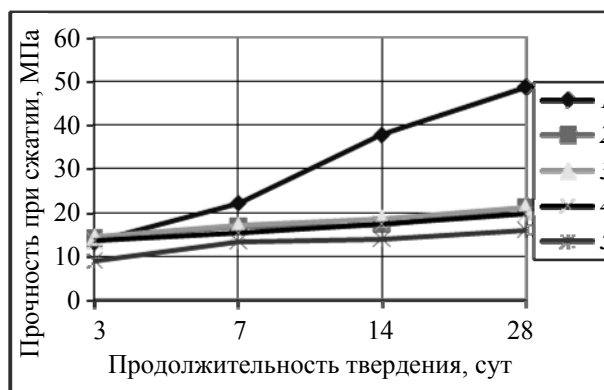


Рис. 5. Кинетика твердения ПЦ и комплексного вяжущего с добавкой смеси твердых отходов асбестоцементных изделий и гранитоидных отсеков:
 1 – ПЦ; 2 – ПЦ + 30% АЦИ + 10% От; 3 – ПЦ + 30% АЦИ + 20% От; 4 – ПЦ + 30% АЦИ + 30% От;
 5 – ПЦ + 30% АЦИ + 50% От

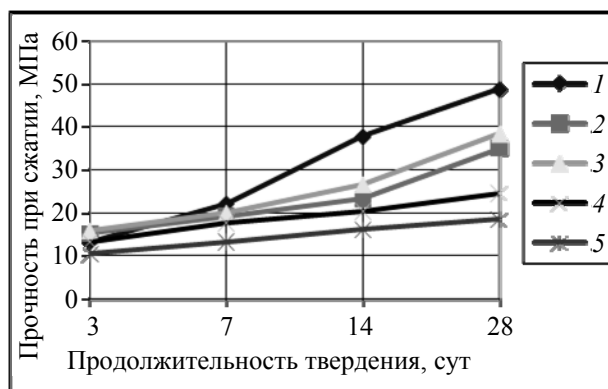


Рис. 3. Кинетика твердения ПЦ и комплексного вяжущего с добавкой смеси твердых отходов асбестоцементных изделий и гранитоидных отсеков:
 1 – ПЦ; 2 – ПЦ + 50% АЦИ + 10% От; 3 – ПЦ + 10% АЦИ + 20% От; 4 – ПЦ + 10% АЦИ + 30% От;
 5 – ПЦ + 10% АЦИ + 50% От

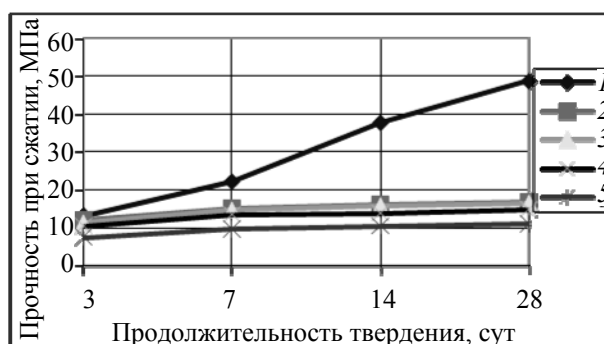


Рис. 6. Кинетика твердения ПЦ и комплексного вяжущего с добавкой смеси твердых отходов асбестоцементных изделий и гранитоидных отсеков:
 1 – ПЦ; 2 – ПЦ + 50% АЦИ + 10% От; 3 – ПЦ + 50% АЦИ + 20% От; 4 – ПЦ + 50% АЦИ + 30% От;
 5 – ПЦ + 50% АЦИ + 50% От

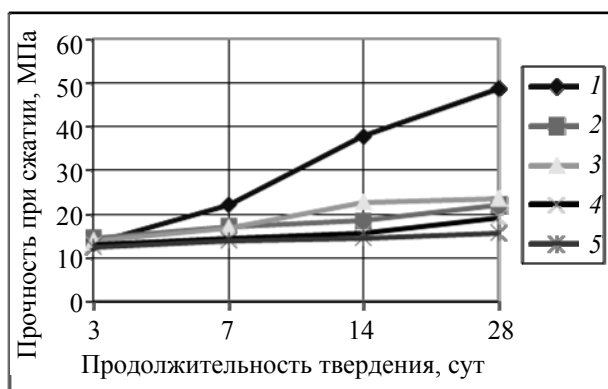


Рис. 4. Кинетика твердения ПЦ и комплексного вяжущего с добавкой смеси твердых отходов асбестоцементных изделий и гранитоидных отсеков:
 1 – ПЦ; 2 – ПЦ + 20% АЦИ + 10% От; 3 – ПЦ + 20% АЦИ + 20% От; 4 – ПЦ + 20% АЦИ + 30% От;
 5 – ПЦ + 20% АЦИ + 50% От

Установлено, что у всех образцов комплексного вяжущего возрастает время начала срока схватывания, что объясняется увеличением длительности индукционного периода, связанного с растворением частиц цемента и образованием насыщенных растворов. Однако наличие частиц микронаполнителя в дальнейшем интенсифицирует процесс кристаллизации гидратных фаз.

Согласно данным [5], микронаполнители не являются инертными добавками. Они принимают некоторое участие в формировании структуры цементного камня; раздвигают зерна гидратирующего цемента и тем самым ускоряют гидратацию. На их поверхности выделяются гидратные новообразования высокой степени дисперсности. Ускорение твердения комплексного вяжущего с выбранными добавками, по-видимому, обусловлено тем, что они выступают в качестве затравок кристаллизации гелеобразных продуктов гидратации портландцемента.

Через 7 сут твердения темп набора прочности цементного камня резко снижается.

Исходя из результатов экспериментального исследования влияния твердых отходов асбестоцементных изделий и гранитоидных отсеков на прочностные характеристики композиции при твердении и с учетом наличия отходов асбестоцементных изделий на ОАО «Красносельскстройматериалы», ПРУП «Кричевцементношифер» предложен следующий состав комплексного вяжущего для исследований цементов и грунтов на его основе:

портландцемент ПЦ 500 Д0 – 70%;

твердые отходы АЦИ – 10%;

гранитоидные отсеки – 20%.

В табл. 2 приведены сравнительные характеристики портландцемента и разработанного композиционного вяжущего.

Таблица 2

**Сравнительная характеристика
портландцемента и комплексного вяжущего**

Исследуемые свойства	Портланд-цемент	Комплексное вяжущее
Предел прочности при сжатии, МПа	48,79	38,37
Предел прочности при изгибе, МПа	7,67	6,14
Тонкость помола, %	8	11
Нормальная густота цементного теста, %	25	26,5
Равномерность изменения объема	Показывает	Показывает
Сроки схватывания, мин: начало конец	85 –	195 –
Консистенция цементного раствора (расплывание конуса), мм	106	108
Морозостойкость	0,96	0,85

По результатам проведенных исследований и сравнительных характеристиках комплексного вяжущего и портландцемента видно, что содержание в цементе микронаполнителей гранитоидных отсеков и твердых отходов асбестоцементных изделий в количестве до 30% дает марку цемента 400, увеличивает начало сроков схватывания с 1 ч 25 мин до 3 ч 15 мин, нормальная густота цементного теста увеличивается на 1,5%, без существенного изменения других свойств.

Рентгенофазовый анализ цементного камня, полученного на основе нового композиционного вяжущего, показывает, что в нем присутствуют все фазы, образующиеся при гидратации портландцемента, новых фаз не установлено. Они могут образовываться в малом количестве или иметь скрытокристаллическую структуру.

Заключение. Таким образом, проведенные исследования позволяют заключить следующее.

1. Изучены вяжущие свойства и кинетика твердения комплексного вяжущего с различным содержанием добавок микронаполнителей, в качестве которых использованы тонкомолотые гранитоидные отсеки и твердые отходы асбестоцементных изделий.

2. Разработана линейка составов комплексного вяжущего с использованием указанных микронаполнителей с вяжущими свойствами, позволяющими рекомендовать их для укрепления грунтов в дорожном строительстве, для которых предел прочности не должен быть меньше 6 МПа.

3. Изучены строительно-технические свойства комплексного вяжущего с добавками микронаполнителей в количестве 30%.

4. С использованием литературных данных дано объяснение характера твердения полученного комплексного вяжущего, у которого возрастает начало срока схватывания и темп набора прочности в начальный период твердения.

Проведенные исследования показали, что указанные отходы могут быть использованы для получения смешанных цементов и рекомендованы для дорожного строительства.

Такой цемент полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к цементам, используемым для укрепления грунтов в дорожном строительстве.

Совершенствование методов укрепления грунтов и разработка новых методов, использование более совершенных машин для производства работ по обработке грунта позволят в дальнейшем расширить диапазон применения укрепленных грунтов и повысить их значение в создании прочных дорожных одежд различного типа.

Литература

1. Дорожные основания и покрытия из укрепленных грунтов / В. М. Безрук [и др.]; под общ. ред. В. М. Безрука. – М.: Транспорт, 1966. – 126 с.
2. Безрук, В. М. Укрепление грунтов в дорожном и аэродромном строительстве / В. М. Безрук. – М., 1971. – 280 с.
3. Кузьменков, М. И. Химическая технология вяжущих веществ: учеб. пособие для студентов специальности «Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий» / М. И. Кузьменков, О. Е. Хотянович. – Минск: БГТУ, 2008. – 276 с.
4. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности: ГОСТ 22733-2002. – Введ. 01.01.06. – Минск, 2006. – 20 с.
5. Теория цемента / А. А. Пашенко [и др.]; под общ. ред. А. А. Пашенко. – Киев: Будівельник, 1991. – 165 с.

Поступила 20.02.2013

УДК: 528.721.221.6:528.8.042

П. А. Лыщик, кандидат технических наук, профессор (БГТУ);
Е. И. Бавбель, кандидат технических наук, ст. преподаватель (БГТУ)

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ И СТРОИТЕЛЬСТВУ ЛЕСНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Наличие современной сети дорог является одной из важнейших задач развития и совершенствования экономики страны. Основная задача лесных дорог – это объединение разрозненных на территории лесных массивов, обеспечение круглогодичной работы автотранспорта на вывозке леса и др. Качество лесных дорог всецело зависит от норм проектирования.

The availability of modern network of roads is one of the most important tasks of development and perfect-development of the economy of the country. The main forest roads – this is a gathering of the scattered on Terri-thorium forests, ensuring year-round work of motor vehicles for hauling and etc. The quality of forest roads depends entirely on the design standards.

Введение. Действующие отечественные нормы и стандарты на проектирование лесных автомобильных дорог (СНиП 2.05.07-91 и др.) разработаны более 10 лет назад и опираются на опыт применения норм проектирования лесных автомобильных дорог и результаты исследований, выполненных в СССР и зарубежных странах с 1970 по 1980 год [1, 2].

Однако к настоящему времени эти нормы устарели и уже отстают от произошедших изменений в количественном и качественном развитии лесовозного автомобильного транспорта, от требований социально-экономического развития страны и возросших требований к лесным автомобильным дорогам.

Основная часть. В соответствии с «Программой строительства лесохозяйственных дорог в лесах Республики Беларусь в 2011–2015 годах», утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 12.07.2010 № 1046, предусмотрено ежегодное строительство лесных дорог протяженностью 500 км. Наряду со строительством новых и модернизацией существующих дорог важное значение имеет развитие дорожной сети для освоения труднодоступных лесных массивов [3].

Реализация указанных задач требует значительных финансовых и материально-технических ресурсов, что обостряет актуальность поиска по снижению затрат на каждый километр строящейся или модернизируемой лесной дороги. Это возможно решить на первом этапе путем совершенствования норм проектирования лесных автомобильных 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, обеспечив возможность непрерывного, удобного и безопасного движения с

нормативными скоростями и установленными нагрузками.

Предлагаемая концепция совершенствования норм и методов проектирования лесных автомобильных дорог основана на анализе тенденций количественного и качественного развития лесовозного автомобильного транспорта, на анализе и обобщении принципов и норм проектирования лесных автомобильных дорог многих стран мира (Россия, Литва, Латвия, Германия, Финляндия, Польша, Канада и др.).

Предложения по классификации лесных автомобильных дорог. Разработку норм проектирования целесообразно начать с классификации лесных автомобильных дорог, которая является важнейшим элементом системы нормативных документов.

Классификация лесных дорог должна быть логичной, простой и понятной на всех уровнях ее применения. Критерии отнесения дорог к соответствующим видам и категориям должны обеспечивать возможность классифицировать не только вновь проектируемые и строящиеся, но и существующие дороги без необходимости немедленных затрат на их переустройство для доведения до требований новой классификации (табл. 1).

Технические нормы проектирования для лесных автомобильных дорог, рекомендуемые нами, приведены в табл. 2.

Состав норм и принципы проектирования дорог. На основе новой классификации необходимо разработать комплекс нормативно-технических и методических документов по проектированию лесных автомобильных дорог (стандартов, норм проектирования, отраслевых методических документов и др.), в которых должны быть изложены принципы и методы проектирования, нормативные требования к геометрическим параметрам и характеристикам лесных автомобильных дорог.

Параметры лесных дорог имеют разные величины, что также сдерживает эффективность транспорта на вывозке леса.

Таблица 1

Классификация лесных автомобильных дорог

Категория дороги	Годовой грузооборот, тыс. брутто т./год Расчетная интенсивность движения, авт./сут	Вид дорог
I	Более 200 свыше 25	Магистральная лесная дорога круглогодичного действия, главный транспортный путь в лесном массиве, объединяющий лесные дороги в единую транспортную сеть и соединяющий лесные массивы с предприятиями лесного комплекса или дорогами общего пользования
II	менее 200 до 25	Лесная дорога круглогодичного действия, обеспечивающая доступ транспорта в отдельные части территории лесного фонда, а также тупиковые дороги, имеющие выход на магистральные лесные дороги или соединяющие обособленные лесные массивы
III-а	Единичное движение	Лесные дороги круглогодичного действия: подъезды к объектам лесохозяйственного, лесохозяйственного, туристического и другого назначения
III-б		Лесные дороги сезонного действия (вспомогательные, противопожарные, технологические и другие проезды)

Таблица 2

Нормы проектирования лесных автомобильных дорог

Показатели	Типы дорог		
	I	II	IIIа, б
Расчетная скорость движения, км/ч:			
местность равнинная	50	40	30
пересеченная	40	30	20
Ширина земляного полотна, м	8,0–6,5	5,0–4,5	4,5
Ширина проезжей части, м	4,5	3,5	3,0
Радиус кривых в плане, м:			
основной	400	400	400
минимальный	100	60	30
Наибольшая величина продольного уклона, ‰	<u>80</u> 90	<u>90</u> 100	<u>100</u> 110
Минимальные радиусы вертикальных кривых, м:			
выпуклых	<u>2500</u> 1000	<u>2500</u> 1000	<u>1000</u> 400
вогнутых	<u>1200</u> 300	<u>1000</u> 200	<u>600</u> 100
Расчетное расстояние видимости, м:			
поверхности земли	100	75	50
встречного автомобиля	200	150	100

Все это подтверждает необходимость разработки нормативной документации (технического кодекса установившейся практики (ТКП)) по проектированию и строительству лесных автомобильных дорог [4].

Выводы. Разработка ТКП должна охватывать материалы для дорожного строительства, технологические решения и некоторые другие аспекты конструктивно и материаловедческого характера.

Для постройки дорог требуется значительное количество материалов, машин, трудовых и финансовых ресурсов. Оптимальное расходование их может быть достаточно, если в основу будет положена продуманная политика развития лесного комплекса.

При разработке ТКП учтены вид и характер проводимых в лесу работ, природные условия и гидрологические особенности местности, использование различных местных и централизованных строительных материалов.

Литература

1. Промышленный транспорт: СНиП 2.05.07-91. – Введ. 01.07.92. – М., 1992. – 120 с.
2. Инструкция по проектированию лесохозяйственных автомобильных дорог ВСН 7-82 / Гипролестранс. – Л., 1983. – 29 с.
3. Устойчивое лесопользование и лесопользование. Требования к лесным автомобильным дорогам: СТБ 1627–2006. – Введ. 01.11.2006. – Минск: Белгипролес, 2006. – 20 с.
4. Бавбель, Е. И. Формирование опорной сети лесотранспортных путей в условиях Республики Беларусь / Е. И. Бавбель, П. А. Лыщик // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2008. – Вып. 183. – С. 81–89.

Поступила 14.03.2013

УДК 630*377.44

Д. В. Клоков, кандидат технических наук, доцент (БГТУ)

ОЦЕНКА НАГРУЗОЧНЫХ РЕЖИМОВ ТРАНСМИССИЙ ПОГРУЗОЧНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН «БЕЛАРУС»

Работа посвящена оценке нагрузочных режимов трансмиссий погрузочно-транспортных машин с различными типами привода ведущих органов. Определены оптимальные параметры, которые позволят снизить нагруженность машин в целом.

Paper is to estimate the load transmission modes forwarders with various types of drive leading bodies. The optimum parameters that will reduce the load of the machine as a whole.

Введение. При проектировании лесных машин стремятся к созданию такой ее конструкции, которая имела бы минимальную массу, максимальный КПД и производительность, соответствующую заданной при работе в реальных условиях эксплуатации. В этом случае необходимо решить проблему оптимизации системы, которая для лесных машин является многопараметрической с учетом целого ряда ограничений.

Известно, что любой расчет связан с созданием эквивалентной схемы рассматриваемого элемента или агрегата конструкции, с оценкой и заданием нагрузок, действующих на них. Под нагрузками в данном случае следует понимать не только силовые нагрузки (и их производные) на шасси базовой машины и технологическое оборудование, но и другие оценочные величины, такие как виброускорения, звуковое давление, которые являются функциями времени. Изменение во времени оценочных величин при движении машины в реальных условиях определяет эксплуатационный нагрузочный режим.

Основная часть. Наглядное представление об эксплуатационном нагрузочном режиме можно получить по его временной реализации, которую определяют различными способами моделирования, измерений, записи и воспроизведения.

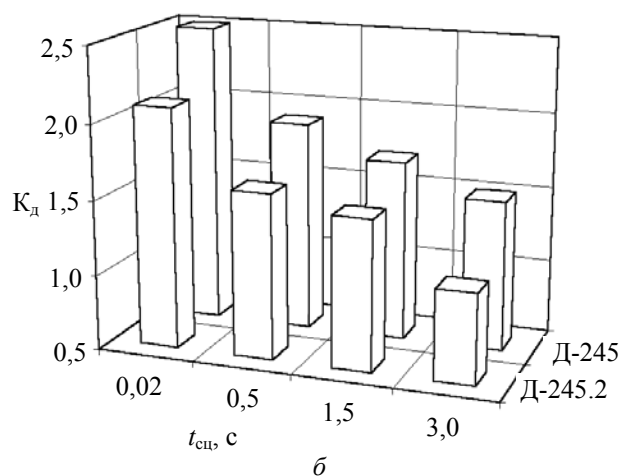
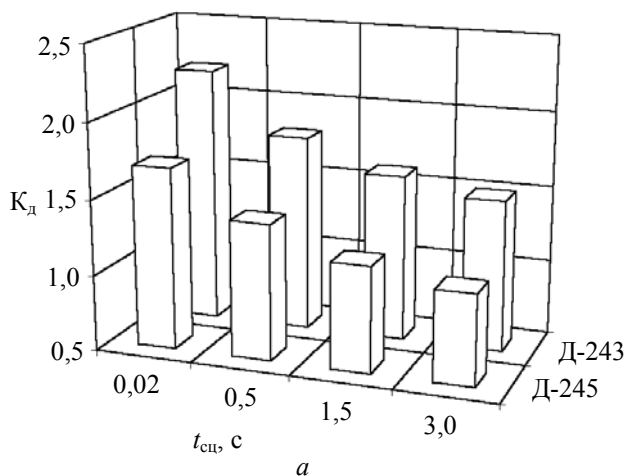
В качестве примера ниже приведены некоторые результаты этой работы.

Зависимость коэффициента динамичности трансмиссии K_d погрузочно-транспортной машины с колесной формулой 4К4 (а) и 6К6 (б) от разных темпов включения муфты сцепления при установке различных двигателей приведена на рисунке.

У машины 4К4 с установкой двигателя Д-245, как видно из рисунка, коэффициент динамичности трансмиссии K_d уменьшается на 21–35% по сравнению с машиной с двигателем Д-243.

Необходимо иметь обоснованное представление о режимах работы двигателя, в том числе и его загрузке крутящим моментом, для прогнозирования эксплуатационных свойств, расчета и испытания узлов, механизмов и систем. Измерителем этого показателя является коэффициент загрузки двигателя крутящим моментом.

Исследования эксплуатационных режимов при работе погрузочно-транспортной машины в различных производственных условиях, и в частности полученные данные, позволяют выбрать наиболее приемлемый двигатель. Установлено, что с увеличением энергонасыщенности машины коэффициент загрузки двигателя на основных рабочих передачах уменьшается.



Зависимость коэффициента динамичности трансмиссии K_d погрузочно-транспортной машины с колесной формулой 4К4 (а) и 6К6 (б) от разных темпов включения муфты сцепления при установке различных двигателей

Для выявления максимальной нагруженности трансмиссии при работе погрузочно-транспортной машины в тяжелых режимах эксплуатации были поставлены опыты с переездом неровностей.

Переезд пороговой неровности ($H_n = 0,6$ м, $L_n = 0,38$ м) на скорости 2,5 км/ч показал, что значения максимального $M_{кр}$ на задней полуоси достигает 20 кН·м в момент наезда на неровность колесами технологического модуля, в то время как на передней полуоси момент соответственно не превышает 10 кН·м.

В момент съезда с неровности как передними, так и задними колесами за счет толкающей силы возникают моменты соответственно на передней полуоси $M_{кр} = 10$ кН·м и на задней полуоси $M_{кр} = 15$ кН·м.

Таким образом, размах изменения моментов по амплитуде относительно нулевой линии при переезде груженым сортиментовозом неровностей в виде пней составляет: передняя полуось ± 10 кН·м; задняя полуось ± 20 кН·м. Коэффициенты динамичности в этом случае следующие: $K_{дм1} = 3,2-3,5$, $K_{дм2} = 3,4-3,7$.

Для того чтобы получить представление о нагруженности трансмиссии в реальной эксплуатации, исследования проводились на типичных производственных волокнах с типизированным микропрофилем. При движении машины по такому волоку характер динамических нагрузок в значительной мере усложняется, когда на полученных зависимостях наблюдается периодичность процессов или происходит наложение частот колебаний возмущающего воздействия и колебания крутящего момента носят случайный характер.

Анализ результатов по нагруженности трансмиссии при установившемся движении показал, что крутящие моменты на обеих полуосях при движении груженого и снаряженного форвардера с различными скоростями имеют схожий характер изменения. Причем на передней полуоси при установившемся движении максимальные значения $M_{кр}$ изменяются в пределах 4–5,2 кН·м и превышают развиваемые моменты на задней полуоси, которые изменяются в пределах 2,5–4,9 кН·м. Средние значения при этом составляют соответственно: передняя полуось $m_{пер} = 2,7$ кН·м, задняя – 1,58 кН·м.

При отключении привода заднего моста на всех режимах нагруженность передней полуоси значительно возрастает, $m_{пер} = 3,4$ кН·м при диапазоне изменения экстремумов 0,9–6,7 кН·м. Причем различие в максимальных значениях $M_{кр}$ переднего моста груженого и снаряженного составляет 2 кН·м.

Характер изменения $M_{кр}$ на обеих полуосях с изменением как скорости движения, так и объема перевозимого груза изменяется. Наблюдается увеличение диапазона частот распределения $M_{кр}$

с увеличением скорости движения, и наоборот, снижение частоты изменения $M_{кр}$ с увеличением массы перевозимого груза.

Полученные данные показывают, что в тяжелых условиях эксплуатации включение привода заднего моста значительно снижает нагруженность всей трансмиссии машины.

Анализ нагруженности трансмиссии машины показал, что значения крутящих моментов на передней полуоси превышали развиваемые моменты на задней полуоси на 40–80% при всех режимах движения. При отключении привода заднего моста нагруженность передней полуоси возрастала в 1,5–2 раза.

Форвардер представляет вероятностную динамическую систему с несколькими стационарными процессами на входе и выходе. Параметры выходных процессов и их количество определяются в каждом конкретном случае конкретной постановкой задачи исследования, и поэтому при определении параметров шин необходимо рассматривать предложенную математическую модель колебаний погрузочно-транспортной машины в комплексе [1]. Для оценки параметров в качестве выходного процесса будем использовать величину нагруженности трансмиссии машины по коэффициенту динамичности $K_{дин}$.

В задачу определения оптимальных параметров входил расчет оптимальных крутильных жесткостей шин и коэффициентов неупругого сопротивления при условии минимизации целевой функции и соблюдении условий ограничения.

Для проведения расчетов определялись необходимые параметры, входящие в выражения целевой функции и ограничений. Расчеты проводились при следующих условиях: скорость движения принималась в пределах 3,6–10,8 км/ч; объем рейсовой нагрузки – 6–13 м³; перераспределение вертикальной нагрузки между передним и задним мостом стремится к 1; поверхность движения – пасечный волок.

Заключение. Анализом полученных результатов установлено, что область оптимальных параметров определяется следующими интервалами: жесткость шин $c = 640-700$ кН/м, коэффициент неупругого сопротивления $k = 60-75$ кН·с/м.

Реализация рекомендуемых оптимальных параметров позволит снизить величину средних квадратичных значений крутящих моментов в трансмиссии на 12–15%, а следовательно, и нагруженность машины в целом.

Литература

1. Клоков, Д. В. Имитационная модель движения лесной погрузочно-транспортной машины типа 8К8 / Д. В. Клоков // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2008. – Вып. XVI. – С. 122–126.

Поступила 21.02.2013

УДК 629.3-027.21

С. Н. Пищов, кандидат технических наук, доцент (БГТУ); **С. Е. Арико**, ассистент (БГТУ);
С. П. Мохов, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой (БГТУ);
А. В. Манько, студент (БГТУ)

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ УСТОЙЧИВОСТИ АВТОМОБИЛЯ МАЗ ПОВЫШЕННОЙ ПРОХОДИМОСТИ

В статье представлены результаты экспериментальных исследований по оценке показателей продольной и поперечной устойчивости. Определены углы переднего и заднего свесов, высота расположения центра масс, установлены зависимости изменения реакций под осями полноприводного грузового автомобиля повышенной проходимости в зависимости от угла наклона опорной поверхности при различной загрузке (порожний, груженный) грузовой платформы. Выполнен анализ полученных результатов и даны рекомендации по режимам эксплуатации проектируемого автомобиля при выполнении различных транспортных операций в тяжелых дорожных условиях.

The article dwells upon the research results concerning evaluation of longitudinal and lateral stability. There have been determined the angles of front and rear overhangs, mass center height and dependences of reaction changes under the axles of all-wheel drive truck depending on the angle of obliquity with various loading (empty, loaded) of cargo bed. There have been analyzed the results obtained and recommendations for designed vehicle exploitation modes (fulfilling engineering operations in heavy road conditions) have been done.

Введение. Устойчивость является одним из важнейших эксплуатационных свойств автомобиля, от которого во многом зависит безопасность движения. В зависимости от направления бокового скольжения или опрокидывания различают поперечную и продольную устойчивость. Более вероятна и опасна потеря поперечной устойчивости, возникающая вследствие действия различных боковых сил. Потеря поперечной устойчивости может произойти как при криволинейном, так и при прямолинейном движении [1].

Основная часть. Для оценки показателей продольной и поперечной устойчивости автомобиля повышенной проходимости были проведены экспериментальные исследования.

Целью экспериментальных исследований являлась оценка показателей продольной и поперечной устойчивости проектируемого полноприводного грузового автомобиля повышенной проходимости при выполнении различных транспортных операций в тяжелых дорожных условиях, выработка рекомендаций по ее улучшению.

Для проведения исследования был подготовлен опытный образец грузового автомобиля повышенной проходимости МАЗ среднетоннажного класса, колесной формулы 4×4, грузоподъемностью 4,5–5 т для перевозки различных строительных, промышленных и сельскохозяйственных грузов в тяжелых дорожных условиях. Отличительной особенностью опытного образца от серийно выпускаемых грузовых автомобилей являлось наличие 2-скоростной раздаточной коробки, обеспечивающей подключение привода переднего моста и функцию бло-

кировки межосевого дифференциала.

Для определения продольной и поперечной устойчивости опытного образца автомобиля использовался стенд-опрокидыватель, имеющий платформу, размеры которой позволили разместить автомобиль. Опорная поверхность стенда имела возможность поворачиваться вокруг оси, параллельной поперечной оси автомобиля, на угол не менее 60° относительно горизонтальной плоскости [2]. Платформа была оснащена страховочными приспособлениями в виде цепей и упоров, которые предотвращали скольжение шин автомобиля в поперечном направлении.

Регистрация измеряемых параметров осуществлялась измерительной аппаратурой в составе многофункционального измерительного комплекса «Spidpak» и портативного переносного компьютера. Запись измеряемых параметров производилась на жесткий диск компьютера. Питание измерительного комплекса осуществлялось от аккумуляторной батареи с применением автомобильного инвертора. Принципиальная схема подключения измерительного оборудования представлена на рис. 1.

В процессе проведения испытаний фиксировались: статическая нагрузка под всеми осями автомобиля в порожнем и груженом состоянии при различных значениях высоты центра тяжести транспортируемого груза; процесс изменения нагрузки под колесами передней и задней осей автомобиля при изменении угла наклона платформы стенда. Угол наклона платформы определялся при помощи угломера, закрепленного на наклонной платформе стенда. Платформа грузового автомобиля нагружалась

балластом в соответствии с грузоподъемностью таким образом, чтобы высота центра масс балласта над платформой автомобиля соответствовала высоте центра масс при равномерном распределении по платформе груза.

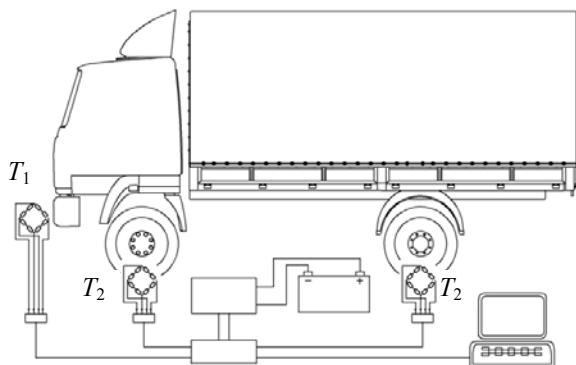


Рис. 1. Принципиальная схема подключения измерительного оборудования:

T_1 – измерение усилия сопротивления качению;
 T_2, T_3 – определение реакций под колесами передней и задней осей

Для оценки показателей продольной устойчивости порожнего и груженого автомобиля определены нормальные реакции под колесами переднего и заднего мостов [3]. Измерение нормальных реакций автомобиля произведено при наклоне опорной поверхности (платформы стенда) на угол до 30 град. Результаты измерений приведены на рис. 2.

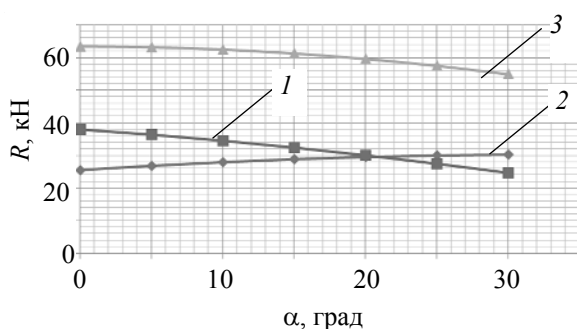


Рис. 2. Изменение нормальных реакций под колесами переднего и заднего мостов снаряженного автомобиля при подъеме передней части:

1 – передняя ось; 2 – задняя ось;
 3 – суммарная реакция автомобиля

Проведенные испытания показателей продольной и поперечной устойчивости позволили определить углы опрокидывания и сползания автомобиля повышенной проходимости при движении с различной загрузкой. Установлено, что в тяжелых дорожных условиях при движении под уклон автомобиля определяющими являются его тягово-сцепные свойства.

По результатам экспериментальных исследований определены силы сопротивления движению и сцепления с учетом угла наклона автомобиля в продольной плоскости, что позволило установить режимы эксплуатации в заданных тяжелых условиях движения при различных значениях угла наклона опорной поверхности движения.

Максимальный уклон при движении по грунтовой дороге, который сможет преодолеть полноприводный автомобиль с помощью переднего и заднего ведущих мостов, составил 20–25 град. С помощью заднего ведущего моста максимальный угол уклона местности, при котором возможно движение по грунтовой дороге, составил не более 11 град.

Определены коэффициенты запаса устойчивости по опрокидыванию при наклоне передней, задней частей автомобиля с различной загрузкой грузовой платформы, а также при боковом наклоне до 30 град. При этом значения коэффициентов запаса устойчивости по опрокидыванию превысили 0,6, что позволило сделать вывод о хорошей устойчивости машины.

Определяющим показателем устойчивости в поперечной плоскости при эксплуатации в тяжелых дорожных условиях является угол сползания, значение которого составило: для грунтовой дороги – 26 град; для песчаной дороги – 21 град; для снега укатанного – 11 град.

Заключение. Результаты экспериментальных исследований оформлены в виде протокола испытаний, который был передан на ОАО «МАЗ» – управляющую компанию холдинга «БЕЛАВТОМАЗ». Установлено, что опытный образец грузового автомобиля повышенной проходимости работоспособен, обладает высокой устойчивостью, весовые и габаритные параметры соответствуют техническому заданию, СТБ 1878–2008, СТБ 1877–2008, ГОСТ 4.401–88, ГОСТ Р 52302–2006 и другой технической документации.

Литература

1. Платонов, В. Ф. Полноприводные автомобили / В. Ф. Платонов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 312 с.
2. Автомобили: Испытания / В. М. Беляев, [и др.]; под ред. А. И. Гришкевича, М. С. Высоцкого. – Минск: Выш. шк., 1991. – 187 с.
3. Верещагин, С. Б. Планирование и оценка результатов испытаний колёсных и гусеничных машин / С. Б. Верещагин. – М.: МАДИ, 2008. – 60 с.

Поступила 21.02.2013

УДК 528.721.221.6:528.8.042

Е. И. Бавбель, кандидат технических наук, старший преподаватель (БГТУ);
Т. С. Селезнева, студентка (БГТУ)

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ПРИ ИЗЫСКАНИЯХ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

Наземное лазерное сканирование – один из самых оперативных и производительных способов получения пространственных данных об объекте. Суть технологии состоит в определении пространственных координат точек поверхности объекта. В зависимости от поставленной задачи итогом работ может быть облако точек отражений или 3-D модель объекта.

Terrestrial laser scanning is one of the most responsive and productive ways-beans obtain spatial data about the object. The essence of the technology consists in the determination of spatial coordinates of points of the surface of the object. Depending on the task the result of work may be cloud of points reflections, or 3-D model of an object.

Введение. Технология наземного лазерного сканирования основана на использовании новейших приборов – лазерных сканеров, измеряющих координаты точек поверхности объекта с высокой скоростью (тысячи измерений в секунду). Полученный в результате набор точек, называемый «облаком точек», содержит информацию о миллионах измерений. Опираясь на такой значительный массив данных, можно выполнять высокоточное трехмерное моделирование имеющихся объектов (точность пространственного положения объектов составляет 3–5 мм), создавать плоские чертежи, делать сечения, выполнять проектирование и визуализировать решения по реконструкции. Ни один из известных способов измерений не обеспечивает таким объемом данных, получаемых при помощи лазерного сканирования.

Основная часть. Лазерное сканирование – это технология, позволяющая за минимум времени получить максимум информации. Лазерный дальномер существует уже давно. Его принцип основан на измерении времени прохождения узконаправленного луча лазера до объекта и обратно. Такой дальномер есть в каждом электронном тахеометре. Отличие тахеометра от лазерного сканера в том, что у первого лазерный дальномер приводится в действие по команде человека, а у сканера этот процесс автоматизирован. В результате значительно увеличивается производительность: несколько тысяч измерений в секунду лазерным сканером против одного измерения электронным тахеометром. При этом выигрыш в скорости не отражается на качестве.

Принципы трехмерного лазерного сканирования и моделирования. Система состоит из портативного, работающего в автоматическом режиме пульсового лазера и полевого персонального компьютера со специализированным программным обеспечением. Для сканирования пользователь направляет лазер в сторону объекта (если можно так сказать про систему с полем зрения 360×180°),

встроенная система визуализации выводит на экран компьютера изображение, позволяющее оператору контролировать поле зрения сканера. Оператор при необходимости уточняет область сканирования, расстояние между точками (разрешение) и запускает процесс сканирования, после чего прибор автоматически сканирует выбранную область при помощи оптико-механических систем, быстро «проводящих» пульсирующим лазерным лучом сканера по измеряемой области. Процесс работы лазерного сканера представлен на рис. 1, основные технические характеристики лазерных сканеров указаны в таблице.



Рис. 1. Процесс работы лазерного сканера

Основные технические характеристики наземных лазерных сканеров

Показатели	Значения
Точность	от 5 мм до 5 см
Дальность действия, м	от 25 до 2500
Угол поля зрения	от 40×40 до 360×180°
Время сканирования	от 15 с до 15 мин.
Количество точек	от нескольких тысяч до нескольких миллионов

Результаты сканирования (сканы), проведенного с различных точек, могут быть «сшиты» друг с другом для создания полной модели комплекса конструкций и местности с помощью программного обеспечения (ПО), которое позволяет визуализировать модель, вращать объект, перемещаться

и проводить измерения между любыми точками или моделируемыми поверхностями, «заглядывать», «гулять» по только что снятому объекту. Каждая графическая точка может быть окрашена в зависимости от интенсивности отраженного лазерного сигнала, «истинного цвета» или другого параметра (например, высотной отметки или удаления от точки съемки), что улучшает визуализацию объекта.

По результатам полевой съемки возможно построение модели снимаемой местности или объекта (рис. 2) – объединения точек в сеть триангулированных ячеек (TIN-модель). Программа автоматически определяет границы ячеек, формирует очертания отдельных объектов, анализирует интенсивность и цвет изображения и получает модель с четкими контурами и цветовым разграничением различных геометрических элементов (откосы, трубы, резервуары, стальные конструкции и т. д.). Процесс занимает немного времени, что позволяет получать трехмерное изображение объекта непосредственно в полевых условиях.

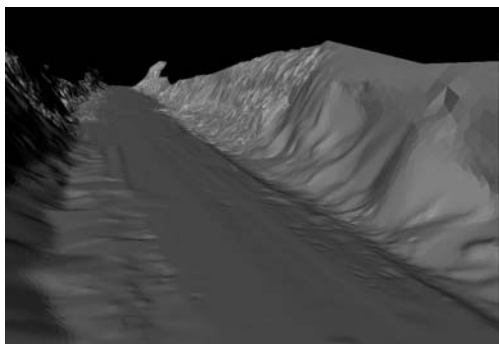


Рис. 2. TIN-модель

Преимущества метода перед тахеометрической съемкой и другими наземными видами съемки:

- мгновенная трехмерная визуализация;
- высокая точность;
- несравнимо более полные результаты;
- быстрый сбор данных;
- обеспечение безопасности при съемке труднодоступных и опасных объектов.

Преимущества метода перед фотограмметрическими способами съемки. Лазерное сканирование и моделирование аналогично фотограмметрическим методам, но позволяет получать координаты с одной точки стояния и без последующей камеральной обработки – с возможностью контроля измерений непосредственно в полевых условиях. Кроме того, обеспечивается более высокая точность измерений по сравнению с фотограмметрическими методами при одинаковом удалении от снимаемого объекта.

Также необходимо отметить такие преимущества лазерного сканирования, как:

- возможность настройки некоторых моделей сканеров на фиксацию первого и/или последнего отражения, что позволяет разделять отраженный сигнал от растительности и поверхности земли – «пробивать» растительность;
- упрощенная схема привязки к системе координат.

Финансовые и временные затраты говорят в пользу лазерного сканирования. При отсутствии необходимости векторизации трехмерного раstra работа с результатами лазерного сканирования может выполняться в режиме реального времени, что для фотограмметрических способов невозможно.

Некоторые области применения лазерного сканирования. Инженерные изыскания с применением наземного лазерного сканирования [1]:

- оперативное проведение изысканий больших и/или протяженных, труднодоступных и/или труднопроходимых территорий;
 - мониторинг больших территорий;
 - создание цифровых моделей сложных технологических объектов и узлов для реконструкции;
 - создание и мониторинг цифровых моделей карьеров;
 - определение объемов выработок и складов;
- Строительство и эксплуатация инженерных сооружений:
- контроль строительства;
 - корректирование проекта в процессе строительства;
 - оптимальное планирование и контроль перемещения, установки и удаления крупных частей сооружений или оборудования;
 - монтажные работы, калибровка;
 - исполнительная съемка в процессе строительства и после его окончания;
 - мониторинг состояния объекта при эксплуатации.

Выводы. Материальные затраты по сбору данных и моделированию объекта методами трехмерного лазерного сканирования на небольших участках и объектах сопоставимы с традиционными методами съемки, а на участках большой площади или протяженности – ниже. Даже при сопоставимых расходах на съемку полнота и точность результатов лазерного сканирования позволяют избежать дополнительных расходов на этапах проектирования, строительства и эксплуатации объекта.

Литература

1. Медведев, Е. М. Лазерная локация земли и леса: учеб. пособие / Е. М. Медведев, И. М. Данилин, С. Р. Мельников. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Геолидар, Геоскосмос; Красноярск: Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2007. – 230 с.

Поступила 21.02.2013

УДК 630*2:502.174

П. А. Протас, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);
Г. И. Завойских, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);
А. С. Федоренчик, кандидат технических наук, профессор (БГТУ)

КЛАССИФИКАЦИЯ ВЕТРОВАЛЬНО-БУРЕЛОМНЫХ ЛЕСОСЕК С УЧЕТОМ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ИХ ОСВОЕНИЯ

В статье на основании анализа состояния ветровально-буреломных лесосек приведена их классификация по виду и степени повреждения, направлению повала или поломки деревьев. Выполненная работа позволяет упорядочить встречающиеся в практике повреждения лесонасаждений, дать обоснованную оценку технико-эксплуатационных показателей систем машин, разработать рекомендации по технологии освоения ветровально-буреломных лесосек, а также требования по технике безопасности.

In the article on the basis of the analysis of the type and degree of the wind fallen tree damages, the direction of their felling or breakage is given their classification. Completed work is a way of structuring the diversity encountered in practice damaged forests, to give an informed assessment of the technical and operational characteristics of used systems of machines, to develop recommendations on the technology, and the requirements for safety in the development of the windfall cutting areas.

Введение. Положительная динамика повреждения лесов ураганными ветрами в мире, в том числе и Республике Беларусь [1], кроме значительных экономических потерь, связанных с ликвидацией последствий и восстановлением лесов, обостряет и экологическую ситуацию вследствие нарушения лесной экосистемы.

С целью минимизации отрицательных последствий ветровалов и буреломов лесосеки необходимо разрабатывать в кратчайшие сроки с учетом требований безопасности труда, рационального использования древесного сырья, эффективного применения оборудования, а также лесоводственно-экологических требований. Для разработки и внедрения ресурсосберегающих технологий освоения ветровально-буреломных лесосек с обоснованным применением систем машин требуется выполнить объективную оценку таких лесосек с учетом наиболее характерных признаков повреждения древостоев.

Основная часть. Классификация ветровально-буреломных лесосек. Для научно обоснованной оценки технико-эксплуатационных показателей систем машин, разработки рекомендаций по технологии, а также требований по технике безопасности при освоении ветровально-буреломных лесосек необходимо, как показала практика, учитывать вид и степень повреждения древостоев, которые отличаются в широких диапазонах.

С учетом эксплуатационных особенностей освоения лесфонда в Республике Беларусь выполнен анализ статистических данных поврежденных участков и разработана классификация ветровально-буреломных лесосек (таблица), в которой поврежденные участки подразделяются по следующим признакам:

- виду повреждения – ветровальные, буреломные и комбинированные (ветровально-буреломные);
- степени повреждения – незначительные, слабые, средние и сильные;
- ориентации упавших поврежденных деревьев – односторонне направленные и разносторонне направленные.

Буреломы с разнонаправленным повалом и слабой степенью повреждения (рисунок, *а*) обычно наносят сильные вихревые порывы ветра в высокоствольных молодых сосняках, растущих на твердой почве.

Бурелом с однонаправленным повалом и средней степенью повреждения (рисунок, *б*) также характерен для чистых сосняков, произрастающих на возвышенных местах.

Однонаправленный ветровал со средней степенью повреждения (рисунок, *в*) взрослого древостоя чаще всего происходит при ураганных порывах ветра в еловых лесах, растущих на мягких переувлажненных почвах.

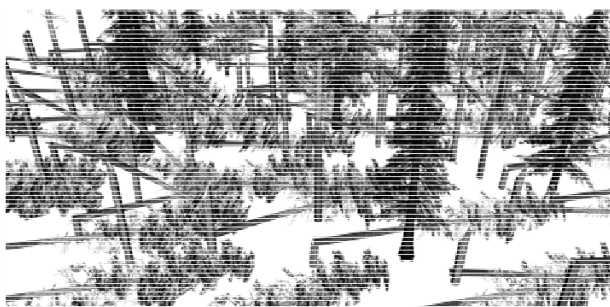
Классификация ветровально-буреломных лесосек

Степень повреждения	Вид повреждения		
	ветровальный	буреломный	комбинированный
Незначительная	до 20%	до 25%	до 20%
Слабая	21–40%	26–45%	21–30%
Средняя	41–65%	46–70%	31–50%
Сильная	свыше 65%	свыше 70%	свыше 50%

Ветровалу наиболее подвержены деревья с поверхностной корневой системой: ель, береза, ольха и др. Однако на заболоченных местах повалу с корнями подвергаются и породы, имеющие стержневые корни, – сосна, пихта, осина и др. Кроме того, причинами ветровала могут быть слаборазвитая глубинная корневая система древесных пород со стержневыми корнями на бедных почвах с тонким плодородным верхним слоем, а также поражения деревьев грибковыми заболеваниями, ослабляющими корневую систему или комлеву часть ствола.



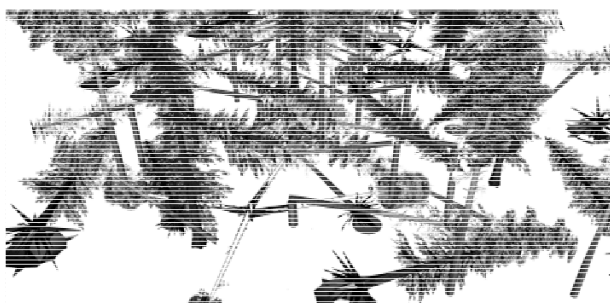
а



б



в



г

Виды повреждения леса ветром

Наиболее сложный для освоения является комбинированный ветровально-буреломный лес с разнонаправленным повалом и сильной степенью повреждения (рисунок, г).

Ветровальные лесосеки в еловых насаждениях со средней (рисунок, в), а тем более сильной степенью повреждения особенно резко снижают производительность работы харвестеров. Эффективность их работы в случаях разработки лесосек с разнонаправленно поваленными деревьями также часто оказывается ниже по сравнению с использованием бензопил и тракторов с чокерным оборудованием. Сосновые насаждения с преобладанием бурелома (рисунок, а, б) для работы харвестера значительных трудностей не создают.

При разработке ветровальных насаждений можно получить больший выход древесины, но при этом повышается расход режущего инструмента. При разработке буреломных насаждений, наоборот, уменьшается объемный и качественный выход деловых сортиментов, особенно пиловочника, и увеличивается объем дровяной древесины, что требует применения систем машин для производства щепы на лесосеке.

Степень повреждения участков лесфонда при освоении и ветровальных, и буреломных насаждений оказывает существенное влияние на производительность труда. Все это указывает на необходимость дифференцированного подхода к установлению норм выработки при освоении ветровально-буреломных лесосек.

Заключение. Приведенная классификация поврежденных ветрами лесов позволяет упорядочить встречающееся в практике разнообразие повреждений лесонасаждений, более объективно выполнять сравнительную оценку эффективности труда. Предварительный анализ и оценка характера всего массива поврежденного леса по выделенным классификационным признакам с последующим разбиением на однородные участки для их освоения способствуют правильному выбору систем машин и технологии разработки лесосек, росту производительности и безопасности труда, повышению качества и количества выработанной продукции, позволяют более рационально спланировать во времени процесс освоения ветровально-буреломных лесосек.

Литература

1. Состояние ветровально-буреломного лесфонда в Республике Беларусь и проблемы его освоения // П. А. Протас [и др.] // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 55–57.

Поступила 20.02.2013

УДК 625.711.84

П. А. Протас, кандидат технических наук, доцент (БГТУ)

ПРИМЕНЕНИЕ НАСЛЕДСТВЕННОЙ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ БОЛЬЦМАНА – ВОЛЬТЕРРА ДЛЯ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЛЕСОТРАНСПОРТНЫХ ПУТЕЙ

В работе дана методика и обоснована целесообразность применения наследственной теории упругости Больцмана – Вольтерра для оценки напряженно-деформированного состояния лесотранспортных путей. Применение результатов исследований позволит разработать рекомендации по использованию лесных машин, проектированию и содержанию лесотранспортных путей с учетом их эксплуатационно-экологической совместимости с лесной средой.

In this work the method and the feasibility Boltzmann – Volterr's hereditary theory of elasticity are given and proved to estimate the stress-strain state of the log transporting ways. Application of research will develop recommendations for the use of forest machinery, design and content log transporting ways according to their operational and environmental compatibility with the forest environment.

Введение. Лесотранспортный путь, включая трелевочный волок, можно представить как вязкоупругое слоистое полупространство, нагруженное осесимметричной нагрузкой от колеса лесотранспортной (лесозаготовительной) машины. При воздействии движителей в грунтовом основании лесотранспортных путей возникают напряжения и деформации, для оценки которых может быть применена задача, когда грунт работает в упругой фазе, без учета фактора времени [1]. Однако в лесных грунтах, имеющих низкую несущую способность, появляются деформации ползучести, в связи с чем необходимо учитывать время нагружения [2].

Основная часть. Оценка напряженно-деформированного состояния лесотранспортных путей. При небольших изменениях внешних давлений (0,5–0,7 МПа) грунты рассматриваются как линейно деформируемые тела, то есть с достаточной для практических целей точностью можно принимать зависимость между общими деформациями и напряжениями для грунтов линейной. Напряженно-деформированное состояние грунта изменяется во времени, что является результатом реологических свойств грунта – его ползучести при нагрузке. Деформируемость дисперсных грунтов во времени вполне описывается линейной теорией наследственной упругости (ползучести) Больцмана – Вольтерра [3], согласно которой связь между напряжениями и деформациями можно показать уравнением

$$\varepsilon(t) = \frac{1}{E} \left[\sigma(t) + \int_0^t K(t-\tau) \sigma(\tau) d\tau \right], \quad (1)$$

где $\varepsilon(t)$ – относительная деформация; E – модуль упругости, МПа; σ – напряжение, МПа; $K(t-\tau)$ – ядро ползучести, или ядро интегрального уравнения, представляющего функцию влияния напряжений $\sigma(\tau)$ в момент времени τ

на деформацию в момент времени t , $1/c$; t – время наблюдения, с; τ – время, предшествующее моменту наблюдения, с.

Ядро в уравнении (1) также называют ядром наследственности, которое характеризует степень «забывания» к моменту времени t о тех воздействиях, которые были совершены в момент времени τ . Поэтому если свойства материала во времени не меняются, то мера «памяти» и «забывания» зависит от разности $t - \tau$.

Задача определения напряжений и перемещений, возникающих в грунтовом полупространстве от сосредоточенной силы, является осесимметричной, ее решение производят в цилиндрической системе координат через функцию напряжений $\varphi = \varphi(r, z)$. Согласно теории упругости, напряжения через функцию φ записываются уравнениями:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \nabla^2 \varphi - \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2} \right); \quad \sigma_\theta = \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \nabla^2 \varphi - \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial r} \right), \\ \sigma_z &= \frac{\partial}{\partial z} \left((2-\mu) \nabla^2 \varphi - \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} \right), \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где σ_r , σ_z , σ_θ – нормальные напряжения, действующие соответственно по площадкам, перпендикулярным осям r и z и касательной к окружности радиуса r ; μ – коэффициент Пуассона грунта; ∇^2 – оператор Лапласа, который в цилиндрической системе координат имеет вид

$$\nabla^2 = \frac{\partial}{\partial r^2} + \frac{\partial}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}.$$

Геометрическая сторона задачи (деформации) запишется уравнениями:

$$\varepsilon_r = \frac{\partial u}{\partial r}; \quad \varepsilon_\theta = \frac{u}{r}; \quad \varepsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z}, \quad (3)$$

где u – горизонтальные перемещения грунта (по оси r), м; w – вертикальные перемещения грунта (по оси z), м.

Если нагрузка за время ее действия не меняется, связь между деформацией и напряжениями записывается как

$$\varepsilon(t) = \frac{1}{E} \sigma \left[1 + \int_0^t K(t-\tau) \sigma(\tau) d\tau \right].$$

Уравнение позволяет по заданному закону изменения напряжений во времени определить закон изменения деформаций.

Так как уравнение линейное, то, исходя из принципа суперпозиции, при объемном напряженном состоянии будем иметь:

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{E} [\sigma_0 - \mu(\sigma_r + \sigma_z)] \cdot \left[1 + \int_0^t K(t-\tau) d\tau \right]. \quad (4)$$

Подставив в уравнение (4) σ согласно (2), получим

$$\varepsilon_0 = \frac{(-1+\mu)}{rE} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r \partial z} \left[1 + \int_0^t K(t-\tau) d\tau \right].$$

Согласно (3), сделав соответствующие преобразования, получим горизонтальные и вертикальные перемещения (деформации) грунта:

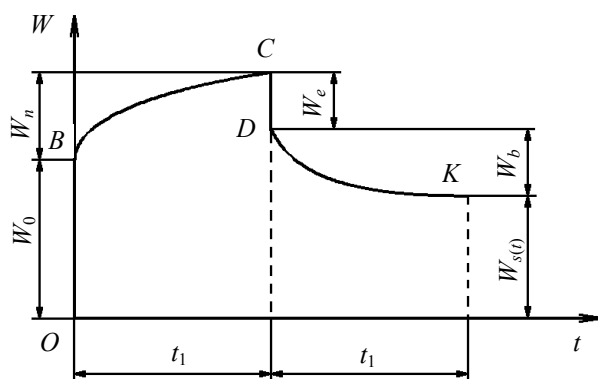
$$U = \frac{F(1+\mu)}{2\pi E_0 R} \left(\frac{rz}{R^2} - (1-2\mu) \frac{r}{R+z} \right) \left(1 + \frac{\delta_0}{\beta_0} (1 - e^{-\beta_0 t}) \right);$$

$$W = \frac{F(1+\mu)}{2\pi E_0 R} \left(\frac{z^2}{R^2} + 2(1-\mu) \right) \left(1 + \frac{\delta_0}{\beta_0} (1 - e^{-\beta_0 t}) \right),$$

где F – нагрузка от движителя на грунт, Н; δ_0 и β_0 – параметры, характеризующие общую деформацию ползучести грунта, 1/с (определяются из опытов на ползучесть);

$$R = \sqrt{r^2 + z^2}.$$

Характер возникновения вертикальных перемещений (деформаций) приведен на рисунке.



Деформации грунтового основания при однократном нагружении

Если нагрузка и разгрузка периодически повторяются, то при N циклах остаточные перемещения определяются формулой

$$W_s^*(N) = \frac{q(1-\mu^2)}{\pi} J \sum_{i=1}^N \left[\frac{1}{E_{0(i)}} \left(1 + \frac{\delta_{0(i)}}{\beta_{0(i)}} (1 - e^{-\beta_{0(i)} t_i}) \right) - \frac{1}{E_i} \left(1 + \frac{\delta_i}{\beta_i} (1 - e^{-\beta_i t_i}) \right) \right],$$

где q – интенсивность сплошной нагрузки от давления движителя, МПа; J – интеграл, зависящий от геометрической формы площади, по которой распределена нагрузка, м; $E_{0(i)}$, E_i – соответственно модуль общей деформации и модуль упругости при i -м цикле, МПа; $\delta_{0(i)}$, $\beta_{0(i)}$ – параметры, характеризующие общую деформацию ползучести при i -м цикле, 1/с; δ_i , β_i – параметры, характеризующие вязкоупругую деформацию при i -м цикле, 1/с.

Заключение. В данной работе приведена методика оценки напряженно-деформированного состояния лесотранспортных путей, согласно которой в качестве решения принимается интегральное уравнение с наследственным разностным ядром. Это позволяет определять деформации в дорожных конструкциях, выполненных с применением вязкоупругих материалов. Разработанный метод позволяет также производить оценку многослойных конструкций лесотранспортных путей, для чего требуется знать величины вязкоупругих параметров используемых в конструкции материалов.

Применение результатов исследований позволит разработать рекомендации по эксплуатации лесных машин, проектированию и содержанию лесотранспортных путей с учетом их эксплуатационно-экологической совместимости с лесной средой.

Литература

1. Туроверов, К. К. К вопросу исследования напряженного и деформированного состояния упругого слоистого полупространства / К. К. Туроверов // Труды Ленинградской лесотехн. акад. – 1962. – Вып. 94. – С. 87–101.
2. Федоренчик, А. С. Аналитическое исследование колееобразования на трелевочных волоках, укрепленных отходами лесозаготовок / А. С. Федоренчик, С. С. Макаревич, П. А. Протас // Изв. вузов. Лесной журнал. – 2002. – № 1. – С. 80–89.
3. Вырко, Н. П. Обеспечение круглогодичной работы лесовозного автотранспорта на вывозке заготовленного леса: дис. ... д-ра техн. наук: 05.21.01 / Н. П. Вырко. – Минск, 1999. – 326 л.

Поступила 26.02.2013

УДК 674.093.4

Е. А. Леонов, кандидат технических наук, ассистент (БГТУ)

**ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГООБЪЕКТОВ
ТОПЛИВНОЙ ЩЕПОЙ В ТЕЧЕНИЕ ГОДА**

В статье показано, что устойчивое обеспечение энергообъектов топливной щепой в течение года возможно при создании лесоэнергетических терминалов (ЛЭТ). Обоснование вместимости ЛЭТ выполнено на основании результатов имитационного моделирования их функционирования.

The article shows that the sustainable supply of thermal power plant fuel chips for a year maybe when creating of forest energy terminals (FET). Justification capacity FET made based on the results of simulation of their operation.

Введение. Понижение энергетической зависимости Беларуси от внешних поставщиков топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) – стратегическая задача развития страны на ближайшую пятилетку. Реализация потенциала древесного топлива республики, являющегося возобновляемым источником энергии, позволит дополнительно покрыть до 12–14% энергетических потребностей страны, решить проблему утилизации образующихся в лесном комплексе отходов, создать новые рабочие места, снизить выбросы загрязняющих веществ в атмосферу [1].

Решение данной проблемы усложняется по причине неравномерности и стохастичности процессов заготовки и потребления древесного сырья, отсутствия практического опыта совместной заготовки деловой и топливной древесины и необходимости использования для этих целей одной и той же системы машин. Устойчивое обеспечение энергетических объектов древесным топливом в условиях сезонного характера его производства и потребления возможно при создании гибких лесоэнергетических терминалов (ЛЭТ) [2].

Проектирование межсезонных складов топливной древесины из-за отсутствия нормативной базы приводит к завышению или занижению запасов топлива, перебоям в поставках и удорожанию стоимости энергии [3].

Имитационное моделирование функционирования ЛЭТ проводилось на ЭВМ с целью обоснования их оптимальной вместимости на основании полученных экспериментальных данных и позволило определить вероятности отсутствия древесного сырья ($P_{отс}$) и его переполнения ($P_{пер}$) на ЛЭТ в зависимости от относительной вместимости терминала древесного топлива $W_{отн}$ [3]. Для получения результата с достоверностью 0,99 произведен расчет необходимого числа итераций. Число повторов для каждого значения составило 1200.

Исследованиями [3] установлено, что вероятности $P_{пер}$ и $P_{отс}$ для рассматриваемых пред-

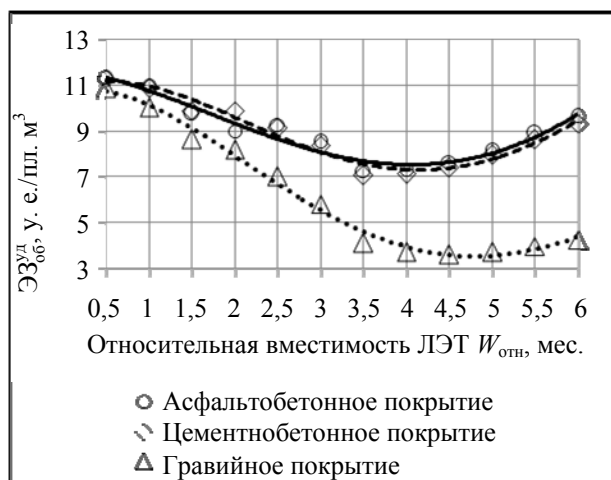
приятий резко снижаются с ростом относительной вместимости ЛЭТ ($W_{отн}$) до значений 3,5–4,5 среднемесячных объемов производства. В дальнейшем это снижение незначительно. Например, увеличение $W_{отн}$ Вилейской мини-ТЭЦ с 0,5 до 3,5 среднемесячных объемов производства приводит к снижению $P_{отс}$ с 0,41 до 0,07 (на 83%) и $P_{пер}$ с 0,41 до 0,08 (на 80%). При дальнейшем увеличении $W_{отн}$ до 6,0 среднемесячного объема производства величины $P_{отс}$ и $P_{пер}$ снижаются только до 0,01 (на 14%) и 0,02 (на 15%) соответственно.

Установлено, что для мини-ТЭЦ, расположенных на юге Беларуси, оптимальная относительная вместимость ЛЭТ древесного топлива меньше на 15–20%, чем для котельных отраслевых или региональных предприятий, расположенных на севере республики.

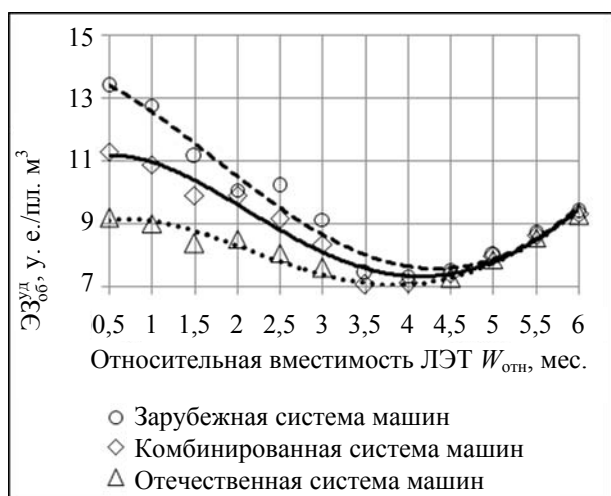
На рис. 1, как пример, применительно к Вилейской мини-ТЭЦ представлены оптимальные значения относительной вместимости ЛЭТ в зависимости от типа покрытия площадки терминала (рис. 1, а), применяемых систем машин (рис. 1, б) и величины среднемесячных потерь древесного вещества (рис. 1, в).

На практике крупные потребители древесного топлива в условиях перевода котлоагрегатов для работы на топливной щепе сталкиваются с проблемой отсутствия необходимых площадей под строительство ЛЭТ требуемой вместимости. Решением данной проблемы является организация ЛЭТ с промежуточными складами, расположенными у дорог круглогодичного действия, которые имеют надежное транспортное сообщение с терминалом потребителя. При этом часть древесного топлива хранится на промежуточных складах, а часть – на автономном складе потребителя.

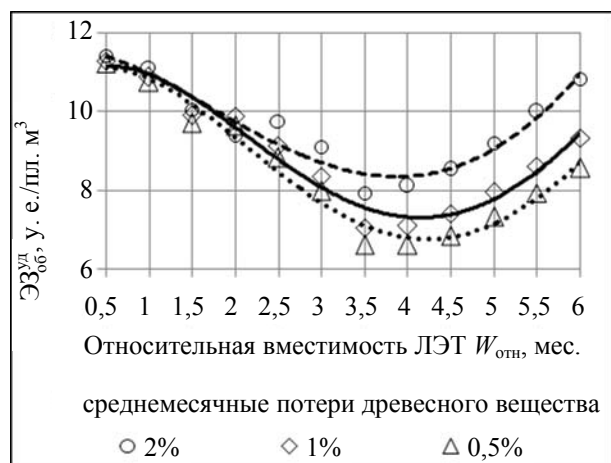
Так, применительно к Вилейской мини-ТЭЦ нами определены оптимальные значения межсезонного запаса древесного топлива при различных соотношениях (в процентах) доли размещаемого сырья на составных частях ЛЭТ (промежуточный склад/автономный склад). Результаты приведены на рис. 2.



а



б



в

Рис. 1. Значение удельных эксплуатационных затрат при организации ЛЭТ без промежуточных складов в условиях Вилейской мини-ТЭЦ:

- а – в зависимости от типа покрытия площадки терминала; б – применяемых систем машин; в – величины средних месячных потерь древесного вещества

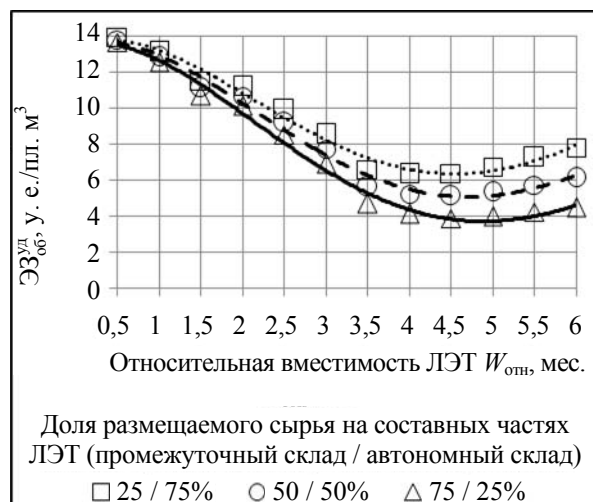


Рис. 2. Значение удельных эксплуатационных затрат при организации ЛЭТ с наличием промежуточных складов в условиях Вилейской мини-ТЭЦ

Исследованиями установлено, что устойчивая и эффективная работа ЛЭТ достигается в зависимости от производственной мощности и месторасположения при их относительной вместимости в пределах 3,5–4,5 среднемесячных объемов производства. В случае расположения основного запаса на промежуточных складах составного ЛЭТ возможно снижение удельных эксплуатационных затрат, приходящихся на плотный кубический метр топливной щепы до 2 раз.

Заключение. Разработанная методика позволяет решать задачи проектирования ЛЭТ без капитальных затрат на строительство, определять величину межсезонного запаса топливной древесины как на терминале потребителя, так и на промежуточных складах любых предприятий.

Литература

1. Государственная программа строительства энергоисточников на местных видах топлива в 2010–2015 годах: утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 19.07.2010 № 1076. – Минск, 2010. – 33 с.
2. Кулак, М. И. Прогнозирование хранения запасов топлива в условиях лесозаготовительных терминалов / М. И. Кулак, А. С. Федоренчик, Е. А. Леонов // Наука и инновации. – 2012. – № 7 (113). – С. 69–72.
3. Леонов, Е. А. Имитационное моделирование устойчивого функционирования склада древесного топлива / Е. А. Леонов, А. С. Федоренчик // Труды БГТУ. – 2012. – № 2 (149): Лесная и деревообр. пром-сть. – С. 58–61.

Поступила 21.02.2013

УДК 630*36

Е. А. Леонов, кандидат технических наук, ассистент (БГТУ)

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ОТ ПРИМЕНЕНИЯ СКЛАДОВ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА ОПТИМАЛЬНОЙ ВМЕСТИМОСТИ

В статье выполнена оценка экономического эффекта от производства и потребления древесного топлива на межсезонных складах с различной относительной вместимостью. Установлено, что при организации оптимального межсезонного запаса древесного топлива с применением промежуточных складов годовой удельный экономический эффект составит до 7,4 у. е./пл. м³.

In the article the evaluation of the economic effect of the production and consumption of wood fuel for seasonal warehouses with different relative capacity. Found that the organization of the best off-season supply of wood fuel using intermediate storage unit annual economic effect will be to 7.4 c. u./d. m³.

Введение. В Беларуси к 2015 г. планируется довести производство топливной щепы до 1,5 млн. м³ против 0,7 млн. м³ в настоящее время. В системе Минлесхоза уже создано более 40 производств, которые столкнулись с проблемой эффективной организации межсезонных запасов биомассы. Их проектирование из-за отсутствия нормативной базы приводит к завышению или занижению запасов топлива, перебоям в поставках и удорожанию стоимости энергии.

С целью решения данных проблем на основании результатов теоретических и экспериментальных исследований разработана математическая модель функционирования межсезонных складов древесного топлива. Она позволяет достоверно определять оптимальную величину межсезонного запаса топливной древесины как на складе потребителя, так и на промежуточных складах предприятий с учетом неравномерности поставок и потребления сырья в течение года, влажности и потерь древесного вещества при длительном открытом кучевом хранении, типа покрытия площадки склада и применяемой системы машин. С использованием данной методики представляется возможным решение задач проектирования межсезонных складов древесного топлива без капитальных затрат на строительство, определения загрузки склада и применяемых машин в течение года [1].

Годовой экономический эффект от применения складов оптимальной вместимости при организации межсезонных запасов древесного топлива. Для оценки экономической эффективности от применения оптимальных размеров межсезонных запасов древесного топлива приняты удельные эксплуатационные затраты, определяемые на основе методики и выражений, изложенных в литературе [1, 2].

Годовой удельный экономический эффект ($\mathcal{E}_{уд}$) от применения оптимального запаса складами древесного топлива определим по выражению [3]:

$$\mathcal{E}_{уд} = \mathcal{E}_{об1}^{уд} - \mathcal{E}_{об2}^{уд}, \quad (1)$$

где $\mathcal{E}_{об1}^{уд}$ и $\mathcal{E}_{об2}^{уд}$ – соответственно годовые удельные эксплуатационные затраты базового и проектируемого вариантов межсезонного запаса древесного топлива, у. е./пл. м³.

В качестве базового варианта нами принят вариант организации межсезонного запаса древесного топлива на складе ГОЛХУ «Вилейский опытный лесхоз», обеспечивающий сырьем Вилейскую мини-ТЭЦ, которая ежегодно потребляет топливную щепу в объеме 60,0 тыс. пл. м³. Величина межсезонного запаса принята равной 0,5 среднемесячного объема производства, с отсутствием промежуточных складов. Значения удельных эксплуатационных затрат по базовому варианту определялись выражением [3] на основе фактических технико-экономических показателей, взятых на предприятии.

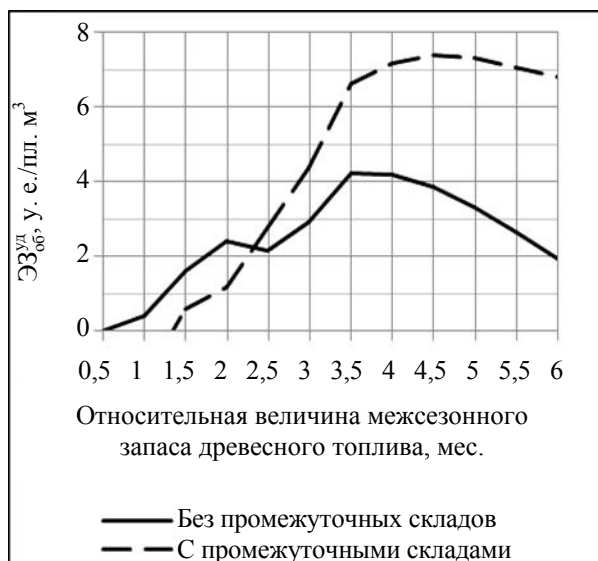
Значения удельных эксплуатационных затрат по проектируемому варианту принимались по данным этого же предприятия и определялись с учетом возможных вариантов работы межсезонных складов древесного топлива для условий Республики Беларусь, для чего:

- относительная вместимость межсезонного склада изменялась в пределах от 0,5 до 6,0 среднемесячных объемов производства;

- рассматривались варианты организации запаса сырья без промежуточных складов и с ними.

На рисунке приведены результаты расчета на ЭВМ годового удельного экономического эффекта проектируемых вариантов межсезонных складов древесного топлива с различной относительной вместимостью в сравнении со складом базового варианта.

Отмечается устойчивая тенденция роста годового удельного экономического эффекта при изменении относительной вместимости склада $W_{отн}$ от минимальных значений до оптимальных при организации размещения запаса древесного топлива без промежуточных складов и с ними.



Годовой удельный экономический эффект от применения складов древесного топлива различной относительной вместимости в сравнении со складом базовой вместимости

Так, увеличение $W_{отн}$ с 0,5 до 3,5 среднемесячных объемов производства (при работе без промежуточных складов) приводит к росту $\mathcal{E}_{уд}$ до 4,2 у. е./пл. м³; увеличение $W_{отн}$ с 0,5 до 4,5 среднемесячных объемов производства (при работе с промежуточными складами) приводит к росту $\mathcal{E}_{уд}$ до 7,4 у. е./пл. м³.

Превышение оптимальных значений $W_{отн}$ ведет к снижению $\mathcal{E}_{уд}$ в обоих случаях, но при организации работ без промежуточных складов носит более выраженный характер. Так, увеличение $W_{отн}$ с 3,5 до 6,0 среднемесячных объемов производства (при работе без промежуточных складов) приводит к снижению $\mathcal{E}_{уд}$ на 54%; увеличение $W_{отн}$ с 4,5 до 6,0 среднемесячных объемов производства (при работе с промежуточными складами) приводит к снижению $\mathcal{E}_{уд}$ на 8%.

При организации межсезонных запасов следует отдавать предпочтение (по объемам размещаемых запасов) промежуточным складам. Их использование экономически более целесообразно в сравнении с основными складами потребителей и позволяет размещать большие удельные запасы топливной древесины, тем самым повысить устойчивость и гарантированность поставки сырья потребителям (мини-ТЭЦ или котельным).

Выводы. 1. Оценка устойчивого обеспечения энергетических объектов древесным топливом выполнена с учетом применения межсезонных складов (с наличием или отсутствием промежуточных складов) для наиболее типичных условий Республики Беларусь, используемых систем машин, вида покрытия пло-

щадки склада, особенностей хранения древесного топлива.

2. Экономические расчеты, выполненные для перспективных в условиях Беларуси систем топливообеспечения энергетических объектов, показали устойчивую тенденцию снижения удельных эксплуатационных затрат по производству и потреблению топливной щепы при увеличении относительной вместимости межсезонного склада до оптимальной величины. Установлено, что при организации межсезонного запаса древесного топлива без промежуточных складов обеспечивается удельный экономический эффект ($\mathcal{E}_{уд}$) до 4,2 у. е./пл. м³. При организации работы с промежуточными складами рост $\mathcal{E}_{уд}$ достигает до 7,4 у. е./пл. м³.

3. Дальнейшее увеличение относительной величины межсезонного запаса древесного топлива ($W_{отн}$) приводит к удорожанию процесса устойчивого обеспечения сырьем энергетических объектов. Установлено, что увеличение $W_{отн}$ от оптимальных значений до 6,0 среднемесячных объемов производства приводит к снижению $\mathcal{E}_{уд}$ на 54% при работе без промежуточных складов и на 8% при работе с промежуточными складами.

4. С учетом выполненных теоретических и экспериментальных исследований, а также методики экономической оценки устойчивого обеспечения энергетических объектов древесным сырьем ожидаемый экономический эффект при годовом объеме производства и потребления древесного топлива 10–60 тыс. пл. м³ составит:

- при работе без промежуточных складов до 42–252 тыс. у. е.;
- при работе с промежуточными складами до 74–444 тыс. у. е.

Литература

1. Леонов, Е. А. Модель склада древесного топлива / Е. А. Леонов // Труды БГТУ. – 2011. № 2: Лесная и деревообр. пром-сть. – С. 135–139.
2. Леонов, Е. А. Оптимизация вместимости склада межсезонного хранения древесного топлива / Е. А. Леонов, А. С. Федоренчик // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды III Междунар. Евраз. симпози. / под науч. ред. В. Г. Новосёлова. – Екатеринбург, 2008. – С. 62–66.
3. Золотоголов, В. Г. Экономическое обоснование эффективности капитальных вложений и новой техники в лесной промышленности: учеб. пособие для вузов / В. Г. Золотоголов. – Минск: Выш. школа, 1980. – 159 с.

Поступила 21.03.2013

УДК 630*36:630

С. Е. Арико, ассистент (БГТУ); С. П. Мохов, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой (БГТУ); В. А. Симанович, кандидат технических наук, доцент (БГТУ); Д. А. Федоров, студент (БГТУ)

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ХАРВЕСТЕРНОЙ ГОЛОВКИ

Разработаны расчетные схемы для определения параметров харвестерных головок при создании предварительного натяга дерева и его протаскивании через сучкорезные ножи в процессе обрезки сучьев. Приведенная методика позволяет определять усилия прижатия подающих вальцов, усилие, необходимое для протаскивания дерева при обрезке сучьев, мощность, затрачиваемую на выполнение соответствующих операций.

Settlement schemes were developed to determine the parameters for harvester heads creating preliminary tightness tree and its dragging of a delimiting knives process of limbing. Presented method allows to determine the contact pressure is feed rollers, the effort required to drag the trees by pruning boughs power spent to perform relevant operations.

Введение. Опыт эксплуатации валочно-сучкорезно-раскряжевочных машин в Республике Беларусь показал, что их параметры не всегда соответствуют условиям эксплуатации. Высокий уровень выполнения технологических операций может быть достигнут за счет правильного выбора параметров технологического оборудования и базового шасси. При этом особое внимание следует уделить определению усилий, возникающих при взаимодействии харвестерной головки с деревом, и требуемой мощности привода ее отдельных элементов.

1. Основная часть. Первой операцией технологического цикла обработки дерева является валка. При ее выполнении необходимо создать усилие предварительного натяга дерева, в 1,2–1,4 раза превышающее вес обрабатываемого дерева, что позволит исключить зажим пильного механизма, уменьшить затрачиваемую на пиление мощность и образование сколов комлевой части дерева. Этот процесс (рис. 1) сопровождается возникновением нормальных сил на передних $F_{1п}$, $F_{2п}$ (Н), задних $F_{1з}$, $F_{2з}$ (Н) подвижных и неподвижном $F_{3п}$ (Н) сучкорезных ножах.

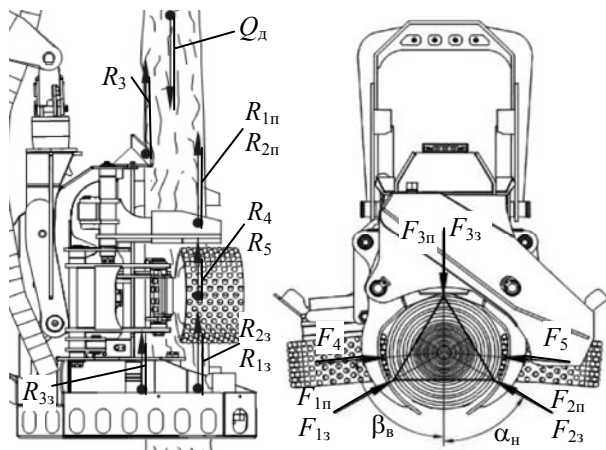


Рис. 1. Расчетная схема создания предварительно натяга дерева

На подающие вальцы и опорный ролик действуют соответственно силы F_4 , F_5 и $F_{3з}$ (Н), что позволяет сделать следующее допущения:

$$F_{1п} = F_{2п} = F_{1з} = F_{2з} = F_{пн}; \quad F_4 = F_5 = F_{пв}, \quad (1)$$

где $F_{пн}$ и $F_{пв}$ – усилия прижатия подвижных сучкорезных ножей и приводных вальцов, Н.

Симметричное действие сил $F_{1п}$ и $F_{2п}$, $F_{1з}$ и $F_{2з}$, F_4 и F_5 относительно продольной оси харвестерной головки, а также расположение подающих вальцов посередине расстояния между неподвижным сучкорезным ножом и опорным роликом позволяет сделать допущение о равенстве нормальных реакций $F_{3п}$ и $F_{3з}$.

Выразив возникающие силы трения $R_{1п}$, $R_{1з}$, $R_{2п}$, $R_{2з}$, $R_{3п}$, $R_{3з}$, R_4 , R_5 (Н) через соответствующие нормальные силы, учитывая возможность установки приводных ножей и подающих роликов в количестве n_1 и n_2 , а также то, что точки взаимодействия пары подвижных и одного неподвижного сучкорезных ножей с лесоматериалом образуют равносторонний треугольник ($\alpha_n = 60^\circ$) и угол обхвата ствола вальцами β_b составляет 60° , запишем условие обеспечения надежного удержания дерева в виде

$$F_{пв} \geq \frac{Q_d \cdot K_3 - F_{пн} \cdot n_1 \cdot (1,25 \cdot \mu_1 + 0,25 \cdot \mu_2)}{n_2 \cdot (0,25 \cdot \mu_1 + 0,25 \cdot \mu_2 + \mu_3)}, \quad (2)$$

где Q_d – вес дерева, Н; K_3 – коэффициент запаса натяга дерева; μ_2 , μ_1 , μ_3 – коэффициенты, учитывающие трения в опорном ролике, а также сучкорезных ножей и приводных вальцов по коре.

Усилия прижатия подающих вальцов $F_{пв}$ определяется из рассмотрения процесса обрезки сучьев при протаскивании дерева через сучкорезные ножи. Разработанная расчетная схема (рис. 2) процесса обрезки сучьев кроме рассмотренных сил сопротивления учитывает действие сил сопротивления срезанию сучьев $F_{ср}$ (Н), инерции Φ (Н), трения кроны по земле $F_{кр}$ (Н).

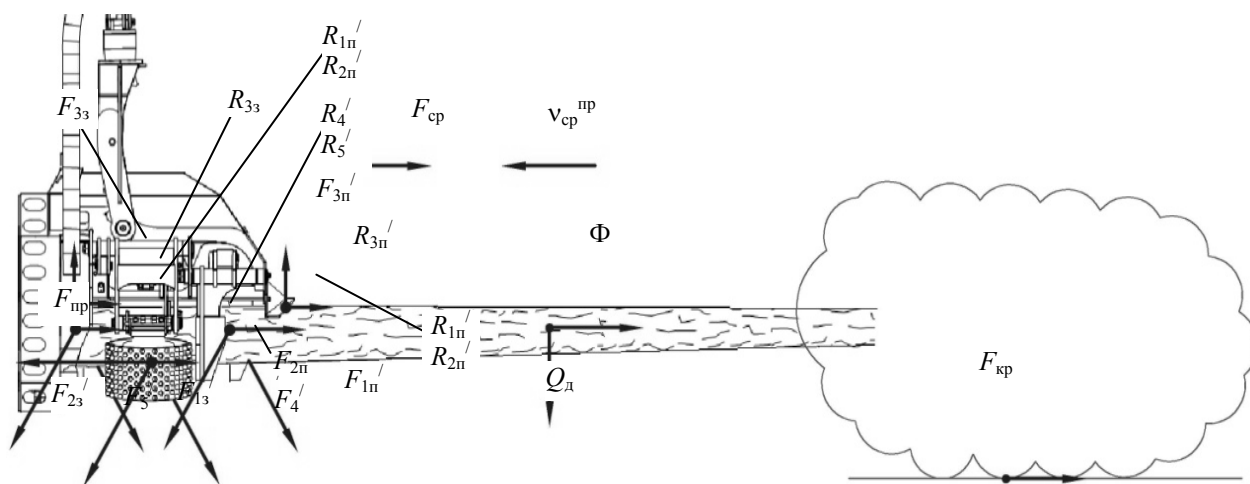


Рис. 2. Расчетная схема протаскивания дерева через сучкорезные ножи при обрезке сучьев

При этом усилии $F_{пр}$ (Н), необходимое для протаскивания дерева в процессе очистки ствола от сучьев, определяется по зависимости (3), в которой теоретически установленная сила срезания сучьев $F_{ср}$ уменьшена в два раза, что связано с кратковременным действием максимального усилия.

$$F_{пр} = n_1 \cdot (F_{пн} + \frac{Q_d \cdot k}{n_1 + n_2}) \cdot \mu_1 + (0,25 \cdot (F_{пн} \cdot n_1 + F_{пв} \cdot n_2) - \frac{Q_d \cdot k}{2}) \cdot (\mu_1 + \mu_4) + n_2 \cdot (F_{пв} + \frac{Q_d \cdot k}{n_1 + n_2}) \cdot \mu_5 + Q_d \cdot (1 - k) \cdot f_{кр} + Q_d \cdot \frac{a}{g} + 1575 \cdot 10^3 \cdot a_{п} \cdot a_{\delta} \cdot n_c \cdot d_c^2, \quad (3)$$

где k – доля силы тяжести дерева приходящаяся на захват; $\mu_4, \mu_5, f_{кр}$ – коэффициенты сопротивления движению ствола по опорному ролику и приводным вальцам, перемещению вершинной части дерева по поверхности лесосеки; a, g – ускорение дерева при протаскивании и ускорение свободного падения, m/c^2 ; $a_{п}, a_{\delta}$ – поправочные коэффициенты на породу и угол резания; n_c – количество одновременно срезаемых сучьев, шт.; d_c – диаметр сучьев, м.

Для его решения рассмотрим условия реализации протаскивающего усилия по сцеплению, которое определяется при приводном опорном ролике по зависимости (4), а неприводном – (5). Совместное решение уравнений (3) и (4) или (3) и (5) позволяет определить усилия $F_{пв}$ и $F_{пр}$, а также осуществить проверку выполнения условия обеспечения надежного удержания дерева (2).

$$F_{пр} = [n_2 \cdot (F_{пв} + \frac{Q_d \cdot k}{n_1 + n_2}) + (0,25 \cdot (F_{пн} \cdot n_1 + F_{пв} \cdot n_2) - \frac{Q_d \cdot k}{2})] \cdot \phi; \quad (4)$$

$$F_{пр} = n_2 \cdot (F_{пв} + \frac{Q_d \cdot k}{n_1 + n_2}) \cdot \phi, \quad (5)$$

где ϕ – коэффициент сцепления подающего механизма с деревом.

Перечисленные силовые параметры используются для определения мощности $N_{зр}$ (Вт), затрачиваемой на привод зажимных рычагов и подающих вальцов, а также мощности $N_{пр}$ (Вт), затрачиваемой на протаскивание дерева с одновременной обрезкой сучьев, которые определяются следующим образом:

$$N_{зр} = \frac{(n_1 \cdot F_{пн} + n_2 \cdot F_{пв}) \cdot v_3}{\eta_1}; N_{пр} = \frac{F_{пр} \cdot v_{ср}^{пр}}{\eta_2}, \quad (6)$$

где η_1, η_2 – коэффициент полезного действия передачи от двигателя к приводу захвата и подающего механизма.

Заключение. Процесс валки и последующей обработки дерева состоит из отдельных операций и приемов работы, взаимовлияние которых необходимо рассматривать в комплексе факторов, присущих для технологического процесса. К ним относятся параметры обрабатываемого древостоя, конструктивные особенности и технические характеристики базового шасси и технологического оборудования, выполняемые операции и возможность их совмещения. Разработанные расчетные схемы и математические описания работы харвестерной головки при захвате и протаскивании дерева через сучкорезные ножи позволяют выбирать параметры и режимы работы оборудования для различных условий эксплуатации.

Поступила 21.02.2013

УДК 630.36.001.63

А. М. Лось, ассистент (БГТУ);

А. В. Блохин, кандидат технических наук, ассистент (БГТУ)

РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОНИКОВЫХ УСТРОЙСТВ ПРОЕКТИРУЕМОГО СОРТИМЕНТОВОЗА

Статья посвящена расчету параметров сечений стоек и поперечины коников проектируемого сортиментовоза. Рассмотрена компьютерная модель поперечины и методом конечных элементов выполнена оценка ее напряженно-деформированного состояния в процессе падения пачки погружаемых сортиментов. Представленные результаты показывают, что принятые параметры коников имеют достаточный запас прочности.

The calculation parameters of accumulator's cheeks and bolster sections to project a timber truck are concerned in this article. The analysis of deflected mode for the computer-simulated accumulator's bolster was made by finite element method. Presented results achieves that accumulator's customary operation factors has sufficient margin of safety.

Введение. Грузы, перевозимые лесовозными автопоездами, имеют специфический характер, что приводит к необходимости создания специального технологического оборудования. Таким оборудованием являются коники со стойками – специальные опоры, предназначенные для закрепления сортиментов при их транспортировке. Коник представляет собой несущую балку, по концам которой закрепляются вертикальные стойки, предназначенные для удержания груза от раскатывания по сторонам. Для обеспечения надежной и безопасной работы выполняются расчеты основных параметров кониковых устройств с последующими проверочными прочностными расчетами.

Основная часть. В общем случае на стойки коника действуют следующие нагрузки: от погруженных сортиментов – Q ; от центробежной силы – $Q_{ц}$; ветровая – $Q_{в}$ (рис. 1).

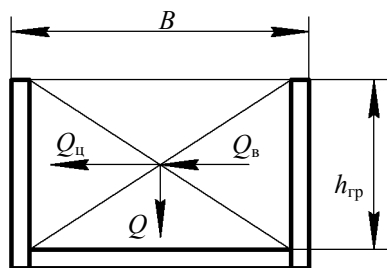


Рис. 1. Расчетная схема для определения нагрузок на коники

Распределенную нагрузку на стойку коника от веса сортиментов определим по формуле

$$q_c = \rho g l_k h_{гр} \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right), \quad (1)$$

где ρ – плотность древесины, кг/м^3 ; g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; l_k – длина части пакета сортиментов, приходящаяся на коник, м; $h_{гр}$ – высота грузового отсека, м; φ – угол естественного откоса.

Центробежная сила, возникающая при повороте сортиментовоза, определяется по формуле

$$Q_{ц} = \frac{mV^2}{R}, \quad (2)$$

где m – масса части пакета сортиментов, создающая распорное усилие; V – скорость на повороте; R – радиус кривой поворота.

Ветровая нагрузка находится с учетом удельного давления ветра, равного 500 Па [1], на боковую проекцию части пакета, приходящегося на одну стойку:

$$Q_{в} = 500 h_{гр} l_k. \quad (3)$$

Поперечное сечение грузового отсека представляет собой прямоугольник, поэтому место расположения центра тяжести площади сечения (точка приложения сил $Q_{ц}$ и $Q_{в}$) находится на пересечении диагоналей. На рис. 2 приведена эпюра нагрузок, приходящихся на кониковое устройство.

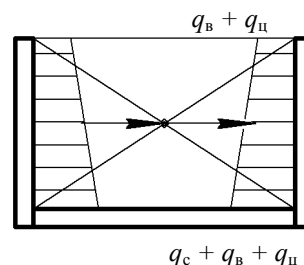


Рис. 2. Эпюры нагрузок

Точка приложения сил $Q_{ц}$ и $Q_{в}$ совпадает с центром тяжести сечения пачки, и поэтому центробежную и ветровую нагрузки можно рассматривать как равномерно распределенные по высоте стойки:

$$q_{ц} = \frac{Q_{ц}}{h_{гр}}; \quad q_{в} = \frac{Q_{в}}{h_{гр}}. \quad (4)$$

Таким образом, построив эпюру суммарных распределенных нагрузок (рис. 3), можно определить сосредоточенные силы, эквивалентные площадям этих эпюр. Точки приложения этих сил будут находиться в центрах площадей двух эпюр нагрузок: треугольника ($S_{тр}$) и прямоугольника ($S_{пр}$).

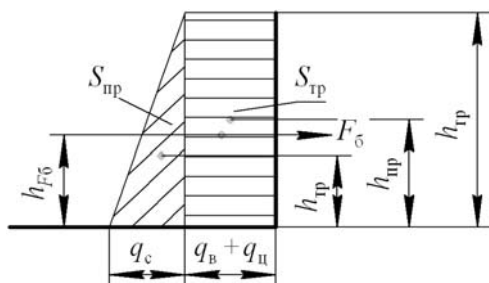


Рис. 3. Суммарные распределенные нагрузки и сосредоточенные силы

В соответствии с расчетной схемой боковая сила равна

$$F_6 = \left[(q_{ц} + q_v) + (q_c + q_{ц} + q_v) \right] \frac{h_{тр}}{2}. \quad (5)$$

Точка приложения боковой силы

$$h_{F6} = \frac{S_{тр} h_{тр} + S_{пр} h_{пр}}{S_{тр} + S_{пр}}, \quad (6)$$

где $h_{тр}$ и $h_{пр}$ – координаты центра масс эпюр.

Для дальнейших расчетов стойка рассматривается как вертикальная балка с защемленным нижним концом.

Реактивный момент заделки M_3 определяется по формуле

$$M_3 = F_6 h_{F6}. \quad (7)$$

В зависимости от выбранных формы и размеров поперечного сечения элементов коника определяется момент сопротивления W . Условие прочности выглядит следующим образом

$$\sigma_F = \frac{M_3}{W} \leq [\sigma]_F, \quad (8)$$

где σ_F – фактическое напряжение изгиба; W – момент сопротивления изгибу; $[\sigma]_F$ – допускаемое напряжение изгиба.

В результате проведенного комплекса расчетов коников устройств проектируемого сортиментовоза получены следующие нагрузочные параметры: распределенная нагрузка от пакета погруженных сортиментов длиной 6,5 м составляет 6266,2 Н/м; распределенная нагрузка от

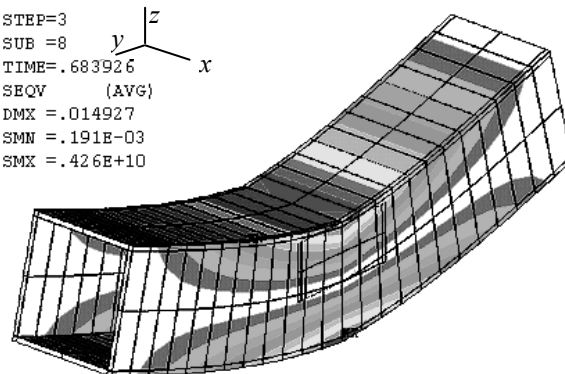
центробежной силы равна $q_{ц} = 1253,25$ Н/м; распределенная ветровая нагрузка – $q_v = 2000$ Н/м. Расчетная боковая сила равна 7663,6 Н.

Прочностные расчеты коников устройств показывают, что наиболее приемлемой формой сечения является коробчатый профиль с размерами сечения 100×100 мм, толщиной стенки $\delta = 5$ мм. В этом случае значения напряжений достигают величины $67,2$ Н/мм². Для материала сталь 09Г2 $[\sigma]_F = 200$ Н/мм², т. е. условие прочности (8) выполняется.

На рис. 4 приведена конечно-элементная модель поперечины, выполненной из профиля с размерами сечения 120×120 мм, толщиной стенки $\delta = 6$ мм. При исследованиях напряженно-деформированного состояния моделировалось падение на поперечину пачки сортиментов объемом 2 м³. Максимальные напряжения здесь составляют $42,6$ Н/мм², что также свидетельствует о достаточном запасе прочности.

MODAL SOLUTION

```
STEP=3
SUB =8
TIME=.683926
SEQV (AVG)
DMX =.014927
SMN =.191E-03
SMX =.426E+10
```



.189E+10 .284E+10 .378E+10
.142E+10 .236E+10 .331E+10

Рис. 4. Напряженно-деформированное состояние поперечины коника при падении на нее пачки сортиментов

Заключение. Результаты проведенных исследований показывают, что выбранные параметры сечений стоек и поперечины коников имеют достаточный запас прочности, что обеспечивает их надежность и долговечность эксплуатации.

Литература

1. Жуков, А. В. Теория лесных машин: учеб. пособие для студентов вузов / А. В. Жуков. – Минск: БГТУ, 2001. – 640 с.

Поступила 21.02.2013

УДК 630*31(043.3)

Р. О. Короленя, ассистент (БГТУ)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ПЕРЕВОЗОК ДРЕВЕСИНЫ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ ЛЕСОВОЗНОГО АВТОТРАНСПОРТА НА КОМБИНИРОВАННЫХ МАРШРУТАХ

Известно, что процесс перевозок заготовленной древесины является одним из важнейших и дорогостоящих этапов лесозаготовительного производства. В современных условиях, когда происходит рост объемов заготовки и потребления древесины при незначительных изменениях количества автотранспорта для перевозок и малых объемах строительства лесных дорог, особую важность принимает правильность выбора оптимальной стратегии управления перевозками. В статье представлены результаты моделирования процесса перевозок древесины потребителям при различных вариантах формирования комбинированного маршрута работы автопоезда, которые наглядно демонстрируют, на сколько увеличиваются транспортные затраты лесохозяйственного учреждения при принятии неверного управленческого решения о назначении рейсов.

It is known that process of transportations of the prepared wood is one of the major and expensive stages of wood manufacture. In modern conditions when there is a growth of volumes of preparation and wood consumption at minor alterations of quantity of motor transport for transportations and small volumes of building of wood roads, special importance is accepted by correctness of a choice of optimum strategy of management of transportations. In article results of modeling of process of transportations of wood are presented consumers at various variants of formation of the combined route of work of the lorry convoy which visually show, on transport expenses of wood establishment how many increase at acceptance of the incorrect administrative decision on appointment of flights.

Введение. Анализ итогов работы учреждений Минлесхоза показывает, что ежегодно происходит рост показателей по заготовке древесины, ее переработке и реализации как на внутреннем рынке, так и на экспорт [1]. Таким образом, учреждения министерства работают в достаточно сложных условиях: с одной стороны, наблюдается ежегодный рост объемов заготовки и потребления древесины, с другой стороны, густота сети лесных дорог не является оптимальной, при этом общее количество лесовозной техники в целом увеличивается незначительно. Очевидно, что в сложившейся ситуации важнейшим резервом повышения эффективности лесозаготовительного производства в целом является оптимальная организация транспортной фазы.

Основная часть. Заготовка различных видов сортиментов непосредственно на лесосеке позволяет осуществлять доставку круглых лесоматериалов непосредственно конечному потребителю («во двор потребителя»). Причем при доставке древесины потребителям используются различные варианты организации работы лесовозной техники на маршрутах. В связи с неравномерностью во времени заготовки и потребления древесины наиболее часто используются «комбинированные» маршруты. Организация эффективной работы лесовозного автотранспорта на таких маршрутах представляет собой достаточно сложную задачу, от оптимальности решения которой зависят транспортные издержки. Как показывает практика,

при обосновании процесса перевозок на предприятиях не всегда используют методы оптимизации решения задач такого класса, что может привести к неоправданным экономическим издержкам предприятия и упущенной выгоде.

Для оценки «последствий» от неверно принятого управленческого решения при организации работы лесовозного автотранспорта на комбинированных маршрутах проведены теоретические исследования, целью которых являлось определение показателей эффективности работы автотранспорта на вывозке древесины потребителям при различных подходах в организации перевозок. В рамках исследования проводилось моделирование производственной ситуации. Постановка задачи следующая. Имеется пять мест заготовки древесины (или промежуточных складов), на которых сосредоточены объемы древесины: $V_1 = 25 \text{ м}^3$; $V_2 = 175 \text{ м}^3$; $V_3 = 50 \text{ м}^3$; $V_4 = 200 \text{ м}^3$; $V_5 = 175 \text{ м}^3$ (рисунок). Имеется также 5 потребителей с потребностями в заготовленной древесине: $P_1 = 175 \text{ м}^3$; $P_2 = 100 \text{ м}^3$; $P_3 = 125 \text{ м}^3$; $P_4 = 150 \text{ м}^3$; $P_5 = 75 \text{ м}^3$.

Необходимо осуществить перевозку заготовленной древесины потребителям автотранспортом таким образом, чтобы все заявленные потребности были удовлетворены и суммарные транспортные затраты были минимальны. При этом кратчайшие расстояния между пунктом выпуска автопоезда на линию, местами заготовки и потребителями считались известными.

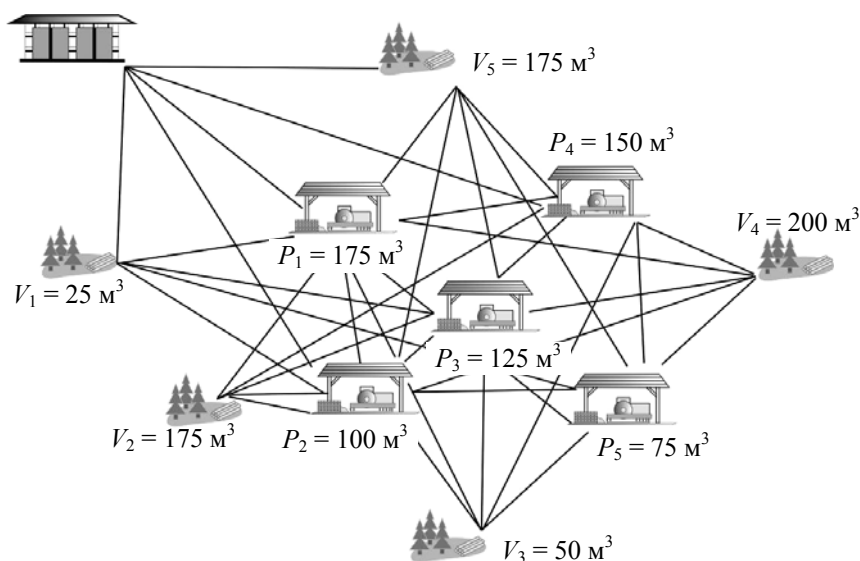


Схема расположения мест заготовки и потребителей древесины

Удельная себестоимость пробега автопоездом одного километра принималась равной: с грузом – 685 руб/км·м³; без груза – 500 руб/км. Для упрощения проводимых расчетов вводились следующие допущения, не влияющие на достижения поставленной цели исследований:

– процесс перевозок осуществляется непрерывно;

– для перевозок используется одна единица подвижного состава – автопоезд МАЗ 630308 + МАЗ 83781020 с полезной нагрузкой 25 м³; ограничения по срокам поставок отсутствуют. Моделирование процесса перевозок осуществлялось при определении очередности выполнения рейсов по следующим критериям: 1) последовательно, начиная с дальних пунктов погрузки и разгрузки, т. е. первый нулевой пробег выполнялся к самому удаленному месту заготовки, первый рейс – наиболее удаленному от места погрузки потребителю и т. д.; 2) последовательно, начиная с первого по номеру места заготовки и первому по номеру потребителю, после удовлетворения потребностей которого осуществлялся переезд ко второму месту заготовки и второму потребителю и т. д.; 3) последовательно, начиная с ближайших мест погрузки и разгрузки, т. е. первый нулевой пробег осуществлялся к ближайшему месту заготовки, первый рейс выполнялся ближайшему потребителю и т. д.; 4) последовательно, по результатам решения транспортной задачи (критерий – минимум затрат на перевозку грузов) [2]; 5) последовательно, по результатам решения транспортной задачи и задачи маршрутизации (критерий – минимум холостых пробегов) [3].

Таким образом, были получены комбинированные маршруты, оценка эффективности работы автопоезда на которых проводилась по следующим показателям: суммарные транспортные затраты S (с учетом нулевых и холостых пробегов), удельные транспортные затраты q на 1 м³ пере-

зеной древесины, среднее значение коэффициента использования пробега β и суммарный пробег (с учетом холостых и нулевых пробегов) L .

Основные результаты расчетов представлены в таблице.

Результаты расчетов

Номер критерия	S , тыс. руб.	q , тыс. руб.	β	L , км
1	12700,5	20,3	0,45	1497,5
2	8577,7	13,7	0,43	1069,1
3	6366,0	10,2	0,45	745,3
4	6163,6	9,9	0,45	739,5
5	6157,3	9,8	0,46	726,9

Заключение. Результаты моделирования наглядно демонстрируют динамику изменения транспортных затрат при различных вариантах формирования комбинированных маршрутов работы автопоездов. Из полученных результатов следует, что при организации процесса перевозок древесины необходимо применять методы оптимизации (критерии: минимум транспортных затрат и минимум холостых пробегов), т. к. формирование маршрутов работы автопоездов по другим критериям приводит к увеличению транспортных затрат до 206%.

Литература

1. Новицкая, Р. Итоги года / Р. Новицкая // Белорусская лесная газета. – 2013. – № 5. – С. 2.
2. Алябьев, В. И. Оптимизация производственных процессов на лесозаготовках / В. И. Алябьев. – М.: Лесная пром-сть, 1977. – 232 с.
3. Ванчукевич, В. Ф. Грузовые автомобильные перевозки: учеб. пособие / В. Ф. Ванчукевич, В. Н. Седюкевич, В. С. Холупов. – Минск: Выш. шк., 1989. – 272 с.

Поступила 21.02.2013

УДК 630*36.001.6

С. А. Голякевич, аспирант (БГТУ)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАГРУЖЕННОСТИ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ МНОГООПЕРАЦИОННЫХ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Публикация посвящена исследованию динамики работы многооперационных лесозаготовительных машин на различных операциях технологического цикла. Разработана пространственная математическая модель для оценки нагруженности многооперационных машин. Особое внимание уделено моделированию работы харвестеров на операции обрезки сучьев и форвардеров в процессе выполнения погрузочно-разгрузочных операций. С помощью теста нормированных спектральных плотностей выполнена оценка адекватности модели.

The work is devoted research of dynamics work multioperational forest machines on various operations of work cycle. The spatial mathematical model is developed for an estimation forces multioperational machines. The special attention is given modeling harvesters in operation scraps of boughs and forwarders at performance of cargo handling operations. By means of the test normalize spectral density the estimation of adequacy model is executed.

Введение. Многочисленные исследования отечественных и зарубежных ученых показывают, что наиболее прогрессивным методом определения нагруженности конструкций машин является математическое моделирование динамики их работы [1–3]. Важными достоинствами такого подхода являются возможности многократного сокращения объема сложных и трудоемких экспериментальных исследований и простого варьирования компоновочных параметров машин. Полученные в результате моделирования данные о действующих нагрузках используются при их непосредственном анализе или являются исходными данными для проведения анализа напряженно-деформированного состояния конструкций. Учет наличия двигателя, как заданного источника мощности и параметров привода рабочих органов, обеспечивает возможность комплексной оценки взаимовлияния показателей динамической нагруженности машины и ее энергетических параметров.

Основная часть. Проведенным анализом конструкций многооперационных лесозаготовительных машин установлены особенности, не позволяющие использовать известные математические модели для оценки их динамической нагруженности. Это наличие в технологическом цикле операций работы манипулятора, блокирование шарнира сочленения полурам при их выполнении, продолжительная работа машин на переходных режимах, возможность использования нескольких способов выполнения одной технологической операции, оснащенность подвесных устройств рабочих органов гасителями колебаний, соединение движителя с несущей конструкцией без использования упругодемпфирующих устройств, использование в конструкциях манипуляторов наклонных платформ.

Кроме того, современные многооперационные лесозаготовительные машины, с целью удешевления их производства, создаются на базе высокоунифицированных несущих конструкций. Оценка нагруженности таких конструкций должна проводиться для всех возможных режимов нагружения. Поэтому разрабатываемая математическая модель работы должна обеспечивать возможность анализа нагруженности многооперационных лесозаготовительных машин различного назначения.

Для оценки динамической нагруженности несущих конструкций многооперационных лесозаготовительных машин разработана комплексная пространственная математическая модель (рис. 1). При разработке модели приняты следующие допущения: величины радиальной жесткости колес описываются соответствующими функциональными зависимостями от действующей нагрузки; жесткости гидравлических систем наклона опорной платформы манипулятора и жесткость телескопического звена постоянны, демпфирующие свойства элементов системы пропорциональны первой производной по деформации, связи элементов модели голономны, стрела и рукоять манипулятора представляют собой единое целое, а положение центра тяжести манипулятора и значения его моментов инерции определяются относительным положением звеньев.

Постоянные величины жесткостей шин в продольном и поперечном направлении приняты на основании исследований [4]. Крутильная жесткость полурам в поперечной и изгибная жесткость рамы в продольной плоскости значительно больше жесткости механизма блокировки горизонтального шарнира, что подтверждают исследования [5].

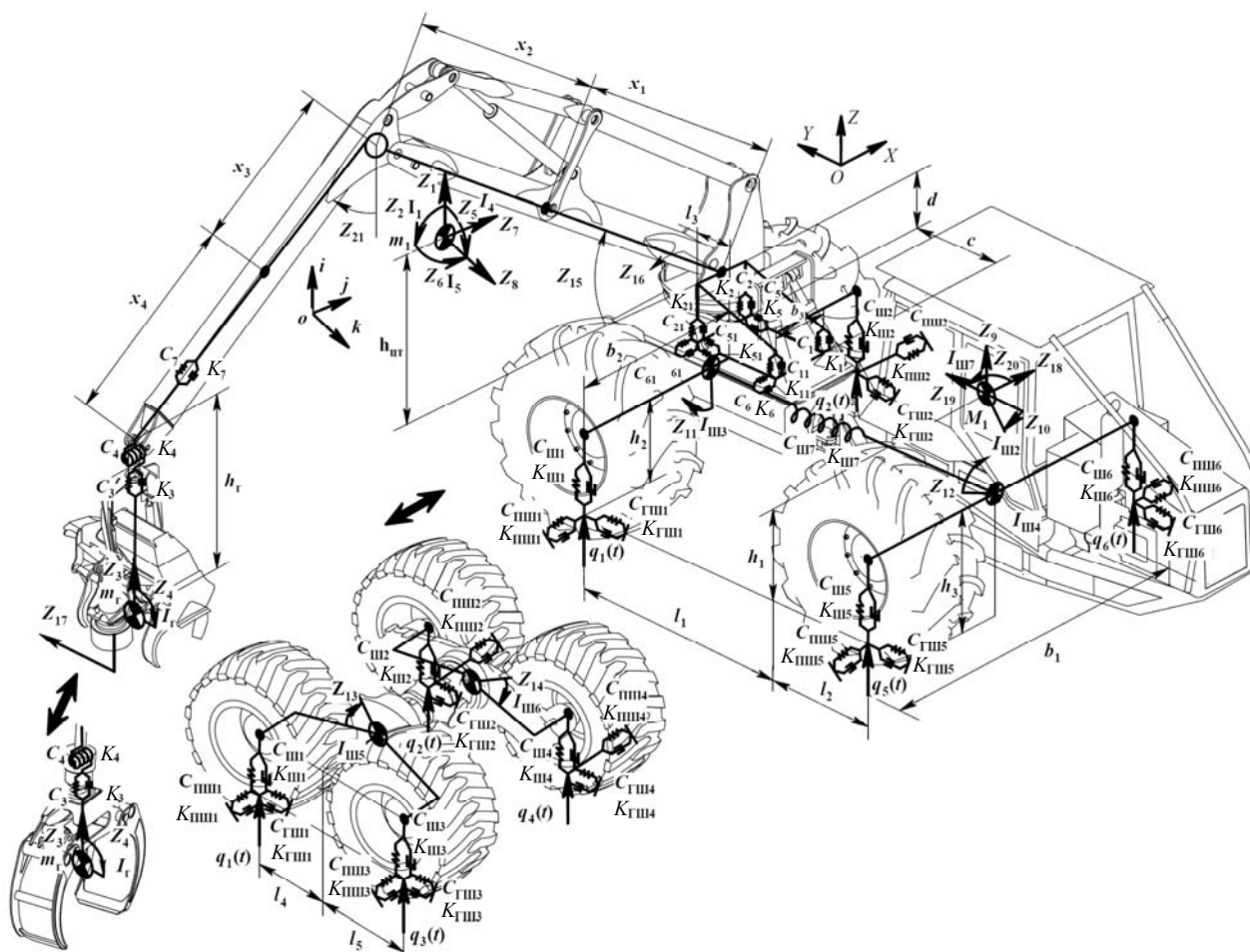


Рис. 1. Пространственная схема динамической модели многооперационной лесозаготовительной машины

Поэтому в математической модели распределенная масса рамы заменена сосредоточенной, а каждая из полурам обладает выделенным моментом инерции относительно продольной оси. Ввиду наличия в конструкции заднего модуля многооперационной машины 6К6 балансирных опор в модель введены обобщенные координаты их поворота.

Движение элементов шасси многооперационной машины 4К4 в пространстве описывается 7 обобщенными координатами: Z_9, Z_{18}, Z_{19} – поступательное движение сосредоточенной массы шасси M_1 по осям OZ, OY, OX ; Z_{10}, Z_{20} – вращательное движение рамы в плоскости YOZ и XOY с моментами инерции рамы $I_{ш2}, I_{ш7}$; Z_{11}, Z_{12} – вращательное движение задней и передней полурам в плоскости XOZ с моментами их инерции $I_{ш3}, I_{ш4}$ соответственно. Для описания работы балансирных тележек в машинах с колесной формулой 6К6 дополнительно введены обобщенные координаты Z_{13}, Z_{14} , описывающие вращательное движение балансирных опор заднего модуля левого и правого борта в плоскости YOZ и моменты их инерции $I_{ш5}, I_{ш6}$ относительно осей поворота.

Величины жесткости и демпфирования элементов шасси имеют следующие обозначения: $C_{ш1} - C_{ш6}$ – жесткости шин в направлении оси OZ , $K_{ш1} - K_{ш6}$ – их коэффициенты демпфирования; $C_{шш1} - C_{шш6}$ – жесткости шин в направлении оси OY , $K_{шш1} - K_{шш6}$ – их коэффициенты демпфирования; $C_{шг1} - C_{шг6}$ – жесткости шин в направлении оси OX , $K_{шг1} - K_{шг6}$ – их коэффициенты демпфирования; $C_{ш7}$ и $K_{ш7}$ – крутильная жесткость и коэффициент демпфирования механизма блокировки шарнира. Указанные жесткости и демпфирующие свойства шин приведены для машин с колесной формулой 6К6.

Геометрическое положение элементов шасси описывается соответствующими величинами: l_1 – расстояние от центра тяжести шасси массой M_1 до задней оси, м; l_2 – расстояние от передней оси до центра тяжести шасси, м; l_3 – расстояние от места крепления передних опор манипулятора до задней оси, м; l_4, l_5 – расстояние от задней оси до осей передних и задних колес балансирной тележки, м; c – расстояние между передними и задними опорами манипулятора, м; d – высота

опорной платформы манипулятора харвестера (или колоны манипулятора форвардера), м; b_1 – расстояние между серединами левых и правых колес энергетического модуля, м; b_2 – расстояние между вертикальной плоскостью середины колеса и ближайшей к нему опоры манипулятора, м; b_3 – расстояние между левыми и правыми опорами манипулятора; h_1 – высота положения центра тяжести машины, м; h_2 – расстояние от опорной поверхности до опор манипулятора, м; h_3 – расстояние от оси горизонтального шарнира сочленения полурам до опорной поверхности, м.

Математическая модель позволяет получать значения нагрузок действующих в опорах манипуляторов многооперационных лесозаготовительных машин [6]. При математическом описании их работы учитывались коэффициенты вертикальной жесткости гидроцилиндров C_1, C_{11} и соответствующие им коэффициенты демпфирования K_1, K_{11} ; коэффициенты вертикальной жесткости C_2, C_{21} и демпфирования K_2, K_{21} передних опор; приведенные продольные C_5, C_{51} и поперечные C_6, C_{61} коэффициенты жесткости опор и соответствующие им коэффициенты демпфирования K_5, K_{51}, K_6, K_{61} .

Положение центров тяжести соответствующих звеньев манипулятора определяется длинами $x_1 - x_4$. Высота положения центра тяжести манипулятора относительно поворотной платформы – h_m , а длина подвески харвестерной головки (грейферного захвата) – h_r .

Пространственное движение манипулятора описывается 8 обобщенными координатами: Z_1, Z_7, Z_8 – поступательное движение центра тяжести манипулятора в направлении осей oi, oj, ok ; Z_2, Z_5, Z_6 – вращательное движение манипулятора в соответствующих плоскостях; I_1, I_4, I_5 – моменты инерции вращательного движения манипулятора; Z_{15} – угол наклона стрелы манипулятора к горизонтальной плоскости jok ; Z_{16} – угол поворота манипулятора относительно плоскости YOZ ; Z_{21} – угол наклона рукояти манипулятора к вертикальной плоскости; m_1 – масса манипулятора, сосредоточенная в его центре тяжести при заданном кинематическом положении его звеньев.

При моделировании динамики технологического оборудования учтено наличие в рукояти манипулятора телескопического звена с жесткостью C_7 с коэффициентом демпфирования K_7 , а также наличие в конструкции рабочего органа массой m_r подвеса с гасителем колебаний (рис. 2). В математической модели учтена величина его жесткости C_4 и демпфирования K_4 , а также коэффициенты жесткости и демпфирования C_3, K_3 подвесной скобы харвестерной головки (грейферного захвата).



Рис. 2. Гаситель колебаний рабочего органа

Движение рабочего органа в пространстве описывается обобщенными координатами Z_3, Z_4 . Обобщенная координата Z_4 определяет качание рабочего органа в поперечной плоскости манипулятора относительно ротора, а Z_3 – перемещение центра тяжести рабочего органа в направлении точки его подвеса.

На основе схемы (рис. 1) выполнено математическое описание в виде системы дифференциальных уравнений Лагранжа 2-го рода, решение которой произведено в программном пакете MathCAD 15 методом Рунге – Кутты с переменным шагом интегрирования.

Величины внутренних силовых факторов, действующих в шарнире сочленения полурам, определяются зависимостями:

$$M_{кр.ш} = C_{ш7} (-Z_{11} + Z_{12}); \quad (1)$$

$$R_{в.ш} = -M_{эн} \cdot (g + \ddot{Z}_9 - \ddot{Z}_{10} (d_2 - d_5)) + R_{ш5} + R_{ш6}; \quad (2)$$

$$M_{изг.ш} = -M_{эн} \cdot (g + \ddot{Z}_9 - \ddot{Z}_{10} (d_2 - d_5)) \times d_2 \cdot \cos \varphi + R_{ш6} (d_4 \cos \varphi + 0,5b_1 \sin \varphi) + R_{ш5} (d_4 \cos \varphi - 0,5b_1 \sin \varphi), \quad (3)$$

где $M_{кр.ш}$ – момент кручения в шарнире, Н·м; $M_{изг.ш}$ – изгибающий момент в шарнире, Н·м; $R_{ш5}$ и $R_{ш6}$ – вертикальные опорные реакции под колесами энергетического модуля лесозаготовительной машины, Н; φ – угол складывания полурам многооперационной машины, град;

Величины вертикальных опорных реакций для машин с колесной формулой 6К6 определяются выражениями:

$$R_{ш1} = C_{ш1} \left[\begin{array}{l} Z_9 + Z_{10} \cdot \left(d_3 + \frac{M_{эH} \cdot d_2 \cos \varphi - M_{техH} \cdot d_1}{M_{эH} + M_{техH}} + l_4 \right) + \\ + Z_{11} \cdot \left(\frac{b_3}{2} + b_2 \right) + Z_{13} \cdot l_4 - q_1 \end{array} \right];$$

$$R_{ш2} = C_{ш2} \left[\begin{array}{l} Z_9 + Z_{10} \cdot \left(d_3 + \frac{M_{эH} \cdot d_2 \cos \varphi - M_{техH} \cdot d_1}{M_{эH} + M_{техH}} + l_4 \right) - \\ - Z_{11} \cdot \left(\frac{b_3}{2} + b_2 \right) + Z_{13} \cdot l_4 - q_2 \end{array} \right];$$

$$R_{ш3} = C_{ш3} \left[\begin{array}{l} Z_9 + Z_{10} \cdot \left(d_3 + \frac{M_{эH} \cdot d_2 \cos \varphi - M_{техH} \cdot d_1}{M_{эH} + M_{техH}} - l_5 \right) + \\ + Z_{11} \cdot \left(\frac{b_3}{2} + b_2 \right) - Z_{13} \cdot l_5 - q_3 \end{array} \right];$$

$$R_{ш4} = C_{ш4} \left[\begin{array}{l} Z_9 + Z_{10} \cdot \left(d_3 + \frac{M_{эH} \cdot d_2 \cos \varphi - M_{техH} \cdot d_1}{M_{эH} + M_{техH}} - l_5 \right) + \\ + Z_{11} \cdot \left(\frac{b_3}{2} + b_2 \right) - Z_{14} \cdot l_5 - q_4 \end{array} \right];$$

$$R_{ш5} = C_{ш5} \left[\begin{array}{l} -Z_{10} \left(d_4 \cos \varphi - \frac{M_{эH} \cdot d_2 \cos \varphi - M_{техH} \cdot d_1}{M_{эH} + M_{техH}} - \frac{b_1}{2} \sin \varphi \right) + \\ + Z_{12} \cdot \left(d_4 \sin \varphi + \frac{b_1}{2} \cos \varphi \right) + Z_9 - q_5 \end{array} \right];$$

$$R_{ш6} = C_{ш6} \left[\begin{array}{l} -Z_{10} \left(d_4 \cos \varphi - \frac{M_{эH} \cdot d_2 \cos \varphi - M_{техH} \cdot d_1}{M_{эH} + M_{техH}} + \frac{b_1}{2} \sin \varphi \right) - \\ - Z_{12} \cdot \left(-d_4 \sin \varphi + \frac{b_1}{2} \cos \varphi \right) + Z_9 - q_6 \end{array} \right];$$

где $R_{ш1} - R_{ш4}$ – опорные реакции под колесами технологического модуля лесозаготовительной машины, Н; $M_{техH}$ – масса технологического модуля, кг; $M_{эH}$ – масса энергетического модуля, кг; d_1, d_2 – расстояние от оси вертикального шарнира до центров тяжести технологического и энергетического модуля при $\varphi = 0^\circ$ соответственно, м; d_3, d_4 – расстояние от оси вертикального шарнира до оси технологического и энергетического модуля при $\varphi = 0^\circ$ соответственно, м; d_5 – расстояние между вертикальной осью шарнира и центром тяжести машины (положительные значения соответствуют смещению центра тяжести к оси энергетического модуля); $q_1 - q_6$ – отклонение микропрофиля поверхности движения под соответствующими колесами левого и правого борта машины.

В разработанной математической модели величины моментов, действующих в продольной $M_{м.пр}$ и поперечной $M_{м.поп}$ плоско-

сти и вертикального усилия $R_{м.вер}$ на опорной платформе манипулятора определяются выражениями:

$$M_{м.поп} = \left[R_{21} + R_{11} + \frac{(R_2 + R_{21} + R_1 + R_{11})}{2} \right] b_3; \quad (4)$$

$$M_{м.пр} = (R_{21} + R_{11}) c; \quad (5)$$

$$R_{м.в} = R_{21} + R_{21} + R_1 + R_{11}. \quad (6)$$

Величины момента поворота манипулятора $M_{м.пов}$ и горизонтального сдвигающего усилия $R_{м.сдв}$ определяются выражениями:

$$M_{м.пов} = (R_{51} + R_5) \frac{b_3}{2} + R_5 \cdot b_3 + R_6 \cdot c; \quad (7)$$

$$R_{м.сдв} = R_{61} + R_6. \quad (8)$$

На основе существующих методик рассмотрены воздействия на движитель многооперационной машины при ее движении через обособленную неровность и на участке трелевочного волока с заданными параметрами микропрофиля поверхности.

Особое внимание при моделировании уделено описанию внешних воздействий на многооперационную лесозаготовительную машину на технологических операциях. Так, рассмотрены воздействия при выполнении операций обрезки сучьев и проведении погрузочно-разгрузочных работ.

Современные приводы валцов харвестерных головок и манипуляторов оборудуются автоматизированными системами регулирования подачи гидравлической жидкости по нагрузке. При наличии такой системы скорость подачи дерева валцами регулируется исходя из максимальной мощности привода и нагрузки, действующей на протаскивающие валцы.

Мощность $N_{хг}$, затрачиваемая на обрезку сучьев в каждый момент времени протаскивания t при таком способе выполнения операции (рис. 3), определяется в результате решения системы дифференциальных уравнений и неравенств:

$$\begin{cases} (m_{дер} \cdot \ddot{Z}_{17} + F_{хг} + F_{вол}) \dot{Z}_{17} = N_{хг}, \\ N_{хг} \leq N_{хг}^{max} \cdot \eta_{хг}, \\ \ddot{Z}_{17} \leq a_{пр}^{max}; \dot{Z}_{17} \leq v_{пр}^{max}; Z_{17} \leq L_{сопр}, \end{cases} \quad (9)$$

где \ddot{Z}_{17} – ускорение движения дерева относительно харвестерной головки, м/с²; \dot{Z}_{17} – скорость движения дерева относительно харвестерной головки в момент времени t , м/с; Z_{17} – перемещение дерева относительно начального

положения харвестерной головки, м; $F_{\text{вол}}$ – сила сопротивления волочению дерева, Н; $F_{\text{хг}}$ – сила сопротивления протаскиванию дерева в харвестерной головке, Н; $L_{\text{сорг}}$ – длина выпиливаемого сортамента, м; $\eta_{\text{хг}}$ – КПД привода валцов; $N_{\text{хг}}^{\text{max}}$ – мощность привода валцов, Вт; $a_{\text{хг}}^{\text{max}}$ – максимальное ускорение дерева м/с²; $v_{\text{пр}}^{\text{max}}$ – максимальная скорость протаскивания дерева валцами, м/с

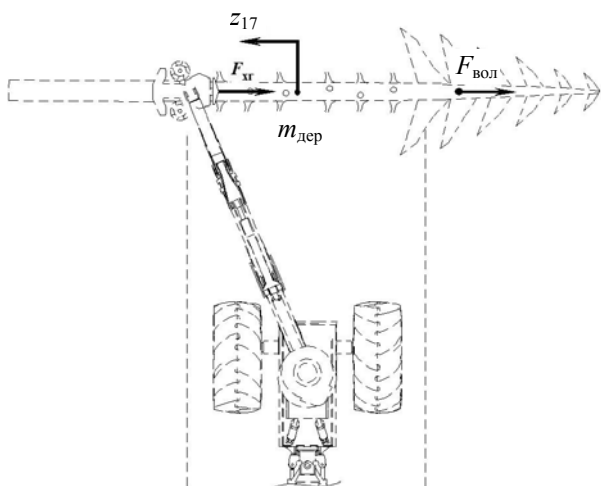


Рис. 3. Расчетная схема для моделирования операции обрезки сучьев

Сила сопротивления протаскиванию дерева в харвестерной головке определяется по выражению [7]

$$F_{\text{хг}} = \frac{(F_{\text{р}} + (F_{\text{приж}} + m_{\text{дер}} \cdot g) \cdot \mu + F_{\text{ц}})}{2}, \quad (10)$$

где $F_{\text{р}}$ – сила резания сучьев в харвестерной головке, Н; $F_{\text{приж}}$ – суммарное усилие прижатия валцов к обрабатываемому дереву, Н; μ – коэффициент трения качения ствола по подающим валцам головки; $F_{\text{ц}}$ – сила сопротивления вращению валцов в цапфах, Н; g – ускорение свободного падения 9,81 м/с².

Сила сопротивления волочению дерева определяется согласно выражению

$$F_{\text{вол}} = Z_{\text{кр}} \cdot f_{\text{кр}}, \quad (11)$$

где $f_{\text{кр}}$ – коэффициент сопротивления волочению кроны; $Z_{\text{кр}}$ – нормальная реакция взаимодействия кроны с опорной поверхностью, определяемая по формуле

$$Z_{\text{кр}} = \frac{m_{\text{дер}} \cdot g (k_{\text{цт}} H_{\text{дер}} - Z_{17})}{H_{\text{дер}} - Z_{17}}, \quad (12)$$

где $k_{\text{цт}}$ – коэффициент, определяющий соотношение между высотой дерева $H_{\text{дер}}$ и высотой положения его центра тяжести.

Наибольшего значения внешние усилия, действующие на харвестерную головку, достигают на этапе торможения дерева. В этом случае, при оценке нагруженности, сосредоточенная масса рабочего органа увеличивается на величину части массы дерева, приходящейся на него:

$$m_{\text{доп}} = \frac{m_{\text{дер}} (1 - k_{\text{цт}}) H_{\text{дер}}}{H_{\text{дер}} - Z_{17}}. \quad (13)$$

Воздействие, передающееся на харвестерную головку при торможении дерева, зависит от кинетической энергии его движения в момент начала торможения. На продолжительность рассеяния кинетической энергии наибольшее влияние оказывают динамические параметры технологического оборудования и величины сопротивления волочению кроны дерева. Составляющие величины усилия торможения, реализуемого на харвестерной головке в каждый момент времени, введены в описание обобщенного ускорения \ddot{Z}_3 и обобщенного углового ускорения \ddot{Z}_4 соответственно:

$$F_2 = \begin{cases} 0 & \text{при } t - t_{\text{н}} < 0, \\ \frac{-(m_{\text{дер}} \cdot \dot{Z}_{17}^{\text{max}})^2 \sin(Z_4)}{2[h_{\text{г}} \cdot \cos(Z_4) - Z_3 \cdot \sin(Z_3)] \cdot (m_{\text{дер}} + m_{\text{г}})} + F_{\text{вол}} \cdot \sin(Z_4) & \text{при } 0 \leq t - t_{\text{н}} \leq t_{\text{торм}}, \\ -F_{\text{вол}} \cdot \sin(Z_4) & \text{при } t_{\text{торм}} < t - t_{\text{н}}; \end{cases}$$

$$M_2 = \begin{cases} 0 & \text{при } t - t_{\text{н}} < 0, \\ \frac{(m_{\text{дер}} \cdot \dot{Z}_{17}^{\text{max}})^2 \cdot h_{\text{г}} \cdot \cos(Z_4)}{2[h_{\text{г}} \cdot \cos(Z_4) - Z_3 \cdot \sin(Z_3)] \cdot (m_{\text{дер}} + m_{\text{г}})} - F_{\text{вол}} h_{\text{г}} \cdot \cos(Z_4) & \text{при } 0 \leq t - t_{\text{н}} \leq t_{\text{торм}}, \\ F_{\text{вол}} h_{\text{г}} \cdot \cos(Z_4) & \text{при } t_{\text{торм}} < t - t_{\text{н}}, \end{cases}$$

где $\dot{Z}_{17}^{\text{max}}$ – максимально достигаемая скорость протаскивания при обработке дерева с заданными параметрами, м/с; $t_{\text{н}}$ – время начала торможения, с.

Важным этапом лесосечных работ является осуществление погрузочно-разгрузочных операций. Требуемые углы поворота стрелы манипулятора при его подъеме и опускании определяются согласно зависимости, рад:

$$\alpha_{\text{под}} = \frac{\pi}{2} - \arcsin\left(\frac{h_{\text{под}} - h_{\text{ман}}}{L_{\text{ман}}}\right) + \arccos\left(\frac{h_{\text{ман}}}{L_{\text{ман}}}\right),$$

где $h_{\text{под}}$ – требуемая высота подъема пачки сортиментов, м; $h_{\text{ман}}$ – высота крепления стрелы манипулятора над уровнем опорной поверхности, м.

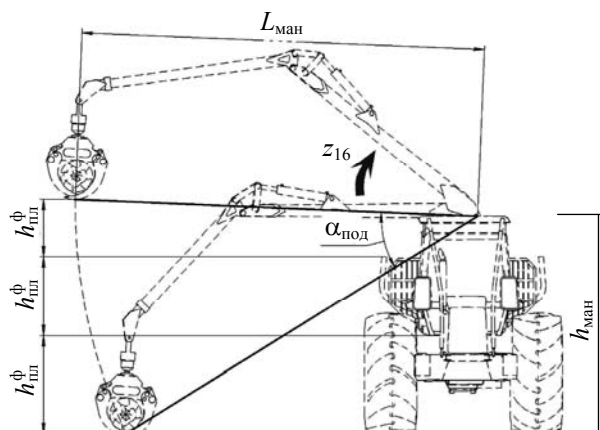


Рис. 4. Расчетная схема подъема сортимента манипулятором форвардера

Высота подъема пачки сортиментов определяется, суммарной высотой положения погрузочной площадки $h_{пл}^{\phi}$, м, ее коников $h_{кон}^{\phi}$, м, и требуемой высотой запаса $h_{зап}^{\phi}$, м, обусловленной негоризонтальным положением сортимента во время подъема и необходимостью последующего опускания рукояти манипулятора до уровня погруженных сортиментов (рис. 4):

$$h_{под} = h_{пл}^{\phi} + h_{кон}^{\phi} + h_{зап}^{\phi}. \quad (14)$$

При исследовании динамической нагруженности форвардера на погрузочных операциях в качестве возмущающих воздействий задавались функции изменения обобщенных координат подъема Z_{15} и поворота Z_{16} стрелы манипулятора во времени. Их мгновенные значения в каждый момент времени обусловлены величиной потребляемой мощности при подъеме и повороте манипулятора с сортиментом и определяются при решении систем дифференциальных уравнений и неравенств:

$$\begin{cases} \left(M_{м.пр} + (I_1 + (m_{\Gamma} + m_{сорт}) \cdot L_{ман}^2) \ddot{Z}_{16} \right) \dot{Z}_{16} = N_{под.ман}, \\ N_{под.ман} \leq N_{под.ман}^{max} \cdot \eta_{под.ман}, \\ \ddot{Z}_{16} \leq \varepsilon_{под}^{max}, \dot{Z}_{16} \leq \omega_{под}^{max}, Z_{16} \leq \alpha_{под}, \end{cases}$$

где $\varepsilon_{под}^{max}$, $\omega_{под}^{max}$ – максимальное угловое ускорение, рад/с² и угловая скорость подъема манипулятора, рад/с, соответственно; $m_{сорт}$ – масса сортимента, кг; $\eta_{под.ман}$ – КПД манипулятора при подъеме сортимента; Z_{16} – обобщенная координата угла подъема стрелы манипулятора, рад; $M_{м.пр}$ – подъемный момент манипулятора на заданном вылете (Н·м), определяемый по зависимости (5).

Мощность и время на поворот манипулятора с сортиментом и холостого поворота манипулятора находится из системы:

$$\begin{cases} \left((I_5 + (m_{\Gamma} + m_{сорт}) \cdot L_{ман}^2) \ddot{Z}_{15} + M_{сопр} \right) \dot{Z}_{15} = N_{пов.ман}, \\ N_{пов.ман} \leq N_{пов.ман}^{max} \cdot \eta_{пов.ман}, \\ \ddot{Z}_{15} \leq \varepsilon_{ман}^{max}, \dot{Z}_{15} \leq \omega_{ман}^{max}, Z_{15} \leq Z_{15}^{max}. \end{cases}$$

Количество циклов выполнения операций погрузки и разгрузки сортиментов в пределах одного технологического цикла работы машины определяется отношением объема погрузочной площадки машины к объему сортиментов, погружаемых за один цикл.

Адекватность разработанной математической модели оценена с помощью теста нормированных спектральных плотностей теоретически и экспериментально полученных значений вертикальных ускорений центра тяжести форвардера МЛПТ-354 и харвестера МЛХ-414 (оба производства ПО «МТЗ») (рис. 5), нормальных и касательных напряжений в шарнирах сочленения их полурам при движении по экспериментальному участку волока.

Расчетные значения ускорений центров тяжести получены при непосредственном использовании разработанной математической модели. Теоретические значения действующих в шарнире напряжений получены при моделировании его напряженно-деформированного состояния в верифицированном программном пакете Ansys 12 с использованием данных о действующих нагрузках, полученных с помощью разработанной модели.

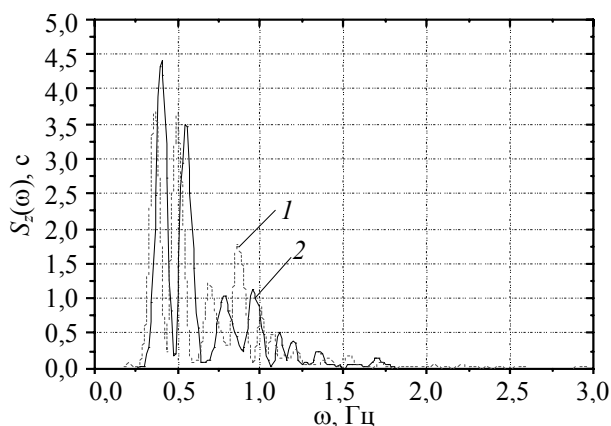


Рис. 5. Нормированные спектральные плотности вертикальных ускорений центра тяжести форвардера: 1 – теоретическая зависимость; 2 – экспериментальная зависимость

Величины статистики D^2 нормированных спектральных плотностей сравниваемых параметров находятся в пределах 34,9–49,5 при уровне значимости $\alpha = 0,05$ и значении области принятия гипотезы $\chi_{n,\alpha}^2$, равном 55,76, что по-

зволяет сделать вывод об адекватности разработанной математической модели.

Заключение. Разработана комплексная пространственная математическая модель работы многооперационной лесозаготовительной машины. Выполнено моделирование проведения операций обрезки сучьев харвестером и погрузочно-разгрузочных работ форвардером. Тест нормированных спектральных плотностей ускорений центров тяжести форвардера и харвестера, нормальных и касательных напряжений в шарнирах сочленения их полурам при движении по экспериментальному участку трелевочного волока показал, что при $\alpha = 0,05$ и значении области принятия гипотезы $\chi^2_{n,\alpha}$, равном 55,76, величины статистики D^2 нормированных спектральных плотностей сравниваемых параметров находятся в пределах 34,9–49,5, что позволило сделать вывод об адекватности разработанной математической модели.

Литература

1. Будевич, Е. А. Нагруженность валочно-сучкорезно-раскряжевочных машин в процессе очистки деревьев от сучьев: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / Е. А. Будевич; Ухтинский гос. техн. ун-т. – Петрозаводск, 2006. – 19 с.
2. Wideen, A. Forwarder frame technical report. 2011 Articulated Frame / A. Wideen // MF2011 – Systems engineering / School of

Industrial Engineering and Management. 69 p. [Electronic resource]. – Mode of access: www.kth.se/polopoly_fs/1.183103!/Menu/general/column-content/attachment/Frame_Report2011.pdf. – Date of access: 26.05.2012.

3. Хайновский, В. В. Повышение тягово-сцепных свойств двухзвенной погрузочно-транспортной машины с активным приводом прицепного звена: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / В. В. Хайновский. – Минск, 2005. – 180 л.

4. Рыскин, Ю. Е. Экспериментальное определение упругих и демпфирующих свойств характеристик крупногабаритных шин низкого давления / Ю. Е. Рыскин // Труды ЦНИИМЭ. – 1971. – Вып. 121. – С. 93–97.

5. Кочнев, А. М. Повышение эксплуатационных свойств колесных трелевочных тракторов путем обоснования их основных параметров: дис. ... д-ра техн. наук: 05.21.01 / А. М. Кочнев. – СПб, 1995. – 415 л.

6. Гороновский, А. Р. Нагруженность несущей конструкции харвестера при выполнении технологических операций. / А. Р. Гороновский, С. А. Голякевич // Труды БГТУ. – 2011. – № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. – С. 27–30.

7. Федоренчик, А. С. Харвестеры: учеб. пособие / А. С. Федоренчик, И. В. Турлай. – Минск: БГТУ, 2002. – 172 с.

Поступила 20.02.2013

УДК 630*36.001.6

С. А. Голякевич, аспирант (БГТУ)

АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ МНОГООПЕРАЦИОННЫХ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Публикация посвящена анализу режимов работы многооперационных лесозаготовительных машин на различных операциях технологического цикла. Предложена комплексная методика обоснования рациональных режимов выполнения технологических операций многооперационных лесозаготовительных машин и энергетических параметров привода технологического оборудования для их реализации, учитывающая различные способы выполнения технологических операций, взаимовлияние показателей энергонасыщенности и производительности машин. Даны рекомендации по рациональным режимам выполнения операций и энергетическим параметрам технологического оборудования.

The publication is devoted the analysis of operating modes multioperational forest machines in various operations of a work cycle. The complex technique of a substantiation of rational modes of performance technological operations multioperational forest machines and power parameters of a drive of process equipment for their realization, considering various ways of performance of technological operations, interference of indicators energy and productivity of machines is offered. Recommendations about rational modes of performance of operations and to power parameters of the process equipment are given.

Введение. Нагруженность конструкций многооперационных лесозаготовительных машин существенно зависит от конструктивных параметров технологического оборудования и базового шасси, энергетических параметров их привода, способов выполнения технологических операций и др. Их обоснованный выбор позволяет обеспечить эффективную работу машин при рациональном уровне нагруженности несущих конструкций. Это требует разработки комплексного критерия оценки параметров многооперационных лесозаготовительных машин и способов выполнения технологических операций.

Основная часть. В качестве критерия оценки эффективности машин часто используется величина технической производительности [1–5], которая функционально зависит от параметров лесозаготовительной машины, применяемой технологии работ, параметров предмета труда, условий движения и др. Влияние данных факторов на величину технической производительности и характер ее изменения в различных условиях эксплуатации не одинаково. Это, наряду с отсутствием учета энергозатрат, необходимых для выполнения операций, не позволяет [4, 6] использовать величину технической производительности для однозначной оценки параметров лесозаготовительных машин.

Оценке эффективности работы лесозаготовительных машин посвящены работы В. Г. Кочегарова. В качестве оценочного критерия энергетической эффективности лесозаготовительных машин им предлагается использовать показатель энергоемкости работы [7], заключающийся в определении требуемых энергозатрат при заготовке единицы объема древесины.

Энергоемкость и производительность операций технологических циклов лесозаготовительных машин часто рассматриваются совместно, с учетом [5] и без учета [4, 8] взаимосвязи между ними. Рассматривая удельные показатели энергоемкости и производительности, Д. А. Букалов [6] отмечает, что несмотря на наличие связи между ними для конкретной технологии заготовки сортиментов, имеет место неопределенность в выборе машин для ее реализации, так как приведенные показатели не дают возможности однозначного обоснования параметров машин.

Обобщая изложенное, отметим, что применительно к анализу параметров лесозаготовительных машин используется ряд разрозненных критериев: производительности, энергоемкости и трудоемкости лесозаготовительных работ в различном сочетании, а также технико-экономическая оценка производства с их использованием. Однако для однозначной оценки массово-геометрических и энергетических параметров лесозаготовительных машин в различных условиях эксплуатации необходим комплексный критерий, исключающий несоответствие между энергоотдачей машины и выполняемой ей полезной работой.

Такой критерий известен в области исследования параметров однооперационных транспортных дорожно-строительных машин и установления рационального уровня их энергонасыщенности. В совместной работе Ю. В. Гинзбурга и А. И. Шведа [9] показано, что предпочтительным критерием для оценки параметров транспортных машин является критерий энергетического потенциала производительности (ЭПП), равный полезной работе совершенной

машиной в единицу времени и учитывающий составляющие технологического цикла:

$$A = P_{\text{к}} v_{\text{дв}} \frac{t_{\text{рх}}}{t_{\text{цикл}}}, \quad (1)$$

где $P_{\text{к}}$ – развиваемая двигателем машины касательная сила тяги, Н; $v_{\text{дв}}$ – скорость движения машины, м/с; $t_{\text{рх}}$, $t_{\text{цикл}}$ – время рабочего хода и суммарное время цикла соответственно, с.

Между тем в работе многооперационных лесозаготовительных машин существует ряд особенностей, не позволяющих напрямую использовать выражение (1) для определения их ЭПП. Это наличие в технологическом цикле не только транспортных, но и технологических операций, не связанных с перемещением машины, значительная продолжительность работы оборудования на переходных режимах, наличие нескольких способов выполнения одной технологической операции.

Так, продолжительность технологического цикла работы форвардера $T_{\text{ц}}^{\Phi}$ зависит от: времени подъема пачки сортиментов манипулятором t_1^{Φ} , поворота манипулятора до уровня погрузочной площадки t_2^{Φ} , укладки пачки сортиментов на погрузочную площадку t_3^{Φ} , обратных холостых ходов $t_4^{\Phi} - t_6^{\Phi}$ и их количества, аналогичных операций на разгрузке сортиментов в штабель на погрузочном пункте $t_7^{\Phi} - t_{12}^{\Phi}$, перемещения форвардера при наборе пачек сортиментов t_{13}^{Φ} и их разгрузке t_{14}^{Φ} , движения в груженом состоянии на погрузочный пункт t_{15}^{Φ} и холостого хода на лесосеку t_{16}^{Φ} , а также суммарного времени межоперационных задержек t_{17}^{Φ} :

$$T_{\text{ц}}^{\Phi} = \frac{V_{\Phi}}{V_{\Pi}} \sum_{i=1}^{12} t_i^{\Phi} + \sum_{i=13}^{17} t_i^{\Phi}, \quad (2)$$

где V_{Φ} – объем перевозимых форвардером сортиментов, м³; V_{Π} – объем поднимаемой манипулятором пачки сортиментов м³.

При работе харвестеров полезная работа выполняется только при использовании технологического оборудования: при натяге дерева (за время t_1^x), подтаскивании его к месту раскряжевки (за время t_2^x), очистке от сучьев (за время t_3^x), раскряжевке ствола (за время t_4^x). На операциях движения и холостого перемещения манипулятора полезная работа не выполняется ввиду отсутствия взаимодействия харвестера с деревом. Исключение составляет лишь случай выноса дерева с пачки ходом харвестера.

Суммарное время цикла работы харвестера $T_{\text{ц}}^x$ в общем случае может быть определено на основании исследований [10].

Исходя из изложенного выражение для определения ЭПП многооперационных лесозаготови-

тельных машин, реализующих сортиментную технологию заготовки древесины, имеет вид:

для харвестеров

$$\text{ЭПП}_x = \left(\frac{N_1^x t_1^x + N_2^x t_2^x}{+ N_3^x t_3^x + N_4^x t_4^x} \right) \frac{n_1}{T_{\text{ц}}^x}; \quad (3)$$

для форвардеров

$$\text{ЭПП}_{\Phi} = \left[\left(\frac{N_1^{\Phi} t_1^{\Phi} + N_2^{\Phi} t_2^{\Phi}}{+ N_4^{\Phi} t_7^{\Phi} + N_5^{\Phi} t_8^{\Phi}} \right) \frac{V_{\Phi}}{V_{\Pi}} + N_3^{\Phi} t_{15}^{\Phi} \right] \frac{1}{T_{\text{ц}}^{\Phi}}, \quad (4)$$

где N_1^x – мощность, необходимая на натяг дерева, Вт; N_2^x – мощность привода пильного механизма при срезании дерева, Вт; N_3^x – мощность, затрачиваемая на обрезку сучьев с дерева, Вт; N_4^x – мощность, затрачиваемая на раскряжевку одного ствола, Вт; n_1 – количество деревьев, обрабатываемых с одной технологической стоянки, зависящее от вида проводимой рубки и плотности древостоя; N_1^{Φ} , N_2^{Φ} , N_4^{Φ} , N_5^{Φ} – мощность, затрачиваемая на подъем – опускание и перенос пачки сортиментов манипулятором на погрузочных и разгрузочных операциях соответственно, Вт; N_3^{Φ} – мощность, затрачиваемая на движение груженого форвардера, Вт.

Требуемые для расчета энергетические затраты при выполнении соответствующих операций технологических циклов многооперационных машин могут быть определены с использованием пространственной математической модели [11].

В случае необходимости сравнения параметров машин различных конструкций либо оценки приемов выполнения технологических операций следует использовать критерии удельного ЭПП (УЭПП) и удельного частного ЭПП (УЧЭПП) соответственно. УЭПП – это отношение суммарной работы, выполненной на всех рабочих технологических операциях к величине ЭПП. Отличие УЭПП от УЧЭПП состоит в том, что последний рассматривает суммарную работу, выполненную только на одной конкретной операции:

для харвестеров

$$\text{УЭПП}_x = \frac{A_{\text{полн}}^x}{\left(\frac{N_{1\text{полн}}^x t_1^x + N_{2\text{полн}}^x t_2^x}{+ N_{3\text{полн}}^x t_3^x + N_{4\text{полн}}^x t_4^x} \right) \frac{n_1}{T_{\text{ц}}^x}}; \quad (5)$$

для форвардеров

$$\text{УЭПП}_{\Phi} = \frac{A_{\text{полн}}^{\Phi} \cdot T_{\text{ц}}^{\Phi}}{\left[\left(\frac{N_{1\text{полн}}^{\Phi} t_1^{\Phi} + N_{2\text{полн}}^{\Phi} t_2^{\Phi}}{+ N_{4\text{полн}}^{\Phi} t_7^{\Phi} + N_{5\text{полн}}^{\Phi} t_8^{\Phi}} \right) \frac{V_{\Phi}}{V_{\Pi}} + N_{3\text{полн}}^{\Phi} t_{15}^{\Phi} \right]}, \quad (6)$$

где $N_{i\text{пол}}^x, N_{i\text{пол}}^ф$ – величины полезно затрачиваемых мощностей при выполнении i -х операций технологических циклов харвестера и форвардера соответственно; $A_{\text{полн}}^x, A_{\text{полн}}^ф$ – суммарные работы, выполненные на рабочих операциях технологических циклов харвестера и форвардера соответственно.

В суммарную величину мощности, затрачиваемой при работе многооперационной машины, входит как полезная мощность (на перемещение или изменение параметров самого предмета труда), так и мощность, затрачиваемая на преодоление сил инерции, сопротивления перемещению технологического оборудования и машины без учета предмета труда, которая не является полезной при определении УЭПП и УЧЭПП.

Предлагаемые удельные критерии основаны на оценке эффективности расходования энергетического потенциала многооперационной машины в единицу времени. В случае УЧЭПП оценка представляет собой отношение суммарного времени цикла работы многооперационной машины к КПД, выполняемой ею операции. При этом рациональным режимом выполнения операции многооперационной машиной с заданными конструктивными и энергетическими параметрами следует считать тот, при котором величина критерия стремится к минимуму.

Проведенные исследования позволили оценить эффективность различных приемов выполнения технологической операции обрезки сучьев.

В практике эксплуатации харвестеров используется 3 различных способа ее выполнения:

- непосредственная подача дерева на сучкорезные ножи вальцами харвестерной головки, в том числе с началом подачи дерева во время падения;
- перемещение харвестерной головки вальцами вдоль ствола дерева при одновременной встречной ее подаче манипулятором (полностью контролируется оператором);
- подача харвестерной головки вальцами вдоль ствола дерева при установке гидравлического привода манипулятора в «следящее» положение.

На рис. 1 представлены зависимости изменения эффективности эксплуатации харвестера 4К4 при использовании различных приемов выполнения данной операции. Обрезка сучьев с деревьев в сосновых древостоях с $d_{1,3}$ до 0,19 м (рис. 1, область I) характеризуется возможностью использования только прямого способа подачи дерева вальцами на сучкорезные ножи (способ № 1).

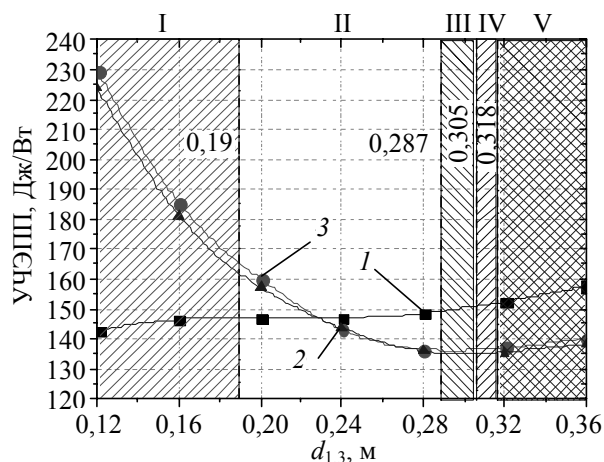


Рис. 1. Эффективность различных приемов выполнения технологической операции обрезки сучьев (номинальная мощность привода вальцов – 60кВт, вылет манипулятора – 6,3 м):
1 – при непосредственной подаче дерева вальцами на сучкорезные ножи; 2 – с дополнительной подачей харвестерной головки манипулятором на дерево;
3 – с переводом манипулятора в «следящее» положение

Невозможность использования совмещенных способов выполнения данной операции обусловлена следующими факторами. Величина усилия сопротивления подаче харвестерной головки на дерево в таких древостоях достигает 6,53 кН, а усилие сопротивления волочению кроны сосны ниже данного значения. В случае встречной подачи харвестерной головки на дерево непосредственно манипулятором (способ № 2) такое соотношение в усилиях в момент встречи сучкорезных ножей с сучьями приводит к перемещению дерева в направлении подачи на него харвестерной головки и невозможности осуществления операции.

При выполнении операции с переводом манипулятора в «следящее» положение (способ № 3) усилие, требуемое на поворот манипулятора (при вылете 6,3 м), также оказывается выше силы сопротивления волочению кроны. При этом манипулятор остается неподвижным, а обрезка сучьев выполняется по способу непосредственной подачи дерева вальцами на сучкорезные ножи.

В сосновых древостоях с $d_{1,3}$ от 0,19 до 0,287 м (рис. 1, область II) возможно использовать все 3 рассматриваемых способа обрезки сучьев. Однако эффективность применения способов с совмещением (№ 2 и № 3) в древостоях с $d_{1,3}$ до 0,225 м до 8–11% ниже, чем при выполнении операции без совмещения, даже несмотря на меньшее требуемое усилие протаскивания и большую скорость выполнения операции. Это обусловлено необходимостью повторного перемещения дерева к месту раскряжевки после

выполнения операции такими способами, что приводит к увеличению продолжительности обработки одного дерева на 4–7 с.

Проведение операции обрезки сучьев в сосновых древостоях с $d_{1,3}$ более 0,287 м при использовании способа № 1 невозможно и обусловлено недостаточным тяговым усилием протаскивающих валцов (до 28 кН). При этом применение способа обрезки сучьев № 2 возможно до $d_{1,3} = 0,318$ м, а способа № 3 – до $d_{1,3} = 0,305$ м. При анализе способа № 2 рассматривался случай, при котором дополнительное усилие манипулятора, действующее на харвестерную головку, составляет 75% от силы сопротивления волочению кроны дерева. Поэтому в случае выполнения обрезки сучьев таким способом максимальный обрабатываемый диаметр дерева $d_{1,3}$ может быть увеличен за счет большего усилия подачи манипулятором, но не более силы сопротивления волочению кроны дерева.

Повысить эффективность работы харвестера можно за счет увеличения мощности привода подающих валцов, а расширить диапазон обрабатываемых стволов за счет увеличения усилия подачи. При увеличении усилия протаскивания до 32 кН величина УЧЭПП работы харвестера изменится, как показано на рис. 2 (область II).

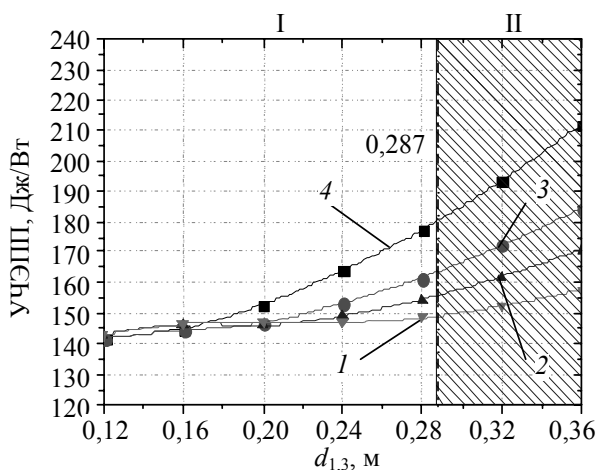


Рис. 2. Эффективность эксплуатации харвестера при различной мощности привода валцов харвестерной головки (номинальное тяговое усилие валцов ограничено 28 кН)
1 – 60 кВт; 2 – 50 кВт; 3 – 40 кВт; 4 – 20 кВт

Увеличение мощности привода протаскивающих валцов при обработке деревьев с $d_{1,3} < 0,17$ м лишь незначительно влияет на эффективность работы харвестера. Более того, при повышении мощности привода свыше 27 кВт для деревьев с $d_{1,3} < 0,17$ м и свыше 38 кВт для деревьев с $d_{1,3} < 0,20$ м происходит снижение эффективности работы на 1–3%. Это обусловлено

малым временем разгона дерева до максимальной скорости и увеличением действующих сил инерции дерева. При этом полезно выполняемая харвестерной головкой работа остается неизменной, время выполнения операции изменяется незначительно, а общая выполняемая приводом работа возрастает, что нерационально.

При мощности привода свыше 60 кВт эксплуатация харвестера в сосновых древостоях с $d_{1,3}$ до 0,28 м и использовании первого способа выполнения операции обрезки сучьев нецелесообразна. Ее изменение с 60 кВт до 70 кВт вызовет снижение УЧЭПП лишь в 1,020–1,025 раза.

При использовании способа обрезки сучьев № 2 в диапазоне его возможного применения (рис. 2, область II) с увеличением мощности привода протаскивающих валцов с 20 кВт до 60 кВт эффективность работы харвестера в древостое с $d_{1,3} = 0,20$ м уменьшается, а при обработке деревьев с $d_{1,3} > 0,26$ м, напротив, увеличивается.

Изменение функции УЧЭПП носит нелинейный характер. При этом в диапазоне условий с $d_{1,3}$ от 0,20 м до 0,26 м с увеличением мощности привода область меньших значений УЧЭПП смещается в сторону больших диаметров $d_{1,3}$. В этой связи целесообразно иметь возможность регулирования максимальной потребляемой вальцами харвестерной головки мощности по нижней границе кривых УЧЭПП в зависимости от условий эксплуатации.

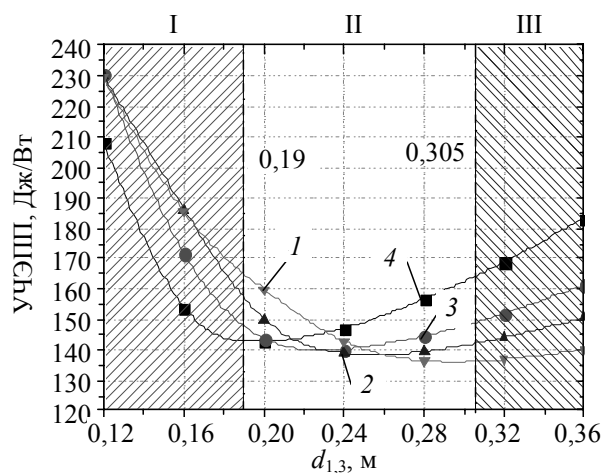


Рис. 3. Эффективность эксплуатации харвестера при различной мощности привода харвестерной головки:
1 – 60 кВт; 2 – 50 кВт; 3 – 40 кВт; 4 – 20 кВт

Моделирование процесса колебаний харвестерной головки после прекращения протаскивания дерева по способу № 1 позволило определить действующие на опорной платформе манипулятора нагрузки при различной мощности привода валцов харвестерной головки, параметров деревьев и скорости протаскивания (рис. 4).

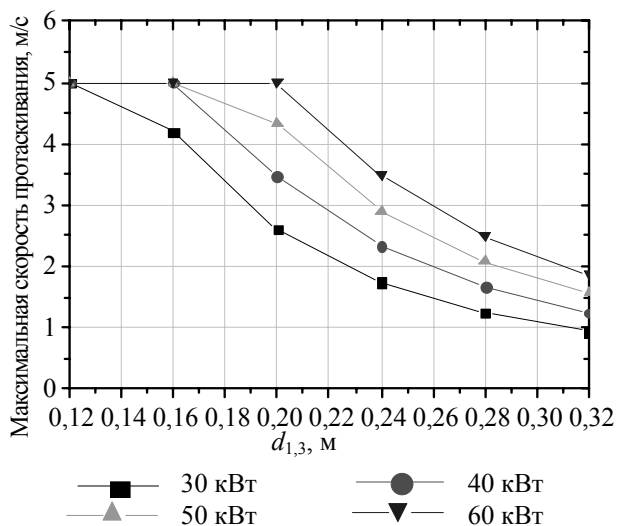


Рис. 4. Достижимая скорость обрезки сучьев с дерева при различной мощности привода валцов харвестерной головки

При определении максимально достигаемой скорости протаскивания дерева (рис. 4) принималось, что заготавливаются сортименты длиной 6 м, привод валцов харвестерной головки оборудован системой управления расходом гидравлической жидкости по нагрузке, максимальное развиваемое валцами тяговое усилие обеспечивает возможность обрезки сучьев с деревьев в рассматриваемом диапазоне диаметров $d_{1,3}$, а разгон дерева осуществляется без обрезания сучьев.

С увеличением мощности привода валцов харвестерной головки наблюдается возрастание нагруженности опорной платформы манипулятора для всего диапазона обрабатываемых деревьев (рис. 5).

Важно отметить, что наибольшая нагруженность платформы поворотным моментом достигается при торможении дерева с $d_{1,3}$ меньше максимального. Это обусловлено различным влиянием скорости и массы движущегося дерева на кинетическую энергию, передаваемую на харвестерную головку при торможении и меньшей силой сопротивления волочению кроны дерева при меньших $d_{1,3}$. Максимальный поворотный момент при мощности привода валцов, равной 60 кВт, возникает при торможении дерева с $d_{1,3} = 0,2$ м. Обработка деревьев максимального диаметра с использованием харвестерных головок малой мощности (менее 30 кВт), но достаточным тяговым усилием практически не приводит к развитию поворотного момента на платформе манипулятора. Большая часть энергии движущегося дерева при этом рассеивается силами волочения кроны по поверхности.

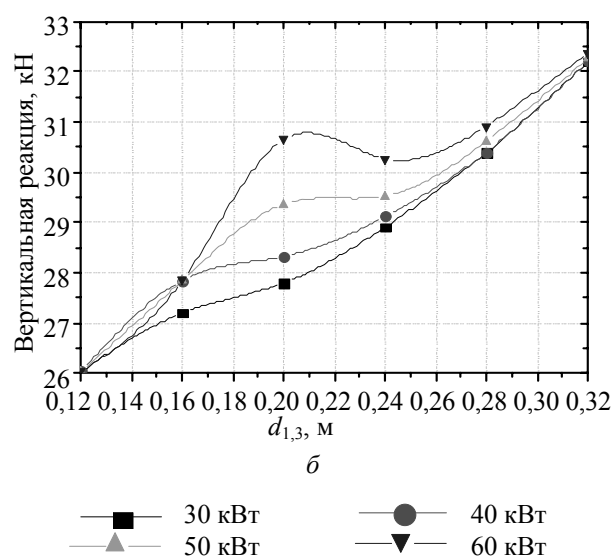
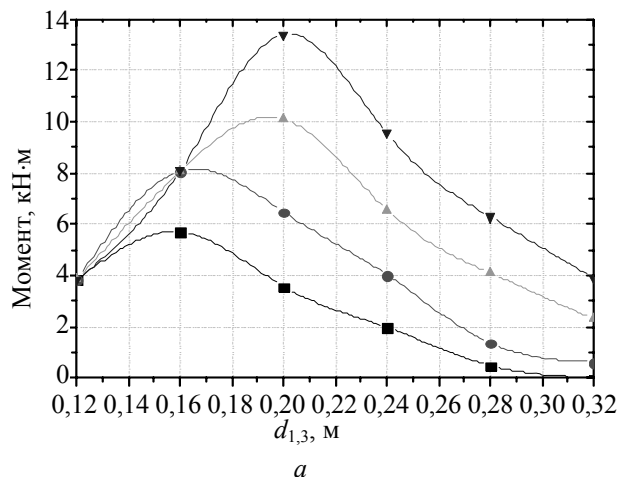


Рис. 5. Нагруженность опорной платформы манипулятора при торможении дерева
а – поворотный момент; б – вертикальная реакция

Наряду с увеличением поворотного момента возрастает и вертикальная реакция на платформе манипулятора. Ее статическая составляющая нелинейно растет от 26,1 кН до 32,2 кН в диапазоне $d_{1,3}$ 0,12–0,32 м, что связано с некоторой нелинейностью между величиной диаметра дерева $d_{1,3}$ и его массой $m_{дер}$. При формировании динамической составляющей наблюдаются качественные различия для протаскивания дерева головкой с приводом валцов различной мощности. С ее увеличением область максимальных значений динамической составляющей вертикальной реакции смещается в сторону больших $d_{1,3}$. Кроме того, увеличивается интенсивность нарастания динамической составляющей. При мощности привода валцов более 52 кВт максимальная динамическая составляющая столь велика, что суммарная вертикальная реакция для данного $d_{1,3}$ оказывается большей, чем для нескольких последующих. Так, для привода мощ-

ностью 60 кВт максимальная динамическая составляющая вертикальной реакции наблюдается при $d_{1,3} = 0,2$ м. Суммарная величина реакции при этом превышает таковую для последующих диаметров $d_{1,3}$ деревьев вплоть до 0,27 м.

С учетом комплексного воздействия рассматриваемых нагрузок на опорную платформу манипулятора при анализе ее напряженно-деформированного состояния следует рассматривать несколько вариантов нагружения. Это процесс натяга дерева на максимальном вылете манипулятора при его различном положении относительно технологического модуля харвестера и торможение дерева при обрезке сучьев с $d_{1,3}$, соответствующим максимальной скорости протаскивания.

Проведенные исследования показали, что рациональная величина грузоподъемности форвардеров, во многом определяющая статическую и динамическую нагруженность их несущих конструкций, значительно зависит от условий движения и требуемого расстояния трелевки сортиментов. Так, при малых расстояниях трелевки (150–200 м) на грунтах со слабой несущей способностью увеличение грузоподъемности свыше 4000 кг для форвардеров 4К4 приводит к росту функции УЭПП, что означает снижение эффективности их использования (рис. 6). В случае увеличения расстояния трелевки до 450 м рационально использование форвардеров с большей грузоподъемностью (до 8000–9000 кг).

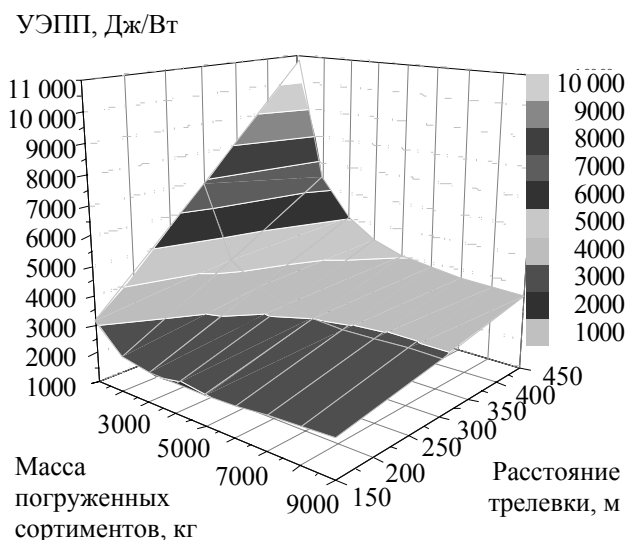


Рис. 6. Определение рациональной грузоподъемности форвардера 4К4 при различном расстоянии трелевки в условиях грунтов со слабой несущей способностью (3-й тип)

Существенное влияние на нагруженность несущих конструкций и эффективность реализации параметров форвардеров оказывают ре-

жимы выполнения погрузочно-разгрузочных операций. При этом наибольший интерес представляет определение рациональной скорости поднимания пачки сортиментов стрелой манипулятора (рис. 7).

С увеличением скорости подъема пачки сортиментов до 0,4 рад/с эффективность применения форвардера 4К4 грузоподъемностью 5000 кг интенсивно растет вне зависимости от расстояния последующей трелевки сортиментов.

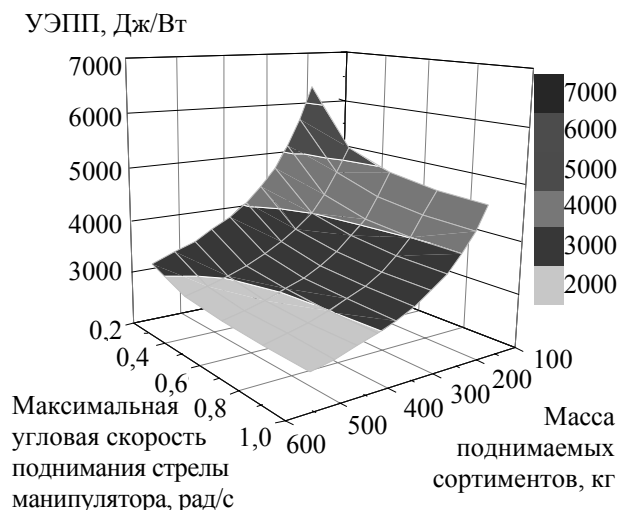


Рис. 7. Оценка рациональной скорости подъема сортиментов манипулятором форвардера 4К4 при различной массе пачки поднимаемых сортиментов

Максимальную скорость подъема стрелы манипулятора на вылете 5,3 м с грузом 468 кг рационально ограничить величинами: 0,7 рад/с при расстоянии трелевки 150 м и 0,55 рад/с при расстоянии трелевки 450 м. Дальнейшее увеличение максимальной скорости подъема стрелы манипулятора нецелесообразно, так как не вызывает роста эффективности эксплуатации форвардера и приводит лишь к возрастанию его динамической нагруженности на режиме торможения манипулятора. Для обеспечения рекомендуемых скоростей подъема стрелы манипулятора форвардера МЛПТ-354 при указанных массе пачки и вылете стрелы требуется обеспечение мощности привода гидроцилиндра подъема стрелы 33,7 кВт и 27,5 кВт соответственно.

Заключение. Предложена комплексная методика обоснования рациональных режимов выполнения технологических операций многооперационных лесозаготовительных машин и энергетических параметров привода технологического оборудования для их реализации, учитывающая различные способы выполнения

технологических операций, взаимовлияние показателей энергонасыщенности и производительности машин.

На основе разработанных методики и математической модели установлена взаимосвязь между энергетическими параметрами привода технологического оборудования многооперационной лесозаготовительной машины и нагруженностью их шарнирно-сочлененных несущих конструкций, которая позволила рекомендовать следующие эксплуатационные режимы работы машин и параметры привода их рабочих органов. В основном древостое с $d_{1,3}$ до 0,23 м рационально использовать способ обрезки сучьев с непосредственной подачей дерева вальцами. При больших диаметрах ствола следует использовать способ обрезки сучьев с совмещением работы харвестерной головки и манипулятора, позволяющий увеличить диапазон обрабатываемых диаметров деревьев $d_{1,3} = 0,29-0,32$ м, а в диапазоне $d_{1,3} = 0,23-0,29$ увеличить полезно используемый энергетический потенциал машины в 1,01–1,09 раза, что позволяет снизить удельные затраты топлива на 0,02–0,18 кг/м³ без изменения производительности работы. Рациональная мощность привода вальцов харвестерной головки для типичных рубок главного пользования в Республике Беларусь составляет 60 кВт, а тяговое усилие протаскивания дерева – 28 кН, что обеспечивает эффективную работу машины в древостоях с $d_{1,3}$ до 0,32 м. При эксплуатации харвестера в древостое с $d_{1,3} = 0,19-0,32$ м для повышения эффективности эксплуатации машины необходимо осуществлять автоматизированное регулирование максимальной мощности привода вальцов харвестерной головки от 20 кВт до 60 кВт, что в сравнении с нерегулируемым приводом позволит снизить затраты топлива до 0,14 кг/м³.

Установлена рациональная грузоподъемность форвардера с колесной формулой 4К4, которая для расстояния трелевки сортиментов, равного 250–300 м, в условиях 3-го типа грунтов составляет 7000–7500 кг. Максимальную скорость подъема сортиментов рационально ограничить величиной 0,4 рад/с для массы поднимаемых сортиментов 600 кг и 0,65 рад/с при массе 200 кг и вылете манипулятора 5,3 м.

Литература

1. Comparison of Single-Grip Harvester Productivity in Clear- and Shelterwood Cutting / L. Eliasson [et al.] // J. of Forest Engineering. – 1999. – Vol. 10, No. 1. – P. 43–48.
2. Analyzing and Estimating Delays in Harvester Operations / R. Spinelli [et al.] // J. of Forest Engineering. – 2008. – Vol. 19, No. 1. – P. 36–41.
3. Effect of Tree Size on Productivity and Time Required for Work Elements in Selective Thinning by a Harvester / M. Nakagawa [et al.] // J. of Forest Engineering. – 2007. – Vol. 18, No. 2. – P. 24–28
4. Сидоров, Б. А. Исследование процесса обрезки сучьев самоходной сучкорезной машиной ЛП-51 с непрерывной подачей: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / Б. А. Сидоров. – Л., 1981. – 254 л.
5. Вороницин, К. И. Машинная обрезка сучьев на лесосеке / К. И. Вороницин. – М.: Лесная пром-сть. – 1982. – 79 с.
6. Букалов, Д. А. Совершенствование производства сортиментов путем обоснования выбора энергосберегающей системы машин: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / Д. А. Букалов. – СПб., 2009. – 19 с.
7. Кочегаров, В. Г. Технология и машины лесосечных работ: учеб. для вузов / В. Г. Кочегаров, Ю. А. Бит, В. Н. Меньшиков. – М.: Лесная пром-сть, 1990. – 392 с.
8. Бердник, А. Г. Повышение эффективности сортиментной заготовки древесины с применением процессора / автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / А. Г. Бердник. – Петрозаводск, 2006. – 21 с.
9. Гинзбург, Ю. В. Промышленные тракторы / Ю. В. Гинзбург, А. И. Швед, А. П. Парфенов. – М.: Машиностроение, 1986. – 296 с.
10. Федоренчик, А. С. Харвестеры: учеб. пособие / А. С. Федоренчик, И. В. Турлай. – Минск: БГТУ, 2002. – 172 с.
11. Голякевич, С. А. Моделирование нагруженности несущих конструкций харвестеров на транспортных и технологических операциях / С. А. Голякевич // Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник. – 2013. – Вып. I. – С. 42–46.

Поступила 20.02.2013

УДК 630*363.7

А. О. Германович, магистр технических наук, аспирант (БГТУ)

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО И ТЯГОВОГО МОДУЛЕЙ РУБИЛЬНОЙ МАШИНЫ НА САМОХОДНОМ ШАССИ

В последнее время переработка древесных отходов в топливную щепу при помощи мобильных рубильных машин приобретает важное значение для энергонезависимости Беларуси. Существует большое количество технических характеристик отдельных агрегатов рубильных машин, среди которых зачастую сложно на стадии проектирования выбрать параметры составных агрегатов, а также определиться в компоновочном решении новой проектируемой мобильной рубильной машины.

Recently, processing of wood waste fuel chips with mobile chippers becomes important for the energy independence of the country. There are a variety of technical characteristics of individual units chippers, among which it is often difficult to choose the parameters of the design phase of composite components and is also defined in the new assembly solutions projected mobile chipper.

Введение. Одним из направлений повышения эффективности лесной отрасли является переработка древесных отходов в щепу при помощи рубильных машин. Во многих странах мира энергетика на растительной и древесной биомассе становится эффективной самокупаемой отраслью, конкурентоспособной по отношению к энергетике на ископаемом топливе.

На сегодняшний день на лесозаготовительных предприятиях республики применяется широкий спектр мобильных рубильных машин, предназначенных для производства топливной щепы, выпускаемых как на отечественных, так и на зарубежных заводах.

В процессе создания новой самоходной рубильной машины инженеры-конструкторы сталкиваются с проблемой выбора и обоснования параметров технологического оборудования и самоходного шасси, т. к. существуют разнообразные компоновочные решения и технические характеристики данной техники.

Основная часть. Самоходная рубильная машина на базе форвардера обладает таким основным преимуществом, как высокая проходимость, в отличие от других мобильных рубильных машин. Такая рубильная машина может работать не только на складе, но и непосредственно в самом лесу, тяжелых условиях передвижения.

Самоходная рубильная машина состоит из двух основных модулей – тягового и технологического (рис. 1). Тяговый является энергетическим модулем для базовой машины (форвардера), т. к. содержит такой основной элемент как двигатель, который является источником энергии привода колесных движителей. Технологический состоит из технологического оборудования и задней полурамы базовой машины (форвардера) с элементами трансмиссии и ходовой частью [1].

Самоходное шасси может иметь такие колесные формулы, как 4К2, 4К4, 6К6, 8К8.

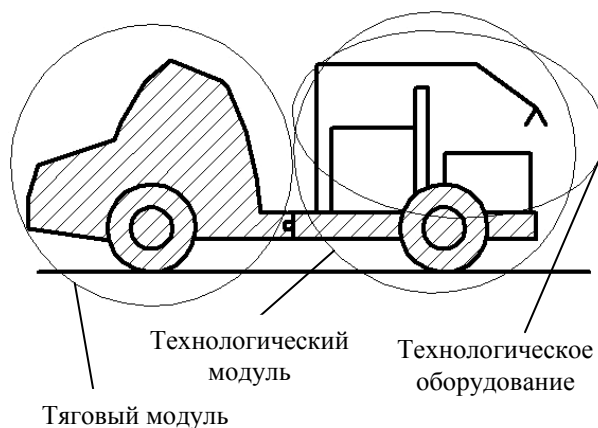


Рис. 1. Компоновочная схема самоходной рубильной машины

Увеличение количества и типоразмера колес ведет к увеличению проходимости, грузоподъемности, а также к снижению неблагоприятного воздействия колесных движителей на лесные почвогрунты.

Технологическое оборудование состоит из рубильного агрегата; двигателя; гидроманипулятора; бункера для щепы (рис. 2).

Комплектация и компоновка технологического оборудования может быть разнообразной в зависимости от места использования рубильной машины, а также от ее производительности. К примеру, основные отличия в комплектации технологического оборудования рубильной машины могут быть следующими: рубильный агрегат может иметь вентилятор, или транспортер для удаления щепы, либо то и другое; привод рубильного агрегата может осуществляться от автономного двигателя, или от двигателя тягового модуля, либо от того и другого; компоновка рубильного агрегата может быть продольная или поперечная (относительно продольной оси базовой машины); рубильный агрегат может располагаться на полноповоротной или неповоротной платформе.

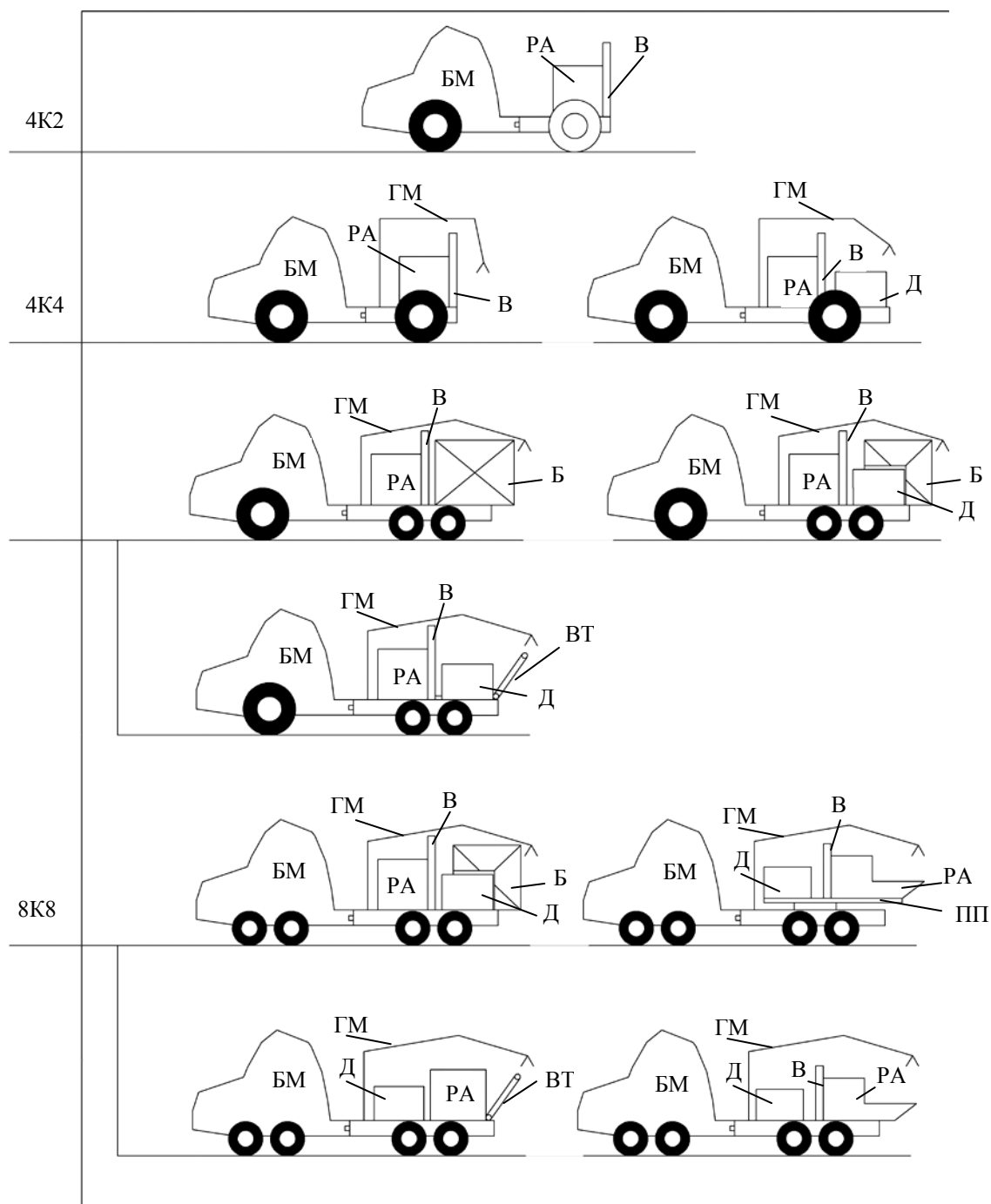


Рис. 2. Компонентные схемы самоходных рубильных машин:
 БМ – базовая машина; РА – рубильный агрегат; В – вентилятор для удаления щепы;
 ГМ – гидроманипулятор; Д – двигатель; Б – бункер-накопитель;
 ПП – полноповоротная платформа

Предлагаемая методика обоснования параметров технологического оборудования и самоходного шасси учитывает место работы самоходной рубильной машины, а также ее производительность. Методика включает входные и выходные параметры (рис. 3). Входным параметром является производительность и мобильность (место использования рубильной машины (лесосека, склад)).

Выходные параметры: площадь сечения загрузочного окна рубильного агрегата, грузоподъемный момент гидроманипулятора, мощность двигателя, объем бункера для щепы, колесная формула и площадь пятна контакта колеса (удовлетворяющие нормам СТБ-1342-2002) [2]. Связь между входными и выходными параметрами осуществляется через массу.

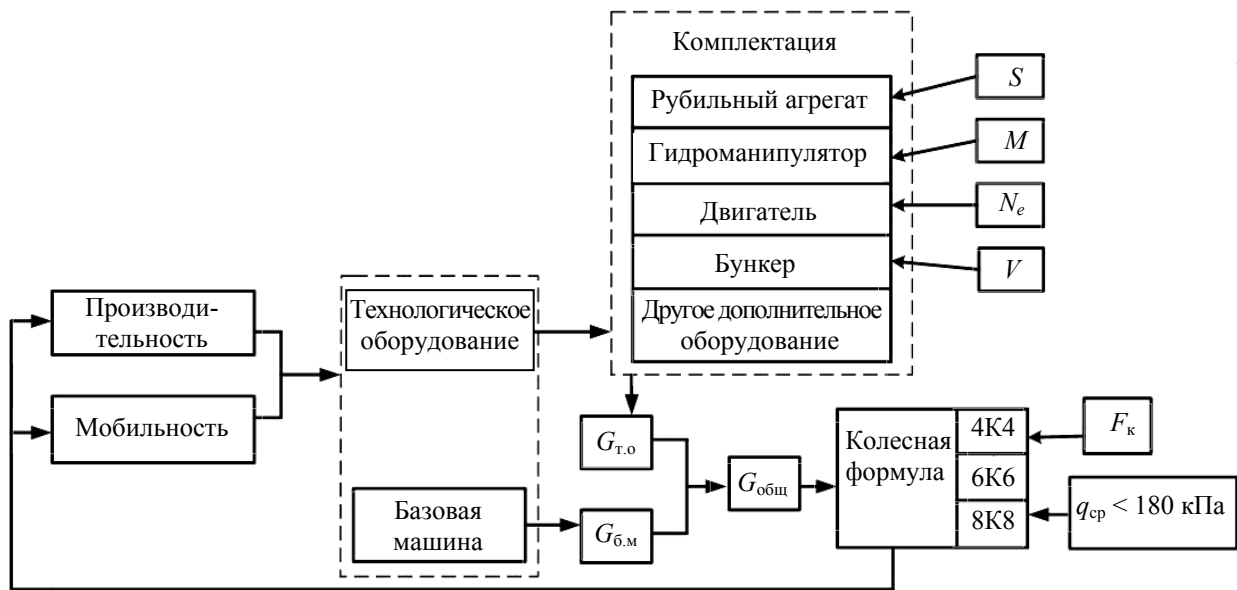


Рис. 3. Схема обоснования параметров технологического оборудования и базового шасси самоходной рубильной машины

В результате были собраны и проанализированы статистические данные основных параметров самоходной рубильной машины, что в дальнейшем позволило провести регрессионный анализ, который заключался в установлении уравнений регрессии основных параметров технологического оборудования и базового шасси (аргументами x и функциями y , в качестве аргументов выступали основные параметры технологического оборудования и базового шасси, а в качестве функций – их массы), оценке тесноты связей между ними, достоверности и адекватности результатов измерений [2].

Для определения наличия таких связей были построены корреляционные поля (рис. 4).

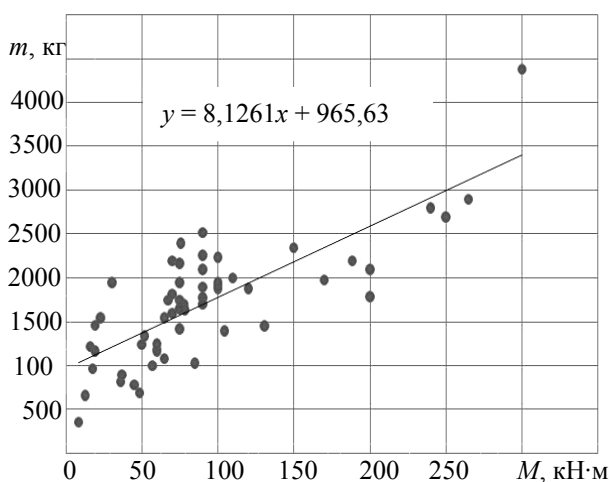


Рис. 4. Корреляционное поле и регрессионная зависимость изменения массы гидроманипулятора от его грузоподъемного момента

Предварительно по тесноте группирования точек визуально были определены характер корреляционной зависимости и проведены линии тренда. Линии тренда проводились таким образом, чтобы минимизировать среднюю квадратичную ошибку величины предсказания для функций y при данных значениях x . При предположении о приблизительно линейном характере зависимости коэффициент корреляции выступает в качестве критерия близости корреляционной зависимости между x и y . Если величина коэффициента корреляции близка к 1, это говорит о тесной связи, в то время когда она близка к 0, речь идет об очень слабой связи или об ее отсутствии. Все коэффициенты корреляции полученных зависимостей свидетельствуют о наличии достаточно тесной связи между показателями параметров технологического оборудования и базового шасси.

На основании проведенного регрессионного анализа и статистической обработки основных параметров технологического оборудования и базового шасси получены регрессионные зависимости, удовлетворяющие коэффициенту корреляции: массы рубильного агрегата от площади сечения загрузочного окна; массы двигателя от его мощности; массы манипулятора от его грузоподъемного момента; массы базовой машины от массы возможного перевозимого полезного груза (грузоподъемности) (рис. 5, 6).

Зависимость массы бункера со щепой от его объема была получена расчетным путем.

Построенные зависимости изменений массы от основных показателей технологического оборудования (площадь сечения загрузочного окна рубильного агрегата, грузоподъемный момент гидроманипулятора, мощность двига-

теля, объем бункера для щепы) позволяют определить общую массу технологического оборудования самоходной рубильной машины.

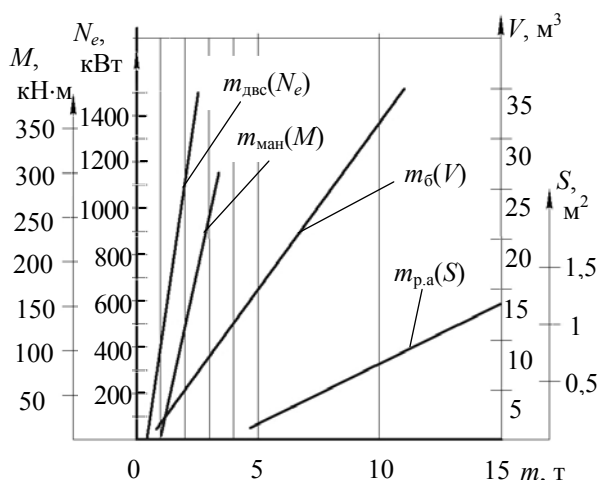


Рис. 5. Изменение массы технологического оборудования от его основных параметров

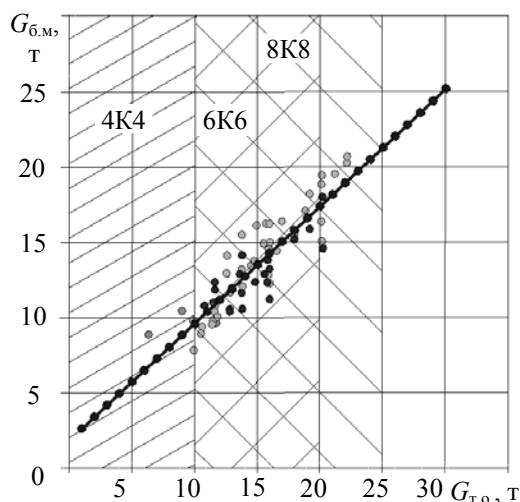


Рис. 6. Изменение массы базовой машины от массы технологического оборудования

В зависимости от массы технологического оборудования определяется масса самой базовой машины и соответственно общая масса всей рубильной машины в целом, а также предварительно ее колесная формула.

Методика позволяет после определения общей массы самоходной рубильной машины выбрать колесную формулу (рис. 7), удовлетворяющую нормам СТБ 1342-2002 (т. е. удельное давление на грунт, не превышающее 180 кПа). На построенных графиках нанесены области варьирования удельного давления на грунт в зависимости от изменения площади пятна контакта

(F_k от $0,01 \text{ м}^2$ до $0,3 \text{ м}^2$) для колесных формул базового шасси 4К, 6К6, 8К8.

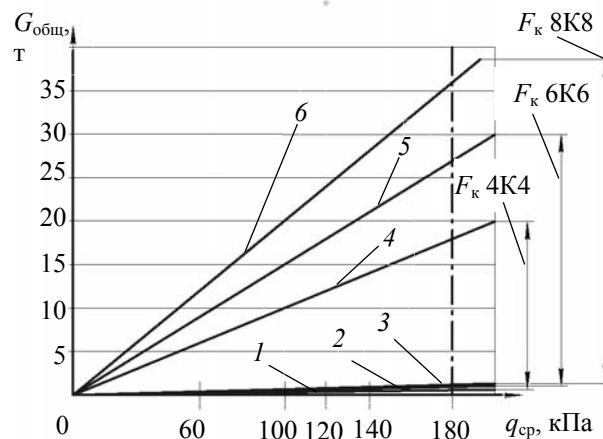


Рис. 7. Изменение давления колесных движителей на почву в зависимости от изменения общей массы рубильной машины на самоходном шасси:

- 1 – $q_{ср}(G_{общ})$ 4К4 при $F_k = 0,01 \text{ м}^2$;
- 2 – $q_{ср}(G_{общ})$ 6К6 при $F_k = 0,01 \text{ м}^2$;
- 3 – $q_{ср}(G_{общ})$ 8К8 при $F_k = 0,01 \text{ м}^2$;
- 4 – $q_{ср}(G_{общ})$ 4К4 при $F_k = 0,3 \text{ м}^2$;
- 5 – $q_{ср}(G_{общ})$ 6К6 при $F_k = 0,3 \text{ м}^2$;
- 6 – $q_{ср}(G_{общ})$ 8К8 при $F_k = 0,3 \text{ м}^2$

Так как удельное давление зависит не только от колесной формулы, но и от геометрических параметров шины, то целесообразно выбрать колесную формулу с таким типоразмером колес, у которых пятна контакта также удовлетворяли бы требованиям СТБ.

Заключение. Построены регрессионные зависимости, отражающие взаимовлияние основных параметров на общую массу самоходной рубильной машины, на основании которых разработана методика, позволяющая обосновать комплектацию технологического оборудования и колесную формулу базового шасси, удовлетворяющую нормам СТБ, при заданных изначально лишь двух основных параметрах: производительности и мобильности (места работы машины).

Литература

1. Яцкевич, В. В. О принципе модульного построения сельскохозяйственных мобильных агрегатов / В. В. Яцкевич // Тракторы и сельхозмашины. – 1982. – № 10. – С. 5–6.
2. Пижурич, А. А. Исследования процессов деревообработки / А. А. Пижурич, М. С. Розенблит. – М.: Лесная пром-сть, 1984. – 232 с.

Поступила 20.02.2013

УДК 625.711.84:625.731(252.6)

А. И. Драчиловский, аспирант (БГТУ)

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НАСЫПЕЙ
С ГРУНТОВЫМИ ОСНОВАНИЯМИ**

В статье рассматриваются вопросы об изучении взаимодействия насыпей с основаниями, отсыпаемых на слабых грунтах. Разработаны и предложены новые способы устройства прослоек, позволяющих разделить насыпь и основание.

The article discusses issues on the interaction between mounds with bases, pour on weak grounds. Developed and offered new ways of device layers, allowing separate embankment and foundation.

Введение. Автомобильная дорога – сложное инженерное сооружение. Актуальными вопросами являются проектирование и строительство дорог на слабых, главным образом торфяных основаниях, характеризующихся низкой несущей способностью. Для эффективного использования данных оснований необходимо иметь теоретическое обоснование.

Основная часть. Автомобильные дороги играют важную роль при перевозке различных грузов, в том числе и лесных. Доступность лесного ресурса зависит от наличия, протяженности и состояния дорог, проходящих по территории лесного комплекса. Протяженность дорог, проходящих по территории лесного фонда Министерства лесного хозяйства, составляет 144 298 км. Из них общего пользования – 33 986 км, не общего пользования – 110 312 км, в том числе: лесохозяйственные – 28 440 км, естественные лесные – 81 872 км. Из общей протяженности дорог, кроме дорог республиканского и местного значения, в удовлетворительном состоянии находится только 3989 км [1].

В конструкциях дорог, эксплуатируемых на заболоченных участках местности, не до конца исследованы процессы распределения нагрузок, которые передаются от подвижного состава и веса самой дорожной конструкции. По этой причине необходимо изучить вопросы равномерности передачи напряжений от динамических и статических нагрузок, передаваемых на слабое грунтовое основание.

Основание насыпи считается слабым, если активная зона состоит из слабых грунтов, которые имеют мощность свыше 0,5 м. В свою очередь слабые основания классифицируются на различные по устойчивости типы. Этот показатель определяется их свойствами и состоянием.

Таким образом, перед началом возведения сооружений, а также перед строительством дорог необходимо проводить исследования грунта, определить слабые основания. Данные исследования должны быть направлены на выявление схемы расположения пластов грунта, а также их мощности, в том числе толщины слоев, механических и физических свойств. Нема-

ловажным фактом для строительства является и расположение грунтовых вод.

Вопрос воздействия статических нагрузок насыпей, возводимых на слабых грунтах, а также передачи и перераспределения нагрузок от подвижного состава на нижележащие слои дорожной конструкции и слабые основания достаточно многогранен и требует своего научного обоснования.

В этой связи прежде всего необходимо изучить природу взаимодействия отсыпаемых насыпей со слабыми грунтовыми основаниями, чтобы выработать научные основы повышения несущей способности таких грунтовых оснований при различных вариантах их упрочнения.

В большинстве случаев слабым основанием являются торф и торфяные грунты.

Торф представляет собой скопление растений, подвергшихся неполному разложению в условиях избыточного увлажнения при затруднительном доступе воздуха.

Механические свойства торфа как основания дорожных покрытий определяются степенью его разложения, влажностью и другими физическими свойствами.

Торф под нагрузкой работает на сжатие и срез по периметру опорной поверхности, передающей нагрузку на торфяное основание [2].

Зависимость между осадкой торфа u и внешней удельной нагрузкой p имеет криволинейное очертание, как это показано на рис. 1. До известного предела существует пропорциональность между ростом удельной нагрузки и увеличением осадки (до точки a). Этот предел называется пределом пропорциональности торфа. До предела пропорциональности происходит уплотнение торфа. За этим пределом деформации растут быстрее, чем удельная нагрузка, что графически выражается кривой, постепенно приближающейся к вертикали. Такая криволинейная зависимость объясняется образованием в торфе сдвигов. При дальнейшем увеличении нагрузки наступает предел, когда деформация начинает расти без дальнейшего увеличения нагрузки (точка b). Этот предел удельной нагрузки называется несущей способностью торфа.

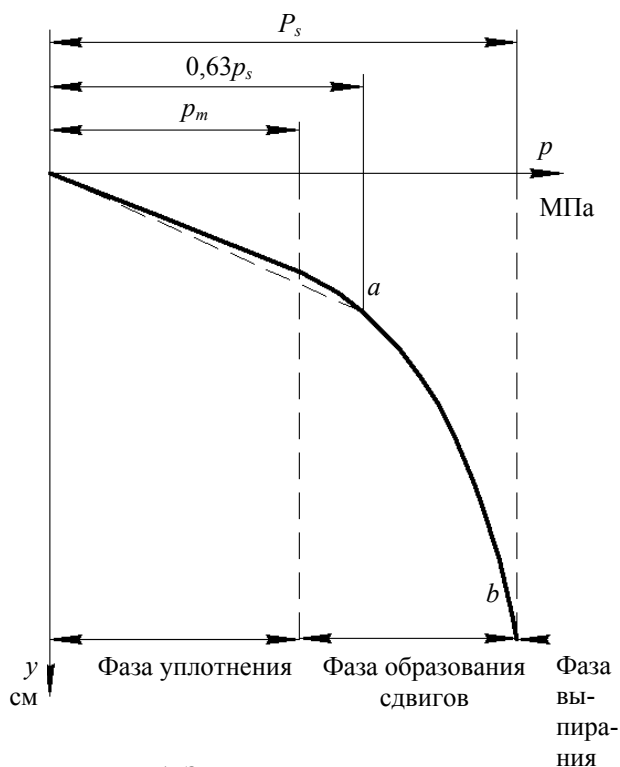


Рис. 1. Зависимость между удельной нагрузкой и осадкой торфа

Несущую способность торфа можно определить как нагрузку на штамп при его осадке по формуле

$$P = A_0 \cdot S + B_0 \cdot \Pi, \quad (1)$$

где A_0 – удельное сопротивление торфа сжатию, МПа ($\text{кг}/\text{см}^2$); S – площадь штампа, см^2 ; B_0 – удельное сопротивление торфа срезу, МПа ($\text{кг}/\text{см}^2$); Π – периметр штампа, см.

Разделив обе части уравнения на S , получим величину несущей способности торфа:

$$p_s = A_0 + B_0 \frac{\Pi}{S}. \quad (2)$$

Кроме параметров A_0 и B_0 , работа торфа под нагрузкой определяется еще одним параметром – коэффициентом k (см), характеризующим сжимаемость торфа. Он численно равен осадке торфа при удельной нагрузке $p = \left(1 - \frac{1}{e}\right) p_s \approx 0,63 p_s$ (e – основание натуральных логарифмов).

A_0 , B_0 и k не зависят от размеров штампов и являются константами, определяющими механические свойства данной торфяной залежи.

В случае, когда насыпь устраивают на грунтовых основаниях с достаточно высокими механическими характеристиками, слагающие ее частицы, находящиеся на границе контакта с основанием, незначительно погружаются в поверхностный слой последнего.

То есть не происходит перемешивания или существенного погружения насыпного грунта в толщу грунтового основания, а следовательно, отсутствует необходимость применения различного вида прослоек для разделения насыпи и основания.

С уменьшением несущей способности оснований, в частности при отсыпке насыпей на торфяных основаниях, можно наблюдать картину хаотичного перераспределения грунтовых масс насыпи и основания на границе их взаимодействия (рис. 2). Это является результатом того, что в момент отсыпки и уплотнения грунта насыпи происходит его просадка в слабое основание. В результате чего по площади взаимного контакта перемешиваются частицы насыпи и основания с образованием различного рода криволинейных зигзагообразных участков.

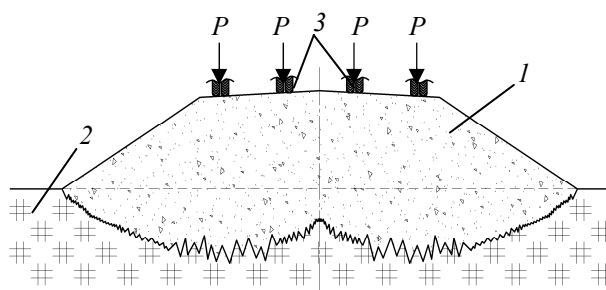


Рис. 2. Хаотичное перераспределение грунтовых масс насыпи и основания:

1 – насыпь; 2 – торфяное основание;
3 – колесная нагрузка

Избежать проникновения грунта насыпи в торфяное основание можно путем введения на их границе различного рода разделяющих прослоек из геотекстильных и других материалов (рис. 3).

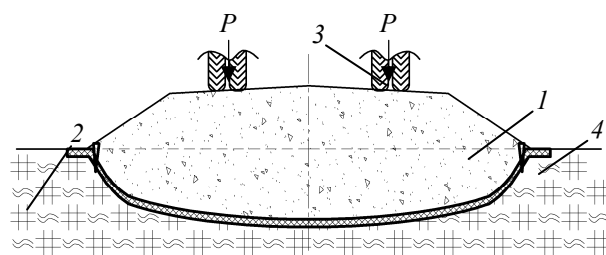


Рис. 3. Введение разделяющей прослойки:

1 – насыпь; 2 – заболоченное торфяное основание;
3 – колесная нагрузка; 4 – геосинтетическая прослойка

При возведении насыпей на заболоченных торфяных основаниях первые проседают на большую глубину даже при наличии разделяющей прослойки с низкой степенью растяжения. Наиболее эффективное взаимодействие

будет достигаться, когда нагрузка от насыпи к основанию передается по линиям сжимающих напряжений (рис. 4). И в этих двух случаях важно, чтобы линии прогиба совпали с линиями равных напряжений [3].

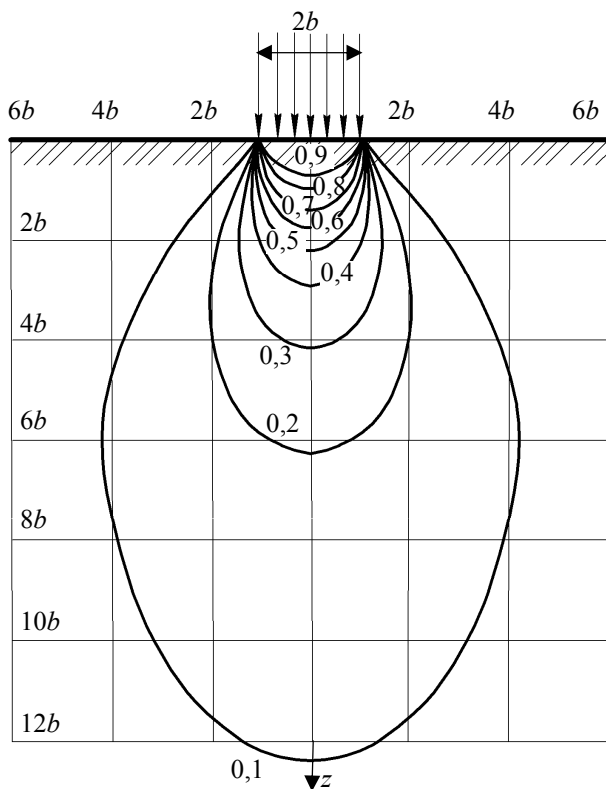


Рис. 4. Распределение вертикальных нормальных напряжений в грунтах от нагрузки

Существенное влияние на кривизну линий нормальных напряжений на границе конструктивных слоев насыпи земляного полотна и основания будет оказывать то, какие грунты залегают в основании. В частности, чем слабее основание, тем более крутая кривизна линий нормальных напряжений.

Кроме этого, жесткость подстилающего слоя возможно повышать за счет дополнительного введения поперечных деревянных элементов, которые вместе с разделяющей прослойкой образуют настил, армируя слабое основание.

Для расчета отпора (реакции) грунта снизу (рис. 5) используем гипотезу коэффициента постели [4]:

$$p(x) = k \cdot y(x), \quad (3)$$

где k – коэффициент постели (грунт рассматривается как система опирающихся на жесткое горизонтальное основание и не связанных между собой пружин, сжатие которых возрастает прямо пропорционально приложенной нагрузке.

Коэффициент пропорциональности между нагрузкой и деформацией называется коэффициентом постели); $y(x)$ – прогиб нити.

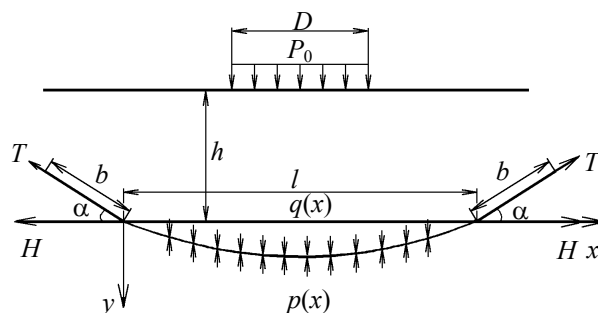


Рис. 5. Расчетная схема:

h – глубина заложения геотекстиля; l – величина горизонтальной проекции изогнутой части геотекстиля; $q(x)$ – давление, воспринимаемое прослойкой с учетом внешней нагрузки P_0

Таким образом, сопротивление грунта развивается только непосредственно под нагрузкой и в этом сопротивлении не участвует грунт, расположенный сбоку, который не испытывает осадки.

Основным недостатком данной модели является то, что поверхность грунта, как показывают эксперименты, оседает не только непосредственно под зоной действия нагрузки, но и вокруг нее.

Закключение. Таким образом, высказанные предположения могут являться теоретическими предпосылками для выполнения расчетов и установления зависимости распределения напряжений в дорожных конструкциях при воздействии динамических и статических колесных нагрузок при проектировании дорожных конструкций на слабых основаниях.

Литература

1. Состояние и использование лесов Республики Беларусь. 2010: ежегод. обзор. – Минск, 2011. – 75 с.
2. Вырко, Н. П. Определение несущей способности оснований дорог при освоении заболоченных территорий / Н. П. Вырко, М. Т. Насковец // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. – 1993. – Вып. 1. – С. 31–34.
3. Бабков, В. Ф. Основы грунтоведения и механики грунтов: учеб. пособие для автомобильно-дорожных специальностей вузов / В. Ф. Бабков, В. М. Безрук. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1986. – 239 с.
4. Гармаза, А. К. Совершенствование конструкций автомобильных лесовозных дорог с применением геотекстилей: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / А. К. Гармаза. – Минск, 2002. – 131 л.

Поступила 21.02.2013

УДК 629.73/614.842

И. И. Леонович, доктор технических наук, профессор (БНТУ);
Р. И. Могилянец, магистр технических наук, аспирант
 (Минский государственный высший авиационный колледж)

РОЛЬ АВИАЦИИ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

В статье рассмотрены история эксплуатации авиации в лесном хозяйстве, категории и способы борьбы с лесными пожарами при использовании авиационной техники.

The history of the aviation usage in forest management, categories and the ways of forest fire-fighting applying aviation equipment is considered in this article.

Введение. Леса в Беларуси занимают около 40% территории. Это поистине неопределимое богатство нашей республики, нуждающееся в бережном отношении и сбережении. Основным помощником в охране лесного фонда во все времена являлась малая авиация.

Основная часть. В Республике Беларусь работы по авиационной охране лесов выполняются с 1946 года. До 1989 года на территории Белорусской ССР авиалесоохранные работы проводил филиал Центральной базы авиалесоохраны Министерства лесного хозяйства РСФСР. В 1991 году Постановлением Совета Министров Республики Беларусь Белорусское авиазвено передано Министерству лесного хозяйства Республики Беларусь и преобразовано в Белорусскую базу авиационной охраны лесов, после 1996 года – переименовано в Государственное предприятие авиационной охраны лесов «Беллесавиа».

При передаче летно-технического комплекса на балансе было 34 вертолета Ми-2 и 20 самолетов Ан-2, из них работающих, с остатком летного ресурса: 2 вертолета Ми-2 и 2 самолета Ан-2 (рис. 1).



Рис. 1. Общий вид авиационной техники:
 а – МИ-2; б – АН-2

С целью более оперативного использования воздушные суда малой авиации в народном хозяйстве в 2003 году Беллесавиа переданы из подчинения Министерству лесного хозяйства в подчинение Министерству по чрезвычайным ситуациям с сохранением всех видов выполняемых работ и разделением на Витебский филиал и 12 авиационных отделений: Брестское, Витебское, Ганцевичское, Гомельское, Грод-

ненское, Минское, Могилевское, Мозырское, Молодечненское, Пинское, Полоцкое и Солигорское.

Авиаотделения являются постоянно действующими производственно-территориальными подразделениями, которые осуществляют комплекс мероприятий по осуществлению авиационного обнаружения пожаров в лесах и торфомассивах в тесном взаимодействии с государственными органами управления лесным хозяйством, другими владельцами лесного фонда и лесопользователями, с органами государственной власти на местах. Данные отделения расположились в местах наибольшей концентрации лесных массивов республики.

В течение последних трех лет было восстановлено 19 воздушных судов и закуплены более экономичные по расходу топлива 4 самолета Ил-103 (рис. 2), которые задействованы под заказ Министерства лесного хозяйства по авиационному обнаружению и организации тушения лесных пожаров. Остальные 37 воздушных судов были законсервированы, так как на их ремонт требовались большие затраты, а воздушные суда не были востребованы.



Рис. 2. Общий вид самолета ИЛ-103

Основными задачами авиации Беллесавиа являются:

- своевременное обнаружение лесных и торфяных пожаров и информирование о месте их возникновения, а при малом очаге локализация силами десантников-пожарных из состава воздушного патруля;
- выполнение аварийно-спасательных и других неотложных работ при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера;

– качественная подготовка воздушных судов и обеспечение полетов, а также высоко-профессиональная подготовка летного, инженерно-технического состава и специалистов десантно-пожарной службы [1].

Лесные пожары являются наиболее острой проблемой. Патрулирование проводится на самолетах и вертолетах авиационного отделения охраны лесов (наземное патрулирование в этих районах не отменяется). Патрульные полеты в зависимости от условий района полетов и видимости проводятся, как правило, на высотах от 600 до 1500 м по установленным (утвержденным) маршрутам. В одном авиаотделении устанавливается не более двух маршрутов, прокладываемых с учетом обеспечения осмотра наиболее опасных участков леса и обеспечения тренировок самолетовождения.

В авиаотделениях, где имеются авиапожарные команды, патрулирование проводится с парашютистами и десантниками-пожарными на борту, что сокращает время между обнаружением и началом организации тушения.

При полете по маршруту, заметив дым, летчик-наблюдатель дает указание пилоту об изменении маршрута для полета к дымовой точке и записывает в боржурнале время и место разворота, а также новый курс. В боржурнале с момента обнаружения дымовой точки и до окончания работ над ней (сбрасывание вымпелов (радиомаячков), записывается информация о высадке парашютистов и выполнении других операций, место и время изменения основных элементов полета (курса, высоты, скорости), а также сведения о пожарах и проделанной работе (сброс схем, высадка парашютистов, посадка вертолетов, передача сведений по радиосвязи и др.).

Место пожара определяется по патрульной карте визуально путем привязки его к квартальной сети и ближайшим опознанным ориентирам. При значительном удалении пожара от ориентиров его место определяется пеленгацией. Истинные пеленги на пожар берутся с двух ориентиров, выбранных с таким расчетом, чтобы пеленги от них не пересекались под углом меньше 45° или больше 135° . Для большей уверенности в расчетах рекомендуется брать третий пеленг, обратный одному из взятых или с дополнительного ориентира. Летчик-наблюдатель имеет право продолжать дальнейший полет по маршруту лишь после того, как убедится в правильности определения места пожара.

Для определения с воздуха вида пожара служат следующие признаки:

низовой – горение происходит под пологом древостоя или на открытой местности, форма площади пожара вытянутая, с извилинами

границами, огонь под пологом древостоя виден обычно местами, цвет дыма беловатый;

верховой – площадь пожара сильно вытянутая, видны горящие кроны деревьев, огонь хорошо заметен с высоты 600 м, цвет дыма темный;

торфяной, или **подземный**, – границы недавно возникшего пожара плохо заметны, дым поднимается по всей площади пожара, огонь не виден; на пожаре, действующем более суток, границы выгоревшей площади хорошо заметны, дым сосредоточен по периферии пожара, много деревьев, вывалившихся вершинами на выгоревшую площадь, огонь не виден.

Развитие пожаров придает площадям определенную форму:

– округлая форма наблюдается при равномерном распространении огня в безветренную погоду при однородных горючих материалах и относительно ровной местности;

– неравномерная (разносторонняя) форма отмечается при переменном ветре, разнородных горючих материалах, пересеченной местности;

– эллиптическая (вытянутая) форма наблюдается при ветре, относительно ровной местности, однородности горючих материалов.

Установив место и вид пожара, летчик-наблюдатель проводит облет на высоте 600–800 м и наносит простым карандашом границы пожара на патрульную карту по ориентирам, опознанным на местности. Если площадь пожара в масштабе карты составляет менее $0,5 \text{ см}^2$, его место отмечают точкой. Площади, пройденные пожарами, определяются палеткой. Площади пожаров, место которых на карте обозначено точкой, определяются глазомерно. Допускаемые погрешности в определении площадей не должны превышать 30%.

После определения площади и вида пожара при необходимости составляется донесение или схема места пожара с нанесением квартальной сети, населенных пунктов, рек, озер, дорог, троп и других ориентиров. На схеме красным цветом наносят границы пожара или обозначают его кружком (если размеры пожара незначительные). Направление распространения огня указывают красной стрелкой. Схема составляется цветными карандашами (фломастерами), при этом голубым цветом на схеме наносят реки, озера, болота, коричневым – дороги, зеленым – квартальную сеть, черным показывают направление ветра (стрелкой), названия населенных пунктов (ориентиров). На схеме указывают и дополнительные ориентиры, которых нет на карте, а также естественные преграды, которые можно использовать для остановки огня, и дают рекомендации по тактике тушения пожара. После составления схемы пожара высота полета снижается для детального осмотра пожара:

на самолетах не ниже 200 м истинной высоты и на вертолете не ниже 100 м. Летный наблюдатель производит описание горящего леса (состав, полнота, возрастная группа – молодняки, средневозрастные, спелые). Если пожар действует на не покрытой лесом площади, указывается ее категория (вырубка, лесная поляна, луг и т. д.). Кроме того устанавливается наличие или отсутствие на пожаре рабочих, определяется интенсивность горения, выявляются дополнительные данные, которые наносятся на схему.

Основные работы, выполняемые по предупреждению и ограничению распространения лесных пожаров:

- проведение комплекса работ – разъяснительная и воспитательная работа, регулирование посещаемости лесов, благоустройство мест отдыха и стоянок транспорта, контроль за соблюдением правил пожарной безопасности;

- снижение пожарной опасности – регулирование состава древостоев, очистка мест рубок и ликвидация внелесосечной захламленности, санитарные рубки;

- предупреждение (ограничение) распространения огня – создание противопожарных разрывов (барьеров), минерализованных полос, противопожарных опушек;

- подготовка сил и средств – пункты сосредоточения пожарного инвентаря, подготовка лесной охраны, команд авиаотделений, пожарно-химических станций, временных пожарных сторожей и добровольных пожарных дружин.

Авиационные отделения, если они не заняты тушением ранее возникших лесных пожаров, занимаются тренировкой, подготовкой снаряжения и пожарных средств или выполняют другие работы, связанные с оказанием помощи сельскому хозяйству [2].

Проводя сравнительный анализ по обеспеченности авиационной техникой с Российской

Федерацией, которая к вышеперечисленным образцам, используемым в нашей республике, эксплуатирует самолет-амфибию БЕ-200. Данный самолет способен осуществлять взлет и посадку на поверхность воды местных водоемов, с функцией забора воды без посадки самолета на водную гладь, путем брейющего прохода над поверхностью водоема, что существенно экономит время на выполнение задач по тушению лесных пожаров. К сожалению, в Республике Беларусь использование данного типа авиационной техники невозможно, ввиду отсутствия на нашей территории огромных озер и рек, удовлетворяющих условиям безопасности полетов по критериям наличия помех в зонах воздушных подходов при заборе воды, либо посадке.

Заключение. Таким образом, роль авиации в лесном хозяйстве неопределима, поэтому необходимо развивать данное направление, внедряя современные технические решения, такие как беспилотные летательные аппараты, которые в ряде стран мира находят применение, в частности реализовать возможность сопровождения беспилотным самолетом движущихся объектов в автоматическом режиме можно при помощи спецмаяков. Имеются возможности эстафетной передачи управления самолетом между различными пунктами управления.

Литература

1. Сайт РУП авиационной охраны лесов «Беллесавиа» [Электронный ресурс] / Госпредприятие «Беллесавиа». – Минск, 2008–2012. – Режим доступа: <http://bellesavia.by> 28.01.2013. – Дата доступа 28.01.2013.

2. Щетинский, Е. А. Тушение лесных пожаров: пособие для лесных пожарных / Е. А. Щетинский. – М., 1994.

Поступила 21.02.2013

УДК 630.161, 629.73

Д. Ю. Мягков, кандидат технических наук, доцент, профессор
(Минский государственный высший авиационный колледж);

Р. И. Могилянец, магистр технических наук, аспирант
(Минский государственный высший авиационный колледж)

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

В статье рассмотрен вопрос о применении беспилотных летательных аппаратов для мониторинга состояния лесного хозяйства при обнаружении лесных пожаров и оценки их последствий.

The issue of unmanned aircraft usage for forestry quality monitoring and forest fires detection and assessment of their consequences is considered in this article.

Введение. Республика Беларусь обладает обширными лесными богатствами, требующими постоянных мероприятий по охране и защите, проведение которых невозможно без авиации.

К лесоавиационным работам относятся: авиационная охрана (патрулирование) лесов от пожаров и тушение их с применением авиации; аэрофотосъемка лесов; аэротаксация лесов; лесопатологическое обследование; фенологические наблюдения; авиационные работы по борьбе с вредителями лесов, нежелательной древесно-кустарниковой растительностью; аэросев леса; авиаобслуживание лесной промышленности, лесозаготовок и лесосплава.

Основная часть. В настоящее время актуальной становится задача применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для вышеперечисленных работ [1, 2].

Рассмотрим перспективные направления использования БПЛА в лесном хозяйстве.

1. Информационная поддержка оперативных штабов по тушению крупных лесных пожаров, в том числе в сложных и чрезвычайных условиях.

Технологические задачи: обеспечение высокого (непрерывного) уровня мониторинга за распространением лесных пожаров, в том числе крупных, в неблагоприятных погодных условиях (сильное задымление); передача видеoinформации непосредственно в оперативный штаб на удалении до 50 км; ретрансляция сигналов УКВ-связи, передача цифровых пакетов информации между командами тушения и оперативным штабом с целью повышения качества управления силами тушения.

Данные задачи могут быть решены БПЛА малого и среднего класса. При повышении требования по дальности передачи информации до 100–150 км и свыше обеспечению устойчивой работы в условиях сложного рельефа данные задачи могут решаться БПЛА среднего и большого классов.

Ожидаемый результат: обеспечение непрерывного уровня мониторинга лесопожарной

ситуации в кризисной оперативной зоне, повышение качества связи на пожарах в труднодоступных районах; снижение уровня угроз населенным пунктам и объектам экономики за счет своевременности принятия штабами организационных решений.

2. Информационная поддержка наземных сил с применением БПЛА микрокласса.

За каждым лесным пожаром, возникшим на обслуживаемой территории, устанавливается наблюдение с воздуха с момента его обнаружения и до полной ликвидации.

Необходимость облета пожара устанавливается на основании информации, получаемой от руководителя тушения лесного пожара. Облет лесного пожара производится 2–3 раза в день.

Общий осмотр пожара производится на высоте полета 600–800 м. При каждом осмотре на карту (карту-схему) наносятся границы пожара и около нее указываются дата осмотра и площадь, что позволяет выявить динамику распространения пожара.

Во время осмотра действующих лесных пожаров оператор определяет основное направление распространения огня, наличие угрозы распространения пожара объектам экономики и населенным пунктам, наличие отдельных очагов горения, участков, особо опасных в пожарном отношении, места перехода огня через минерализованные полосы и, по возможности, выявляет местонахождение людей и техники, занятых на тушении пожара с целью определения правильности их расстановки на кромке пожара. Одновременно с получением видеoinформации представителями лесной службы принимаются решения о тактических способах тушения, маневрировании людскими и техническими ресурсами. Намечаются естественные рубежи для остановки огня, подъездные пути (подходы) к пожару, участку кромки (дороги, тропы, озера, ручьи, реки, мосты).

Проведение детального осмотра действующего лесного пожара (контроль за работой лесопожарных команд) производится с высоты

200–400 м. С этой высоты хорошо просматриваются минерализованные полосы, проложенные лесопожарной техникой.

Если лесопожарная техника оборудована «радиомаяками» из комплекта БПЛА, то при полете БПЛА в зоне их действия она отображается на экране непосредственной системы управления.

При осмотре локализованных пожаров основное внимание оператора обращается на дымовые точки по периферии пожара (горящие и дымящиеся пни, стволы деревьев, кучи древесного хлама, и т. д.), степень их опасности с точки зрения возможности возобновления и распространения огня, на наличие и работу людей, оставленных на месте пожара для его окарауливания и полной ликвидации.

Для обнаружения скрытых очагов горения применяются комбинированные (оптический и ИК диапазон) видеокамеры. Полеты для обнаружения скрытых очагов горения производятся в ранние утренние или поздние вечерние часы, когда влияние солнечной радиации минимально.

Для оперативного маневрирования людскими и техническими ресурсами предусмотрено наличие двухсторонней радиосвязи между оператором БПЛА и наземными командами пожаротушения.

При движении колонны лесопожарной техники к лесному пожару (в зоне действия лесного пожара) применяется БПЛА для разведки подъездных путей, а также путей эвакуации в случае внезапного изменения лесопожарной обстановки (усиления пожара).

Технологические задачи: проведение полетов на малых высотах до 100 м в ближней зоне на удалении до 5 км, возможность проведения старта и посадки с любой площадки ограниченных размеров.

Ожидаемый результат: наведение наземных команд при движении на пожар малой площади или проблемный участок кромки пожара в условиях пересеченного рельефа, информационная поддержка работ по тушению пожара средних размеров, поддержка работ по окарауливанию при дефиците персонала, мониторинг изменения опасных ситуаций на пожаре, повышение эффективности наземного патрулирования.

3. Плановый лесопатологический мониторинг состояния контрольных участков лесного фонда.

Имеется проблема оперативного мониторинга состояния лесного фонда на контрольных участках, требуется обеспечить периодичность осмотра нескольких десятков участков, расположенных в удаленных труднодоступных районах по территории региона (субъекта) с целью своевременного выявления отрицательных ле-

сопатологических тенденций. Организация работы наземных команд для осмотра контрольных участков – затратное мероприятие с низкой производительностью, требующее отвлечения людских ресурсов, иногда привлечения дорогостоящей авиации для доставки команд. Применение пилотируемой авиации не обеспечивает постоянства и своевременности по техническим и организационным причинам, при этом имеется очень высокая стоимость данных работ. Использование для данных целей средств космического мониторинга позволяет частично снять остроту проблемы, но в силу технических особенностей не обеспечивает достоверности результатов в оперативные сроки.

Решение технологических задач включает проведение автоматического полета по заданному маршруту с удалением свыше 100 км от точки старта; выполнение полетов по маршруту в воздушном пространстве; проведение аэрофотосъемки в контрольных точках с требуемыми характеристиками.

Данные задачи могут быть решены БПЛА среднего и большого класса.

Ожидаемый результат: заблаговременное выявление районов с негативными лесопатологическими тенденциями, снижение затрат на проведение планового мониторинга состояния лесов, адресное использование ресурсов служб по защите леса, предотвращение возможного ущерба за счет своевременности реализации лесозащитных мероприятий.

Полеты по оценке лесопатологического и санитарного состояния лесов выполняются на высоте 600–800 м. В качестве патрульных карт используются топографические карты масштаба 1 : 1 00 000 – 1 : 2 000 00 или их копии, а также лесопожарные карты.

Для мониторинга местности применяются следующие бортовые целевые нагрузки: видеокамеры оптического диапазона; фотоаппараты оптического диапазона.

В процессе полета, после взлета и набора высоты, оператор путем просмотра видеоизображения, передаваемого с БПЛА в режиме реального времени, ведет наблюдение за пролетаемой местностью. Видеокамеру БПЛА следует устанавливать таким образом, чтобы обеспечивался обзор пролетаемой местности с частичной видимостью горизонта. По изменению окраски и разреженности полога леса и другим визуальным признакам можно определить следующие виды участков повреждений: повреждение хвое-листогрызущими насекомыми (чем больший процент объедания хвои (листвы), тем сильнее сквозь крону проявляется цвет стволов поврежденной породы, влияющий на окраску полога леса); ветровалы, снеголомы, буреломы

свежие; сухостой (старые гари, шелкопрядники); захламленность на свежих вырубках; свежие гари; насаждения с патологическим состоянием от невыясненных причин.

4. Противодействие незаконной хозяйственной деятельности в лесах.

Накопленный опыт показал эффективность БПЛА малого класса при противодействии незаконным рубкам. Недостатками такого подхода является недостаточная разрешающая способность оптического канала получения видеoinформации, контроль за незначительной зоной лесного фонда, необходимость получения предварительной информации о фактах и координатах мест незаконной деятельности. Все это снижает оперативность мероприятий по противодействию и недостаточно реализует потенциал воздушного наблюдения с помощью БПЛА. Поэтому необходимо применение БПЛА, способного не только фиксировать факт незаконной рубки и наводить оперативные группы.

Требуется реализовать возможность поиска участков лесного фонда с незаконной деятельностью, выявления фактов нахождения производственных сил (тракторов, команд нелегальных лесорубов и т. п.) и их активности. Подобные задачи могут быть реализованы в рамках системного технического решения, использующего возможности наземных автономных датчиков получения информации об активности (сейсмической активности лесовозной техники, изменений магнитного поля при передвижении автотранспорта или оборудования, акустической и т. п.), технологии регистрации мест работы приборов связи (радиостанций, мобильных телефонов и др.), сбора информационных данных с помощью БПЛА и передачи их оперативной группе. Такой подход позволит существенно расширить контролируемый район, выявлять маршруты движения техники и объемы транспортировки древесины, точки сбора противоправных лиц, хранения оборудования, выявления технологической цепочки транспортировки и реализации незаконной древесины. Указанные задачи могут быть решены БПЛА малого и среднего класса.

Ожидаемый результат: повышение раскрываемости преступлений в области незаконной хозяйственной деятельности, организация эффективной системы охраны ценных участков лесного фонда от незаконных рубок.

Полеты по обеспечению противодействия незаконной хозяйственной деятельности выполняются на истинной высоте 600–800 м. В качестве патрульных карт используются топографические карты масштаба 1 : 100 000 – 1 : 200 000 или их копии. На карту наносятся действующие лесосеки, переданные в аренду участки лесного фонда.

В процессе полета, после взлета и набора высоты, оператор путем просмотра видеоизображения, передаваемого с БПЛА в режиме реального времени ведет наблюдение за пролетаемой местностью. Видеокамеру БПЛА следует устанавливать таким образом, чтобы обеспечивался обзор пролетаемой местности с частичной видимостью горизонта.

При осмотре территории обращается внимание на характерные изменения в ландшафте насаждений: изменение полноты древостоя; изменение цвета насаждения; наличие проезжих дорог в лесных массивах; районы вырубок прошлых лет; поляны в лесу.

5. Патрулирование лесного фонда.

Патрульный полет при нормальной видимости выполняется на высоте 600–800 м. В качестве патрульных карт используются топографические карты масштаба 1 : 100 000 – 1 : 200 000 или их копии, а также лесопожарные карты.

Для мониторинга местности применяются следующие бортовые целевые нагрузки: видеокамеры оптического диапазона; видеокамеры инфракрасного (ИК) диапазона (тепловизоры); фотоаппараты оптического диапазона. В ходе выполнения полета по маршруту авиационного патрулирования локальной территории, оператор, осуществляя просмотр видеоизображения, передаваемого с БПЛА в режиме реального времени, ведет наблюдение за появлением дыма и одновременно контролирует параметры полета (особое внимание уделяется удаленности БПЛА от точки старта, скорости и направлению ветра, напряжению батарей). Видеокамера БПЛА устанавливается таким образом, чтобы обеспечивался обзор пролетаемой местности с частичной видимостью горизонта. Заметив дым, оператор переводит режим полета БПЛА в ручной или полуавтоматическом режим, вносит изменения в маршрут полета и направляет его к дымовой точке.

Для документирования лесных пожаров производится фотографирование мест их возникновения при помощи фотоаппарата или видеокамеры (стоп-кадр).

Зарубежный опыт показал, что применение БПЛА для патрулирования лесного фонда является одной самых сложных задач с технической точки зрения. Ограничение радиуса эффективных действий БПЛА по дальности прямого радиоканала не позволяет использовать БПЛА малых классов для патрулирования территорий лесного более 200 тыс. га, среднее качество оптических каналов БПЛА малых классов снижает радиус обзора камер до 10 км. Решением этой задачи может являться БПЛА с радиусом действия от 50 км до 150 км и специализированной целевой нагрузкой, обладающей следующими характеристиками:

– оптические системы высокого разрешения с дальностью обнаружения дымовой колонки пожара размерами 0,1 га; наличие инфракрасного канала обнаружения;

– наличие системы передачи цифровых данных с высокой пропускной способностью;

– ретрансляция сигналов УКВ-связи по направлению пожар – пожар, пожар – авиаотделение, пожар – лесничество; системы автоматического обнаружения (без участия оператора) и идентификации загораний;

– наличие систем предотвращения столкновения в воздушном пространстве.

Комплекс с подобными характеристиками мог бы обеспечить проведение авиапатрулирования участков лесного фонда размерами 1–1,5 млн. га, что соответствует типовой нагрузке для самолета Ан-2 или вертолета Ми-2.

Он может быть реализован на БПЛА среднего и большого класса. При реализации данного направления развития БПЛА следует учитывать, что появление отечественных и российских БПЛА большого класса ожидается в ближайший год-два. До этого момента целесообразно провести отработку отдельных технологичной перспективной специализированной целевой нагрузки на БПЛА среднего класса.

Ожидаемый результат: снижается себестоимость проведения авиапатрулирования в 5–6 раз, зависимость от авиакомпаний, обеспечивается нормативная кратность патрулирования, повышается гибкость применения авиации для задач лесного хозяйства.

Заключение. Таким образом, направление развития БПЛА идет от «универсальности» в сторону «специализации» беспилотных аппара-

тов и самих комплексов на «унифицированных» платформах управления, т. е. комплексы, в перспективе, будут создаваться исключительно под целевые требования заказчика. При этом «унификация» платформы управления позволяют формировать один комплекс с набором аппаратов разного класса и типа.

Данный подход позволяет снизить стоимость как самого комплекса, так и удельные затраты в период его эксплуатации за счет оптимизации выполнения полетов.

В лесном хозяйстве, где часто доминирует сочетание требований дальности, обеспечения заданной производительности при работе на площадными объектами, непрерывности наблюдения, приемлемой себестоимости работ, вопрос эффективности вертолетных БПЛА представляется неоднозначным. Поэтому эксплуатация беспилотных вертолетов в современных условиях представляется целесообразной, прежде всего в областях ГО и ЧС, военном применении, обеспечении морской деятельности и т. п.

Литература

1. Портал Woodbusiness.ru – интернет-журнал лесопромышленного комплекса [Электронный ресурс] / компания Woodbusiness.ru. – СПб., 2013. – Режим доступа: <http://woodbusiness.ru>. – Дата доступа: 14.02.2013.

2. Форумы лесной отрасли: forums.wod.ru – портал лесной отрасли [Электронный ресурс] / учеб. центр «Альдема». – Иркутск, 2013. – Режим доступа: <http://info@wood.ru>. – Дата доступа: 14.02.2013.

Поступила 15.02.2013

УДК 629.73

Р. И. Могилянец, магистр технических наук, аспирант
(Минский государственный высший авиационный колледж)

ВЫБОР УЧАСТКОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ДЛЯ ВЫНУЖДЕННОЙ ПОСАДКИ САМОЛЕТОВ

В статье рассматривается вопрос о выборе участков автомобильных дорог для вынужденной посадки самолетов по критериям габаритных размеров, несущей способности, ровности искусственных покрытий, наличию помех в полосах воздушных подходов.

The issue of the choice of highways sectors for forced landing of aircraft on the criteria of the overall size, load-carrying ability, the evenness of the artificial road payment and the presence of obstacles at airway approaches is considered in this article.

Введение. Вынужденная посадка воздушных судов может осуществляться на автомобильные дороги общего назначения. В последнее время в Республике Беларусь уделяется все большее внимание данному вопросу в авиационных частях государственной авиации. Ежегодно проводятся учения с отработкой вопросов посадки воздушных судов на аэродромные участки на автомобильных дорогах (далее – АУД). Выбор участков автомобильных дорог выполняется в соответствии с требованиями нормативных документов [1].

Основная часть. Строительство АУД осуществляется на автомобильных дорогах общего пользования I-а, I-б, I-в категорий. При строительстве, реконструкции и ремонте автомобильных дорог устраивается только дорожная одежда летных полос.

Для подготовки АУД выбираются прямолинейные участки дорог на равнинной местности со свободными воздушными подходами и благоприятными грунтовыми и гидрогеологиче-

скими условиями. В пределах АУД не допускается устройство мостовых сооружений, пересечений с автомобильными и железными дорогами, магистральными трубопроводами, воздушными линиями электропередачи и электросвязи и другими коммуникациями. Устройство ограждений по границе аэродромных участков не предусматривается.

Летная полоса (далее – ЛП) АУД делится на участки, которые отличаются между собой длиной и требованиями к рельефу их поверхности в соответствии со схемой аэродромного участка дороги согласно рис. 1.

В средних расчетных условиях (для Республики Беларусь) длина ЛП берется от 2100 до 2500 м.

Длина участков ЛП АУД в стандартных условиях (температура воздуха +15°C, объект расположен на уровне моря, средний уклон ЛП равен 0) принимается равной:

участка I – 500 м; участка II – 200 м; участка III – 200 м; среднего участка – 700–1100 м.

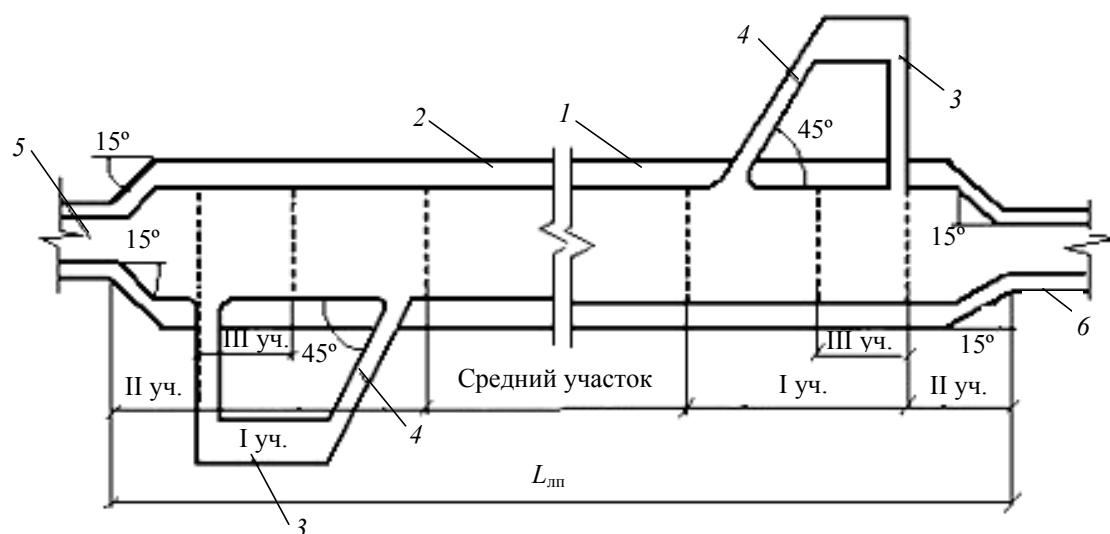


Рис. 1. Схема аэродромного участка дороги:

1 – летная полоса с дорожной одеждой (ЛП); 2 – боковые полосы безопасности (БПБ); 3 – площадка для самолетов (ПОС); 4 – рулежная дорожка (РД); 5 – проезжая часть автомобильной дороги; 6 – обочина; $L_{лп}$ – длина летной полосы

Таблица 1

Габаритные размеры АУД

Категория дороги	Число полос движения	Ширина элементов автомобильной дороги, м				Ширина элементов летной полосы АУД, м		
		А	Б	В	Г	Д	Е	Ж
I-a	4	7,5×2	2	3,75	20,75	11,5	17	40
	6	11,25×2	0,75		28	8,5	23,25	40,25
I-б	4	7×2	2	3	19	12	16	40
	6	10,5×2	0,5		24,5	9,5	21,5	40,5

Примечание. А – дорожная одежда; Б – разделительная полоса; В – обочина; Г – земельное полотно; Д – уширение части дороги (БПБ); Е – земляное полотно дороги; Ж – земляное полотно АУД.

Ширина ЛП должна быть не менее 40 м, а ширина дорожной одежды в пределах ЛП – не менее 16 м. Ширину элементов ЛП АУД, в зависимости от категории автомобильной дороги, следует принимать согласно значениям, указанным в табл. 1.

На автомобильных дорогах I-a, I-б, I-в категорий требуемая ширина ЛП обеспечивается за счет устройства дорожной одежды на разделительной полосе в соответствии со схемой поперечного профиля летной полосы АУД согласно рис. 1.

Переход от ширины проезжей части дорог к ширине дорожной одежды ЛП осуществляется в пределах II участка ЛП под углом 15° в соответствии со схемой аэродромного участка дороги.

Аналогично осуществляется и переход от ширины земляного полотна автомобильных дорог к ширине земляного полотна ЛП. Укрепление и уплотнение боковых полос безопасности и откосов земляного полотна на ЛП должны соответствовать требованиям, предъявляемым к обочинам и откосам на примыкающих к ЛП участкам автомобильной дороги. Поперечный профиль ЛП принимается двухскатным и симметричным (рис. 2).

Значения максимальных уклонов поверхности ЛП устанавливаются согласно табл. 2.

Радиусы выпуклых и вогнутых кривых в продольном профиле ЛП принимаются не менее 8000 м. На участках I продольный профиль поверхности ЛП не должен иметь более двух изломов.

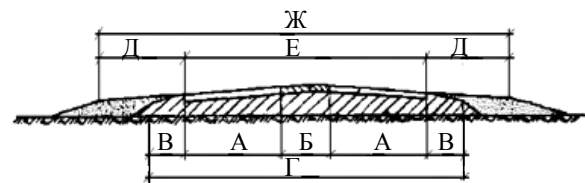


Рис. 2. Схема поперечного профиля летной полосы АУД:

А – дорожная одежда; Б – разделительная полоса;
В – обочина; Г – земельное полотно;
Д – уширение части дороги (БПБ); Е – земляное полотно дороги; Ж – земляное полотно АУДа

При изысканиях и проектировании АУД по согласованию с Министерством транспорта и коммуникаций Республики Беларусь предусматривается устройство объезда по существующим дорогам. Участки примыкания объездной дороги к основной должны располагаться не ближе 1000 м от торца ЛП, а сами объездные дороги должны проходить от границ боковых полос безопасности (далее – БПБ) на расстоянии не менее 150 м.

Таблица 2

Требования по уклонам продольных и поперечных профилей летного поля АУД

Наименование параметров	Значения параметров дорог
Максимальный уклон поверхности ЛП не более:	
продольные на среднем участке	25‰
продольные на участках I и II	15‰
поперечные на дорожной одежде	20–25‰
поперечные боковых полос безопасности (БПБ)	25‰
поперечный уклон должен быть не менее	8‰
поперечный уклон БПБ принимается	не менее чем на 10‰ больше уклона дорожной одежды
Алгебраическая разность смежных уклонов в продольном направлении ЛП не должна превышать	5‰
Водоотводные сооружения устраиваются в виде грунтовых лотков с откосами не более	1 : 10
Укладка под РД водопроводных труб, (расчет производится на максимальную осевую нагрузку)	100–115 кН

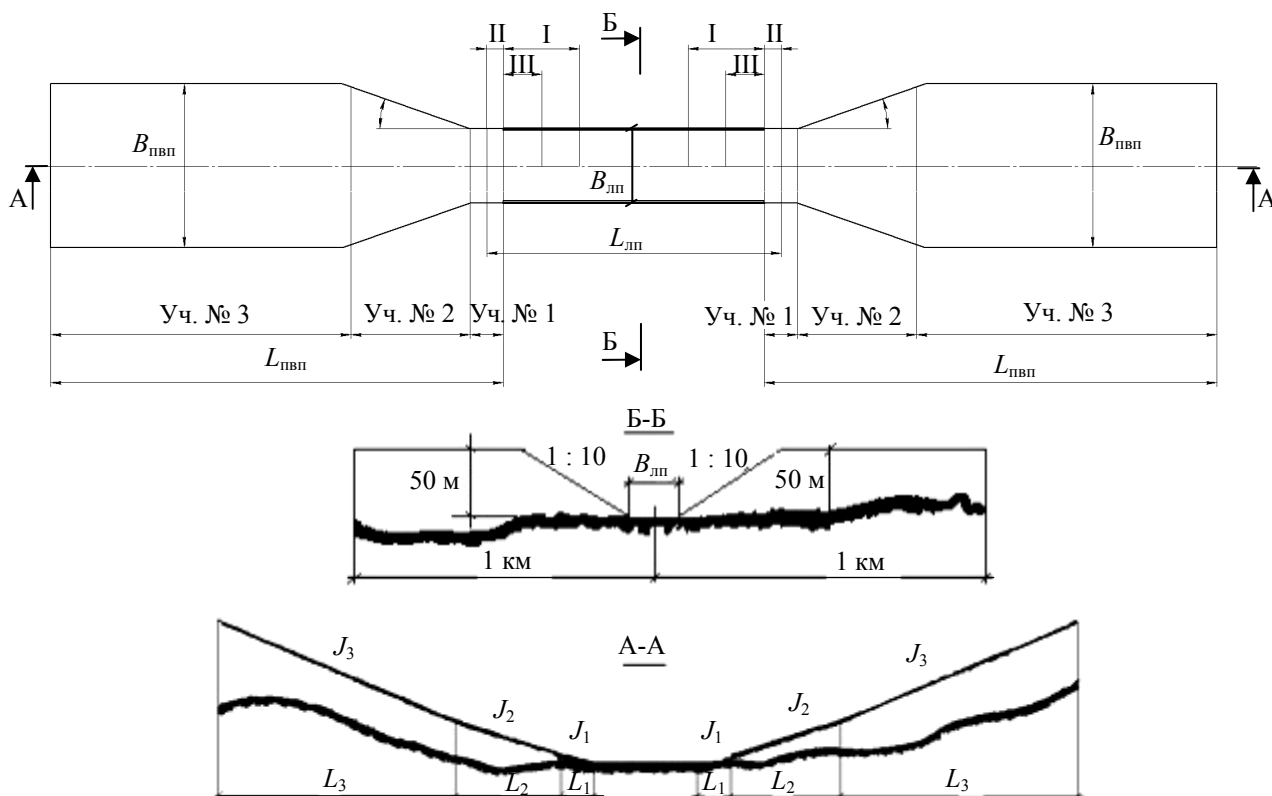


Рис. 3. Схема полос воздушных подходов аэродромного участка дороги:

L_1, L_2, L_3 и J_1, J_2, J_3 – длина и уклон поверхности, ограничивающей высоту препятствий на участках № 1, 2 и 3 ПВП; $L_{лп}$ и $B_{лп}$ – длина и ширина летной полосы; $L_{пвп}$ и $B_{пвп}$ – длина и ширина полос воздушных подходов

Полосы воздушных подходов (далее – ПВП) начинаются от линии, разграничивающей участки I и II ЛП, и делятся по длине на участки № 1, 2 и 3. Максимальная ширина ПВП равна 2000 м. В пределах участка № 1 ширина ПВП равна ширине ЛП, далее уширение ПВП в плане до 2000 м производится под углом 15° в каждую сторону. Все естественные и искусственные препятствия в ПВП, высота которых выходит за пределы ограничивающей их условной поверхности, подлежат сносу или переносу за границы ПВП.

Высота препятствий за границами БПБ и ПВП в пределах 1 км от оси ЛП не должна превышать $1/10$ удаления препятствия от этих границ и быть не более 50 м, считая от отметки ближайшей точки ЛП.

Воздушные линии электропередач, расположенные в границах ПВП, удаляются от торца ЛП не менее чем на 4 км. Это расстояние может быть уменьшено в тех случаях, когда линии не создают опасности для полетов, соблюдаются требования по удалению линий передач и закрывают их со стороны ЛП естественными возвышенностями или искусственными сооружениями (зданиями, лесными массивами, складами местности). Вне границ ПВП воздушные

линии электропередач должны быть удалены от границ ЛП не менее чем на 1 км. Требования к длине участков ПВП в соответствии со схемой полос воздушных подходов аэродромного участка дороги и высоте препятствий на них в соответствии с требованиями к удалению линий электропередач приведены согласно рис. 3 и табл. 3. На удалении не менее 50 м от внешних БПБ вне ПВП должны подготавливаться две площадки.

Полоса обслуживания самолетов (далее – ПОС) с минимальными размерами 120×35 м каждая. ПОС должны быть соединены с ЛП РД шириной 10 м. Угол примыкания к ЛП РД, предназначенный для схода самолета с ЛП, равен 45° (рис. 1).

Дорожные одежды на РД и ПОС должны иметь конструкцию, аналогичную дорожной одежде ЛП. Радиус сопряжения кромок дорожных одежд РД, ПОС и ЛП принимается равным 15 м. Вдоль кромок дорожных одежд ПОС и РД устраиваются грунтовые обочины шириной 5 м. Уклоны поверхности РД и ПОС должны соответствовать величинам, приведенным в табл. 4.

Радиусы кривых в продольном профиле ПОС и РД должны быть не менее 3000 м.

Таблица 3

Требования к удалению линий электропередач

Показатели участков	Величина
Общая длина полос воздушных подходов ($L_{\text{пвп}}$), м	10500
Участок № 1	
длина(L_1), м	400
уклон условной поверхности, ограничивающий высоту препятствий (J_1), ‰	5
Участок № 2	
длина(L_2), м	1100
уклон условной поверхности, ограничивающий высоту препятствий (J_2), ‰	17
Участок № 3	
длина(L_3), м	9000
уклон условной поверхности, ограничивающий высоту препятствий (J_3), ‰	20

Таблица 4

Требования по уклонам на рулежных дорожках АУД

Наименование параметров	Значения параметров дорог категорий I-а, I-б, I-в
Уклоны поверхности рулежных дорожек и площадок для обслуживания самолетов:	
максимальный уклон:	
продольное направление	35‰
поперечное направление	25‰
минимальный уклон:	
продольное направление	8‰
поперечное направление	50‰

В местах прохождения РД в лесопосадках должны устраиваться разрывы шириной не менее 30 м.

Для поддержания уровня безопасности полетов на высоком уровне необходимо постоянно проводить тренировки летного состава по посадке воздушных судов на аэродромные участки автомобильных дорог, с условным ограничением по габаритным размерам (длины, ширины). В Республике Беларусь уделяется большое внимание данному вопросу, что положительно влияет на практическую подготовку летчиков и повышение их мастерства, особенно в критических ситуациях.

Заключение. Таким образом, использование аэродромных участков дорог позволяет расши-

рить аэродромную сеть республики в десятки раз, что способствует осуществлению посадок на аэродромные участки автомобильных дорог воздушных судов в аварийных ситуациях, без использования постоянных аэродромов, что положительно влияет на соблюдение требований безопасности полетов, а также повышение мастерства летного состава и сохранение дорогостоящей техники в эксплуатационном состоянии.

Литература

1. Требования к аэродромным участкам на автомобильных дорогах: утв. Приказом командующего ВВС и ПВО Респ. Беларусь от 29.06.2004 № 216. – Минск, 2004.

Поступила 15.02.2013

УДК 625.711.84.001.76

Ю. В. Антонов, студент (БГТУ);**Н. П. Вырко**, доктор технических наук, профессор (БГТУ);**И. И. Леонович**, доктор технических наук, профессор (БНТУ)

ИННОВАЦИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ПЛАНА И ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ЛЕСНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

В статье приведены современные методы автоматизированного проектирования плана и продольного профиля лесных автомобильных дорог, показаны основные принципы проектирования плана и продольного профиля, рассмотрены возможности обучающих уроков по системам автоматизированного проектирования, а также показаны этапы развития систем автоматизированного проектирования.

The article presents the modern methods of automated design of the plan and longitudinal profile of forest motor roads, shows the basic design principles of the plan and longitudinal profile, considers the possibilities of lessons training on systems of automated design, and also shows stages of the development of the systems of automated design.

Введение. Система автоматизированного проектирования (САПР) – это организационно-техническая система, состоящая из комплекса средств автоматизации проектирования, взаимосвязанного с подразделениями проектной организации, выполняющей автоматизированное проектирование.

Следует различать проектирование автоматическое и автоматизированное. При автоматическом проектировании процесс получения, преобразования, передачи информации, формирования управляющих команд осуществляется автоматически без участия инженера-проектировщика.

К настоящему времени в разных странах мира разработано и функционирует большое число систем автоматизированного проектирования автомобильных дорог и сооружений на них (САПР-АД). Наибольшее распространение получили несколько САПР-АД: «CREDO», «Indor-CAD/Road» и др.

Основная часть. Основные принципы, соблюдаемые при автоматизированном проектировании плана трассы, состоят в следующем: обязательное использование принципов клотидного трассирования (принцип «гибкой линейки»); детальная, многовариантная проработка трассы с сопоставлением вариантов по основным показателям и выбором наилучшего решения; обеспечение зрительной плавности и ясности трассы и согласование ее с ландшафтом [1].

При системно автоматизированном проектировании собственно этап трассирования неразрывно связан со всеми последующими этапами проектирования автомобильной дороги и в значительной степени от них зависит.

При проектировании плана трассы автомобильной дороги должны соблюдаться основные принципы: соблюдение требований действующих нормативных документов: минимальные

радиусы кривых в плане, максимальный продольный уклон в соответствии с техническими нормами, приведенными в СНиП 2.05.02–85; трассирование по возможности по кратчайшему направлению между заданными пунктами (воздушная линия); природные условия района проложения трассы; ситуационные особенности района проектирования; варианты пересечения крупных водотоков; требования по обеспечению удобства и безопасности движения, а также ландшафтного проектирования автомобильных дорог.

Методы «однозначно определенной оси» реализуют, как правило, на основе принципа «тангенциального трассирования». Феномен широкой применимости этого принципа можно объяснить тем, что для проектировщиков этот принцип привычен и потому более понятен, методы на его основе просты в расчетах и обеспечивают предельную экономичность полевого этапа работ.

Метод «опорных элементов», являющийся одной из разновидностей «методов однозначно определенной оси», впервые разработан в 60-х годах в Германии. В нашей стране метод реализован в виде пакета прикладных программ Союздорпроекта и состоит в том, что с помощью шаблонов круговых кривых и линейки устанавливают положение опорных элементов (прямых и круговых кривых), наилучшим образом аппроксимирующих эскизную трассу автомобильной дороги, а также в последующей аналитической их увязке.

Автоматизированное проектирование земляного полотна осуществляется в разных САПР с использованием соответствующих технологических линий проектирования, являющихся составными частями задачи поиска трассы в пространстве и решается в тесной связи с проектированием плана трассы [2].

При проектировании земляного полотна учитывают категорию и назначение проектируемой дороги, рельеф местности, геологические, гидрогеологические и другие факторы. На основе данных о перспективной интенсивности и составе движения устанавливают категорию проектируемой автомобильной дороги, расчетную скорость и нормы проектирования (предельно допустимые значения продольных уклонов, радиусов выпуклых и вогнутых кривых, руководящую отметку и т. д.). Проектирование продольного профиля осуществляется либо путем многовариантной проработки по методу «опорных точек», либо с использованием одного из методов оптимизации.

Метод «опорных точек» предназначен для расчета проектной линии продольного профиля по заданным проектировщиком контрольным (опорным) точкам и радиусам вертикальных кривых. Метод был предложен проф. Хавкиным К. А. в 1965 году и усовершенствован в Союздорпроекте. Этот метод часто применяют при проектировании продольного профиля автомобильных дорог в равнинной местности и в стесненных условиях (при значительном количестве контрольных точек). Проектную линию продольного профиля методом «опорных точек» решают в традиционном классе функций: в классе вертикальных выпуклых и вогнутых параболических кривых и сопрягающих их прямых.

Элементы продольного профиля могут быть: фиксированными (задают пикетажное положение, проектные высоты, уклоны и радиусы в какой либо точке); полуфиксированными (задают пикетажное положение, проектные высоты и радиусы или уклоны в какой-либо точке); свободными (задают только радиус элемента). Первый элемент должен быть обязательно фиксированным. Последний может быть либо фиксированным, либо полуфиксированным.

Проектирование осуществляют в диалоговом режиме. Исходную информацию вводят либо с дискет, или из других разделов САПР, либо непосредственно с клавиатуры, анализируют и в случае необходимости корректируют.

Проектировщик анализирует результаты и либо корректирует их для получения нового варианта, либо дает команду на выдачу готового чертежа и передачу информации для последующих этапов проектирования.

Оптимизационный метод проектирования продольного профиля «проекции градиента» применительно к проектированию автомобильных дорог был разработан в 1974 году во Всесоюзном научно-исследовательском институте транспортного строительства.

Автоматизированное проектирование оптимальной линии продольного профиля автомобильных дорог осуществляют в три этапа:

1. Оптимизация проектных отметок.
2. Сглаживание «цепочечной» проектной линии.
3. Оптимизация элементов продольного профиля [3].

Adobe Captivate – программа электронного обучения, которая может быть использована для записи видеуроков, создания симуляции программ, учебных презентаций и различных тестов.

С помощью Captivate можно создавать и редактировать интерактивные демонстрации программ, симуляции, подкасты, скринкасты, игры и уроки. Для демонстраций программ, возможна запись в реальном времени. Созданные с помощью Captivate скринкасты занимают намного меньше места, чем полные записи с экрана.

Обучаемому представляется возможность выполнить те же действия, что и будет выполнять инженер-проектировщик во время ручного построения продольного профиля.

Выводы. В рамках САПР автомобильных дорог с помощью цифровых и математических моделей решается широкий круг инженерных задач, которые ранее частично решались другими методами и средствами.

Литература

1. Федотов, Г. А. Автоматизированное проектирование автомобильных дорог / Г. А. Федотов. – М.: Транспорт, 1986. – 318 с.
2. Системы на платформе CREDO III. В 2 кн. Книга 1: Общие сведения. Руководство пользователя / КРЕДО-ДИАЛОГ. – Минск, 2008. – 165 с.
3. Системы на платформе CREDO III. В 2 кн. Книга 2. Работа в плане. Руководство пользователя / КРЕДО-ДИАЛОГ. – Минск, 2008. – 369 с.

Поступила 20.02.2013

UDC 625.7

I. I. Leonovich, Doctor of Science (Engineering), professor (BNTU);
Krishna Chakhun, postgraduate student (BNTU)

LOCAL ROADS IN HILLS OF NEPAL AND THEIR USE IN AGRICULTURE AND FORESTRY

В публикации отражены существующие трудности в развитии дорожной сети, их взаимосвязь с экономической и социально-политической ситуацией в стране Непал, которая имеет горный ландшафт и сложные климатические условия, что обуславливает выбор поэтапного строительства дорог.

The publication reflects the current difficulties in the development of the road network in the country, their interaction with economic and socio-political situation in the country of Nepal. The country has a mountainous terrain and harsh climate conditions, which determines the choice of the stage construction of roads.

Introduction. Nepal is a small land-locked country situated between two gigantic countries China and India in Asia. The average East-West length of the country is 885 km and the North-South width ranges from 133 km to 255 km. The territory covers an area of 147,181sq. km. Population is about 27 million. About 83% of the country's landscape is covered with multiple young fold mountains ranging from the low Churiya hills in the south to the Himalayas in the north. Only 17% of the territory at the southern belt, called Terai, is plain area. Middle hill range is called Mahabharat and that contains a few large valleys with relatively plain terrain like Kathmandu, Pokhara, Dang and others. As the landscape changes, so the entire environment changes, starting from tropic and sub-tropic in the south to Tundra in the north. Depending on locations, the annual precipitation ranges from 2500 mm to 5000 mm, about 90% of which falls within 3 months (Mid June – Mid September) [1–7].

Land Use. According to the Master Plan for the Forestry Sector (1988/89), the land use of the country represents as shown in the following table 1.

Agriculture. The territory is covered with young fold mountains and no significant natural mineral resources are available. The country's key resources are water resources, agriculture,

tourism, and cottage industry. The country's agricultural land in 2001/02 has reduced to 2,497,700. Ha from 3052 in 1989 as shown in the Table 1 above. This must have been an effect of rapid urbanization, and other activities, data of which is not available at this stage.

According to the statistics in 2009/10, the country's 35% of the gross domestic product is covered by agriculture. Total area of land holding is 2654 Ha. owned by 79% of house hold which is equivalent to 82% of the population. An average land holding is 0.8 Ha in year 2001/02. Only 54% of the agricultural land has irrigation facility. The 88% of the agricultural land is worked by the owners and 12% are rented.

Production share of the major crops as in the statistics of 2008/09 were as follows (table 2).

Forest. The Master Plan for the Forestry Sector, 1989, has prepared panining and policy framework in forestry in Nepal (table 3). The long term objective was set:

- to meet peopl'e basic needs for forest products on a sustainable basis;
- conserve ecosystems and genetic resources;
- protect land against degradation and other effects of ecological imbalance;
- contribute to local and national economic growth.

Table 1

Land use of Nepal ('000 Ha)

Description	Cultivated land	No cultivated inclusions	Grassland	Forest land	Shrub lands/degraded forest	Other land	Total
High Himal	8	1	885	155	67	2234	3350
High mountains	244	148	508	1639	176	245	2960
Mid mountains	1223	667	278	1811	404	59	4442
Churiya	269	59	16	1438	29	75	1886
Terai	1309	123	58	475	30	116	2110
Total	3052	998	1745	5518	706	2729	14748
Percentage, %	21	7	12	37	5	18%	100

Source. Master Plan for the Forestry Sector, 1989.

Table 2
Production share of the major crops

Crop	Area ('000 Ha)	Percentage, %
Paddy	1556	56
Wheat	695	16
Maize	846	24
Millet	266	4
Barley	26	< 1

Source. Ministry of Agriculture and Cooperatives, Agri-Business promotion and Statistics Division.

The Forestry Act 1993 has classified national forest into six categories:

- Government managed forests;
- Protected forests;
- Community forests;
- Religious forests;
- Leasehold forests;
- Private forests.

In southern belt of Nepal, nearly 12 km wide strip of tropical forest exist where hard wood of commercial value exist. From this area hard wood and its products were exported to neighboring countries like India and Bangladesh. However, uncontrolled deforestation has adversely affected on the quality of forest as well ecology, So the timber export does not come to any significant value these days.

Mid hills called, Mahabharat range contain soft wood forest. and high mountains contain more soft coniferous forest. Further north at the foot of Himalaya the area is covered with grassland and shrubs. This area also contains various medicinal herbs, some of which are exported.

In 1960 a semi-autonomous body The Timber Corporation of Nepal (TCN) was established under the Ministry of Forests and Soil Conservation(MFSC), with the purpose of collecting selling forest products.

In hills many people depend on the forest products in one hand. On the other, fragile hill slopes are protected by the forest from the weathering effect, especially heavy monsoon rains. However, the rampant deforestation has caused adverse impact on both livelihood of the local people and the ecology. Obviously not all forest could be managed by the government.

This is how the idea of Community forests were born. Local communities, under the government forest officer's supervision have come together to preserve the forests. The products required for livelihood, livestock, firewood etc are managed by the community themselves. This program has become very successful and in many areas the forest have grown enough that wild life have started living there.

Roads. Due to the difficult terrain and weather conditions, development of road network has been always a challenge both technically and economically. In addition to that, feudal Rana, who ruled for 104 years, kept the country closed until 1951 and did not show any interest on the development activities. The first motorable road in the country was constructed in 1924 in Kathmandu. Construction of the first 115 km long road Tribhuvan Rajpath, linking Kathmandu with Terai in the South was constructed only in 1953 after abolishing the Rana regime.

At present the road networks are divided into two categories for the administrative and management purpose – Strategic Road Network (SRN) and Local Road Network (LRN). The strategic roads are managed by the Department of Roads (DOR), and the local roads are managed by the Department of Local Infrastructure Development and Agricultural Roads (DOLIDAR). Old inventory of roads had included only strategic roads and local roads were not taken into account in the national statistics. Just before a few years DOLIDAR started taking the inventory of the roads under its purview and the statistics are being regularly updated. So far by the year 2012, total length of 50944 km of local road network have been inventoried, and it is believed this figure will grow more. On the other hand total length of strategic road network, as mentioned in the Business Plan of DOR was 19875 km in 2010. However, this figure as updated in the latest statistics of SRN 2011/12 11635.58 km. There is no clear cut explanation on this change of the length, however, it is understood that the two agencies keep exchanging the roads for administration and apparently some SRNs have been shifted to LRN category. The same way as the traffic intensity in LRNs grows, that gradually moves onto the SRN category.

Table 3

Forest and shrub distribution in Nepal ('000Ha)

Total Land	Total Forest Land	Forest % of total Land	Reachable forest area	Reachable forest area, %	Non-reachable forest area	Shrubland % of total land area
14748	4269	29	2179	51.5	2090	10.6

Source. Forestry Resources of Nepal (1987–1998) DOFR, MOFSC.

Economically the country is more based on the agriculture, however, due to hilly terrain the agriculture is not much mechanised except in Terai area. Land holding size is gradually reducing and that becomes an impediment to the mechanical farming. This all speaks about the fact that there are not much specific requirements towards road building for the use in agricultural and forestry purposes. Roads in plain area can afford horizontal and vertical curves with larger radii, where any machineries related to agriculture or forest can easily drive through. This is different in hill roads. Steeper vertical gradients (5–7%) and smaller radii of horizontal curves (20–10 m) are common phenomena. Roads in hills are basically meant to provide access between farm and market so that local agricultural products could be sold and basic needs of people could be supplied from the bigger markets in plain Terai. On this, local road network has got a significant meaning. Broadly speaking SRNs in the hills provide main access between market and road heads nearby. Then LRNs provide access between the road head at SRN and farms and villages. This way both type of road network has a direct connection with the agriculture.

Construction wise, SRNs are all weather roads and many of them are blacktopped with asphalt surfacing, the minimum road widths vary between 5.5 m to 7 m. LRNs can be all weather or seasonal. Many parts of the country were deprived of vehicular access and supplies and products were carried on shoulders or pack animals. To overcome this problem low cost LRNs were constructed, many of them can be used only in dry seasons, which is about 8–9 months in a year. For the villages where there was no vehicular access, having at least a seasonal road which can be used 8–9 months of the year is a significant progress. Many key LRNs have been black topped, or gravelled. But many interior areas have connection with earthen roads.

The local roads normally do not have much traffic and are generally constructed single lane of 4–4.5 m wide. By pass areas are frequently provided so that two way vehicles can cross each other. In many local road network there is tendency of driving farm tractors on the road. It is because the tractors are used for agricultural purpose and at the same time they are found suitable in rough road to pull a trailer with goods. However, experiences have shown that use of tractors

in the local roads significantly destroy the road surface and the maintenance cost of roads drastically increases. Generally local roads in hills are built for medium sized trucks and buses, however, due to inadequate control on the roads, people tend to run heavy trucks and buses. This obviously causes adverse impact on the life road and pavement. Similarly the unpaved LRNs are meant to be used only in dry season. but people tend to use it also on the wet season causing serious damage to the roads. Such erratic behaviours can be controlled by the local community who runs and manages the local road network.

Conclusion. As explained above agriculture is one of the key business in rural areas in Nepal. Those rural areas are connected by local road networks. So there is a direct relation between the agriculture and the roads. While analysing feasibility of a road link, the agricultural inputs and outputs have direct bearing on how feasible the investment on the road could be. Regardless of how big economic value the forestry might have in any locality, it also has got a direct link with the local roads.

Access roads provide an opportunity of improved farming and agricultural products would be enhanced, which will have a direct impact on the economic condition of the people and the area as a whole. This in turn will generate more traffic and becomes more feasible for larger investments on the road for its improvement.

The LRNs are managed and maintained locally through beneficiaries and local government. Compared to urban areas, people in villages are much more open and cooperative and that makes even easier to organise road maintenance and operation locally.

Literatures

1. Inventory of Local Road Network, DOLIDAR, 2012.
2. Statistics of Strategic Road Network, DOR, 2012.
3. Business Plan for Department of Roads, DOR, 2011.
4. Agri-Business Promotion and Statistics Division, MOAC, 2009.
5. Master Plan for the Forestry Sector, 1989.
6. Central Bureau of Statistics.
7. Maps of Nepal.

Entered article 21.02.2013

УДК 625.7/8:620.191.33

И. С. Мельникова, магистр технических наук, аспирант (БНТУ)**УЧЕТ НАЛИЧИЯ ТРЕЩИН И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ
ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

Диагностика автомобильных дорог представляет собой мониторинг состояния дорог и включает в себя систематическое определение основных показателей их качества (прочность, сцепление, дефектность и др.). База полных и достоверных данных о состоянии дорог необходима для принятия управленческих решений по своевременному назначению ремонтных мероприятий, а также для обоснованного ведения инвестиционной политики в дорожном хозяйстве. Сбор объективных данных о состоянии дорожных покрытий требует применения инновационных методов диагностики дорог.

Статья посвящена оценке применяемых в Республике Беларусь технологий, используемых при диагностике автомобильных дорог, в частности при учете наличия трещин на дорожных покрытиях.

Road diagnosis is the monitoring of the state of roads and comprises a systematic determination of the main quality parameters (durability, road grip of a tire, defectiveness, etc.). Complete and reliable data base on the state of roads needed to make management decisions on a timely appointment of any repair activities, as well as to well-founded manage an investment policy in the road sector. Collection of objective data on the state of road surfaces requires innovational road diagnostic methods.

Used in the Republic of Belarus technology in the diagnosis of roads, in particular taking into account the presence of cracks in the road surface are presented in the article.

Введение. В Республике Беларусь большое внимание уделяется вопросам развития дорожно-транспортного комплекса, так как по нему можно судить об экономическом развитии государства. Автомобильные дороги очень важны в хозяйственной жизни страны, а от качества дорожных покрытий напрямую зависят скорость передвижения транспортных потоков, комфортность езды для водителей и пассажиров, а также безопасность участников движения.

Для обеспечения бесперебойных и безопасных автомобильных перевозок необходимо своевременно выявлять и устранять повреждения дорожных покрытий. Эту задачу во многом решает визуальная и инструментальная диагностика – наука, основанная на знаниях математики, физики, химии, метрологии, теории прочности дорожных конструкций, материаловедения и других, которая заключается в оценке технических, эксплуатационных и коммуникативных качеств автомобильных дорог, установлении причин появления дефектов (проектных, технологических при строительстве, эксплуатационных), обосновании мер по поддержанию комплекса дорожных сооружений в требуемом состоянии или определении экономически целесообразных восстановительных и ремонтных работ [1, 2].

В 2012 г. департаментом «Белавтодор» продолжена реализация проекта «Разработка и внедрение конструкций дорожных одежд под современные европейские нагрузки в 11,5 т, обеспечивающие повышенную долговечность с

применением новых дорожно-строительных материалов и технологий», начата реализация проекта «Разработка и внедрение автоматизированной системы мониторинга эксплуатационной надежности больших мостовых сооружений на международных транспортных коридорах». Инновации, согласно этим проектам, позволят создать конструкции для пропуска нагрузок по европейским стандартам в 11,5 т и предупредить возникновение поверхностных повреждений. Однако применение нового оборудования и методов диагностирования дорожных покрытий – важное направление по повышению качества и пропускной способности республиканских автомобильных дорог, так как является базой для назначения ремонтных мероприятий и своевременного устранения поверхностных повреждений [3–5].

Основная часть. В процессе эксплуатации автомобильных дорог под влиянием транспортных нагрузок и погодно-климатических факторов конструктивные элементы изнашиваются, деформируются и повреждаются. В результате имеют место разрушения дорожных конструкций различного характера: дефекты земляного полотна, дорожной одежды, искусственных сооружений, элементов инженерного и архитектурного благоустройства [6–7].

Для оценки транспортно-эксплуатационного состояния как совокупности физических значений параметров, характеристик и условий, определяющих технический уровень автомобильной дороги, в Республике Беларусь используются различные системы, методы и

приборы. Результаты учитываются при планировании работ по содержанию и ремонту.

Эксплуатационное состояние автомобильных дорог оценивается на основании теории прочности и надежности дорожной конструкции как степень соответствия нормативным требованиям переменных параметров и характеристик дороги, которые изменяются под воздействием транспортных средств и метеорологических условий [8–10].

Инструментальное и визуальное обследование республиканской сети автомобильных дорог ежегодно выполняет РУП «Белорусский дорожный инженерно-технический центр» («Белдорцентр»). Визуальное обследование выполняется с целью сбора информации о наличии структурных дефектов на асфальтобетонных и цементобетонных покрытиях с занесением зафиксированных разрушений и их объемов в бортовой компьютер. Визуально измеряются следующие параметры:

а) геометрические параметры автомобильных дорог; ширина проезжей части, обочин, уклоны при выборочном измерении в процессе проведения визуального обследования;

б) колеи на покрытии; определяется визуально при движении автомобиля со скоростью не более 30 км/ч, фиксируется пикетное положение начала и окончания колеи.

в) дефектность покрытия; по полученному при непрерывной продольной съемке покрытия дороги изображению устанавливается общее состояние покрытия с определением объемов и видов дефекта, а также их местоположение; выполняется лабораторией визуального обследования на базе автоматизированной системы сканирования дефектов дорожных покрытий Line-Scan.

Инструментальное обследование проводится для каждой полосы дороги отдельно и в расчет принимается наилучшее значение измеренного параметра. На автомобильных дорогах I категории измерения проводятся по каждому направлению отдельно. Общая протяженность измеренных участков в расчетах приводится к 2-м полосам движения без учета участков, обслуживаемых жилищно-коммунальным хозяйством, и транспортных развязок. Инструментально измеряются следующие транспортно-эксплуатационные параметры:

а) ровность покрытия: на вновь вводимых участках дорог после проведения ремонта лабораторией «Профилограф», «ЛазерПроф», ИВП-1М; при диагностике республиканских автомобильных дорог на эксплуатируемых участках – установкой «Профилограф»; при диагностике дорог с переходными и низшими типами дорожных одежд на эксплуатируемых участках – ИВП-1М.

б) упругий прогиб дорожной одежды: при диагностике республиканских автомобильных дорог – дефлектометром падающего груза FWD PRI 2100.

в) коэффициент сцепления колеса автомобиля с покрытием: на вновь вводимых участках дорог после проведения ремонта и ежегодных измерений по диагностике республиканских дорог на эксплуатируемых участках – ПКРС-2у.

г) интенсивность движения транспортных средств на республиканских автомобильных дорогах.

По результатам диагностики за прошедшие десять лет установлено, что наиболее характерным видом повреждений распространенных на территории Беларуси асфальтобетонных покрытий являются трещины. При ежегодной диагностике магистральных дорог республики, проводимой РУП «Белдорцентр», фиксируется количество повреждений в виде отдельных трещин (м), частых трещин (м) и сетки трещин (м²). Проведенная нами статистическая обработка данных диагностики с 2000 по 2010 г. позволила оценить влияние различных факторов на процессы образования и развития трещин [11]. Кроме того, введенный нами показатель трещиноватости дорожных асфальтобетонных покрытий позволяет оценить по диагностическим данным состояние покрытия по степени его разрушения трещинами и необходимость проведения ремонтных мероприятий.

Для возможности использования показателей с разной размерностью в одном расчете (метры и метры квадратные) предварительно была проведена нормализация значений по максимальному и минимальному значениям. Каждое значение по трем показателям (отдельные трещины, частые трещины, сетка трещин) рассчитывалось по формуле

$$x_{\text{норм}} = \frac{x - x_{\text{min}}}{x_{\text{max}} - x_{\text{min}}}, \quad (1)$$

где $x_{\text{норм}}$ – нормализованное значение показателя; x – текущее значение показателя; x_{min} – минимальное значение показателя; x_{max} – максимальное значение показателя.

Трещиноватость дорожных покрытий оценивалась по сводному коэффициенту трещиноватости, объединившем в себе количество повреждений в виде одиночных трещин, частых трещин, сетки трещин:

$$K_{\text{св.тр}} = 1,0 \cdot b_1 + 1,0 \cdot b_2 + 1,2 \cdot b_3, \quad (2)$$

где $K_{\text{св.тр}}$ – сводный коэффициент трещиноватости покрытия; b_1 – количество разрушений покрытия в виде отдельных трещин; b_2 – количество разрушений покрытия в виде частых трещин;

b_3 – количество разрушений покрытия в виде сетки трещин; 1,0; 1,0; 1,2 – коэффициенты весомости дефектов: отдельные трещины, частые трещины, сетка трещин соответственно [12].

Для каждой дороги по данным диагностики с 2000 по 2010 г. после проведения нормализации значений трех параметров в соответствии с формулой (1) рассчитаны значения сводных коэффициентов трещиноватости покрытия по формуле (2). Полученные значения сводного коэффициента трещиноватости ранжировались в трех пределах – свыше 1 (критическое состояние покрытия по трещиноватости), от 0,6 до 1,0 (опасное состояние покрытия по трещиноватости) и от 0,2 до 0,6 (неопасное состояние покрытия по трещиноватости).

Новейшая лаборатория визуального сканирования Line-Scan, используемая РУП «Белдорцентр» в последние несколько лет, позволяет наиболее полно оценить состояние поверхности дорожного покрытия по его изображению, которое впоследствии обрабатывается с применением специального программного обеспечения, определить объемы поверхностных дефектов. Технология измерения заключается в непрерывной продольной съемке покрытия автомобильной дороги высокоскоростной специализированной цифровой камерой. Камера жестко закреплена в задней части лаборатории и работает совместно с системой освещения и цифровым одометром. Каждая записанная строка изображения шириной 1 или 2 мм добавляется к предыдущим строкам, что составляет вместе один непрерывный образ.

На наш взгляд, для диагностики поверхностных повреждений целесообразно использовать метод термографии с применением тепловизоров. Метод хорошо себя зарекомендовал при контроле качества укладки асфальтобетонных смесей. Наши же результаты компьютерного моделирования асфальтобетонных покрытий показали, что температуры поверхности покрытия и трещины или выбоины различаются на несколько градусов. Это позволяет сделать вывод о том, что тепловизоры при съемке способны отразить разницу в температуре поверхности и трещины (выбоины), а следовательно, метод термографии актуален и в диагностике поверхностных повреждений.

Кроме того, очевидной является следующая последовательность в развитии дефектности дорожных покрытий: зарождение, развитие и достижение критических значений. Очень важно выявить появление повреждений на начальной стадии, и для этого перспективным можно считать применение новейших методов обнаружения дефектов. В этом отношении физика термографии открывает большие возможности.

Неразрушающие методы контроля асфальтобетонных покрытий, применяемые сегодня в Республике Беларусь, включают в себя накопление, хранение и дальнейшую обработку изображений дороги, полученных аналоговыми или цифровыми камерами. Современные системы обнаружения дефектов верхнего слоя покрытия используют искусственный и окружающий свет для отображения его поверхности. Зачастую эта методика не позволяет выявлять, к примеру, многие виды трещин: «белые» трещины, которые не дают достаточный контраст, трещины в предварительно отремонтированных и восстановленных покрытиях, где герметики, наоборот, вызывают контраст изображения, перпендикулярные к оси дороги трещины, трещины шириной раскрытия менее 2 мм.

Метод термографии с применением тепловизоров фирм FLIR, IRISYS, Fluke, NEC позволяет обнаружить трещины шириной 1–2 мм, которые невозможно зафиксировать при съемке обычными видеокамерами, а устранение таких трещин на ранней стадии развития позволит в будущем сэкономить на проведении дорогостоящих ремонтных мероприятий и предотвратить дальнейшее разрушение покрытия.

Устройство для диагностики покрытия работает следующим образом: тепловизор устанавливается на мобильное транспортное средство так, чтобы сканирование производилось поперек покрытия; изображение в виде кадра теплового отображения фрагмента покрытия фиксируется в памяти тепловизора. После получения изображения всей ширины покрытия устройство перемещается на расстояние, равное диаметру пятна обзора камеры тепловизора вдоль покрытия, и процедура сканирования и регистрации теплового отображения повторяется. Полученное в итоге изображение передается в устройство обработки результатов сканирования. Цель обработки результатов – выявление и идентификация теплового отображения поверхностных дефектов на полученных кадрах и регистрация наличия трещин, выбоин.

Преимуществами термографического метода является возможность обнаружения трещин шириной раскрытия до 2 мм, трещин, не дающих достаточного контраста при съемке обычными фото- и видеокамерами, а использование тепловизора позволяет снизить стоимость и повысить качество обнаружения трещин в дорожных покрытиях, повысить скорость проведения диагностики, оценить состояние всего покрытия по ширине за одну съемку, исключая применение 2–3 параллельно работающих камер [13].

Заключение. На основании изложенного выше материала можно сделать следующие выводы.

1. Возрастающие требования к качеству автомобильных дорог, новейшие научные разработки в области дорожного материаловедения, приборостроения и компьютерных технологий способствовали системному развитию диагностики автомобильных дорог как науки. Специалистами отрасли активно внедряются системы автоматизированного проектирования и исследования работы дорожных конструкций под различными нагрузками, новая специализированная техника в строительстве, диагностике и ремонте, нанотехнологии при производстве асфальтобетонных смесей с различными добавками и др. Автоматизированные банки дорожных данных позволяют накаливать, хранить и по необходимости использовать техническую информацию о состоянии и условиях эксплуатации автомобильных дорог.

2. При диагностике поверхностных повреждений на асфальтобетонных покрытиях автомобильных дорог, основным видом которых являются трещины различного характера, применяются новейшее оборудование (георадарное, визуальной съемки) и технологии. Использование при проведении диагностики тепловизоров и метода термографии имеет ряд преимуществ перед другими методами визуального осмотра покрытий. В частности, данный метод позволяет повысить качество обнаружения трещин, сколов, выбоин на покрытии, повысить скорость проведения диагностики, за одну съемку зафиксировать покрытие на всю его ширину, обнаружить трещины шириной раскрытия до 2 мм с целью проведения незамедлительного их ремонта до начала разрушения ленточными материалами, содержащими битум.

3. Статистический анализ результатов диагностики республиканских дорог за прошедшие десять лет позволил доказать, что наиболее распространенным дефектом асфальтобетонных дорожных покрытий в условиях Беларуси являются трещины. РУП «Белдорцентр» фиксирует ежегодно три показателя трещиноватости покрытия – отдельные трещины, частые трещины и сетка трещин, – которые послужили основой для применения предлагаемого нами показателя трещиноватости покрытий. Принято, что на наиболее подверженных трещинообразованию участках дорог значение сводного коэффициента выше единицы. Данный показатель рекомендуется использовать при планировании и назначении ремонтных мероприятий.

Литература

1. Диагностика и управление качеством автомобильных дорог: учеб. пособие / И. И. Леонович, С. В. Богданович, И. В. Нестерович. – Минск: Новое знание, 2011. – 350 с.

2. Леонович, И. И. Диагностика автомобильных дорог: учеб. пособие / И. И. Леонович, С. В. Богданович. – Минск: БНТУ, 2012. – 226 с.

3. Департамент «Белавтодор» [Электронный ресурс] / Белавтодор. – Минск, 2012. – Режим доступа: <http://belavtodor.belhost.by>. – Дата доступа: 15.02.2013.

4. Государственная программа «Дороги Беларуси на период 2006–2015 годы. Основные положения»: в 2 т. – Минск, 2004. – Т. 1.

5. Автомобильные дороги Беларуси: энциклопедия / под общ. ред. А. В. Минина. – Минск: БелЭН, 2002. – 672 с.

6. Веренько, В. А. Деформации и разрушения дорожных покрытий: причины и пути устранения / В. А. Веренько. – Минск: Беларуская Энциклапедыя імя П. Броўкі, 2008. – 304 с.

7. Прочность и долговечность асфальтобетона / под ред. Б. И. Ладыгина. – Минск: Наука и техника, 1972. – 187 с.

8. Васильев, А. П. Эксплуатация автомобильных дорог: в 2 т. / А. П. Васильев. – М.: Академия, 2010. – Т. 2. – 320 с.

9. Leonovich, I. Influence of temperature on the formation of damages in asphalt concrete pavements under climatic conditions of the Republic of Belarus / I. Leonovich, I. Melnikova // The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering. – 2012. – Vol. 7, No. 1. – P. 42–47.

10. Руденский, В. А. Повышение трещиностойкости асфальтобетонных покрытий / В. А. Руденский, А. С. Рыльков // Труды ГП «РосдорНИИ». – 2011. – № 25.

11. Леонович, И. И. Влияние конструкции дорожной одежды, транспортных потоков и уровня содержания на эксплуатационное состояние республиканских автомобильных дорог / И. И. Леонович, И. С. Мельникова // Строительная наука и техника. – 2011. – № 6. – С. 52–58.

12. Автомобильные дороги. Порядок выполнения диагностики: ТКП 140-2008 (02191). – Введ. 01.01.2009. – Минск: Белдорцентр, 2009. – 58 с.

13. Устройство для обнаружения трещин в асфальтобетонном покрытии: патент 8005 Республики Беларусь, МПК Е 01С 23/00 / И. С. Мельникова, С. Ф. Мельников; заявитель ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет». – № u 20110632; заявлено 05.08.2011; зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей 01.12.2011.

Поступила 21.02.2013

УДК 630.332.3:662.63

А. В. Вавилов, доктор технических наук, профессор (БНТУ);
Ю. В. Соколовский, старший преподаватель (БНТУ)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ МАШИН ПО ПРОИЗВОДСТВУ ТОПЛИВА, ВКЛЮЧАЯ ОБЛАГОРОЖЕННОЕ, ИЗ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ, УДАЛЯЕМОЙ С ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

В настоящее время становится актуальным вопрос использования топливной щепы из древесно-кустарниковой растительности, удаляемой с объектов строительного комплекса. Опыт производства такой щепы показал, что она плохо приспособлена для сжигания в имеющихся энергетических установках, но при более глубокой переработке и получении пеллет или брикетов может быть успешно использована в качестве топлива. В статье предложены усовершенствованные системы машин по заготовке топлива из древесно-кустарниковой растительности на объектах строительного комплекса.

Now the question becomes relevant use of wood chips from trees and shrubs removed from facilities construction industry. Experience in the production of such chips has shown that it is poorly suited for burning in existing power plants, but more advanced processing and receipt of pellets or briquettes can be successfully used as a fuel. The article suggests improved systems of machines for stocking fuel from trees and shrubs at the facilities of the construction industry.

Введение. В связи с нехваткой дровяной древесины для производства топливной щепы, заготавливаемой в лесном комплексе, актуальным становится вопрос заготовки такой щепы из нежелательной растительности, удаляемой с объектов строительства при выполнении подготовительных работ (мелиоративное, дорожное, промышленное и гражданское строительство). Особенно большие объемы древесно-кустарниковой растительности (ДКР) предстоит удалять с объектов мелиорации, на которых будут воздвигаться сельскохозяйственные культуры.

Сложившаяся система машин была направлена на получение топливной щепы из ДКР и предусматривала только ее удаление и уничтожение. Имеющийся опыт производства топливной щепы из ДКР показал, что такая щепа отличается от щепы из дров фракцией с большим разбросом получаемых размеров (из-за многочисленных веток), большим процентом коры и листвы и не совсем приспособлена для использования на уже эксплуатируемых энергоустановках. При более глубокой переработке из такой щепы возможно получать облагороженное топливо в виде пеллет или брикетов. В данной статье предложено усовершенствовать сложившуюся систему машин в направлении производства топлива, включая облагороженное из ДКР, удаляемой с объектов строительства.

Основная часть. Сплошную заготовку ДКР на объектах мелиорации и при расчистке облесенных площадей под добычу полезных ископаемых открытым способом рекомендуется производить с помощью универсального базового шасси, оборудованного срезающе-пакетиру-

ющим рабочим органом (рис. 1), функционирующим в соответствии со схемой (рис. 2).

В качестве универсально базового шасси предлагается использовать одноковшовый гусеничный экскаватор с увеличенной шириной гусеницы. Преимуществом такого шасси является высокая проходимость и малое давление на основание, позволяющие работать на переувлажненных грунтах с низкой несущей способностью, а также возможность замены сменного срезающего-пакетирующего рабочего органа основным рабочим оборудованием в случае отсутствия объемов работ в межсезонье.

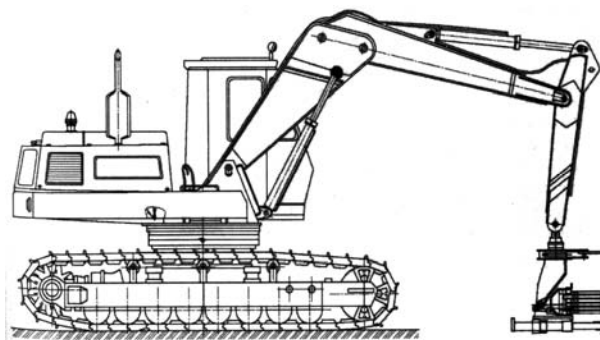


Рис. 1. Срезающе-пакетирующая машина на базе экскаватора ЭО-3223

Заготовка зеленой щепы при расчистке полосы отвода автомобильных дорог производится следующим образом (рис. 3). Деревья на полосе отвода автомобильных дорог срезаются бензопилой и складываются в кучи. Если запас древесины на полосе отвода значительный, то кучи получают большими. Их перемещают форвардером на открытую площадку для подсушки [1].

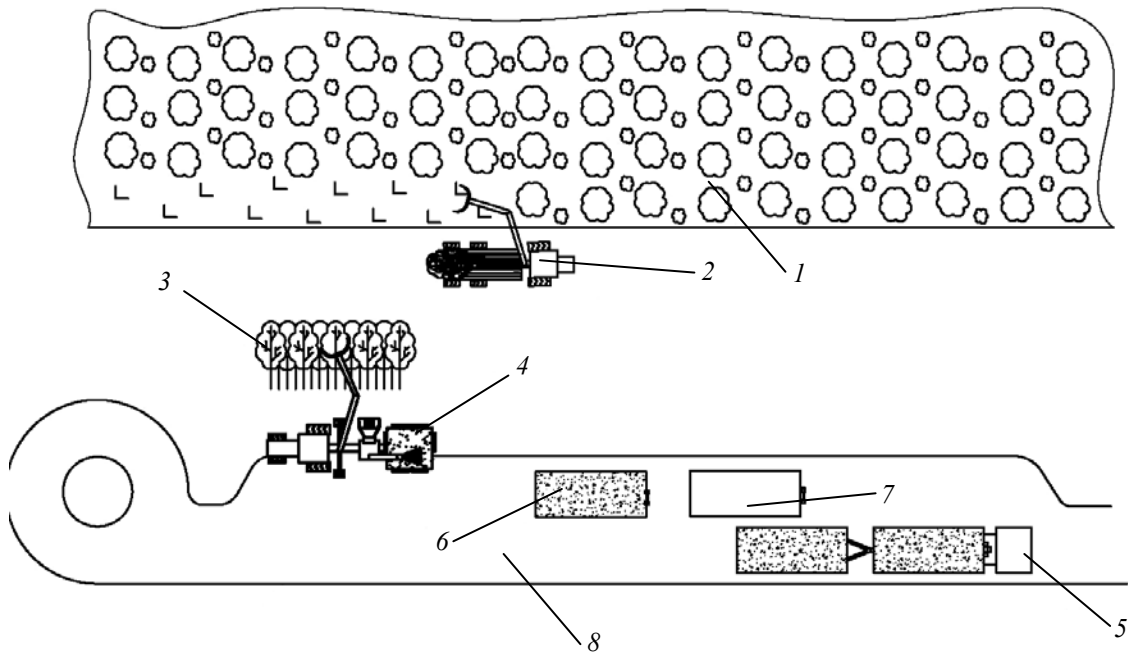


Рис. 2. Заготовка топливной щепы на объектах мелиорации или расчистки облесенных площадей под добычу полезных ископаемых открытым способом:

1 – кустарниковые насаждения; 2 – форвардер «Амкодор 2661»; 3 – штабель деревьев; 4 – рубильная машина МР-25; 5 – груженный топливозов; 6 – загруженный контейнер; 7 – порожний контейнер; 8 – дорога

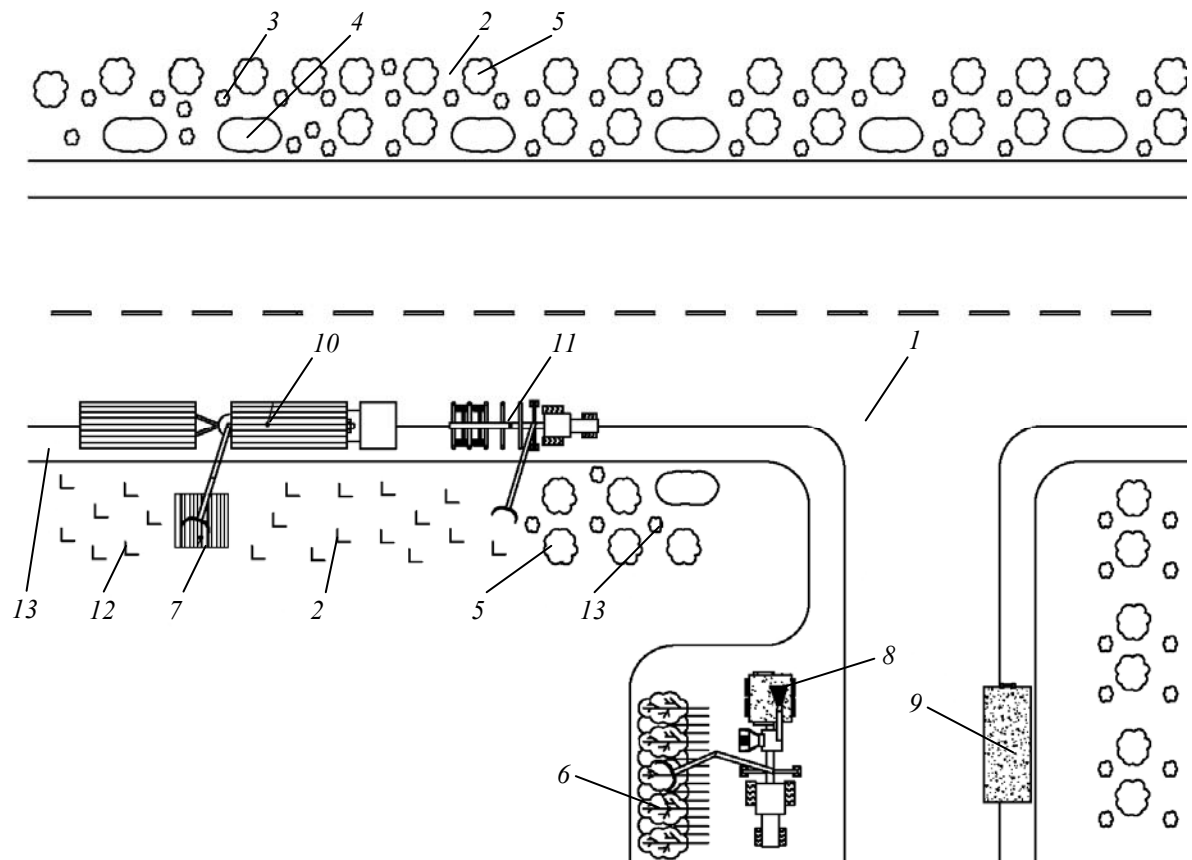


Рис. 3. Расчистка полосы отвода автомобильных дорог:

1 – автомобильная дорога; 2 – полоса отвода дороги; 3 – мелкие деревья; 4 – кустарник; 5 – крупные деревья; 6 – куча мелких деревьев; 7 – сортименты; 8 – рубильная машина МР-25; 9 – контейнер для топливной щепы; 10 – сортиментовоз; 11 – форвардер; 12 – пни; 13 – обочина дороги

К таким кучам подходит рубильная машина МР-25 и перерабатывает подсушенные деревья в щепу. При наполнении щепой собственного бункера рубильная машина высыпает щепу в контейнер топливозова. Если запас древесины незначительный на полосе отвода, то мелкие кучи также собирают и отвозят на площадки для подсушки [2].

Заготовка топливного сырья и получение из него зеленой щепы на трассах отвода железных дорог, линий электропередач, нефтегазопроводов производится так же, как и на полосе отвода автомобильных дорог.

Как уже отмечалось, измельчение ДКР в щепу рекомендуется осуществлять с помощью

мобильной рубильной машин МР-25, оборудованной собственным бункером-перегрузателем (рис. 4). В Беларуси нашла применение также отечественная рубильная машина Амкодор 2902. Ниже приведены технические характеристики таких рубильных машин (табл. 1, 2).



Рис. 4. Мобильная рубильная машина МР-25

Таблица 1

Техническая характеристика рубильной машины МР-25

Энергетическое средство	Трактор лесохозяйственный «Беларус» Л1221
Дробилка	Барабанная многолезцовая, с автоматическим реверсом подающего ролика и конвейерной ленты
Модель	HEM 360 Z (фирмы JENZ)
Производительность, м ³ /ч	25–60
Размеры загрузочного окна, мм	790×360
Объем бункера-накопителя, м ³	10
Эксплуатационная масса, кг	17 300
Габаритные размеры, мм:	
длина	11 000
ширина	2420
высота	3850
Шасси	Полуприцеп многофункциональный, одноосный 4-колесный с гидруправляемым дышлом
Колея, мм	1935
Дорожный просвет, мм	320
Манипулятор	ГМ-42Т/ГМ-50
Грузовой момент манипулятора, кНм	31/45
Вылет стрелы манипулятора, м	6,5/7,2

Таблица 2

Техническая характеристика рубильной машины (измельчителя) Амкодор 2902

Производительность, м ³ /ч	100
Вместимость контейнера, м ³	16
Высота выгрузки контейнера, мм	3200
Рубильный модуль	Барабанного типа, Kesia (Финляндия)
Манипулятор	Kesia (Финляндия)
Подъемный момент манипулятора, кНм	80
Вылет стрелы, мм	10 325
Угол поворота манипулятора, град	380
Дизель	Д-260.9
Мощность эксплуатационная, кВт (л. с.)	132(180)
Трансмиссия	Гидромеханическая
Скорость транспортная, км/ч	0–30
Масса эксплуатационная, кг	24 000
Длина, мм	9300
Ширина, мм	2900
Высота, мм	3950

Таблица 3

Техническая характеристика топливозова

Технически допустимая общая масса автомобиля, кг	27 500
Распределение технически допустимой общей массы, кг:	
передняя ось	7500
оси ведущей тележки	20 000
Полная масса автомобиля с механизмом смены кузова (без кузова) в снаряженном состоянии, кг	12 900(13 050)
Технически допустимая грузоподъемность, кг	14 500
Объем платформы, м ³	35
Двигатель	ЯМЗ-6562.10V-8 (Euro-3)
Мощность двигателя, л. с.	(270)
Коробка передач	ЯМЗ-2361 или ЯМЗ-336
Число передач КП	5 или 6
Подвеска:	
передняя	Малоллистовая рессорная
задняя	Многолистовая рессорно-балансирная
Максимальная скорость, км/ч	90
Объем топливного бака, л	300

Щепу из заполненных бункеров отечественных мобильных рубильных машин рекомендуется перегружать в рядом стоящие съемные контейнеры топливозовов, оборудованных системой «мультилифт». В Беларуси на базе автомобиля МАЗ-6501А3 с колесной формулой 6×4 создан топливозов (рис. 5) со следующей технической характеристикой (табл. 3).



Рис. 5. Топливозов с системой мультилифт

Кроме ДКР, в щепу можно превращать толстые старые фаутные деревья, как правило, с сердцевинной гнилью, часто удаляемые вдоль дорог или в парках при их реконструкции. Сегодня применяется, как уже отмечалось, затратная технология распиливания таких деревьев бензопилами на чурки с последующим раскалыванием их на малопродуктивных древокольных станках. Предлагается более эффективный известный за рубежом метод уменьшения размеров толстых деревьев – расщепление их на куски вдоль всего бревна с помощью сменного раскалывающего рабочего органа (рис. 6), монтируемого на многофунк-

циональную машину, уже имеющуюся на предприятии.

Роликовая система в раскалывающем устройстве позволяет сократить сопротивление трения и значительно сэкономить энергозатраты при расщеплении древесины.

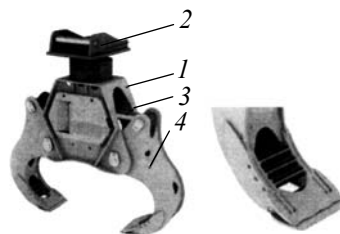


Рис. 6. Конструкция рабочего органа для раскалывания крупногабаритной древесины:
1 – корпус; 2 – монтажный фланец;
3 – гидроцилиндр; 4 – клин

Выполненные расчеты показывают, что для навешивания сменного раскалывающего рабочего органа подходит лесопогрузчик «Амкодор 352 Л» (рис. 7).

Полученная щепа для производства обогащенного топлива (например, пеллет) предварительно сушится, затем дополнительно измельчается на молотковых дробилках, после чего поступает в циклон и дозировочный бункер, из которого определенные порции подаются на гранулятор, производящий пеллеты. Полученные пеллеты поступают на виброгрохот (вибросито) для удаления пыли, а затем в охладитель, далее на повторную сортировку и наконец – в бункер, где пеллеты накапливаются для расфасовки, чаще всего в мешки.

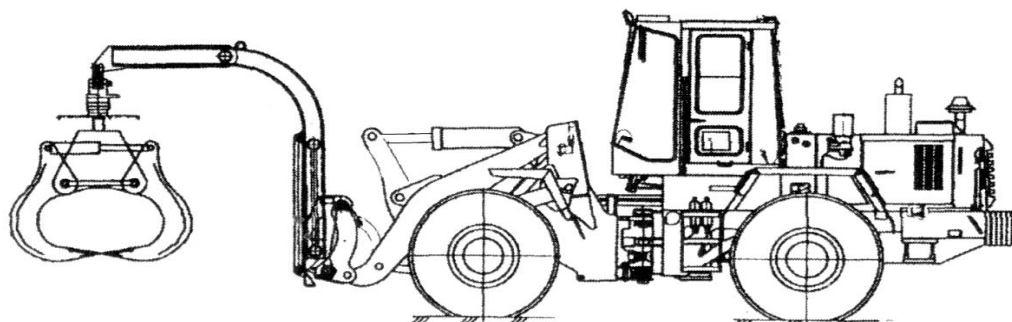


Рис. 7. Лесопогрузчик «Амкодор 352Л» со сменным раскалывающим рабочим органом

Для получения пеллет не требуется специального связующего, так как получаемая в процессе размола древесная масса нагревается, в результате чего происходит разжижение содержащихся в ней смол и лигнина, которые и действуют в качестве клея.

Находит применение технологическая линия по производству пеллет с агрегатом, совмещающим сушку и измельчение, АС-4 (рис. 8), выпускаемая ООО «ЭкоЭнергия» (РФ).

Такой агрегат состоит из склада сырья «подвижное дно» 1, транспортера подачи сырья в агрегат АС 2, теплогенератора твердотопливного 3, бункера топлива теплогенератора 4, агрегата сушки-измельчения 5, осадочного циклона со шлюзовым затвором 6, вытяжного вентилятора-дымососа 7, дымовой трубы 8, транспортера сухого измельченного материала 9, бункера-гранулятора 10,

пресс-гранулятора 11, охладителя-сортировщика пеллет 12, циклона охладителя с вентилятором 13, норрии охладителя 14.

Преимуществом данной технологической линии является совмещение измельчения и сушки в одном агрегате и то, что измельчению подвергается невысушенный материал, на что тратится меньше энергии, а сушка тонкоизмельченного материала более эффективна.

Как следует из патентов РФ автора Слипченко П. П., движение сырья внутри такого агрегата организовано так, что частицы обрабатываемого материала испытывают удары активатора и многочисленные взаимные соударения. Эти встречные соударения и взаимное трение приводят к измельчению и одновременному нагреву сырья, а значит, и сушке.

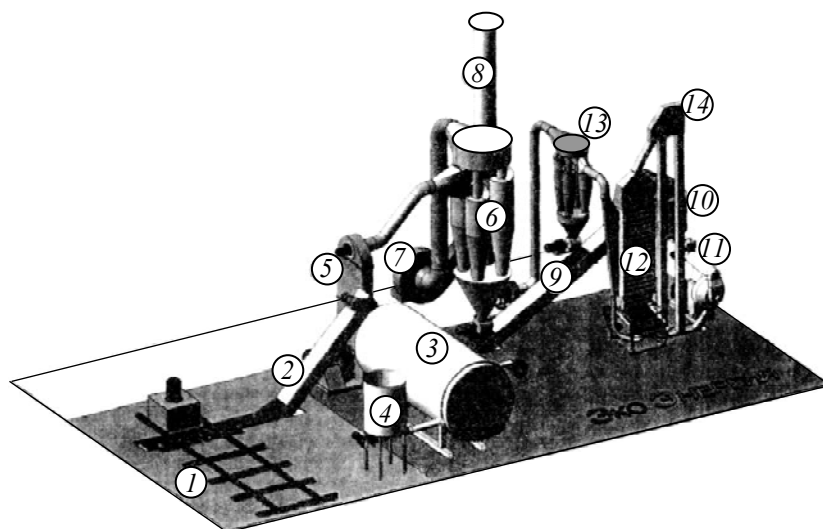


Рис. 8. Технологическая линия по производству пеллет с агрегатом сушки-измельчения АС-4:

- 1 – склад сырья «подвижное дно»; 2 – транспортер для подачи сырья;
 3 – теплогенератор твердотопливный; 4 – бункера топлива теплогенератора;
 5 – агрегат сушки-измельчения, 6 – осадочный циклон; 7 – вытяжной вентилятор-дымосос;
 8 – дымовая труба; 9 – транспортер сухого измельченного материала; 10 – бункер-гранулятор;
 11 – пресс-гранулятор; 12 – охладитель-сортировщик пеллет;
 13 – циклон охладителя; 14 – норрии охладителя

Для удержания обрабатываемого материала в рабочей камере, пока он не достигает требуемой влажности и размеров частиц, служит система динамической классификации. На производительность рассматриваемой технологической линии влияет ряд факторов: влажность и размеры обрабатываемого материала на входе в агрегат сушки-измельчения и на выходе из него; наличие подачи горячего воздуха в агрегат.

Производительность рассматриваемой линии колеблется в пределах 0,5–3,0 т/ч. При производительности около 1 т/ч при сушке-измельчении щепы суммарная мощность линии достигает всего лишь 75 кВт, что дает возможность подключаться к мобильным электрогенераторам, которые в Беларуси успешно выпускает предприятие «БМЕ-Дизель».

Линия может быть мобильной (занимая площадь около 15 м²) для приближения к рассредоточенной в небольших объемах сырьевой базе.

Выводы. 1. Предложена усовершенствованная система машин, включающая одноков-

шовый гусеничный экскаватор со срезающее-пакетирующим рабочим органом, форвардер, лесопогрузчик со сменным раскалывающим рабочим органом, мобильную рубильную машину, топливовоз с системой «мультилифт» и технологическую линию по производству пеллет.

2. Использование одноковшового гусеничного экскаватора в качестве базовой машины для монтажа срезающее-пакетирующего рабочего органа позволяет осуществить операции по удалению ДКР на площадях с недостаточной несущей способностью грунта, на которых сосредоточены основные запасы неиспользуемой сегодня древесной растительности.

Литература

1. Вавилов, А. В. Пеллеты в Беларуси: производство и получение энергии / А. В. Вавилов. – Минск: Стринко, 2012. – 163 с.

2. Вавилов, А. В. Ресурсосберегающие технологии для топливообеспечения энергетических установок на биомассе / А. В. Вавилов. – Минск: Стринко, 2006. – 182 с.

Поступила 15.02.2013

ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

УДК 674-419.33: 674.2

С. В. Шетько, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);
Д. Л. Рапинчук, ассистент (БГТУ)

ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ДЕРЕВЯННОГО ДОМОСТРОЕНИЯ ИЗ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ НИЗШИХ СОРТОВ

Представлена новая современная технология стеновых клееных элементов для деревянного домостроения, сырьем для производства которых служат тонкомерные пиломатериалы низших сортов. Данный материал представляет собой плоское клееное изделие из натуральной древесины. Панель состоит из образованных щитовыми элементами нескольких слоев, склеенных под прямым углом друг к другу. В зависимости от применяемых клеевых материалов готовые панели могут эксплуатироваться как на открытом воздухе, т. е. из них можно формировать наружные стены построек, так и внутри помещений (межкомнатные перегородки, плиты перекрытий и т. п.).

The article presents a new advanced technology of wall glued elements for wooden construction. The raw materials for its production are thin-dimensional lumber of the lower grades. This material is flat laminated product made of solid wood. The panel is composed from several layers formed shield elements, glued together at right angles to each other. Depending on the used adhesive materials, finished panels can be used on open air and indoors. It means that one can form the exterior walls of buildings, and interior partitions, floor slabs, etc.

Введение. Развитие технологии и техники в области производства строительных изделий из древесины позволяет выпускать все более разнообразные конструкционные элементы для различных архитектурно-строительных систем.

Современное домостроение базируется в основном на конструкциях из массивной древесины и каркасно-панельных системах, причем и в том, и в другом случаях все более широкое распространение имеет использование клееных материалов, т. к. получить строительный элемент нужного сечения из натуральной несклеенной древесины довольно сложно [1]. Это связано и с большим расходом сырья при раскросе лесоматериалов в условиях ограниченной спецификации, и со сложным и энергоемким процессом сушки древесины до необходимой влажности. Даже если использовать для возведения домов цельные бревна, то процесс усадки сруба продолжается в той или иной степени на протяжении нескольких лет, препятствуя выполнению окончательной отделки помещений. Кроме этого, анизотропия натуральной древесины приводит к образованию трещин, ухудшающих теплотехнические характеристики, и покоробленности, оказывающей влияние на геометрические характеристики конструкций.

С учетом вышесказанного использование конструкционных элементов из клееной древесины и древесных материалов является наиболее

перспективным направлением в совершенствовании строительных конструкций из древесины.

Основная часть. Производство клееных элементов из массивной древесины базируется на правильном и рациональном раскросе исходного сырья – круглых лесоматериалов. Анализ рынка пиломатериалов в нашей стране показывает, что наибольшим спросом пользуются пиломатериалы толщиной 32 мм и более, в то время как более тонкие доски, толщиной 19–25 мм, накапливаются на складах, не находя своего потребителя.

Отказаться от выпуска тонких пиломатериалов в условиях крупного лесопильного производства – значит существенно уменьшить объемный выход пилопродукции за счет неиспользования сбеговой зоны бревна, получение из которой толстых пиломатериалов невозможно. Предприятиям приходится расширять маркетинговые исследования в поисках путей выгодного использования таких пиломатериалов.

Одним из способов применения пиломатериалов толщиной до 32 мм является технология производства так называемой слоисто-прессованной древесины (рис 1).

Данный материал представляет собой плоское изделие из натуральной древесины. Он состоит из нескольких слоев, образованных клееными щитами, склеенными под прямым углом друг к другу. Общий вид щитов и готовой панели представлен на рис. 2.



Рис. 1. Слоисто-прессованная древесина

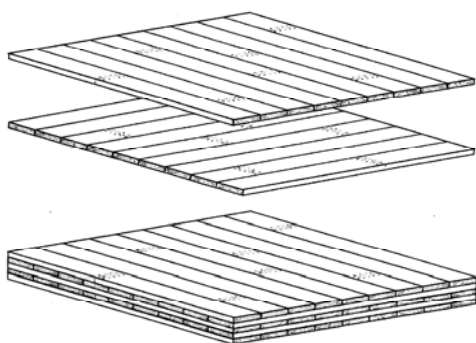


Рис. 2. Общий вид щитов и готовой слоисто-прессованной панели

Технологический процесс производства данного материала состоит из следующих этапов:

- сушка пиломатериалов (т. к. заготовки для производства слоисто-прессованной древесины имеют небольшую толщину, то процесс сушки занимает минимальное время. Кроме этого, сушку заготовок для внутренних слоев можно производить и по форсированным режимам. Ограничением служит только сохранение прочностных характеристик материала);
- предварительное строгание для вскрытия дефектов с последующим их удалением (данная операция проводится только для заготовок, идущих на верхний слой, к которому предъявляются и декоративные требования);
- торцевое сращивание на зубчатый шип с формированием заданной длины заготовок;
- чистовое строгание и нанесение клея на кромки заготовок;
- формирование пакетов с учетом ориентации годичных слоев ламелей для уменьшения коробления;
- прессование щитов;
- калибрование щитов и нанесение клея на пласть;
- прессование панелей;
- формирование кромок готовой панели (кромки могут иметь как гладкую форму, так и специальный профиль для стыковки с соседними панелями при формировании большой стеновой панели);
- контроль готовой продукции, маркировка, упаковка и отправка потребителю.

В зависимости от применяемых клеевых материалов, готовые панели могут эксплуатироваться как на открытом воздухе, т. е. из них можно формировать наружные стены построек, так и внутри помещений (межкомнатные перегородки, плиты перекрытий и т. п.).

Если обеспечить надлежащее качество лицевой поверхности панелей, то это способствует возможности их эксплуатации с прозрачной отделкой. Кроме этого, можно дополнительно повысить эстетические свойства панелей, используя в качестве лицевой поверхности древесину более ценных пород. Слоистая структура дает возможность не только декоративной модификации, но и возможность дополнения конструкции звукоизоляционными и огнезащитными свойствами.

Поперечная структура придает элементам высокую жесткость. При малом собственном весе они выдерживают большие нагрузки, как в основном несущем направлении, так и перпендикулярно ему.

Массивность стеновых конструкций в отличие от традиционных панелей позволяет в любом месте крепить к стенам подвешиваемые предметы (люстры, полки, навесные шкафы и т. п.).

Заводское изготовление панелей позволяет осуществлять монтаж по готовым проектам в кратчайшие сроки, а оптимальная влажность древесины дает возможность приступить к эксплуатации постройки сразу после возведения.

Заключение. Анализ размерно-качественных характеристик круглых лесоматериалов, идущих на производство пилопродукции в нашей стране, показывает, что доля сырья мелких и средних диаметров увеличивается из года в год [2]. С целью увеличения добавленной стоимости производимой продукции необходимо стремиться к максимальной переработке древесного сырья. Это означает, что в современных условиях недостаточно просто произвести пиломатериалы, а необходимо постоянно искать новые перспективные направления их использования.

Подводя итог всему вышесказанному, можно с уверенностью говорить о перспективности данной технологии в наших условиях. Она позволит обеспечить население быстровозводимым, потребляющим мало энергии, экологически чистым жильем.

Литература

1. Разработка конструкций и ресурсосберегающей технологии столярно-строительных изделий: отчет по госбюджетной теме / Белорус. гос. технол. ун-т; рук. темы А. А. Янушкевич. – Минск, 2006–2010. – № 7-06/01.
2. Государственная программа развития лесного хозяйства Республики Беларусь на 2011–2015 гг.: утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь 03.11.2010, № 1626.

Поступила 19.02.2013

УДК 674.02

Л. В. Игнатович, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);
С. С. Утгоф, аспирант (БГТУ); **А. М. Бут-Гусаим**, магистрант (БГТУ)

ТЕХНОЛОГИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ПАРКЕТНЫХ ИЗДЕЛИЙ С ЛИЦЕВЫМ СЛОЕМ ИЗ УПЛОТНЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ МЯГКИХ ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД

В статье изложены результаты исследования процесса уплотнения древесины мягких лиственных пород, а также склеивания многослойных паркетных изделий с лицевым слоем из уплотненной древесины ольхи. В ходе исследования были определены физико-механические характеристики уплотненной древесины: твердость, износостойкость и степень уплотнения. Определен такой показатель, как прочность клеевого соединения. Сделаны выводы о влиянии режима прессования на физико-механические характеристики уплотненной древесины, вида клеевого материала и режима склеивания на прочность клеевого соединения в многослойных паркетных покрытиях.

The article presents a study of deciduous wood compaction process, as well as bonding of multi-layer parquet products with facial layer of compacted wood alder. The study determined the physical and mechanical characteristics of compacted wood hardness, wear resistance and degree of compaction. Such indicator is defined as strength of the bond to the lead. The conclusions about the effect of pressing process on physical and mechanical properties of densified wood and type of adhesive material and regime of bonding to bond strength in multilayer parquet flooring.

Введение. Древесина – экологически чистый природный материал, который широко используется в производстве напольных покрытий (доска пола и паркетные изделия). Также древесина является гигроскопичным материалом. От негативного влияния влаги паркетные изделия, конечно, защищает лаковое или масляное покрытие, но уменьшить степень деформации паркетных изделий можно за счет выбора правильной многослойной конструкции.

В многослойных паркетных изделиях слои древесины специально формируются так, чтобы волокна проходили в разных слоях разнонаправленно. Верхний и нижний слои изготовлены таким образом, чтобы волокна древесины были направлены вдоль длинной стороны планки, а в среднем слое волокна располагают перпендикулярно. Это позволяет минимизировать естественное движение древесных волокон при изменении климатических условий в помещении (влажность, температура).

В многослойных паркетных изделиях для изготовления лицевого слоя толщиной 4–7 мм используются ценные породы древесины.

Для реек среднего слоя и основания используется древесина хвойных пород, древесина ольхи или осины, древесные материалы (фанера, ДВП). За счет этого происходит существенная экономия природного сырья, по сравнению с производством массивного паркета, который на 100% состоит из ценной древесины. Это качество многослойного паркета увеличивает конкурентоспособность продукта на рынке напольных покрытий.

Недостатками перечисленных выше пород являются их большая себестоимость и ограниченные запасы, что увеличивает рыночную

стоимость готовой продукции. В то же время запасы мягких лиственных пород древесины на территории нашей страны гораздо выше. И одним из направлений в решении задачи рационального использования древесины твердых лиственных пород является вовлечение в производство паркетных изделий мягколиственных пород древесины.

Использование натуральной древесины мягколиственных пород в производстве паркетных покрытий не находит применения в связи с низкими эксплуатационными показателями. Одним из распространенных способов улучшения эксплуатационных показателей древесины является ее модифицирование.

Модифицированием древесины малоиспользуемых мягких лиственных пород для создания полноценного заменителя ценной древесины твердых лиственных пород занимаются уже довольно продолжительное время, однако технологии с применением различных пропиточных смол и составов являются вредными для окружающей среды и здоровья человека. Альтернативным способом улучшения физико-механических характеристик мягких лиственных пород древесины можно считать прессование (термомеханическое модифицирование).

Основная часть. Прессованная (уплотненная) древесина обладает более высокими физико-механическими показателями, чем натуральная, при этом в процессе прессования не применяются химические составы, а улучшение свойств происходит только под воздействием высоких температур и давления.

Прессование характеризуется степенью прессовки, которая определяется по соотношению размеров деталей из древесины до прессо-

вания и после прессования. Уплотнение древесины повышает ее прочностные свойства, твердость, улучшает способность смачиваться жидкими связующими. За счет уменьшения объема путем механического воздействия комплексно улучшаются прочностные свойства и износостойкость.

К паркетным покрытиям предъявляются высокие требования: они должны быть прочными, долговечными и обладать высокими эстетическими характеристиками.

На основании вышесказанного для исследования была выбрана технология производства многослойных клееных паркетных изделий с лицевым слоем из уплотненной древесины мягких лиственных пород.

Целью экспериментального исследования являлось изучение физико-механических характеристик прессованной древесины мягких лиственных пород. Для проведения испытаний были выбраны наиболее распространенные на территории Республики Беларусь мягкие лиственные породы древесины: береза (22,6%) и ольха (8,4%).

Основные виды березы относятся к породам средней плотности. Их средняя плотность (при 12%-ной влажности) – 640 кг/м³. Береза хорошо поддается гнутью и другим видам обработки, легко поддается имитации под ценные по-

роды. Применение березы для строительных деталей ограничено из-за ее склонности к короблению.

Ольха относится к породам малой плотности. Среднее значение плотности древесины ольхи при стандартной влажности (12%-ной) – 525 кг/м³. Древесина ольхи мягкая, легкая, хорошо режется, мало коробится при сушке, обладает хорошей формоустойчивостью.

Эксперимент ставился по плану В. Переменными факторами при прессовании были давление прессования, температура плит пресса и время прессования. Контролируемыми выходными параметрами были твердость, степень упрессовки, износостойкость уплотненной древесины.

Для проведения прессования были изготовлены образцы размером 100×100 мм и толщиной 6 мм, плотность образцов соответствует среднему показателю.

Прессование поперек волокон проводили на гидравлическом прессу типа ПСУ-50 усилием 500 000 Н.

Твердость образцов определяли в соответствии с ГОСТ 16483.17–81, показатель истирания – абразиметром Табера, шероховатость поверхности – профилографом НОММЕЛ Т1000.

Матрицы планирования в кодированном и натуральном выражении и результаты эксперимента приведены в табл. 1.

Таблица 1

Матрица планирования в кодированном и натуральном выражении, результаты эксперимента по прессованию древесины

№ режима	Кодированная матрица эксперимента			Матрица эксперимента в натуральном выражении			Результаты эксперимента для древесины березы			Результаты эксперимента для древесины ольхи		
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ , МПа	X ₂ , °С	X ₃ , мин	Y ₁ , МПа	Y ₂ , %	Y ₃ , г	Y ₁ , МПа	Y ₂ , %	Y ₃ , г
1	1	1	1	19,6	110	3	20	40	0,188	45	48	0,164
2	-1	1	1	9,8	110	3	20	27	0,177	33	39	0,090
3	1	-1	1	19,6	70	3	17	36	0,198	40	42	0,143
4	-1	-1	1	9,8	70	3	20	24	0,170	20	41	0,123
5	1	1	-1	19,6	110	1	23	32	0,191	39	46	0,104
6	-1	1	-1	9,8	110	1	17	29	0,186	20	39	0,086
7	1	-1	-1	19,6	70	1	19	36	0,228	16	46	0,100
8	-1	-1	-1	9,8	70	1	12	18	0,216	16	36	0,124
9	1	0	0	19,6	90	2	23	37	0,278	40	47	0,145
10	-1	0	0	9,8	90	2	20	21	0,216	43	47	0,132
11	0	1	0	14,7	110	2	22	29	0,234	44	48	0,182
12	0	-1	0	14,7	70	2	22	29	0,226	41	48	0,127
13	0	0	1	14,7	90	3	18	28	0,201	42	49	0,147
14	0	0	-1	14,7	90	1	22	28	0,244	49	48	0,098

В таблице приведены величины среднего значения параллельных опытов. В результате расчетов получены уравнения регрессии второго порядка в кодированных обозначениях, учитывающие влияние каждого фактора на величину твердости, степень упрессовки и износостойкость. Оценка значимости коэффициентов регрессии произведена по t-критерию Стьюдента. После отсеивания малозначимых коэффициентов уравнения приобрели следующий вид.

Величина значения твердости древесины березы:

$$Y_1 = 22,625 + 1,280 \cdot x_1 + 1,192 \cdot x_2 + 46,970 \cdot x_1 \cdot x_2 + 52,868 \cdot x_2 \cdot x_3 + 93,310 \cdot x_2^2 + 91,493 \cdot x_3^2.$$

Величина значения твердости древесины ольхи:

$$Y_1 = 50,442 + 4,8 \cdot x_1 + 4,8 \cdot x_2 + 4,0 \cdot x_3 + 175,625 \cdot x_1 \cdot x_2 + 103,75 \cdot x_2 \cdot x_3 + 149,5 \cdot x_2^2 + 152,2 \cdot x_3^2.$$

Величина значения степени упрессовки древесины березы:

$$Y_2 = 27,630 + 6,160 \cdot x_1 + 128,339 \cdot x_1 \cdot x_2 + 122,175 \cdot x_2 \cdot x_3 + 140,136 \cdot x_2^2 + 146,951 \cdot x_3^2.$$

Величина значения степени упрессовки древесины ольхи:

$$Y_2 = 50,694 + 2,7 \cdot x_1 + 215,625 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,875 \cdot x_1 \cdot x_3 + 235,0 \cdot x_2 \cdot x_3 + 212,282 \cdot x_2^2 + 215,906 \cdot x_3^2.$$

Величина значения износостойкости древесины березы:

$$Y_3 = 0,252 + 0,012 \cdot x_1 + 0,173 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,006 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,989 \cdot x_2^2 + 1,009 \cdot x_3^2.$$

Величина значения износостойкости древесины ольхи:

$$Y_3 = 0,149 + 0,01 \cdot x_1 + 0,016 \cdot x_3 + 0,168 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,013 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,028 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,606 \cdot x_2^2 + 0,588 \cdot x_3^2.$$

После определения коэффициентов регрессии по средним значениям свойств проводилась проверка адекватности полученных уравнений. Вывод об адекватности основывался на сравнении расчетных и табличных значений коэффициентов Стьюдента. Все уравнения регрессии адекватны эксперименту. Полученные уравнения позволяют определить величину твердости, степени упрессовки и значение износостойкости уплотненной древесины березы и ольхи.

В натуральном выражении уравнения регрессии имеют следующий вид:

Величина значения твердости древесины березы:

$$Y_1 = -268830,4 + 409,449 \cdot x_1 + 2492,27 \cdot x_2 + 62346568,61 \cdot x_1 \cdot x_2 + 594522,503 \cdot x_2 \cdot x_3 + 830951,28 \cdot x_2^2 - 3375,908 \cdot x_3^2.$$

Величина значения твердости древесины ольхи:

$$Y_1 = 4597,588 + 7,409 \cdot x_1 + 44,88 \cdot x_2 + 1,016 \cdot x_3 + 25215,22 \cdot x_1 \cdot x_2 + 226,338 \cdot x_2 \cdot x_3 + 14197,42 \cdot x_2^2 - 60,521 \cdot x_3^2.$$

Величина значения степени упрессовки древесины березы:

$$Y_2 = -419778,31 + 637,07 \cdot x_1 + 180820480,22 \cdot x_1 \cdot x_2 + 1393948,73 \cdot x_2 \cdot x_3 + 1295508,64 \cdot x_2^2 - 5004,67 \cdot x_3^2.$$

Величина значения степени упрессовки древесины ольхи:

$$Y_2 = 599113,04 + 930,51 \cdot x_1 + 302918071,88 \times x_1 \cdot x_2 - 2329,34 \cdot x_1 \cdot x_3 + 2726378,75 \cdot x_2 \cdot x_3 + 1851396,17 \cdot x_2^2 - 7609,31 \cdot x_3^2.$$

Величина значения износостойкости древесины березы:

$$Y_3 = -2735,267 + 4,399 \cdot x_1 + 6980,931 \cdot x_1 \cdot x_2 + 113,368 \cdot x_2 \cdot x_3 + 8441,027 \cdot x_2^2 - 36,039 \cdot x_3^2.$$

Величина значения износостойкости древесины ольхи:

$$Y_3 = -1714,342 + 2,644 \cdot x_1 + 0,369 \cdot x_3 + 2716,809 \cdot x_1 \cdot x_2 + 6,956 \cdot x_1 \cdot x_3 + 52,472 \cdot x_2 \cdot x_3 + 5284,819 \cdot x_2^2 - 21,299 \cdot x_3^2.$$

Очевидно, что характер зависимостей идентичен для одних и тех же показателей уплотненной древесины ольхи и березы.

Проанализировав полученные результаты, можно сделать вывод, что основное влияние на степень уплотнения древесины в процессе прессования оказывают такие факторы, как давление и температура плит прессы.

Таким образом, для производства многослойных паркетных изделий в качестве лицевого слоя целесообразно применять уплотненную древесину мягких лиственных пород, т. к. в процессе уплотнения улучшаются твердость и износостойкость древесины, которые являются

основными эксплуатационными характеристиками деревянных напольных покрытий.

Шероховатость поверхности древесины уже при степени уплотнения 30% оказывается меньше нормативного значения шероховатости для мебели (16 мкм). Поверхность уплотненной древесины имеет другой профиль по сравнению со шлифованной. Все выступы предыдущей механической обработки оказываются впрессованными. В связи с улучшением качества поверхности древесины возникает вопрос об исключении шлифования уплотненной древесины перед склеиванием и отделкой.

С целью обоснования исключения шлифования уплотненной древесины перед склеиванием проведено исследование прочности склеивания уплотненной древесины с натуральной.

При производстве многослойных паркетных изделий используют различные клеевые системы. Но качество соединений деталей из древесины определяется не только качеством клеевых систем, но и составляющими режима склеивания. К этим составляющим относят: состояние склеиваемой древесины, вид, состояние и расход клея, время открытой и закрытой выдержки клея, давление, температура и время прессования и, наконец, время послепрессовой выдержки продукции.

Известно, что для получения высококачественного клееного шва важнейшими показателями состояния древесины являются шероховатость поверхности соединяемых деталей, влажность и температура материала.

К паркетным многослойным изделиям предъявляются высокие требования по прочности клееного шва. Для обеспечения необходимого качества готовой продукции применяются клеи групп прочности (водостойкости) D3 и D4 по DIN EN204.

К ним относятся полиуретановые (ПУ) одно- и многокомпонентные ПУ клеи – синтетические клеи, получаемые из исходных веществ синтеза полиуретанов. Основные компоненты данных клеев – ароматические или алифатические изоцианаты, содержащиеся в молекуле не менее двух NCO-групп, и гидроксилсодержащие олигомеры.

К достоинствам ПУ клеев относятся: стойкость к действию масел, воды, кислот и бензина; хорошая схватываемость; эластичный и прозрачный клеевой шов; способность выдерживать знакопеременные нагрузки; отверждение при нормальных условиях (не требует нагрева).

Поливинилацетатный (ПВА) клей – водная дисперсия поливинилацетата, получаемого в результате полимеризации винилацетата (продукта взаимодействия ацетилен с уксусной кислотой). Поливинилацетатная дисперсия обла-

дает высокими клеящими свойствами, высокой адгезией к различным материалам, технологична в применении, характеризуется безвредностью, постоянной готовностью к применению, высокой жизнеспособностью, высокой скоростью склеивания при комнатной температуре. Клеевой слой эластичный, бесцветный, не затупляет режущий инструмент и имеет удобные для работы показатели – неограниченную жизнестойкость, время «холодного» прессования около 20 мин [1].

Для исследования процесса склеивания уплотненной древесины использовали древесину ольхи со степенью уплотнения 30% и шероховатостью поверхности 4–5 мкм. Для склеивания были выбраны поливинилацетатный клей «Иоваколь 103.15» и полиуретановый клей «Kleiberit 501.8».

Эксперимент ставился по плану В.

Переменными факторами воздействия при горячем склеивании полиуретановым клеем «Kleiberit 501.8» являются: время выдержки, давление прессования и температура склеивания (табл. 2). И при холодном склеивании поливинилацетатным клеем «Иоваколь 103.15» были время выдержки и давление прессования (табл. 2).

Таблица 2

Переменные параметры при горячем склеивании полиуретановым клеем «Kleiberit 501.8» и при холодном склеивании поливинилацетатным клеем «Иоваколь 103.15»

Клей	Время, мин	Давление, МПа	Температура, °С
Kleiberit 501.8	10–30	0,6–1,0	60–80
Иоваколь 103.15	15–20	0,7–1,0	20

Испытания по определению прочности клееного соединения проводились в соответствии с ГОСТ 25885–83 [2]. Правила отбора, количество, точность изготовления и кондиционирование образцов – по ГОСТ 16483.0–89 [3].

В результате расчетов получены уравнения регрессии второго порядка в кодированных обозначениях, учитывающие влияние каждого фактора на прочность склеивания.

Матрицы планирования в натуральном выражении и результаты исследования прочности склеивания приведены в табл. 3 и 4.

Оценка значимости коэффициентов регрессии произведена по t-критерию Стьюдента.

Прочность склеивания поливинилацетатным клеем при холодном склеивании:

$$Y = 4,87 + 0,377 \cdot x_1 + 0,132 \cdot x_2 + 0,3 \cdot x_1 \cdot x_2 + 1,13 \cdot x_1^2 + 1,175 \cdot x_2^2.$$

Таблица 3

Матрица планирования в натуральных обозначениях для поливинилацетатного клея «Иоваколь 103.15»

№ опыта	Время прессования t , мин	Давление прессования q , МПа	Прочность склеивания, МПа
1	20	1	7,98
2	15	1	6,63
3	20	0,7	7,12
4	15	0,7	6,97
5	20	0,85	6,38
6	15	0,85	5,62
7	17,5	1	6,18
8	17,5	0,7	5,91

Таблица 4

Матрица планирования в натуральных обозначениях для поливинилацетатного клея «Иоваколь 103.15»

№ опыта	Время прессования t , мин	Давление прессования q , МПа	Температура T , °C	Прочность склеивания, МПа
1	30,0	1,0	60,0	9,61
2	10,0	1,0	60,0	5,96
3	30,0	0,6	60,0	6,91
4	10,0	0,6	60,0	6,1
5	30,0	1,0	40,0	8,65
6	10,0	1,0	40,0	6,08
7	30,0	0,6	40,0	7,8
8	10,0	0,6	40,0	6,09
9	30,0	0,8	40,0	5,25
10	10,0	0,8	50,0	4,28
11	20,0	1,0	50,0	5,52
12	20,0	0,6	50,0	6,31
13	20,0	0,8	60,0	6,80
14	20,0	0,8	40,0	6,86

Прочность склеивания полиуретановым клеем при горячем способе:

$$Y = 5,18 + 0,97 \cdot x_1 + 0,26 \cdot x_2 - 0,01 \cdot x_3 + 0,46 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,02 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,22 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,41 \cdot x_1^2 + 0,74 \cdot x_2^2 + 1,65x_3^3.$$

Оценка значимости коэффициентов регрессии произведена по t-критерию Стьюдента.

Результаты проверки адекватности модели по F-критерию показали, что модель адекватна.

Проанализировав результаты исследования, можно сделать вывод, что большей прочностью обладают соединения, полученные при склеивании полиуретановым клеем. Если рассматривать технологический режим, способствующий получению наилучшего результата, то это в обоих случаях режим № 1.

Закключение. Результаты исследования процесса уплотнения древесины показали, что основное влияние при прессовании оказывают давление и температура плит пресса. Степень уплотнения древесины березы ниже, чем древесины ольхи, т. к. береза изначально обладает более высокой плотностью, чем ольха, и, соответственно, в меньшей степени подвержена упрессовке. Также проведено исследование прочности склеивания уплотненной древесины с натуральной. Обоснован выбор полиуретановых клеев для производства многослойных паркетных покрытий с лицевым слоем из уплотненной древесины мягких лиственных пород. Полученные результаты являются основой разработки технологии многослойных клееных паркетных покрытий с лицевым слоем из уплотненной древесины.

Литература

1. Волынский, В. Н. Технология клееных материалов / В. Н. Волынский. – СПб.: Профи, 2009. – 389 с.
2. Конструкции деревянные клееные. Метод определения прочности клеевых соединений древесноплитных материалов с древесиной: ГОСТ 25885–83. – Введ. 01.01.1984. – М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1988. – 6 с.
3. Древесина. Общие требования к физико-механическим испытаниям: ГОСТ 16483.0–89. – Введ. 01.07.1990. – М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1999. – 11 с.

Поступила 19.02.2013

УДК 674.04

С. А. Прохорчик, кандидат технических наук, доцент, заместитель декана (БГТУ);
С. С. Гайдук, ассистент (БГТУ)

МОДИФИКАЦИЯ КЛЕЕВОГО СОСТАВА ДЛЯ КЛЕЕНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕРЕВЯННЫХ ДВЕРНЫХ ПОЛОТЕН

Работа посвящена исследованию прочности, водостойкости и твердости клеевых соединений. Для проведения испытаний использовались карбамидоформальдегидный и поливинилацетатный клеи, а также композиции на их основе. Для определения прочности и водостойкости применялась европейская методика согласно DIN EN 204 и DIN EN 205, для определения твердости – принцип Виккерса. По результатам проведенных испытаний получена клеевая композиция, которая обладает оптимальными физико-механическими свойствами (прочностью, водостойкостью и жесткостью клеевого соединения).

This paper deals with the strength, water resistance and hardness of adhesive joints. For the tests used urea-formaldehyde and polyvinyl acetate adhesives, as well as songs from them. To determine the strength and water resistance to use the European method according to DIN EN 204 and DIN EN 205, for hardness – the principle of Vickers. The results of the test were the adhesive composition is, which has optimum physical and mechanical properties (strength, water resistance and stiffness of the bond).

Введение. При производстве дверных блоков из массивной древесины щитовые элементы изготавливают из клеенных ламелей по длине и ширине. Такие конструкции имеют более высокую прочность, формоустойчивость и долговечность.

На качество получаемых клеевых щитов будет оказывать влияние качество подготовки массивной древесины, с одной стороны, и применяемые клеи – с другой.

В настоящее время для склеивания древесины в основном используются карбамидоформальдегидные клеи и поливинилацетатные дисперсии.

Клеи кислотного отверждения образуют клеевые соединения средней и высокой водостойкости, но при этом клеевые прослойки получают жесткими. Клеевые соединения на основе поливинилацетатных дисперсий также водостойкие, но при этом клеевая прослойка более эластичная.

Физико-механические показатели клеевых соединений (твердость, модуль упругости) будут отличаться от таких же показателей древесины, а также имеются различия и у самих клеев. Этот фактор оказывает влияние на характер взаимодействия режущего инструмента с комбинированным материалом – клееным щитом. В процессе резания более твердые клеевые соединения будут вызывать повышенный износ режущего инструмента по сравнению с эластичными.

Основная часть. Целью данной работы является разработка клеевого состава для клеевых элементов деревянных дверных полотен для повышения ресурса работы режущего инструмента с сохранением показателей водостойкости клеевых соединений, а также определение прочности склеивания стеклянных филенок с рамкой из древесных материалов.

Для проведения испытаний по определению прочности, водостойкости и твердости клеевого соединения использовались два клеевых материала: поливинилацетатный клей ПВА и карбамидоформальдегидный клей с отвердителем. Оба клеевых материала импортного производства.

Для отнесения клеевого соединения к группе нагрузки D3 согласно DIN EN 205 [1] необходимо выполнение условий, представленных в табл. 1.

Таблица 1

Показатели прочности клеевого соединения при сдвиге (D3)

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

Для проведения испытаний использовались пластины из древесины бука с плотностью $700 \pm 100 \text{ кг/м}^3$ и влажностью 12%. Волокна древесины располагались вдоль плоскости склейки (по направлению растяжения при испытании), а годовые слои – под углом $30-90^{\circ}$ к плоскости склеивания. Для получения образцов букковые пиломатериалы распиливались на планки шириной 20 мм и толщиной 6 мм. После чего они калибровались и шлифовались до толщины 5 мм. Затем полученные планки раскраивались на образцы длиной 150 мм. Образцы получали методом склеивания по пластям

двух пластинок длиной 150 мм, шириной 20 мм и толщиной 5 мм. Склеивались образцы по следующим режимам:

- одностороннее нанесение с расходом 200 г/м²;
- 5 мин открытой выдержки;
- 5 мин закрытой выдержки;
- давление прессования 1 МПа в течение 1 ч для ПВА и 1 МПа в течение 5 ч для КФ.

Образцы после склеивания выдерживались 7 сут при нормальном климате, после чего делались поперечные запилы шириной 2 мм на расстоянии 10 мм. Общий вид образца для проведения испытаний представлен на рис. 1.

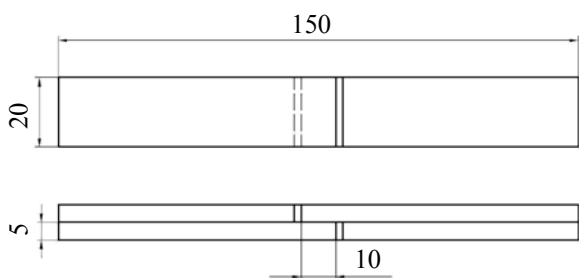


Рис. 1. Образцы для определения прочности клеевых соединений

Всего было сформировано 5 партий образцов. Перечень исследуемых клеевых составов представлен в табл. 2.

Таблица 2

Состав образцов

№ партии	Вид клея
1	КФ
2	ПВА
3	КФ + 10 % ПВА
4	КФ + 18 % ПВА
5	КФ + 25 % ПВА

Испытания проводились в три этапа.

1-й этап: определялась прочность склеивания части образцов после 7 дней выдержки при температуре 20°C и влажности 65±5%;

2-й этап: определялась прочность склеивания части образцов после 7 дней выдержки при температуре 20°C и влажности 65±5% с последующей выдержкой в воде в течение 4 дней;

3-й этап: определялась прочность склеивания части образцов после 7 дней выдержки при температуре 20°C и влажности 65±5% с последующей выдержкой в воде в течение 4 дней и затем 7-дневной выдержкой при температуре 20°C и влажности 65±5%.

Испытания склеенных образцов после каждого этапа проводились на разрывной машине РМ-0,5 с использованием специального приспособления. Концы испытуемого образца за-

жимались в тисках разрывного устройства. Затем образец нагружался до его разрушения. Скорость нагружения составляла 50 мм/мин.

Прочность клеевого соединения P , МПа, определялась по формуле

$$P = \frac{F_{\max}}{S}, \quad (1)$$

где F_{\max} – усилие, при котором происходит разрушение образца, Н; S – площадь скалывания, мм².

Параллельно были подготовлены образцы для определения твердости клеевых прослоек из древесины бука с нанесенными с одной стороны клеевыми композициями с аналогичными расходами. Твердость клеевых соединений определялась с помощью микротвердомера марки 402 MVD.

В основу испытаний образцов на микротвердость в данном приборе положен принцип Виккерса, который заключается в том, что в поверхность испытуемого образца внедряется четырехгранная пирамида с углом поверхностей 136° (индентор) путем приложения испытательной нагрузки. При вдавливании получается отпечаток в виде квадрата, диагонали которого измеряют после снятия нагрузки. Схематическое изображение индентора и получаемый при измерении отпечаток приведены на рис. 2.

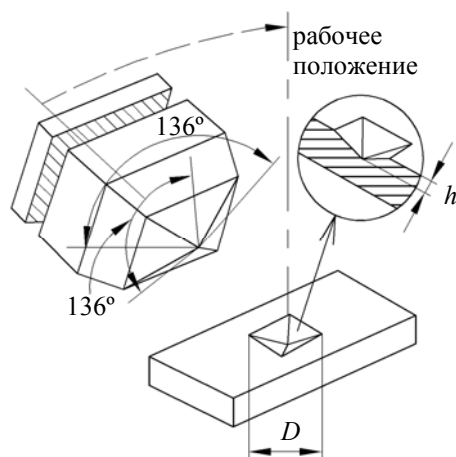


Рис. 2. Индентор Виккерса

Измеренные длины диагоналей полученного отпечатка (определяется по филиарным линиям) отсылаются во встроенное вычислительное устройство, с помощью которого автоматически рассчитывалось значение твердости.

Количественно твердость по Виккерсу (МПа) определяется согласно формуле

$$HV = \frac{0,102F}{S} = \frac{0,102 \cdot 2F \sin(\theta/2)}{D^2} = \frac{0,1891F}{D^2}, \quad (2)$$

где F – испытательная сила, Н; S – площадь поверхности отпечатка, мм²; θ – плоский угол при

вершине, который составляет 136° ; D – средняя длина диагонали отпечатка, мм.

Результаты проведенных испытаний представлены на рис. 3.

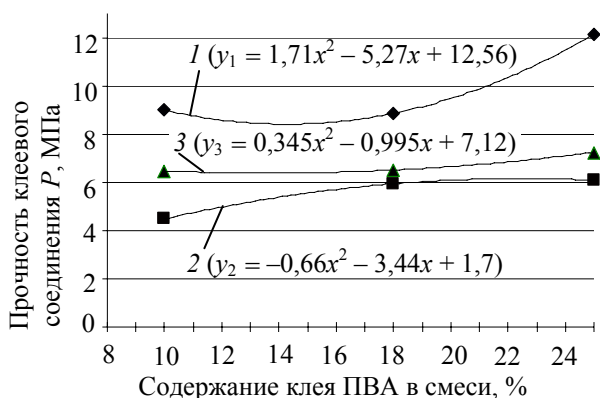


Рис. 3. Влияние содержания ПВА в клеевой композиции на прочность склеивания: график № 1 – прочность клеевой композиции после 1-го этапа; график № 2 – прочность клеевой композиции после 2-го этапа; график № 3 – прочность клеевой композиции после 3-го этапа

Показатели микротвердости клеевых соединений представлены на рис. 4.



Рис. 4. Влияние содержания ПВА в клеевой композиции на прочность склеивания

Микротвердость на основе карбамидоформальдегидного клея составила 495,8 МПа. Микротвердость клея ПВА определить не удалось, так как образовывалась эластичная клеевая пленка.

Заключение. Анализ полученных результатов показывает: введение клея ПВА в карбамидоформальдегидный клей способствует росту

прочности клеевого соединения. Так, после выдержки в комнатных условиях в течение 7 сут (1-й этап) наиболее высокие показатели прочности наблюдались в клеевой композиции с 25%-ной добавкой клея ПВА. При испытаниях образцов выдержанных в воде (2-й этап), наиболее низкий результат наблюдался у образцов, склеенных ПВА 2-й партии (1,61 МПа), самый высокий – у образцов, склеенных карбамидоформальдегидным клеем. При анализе графика № 2 (рис. 3) следует, что введение ПВА в карбамидоформальдегидный клей способствует повышению прочности. Согласно требованиям [2], из всех клеевых композиций к группе по водостойкости D3 можно отнести клеевой состав на основе композиции с введением с 18 и 25%-ным содержанием ПВА.

Анализ графика данных по микротвердости показывает обратную зависимость влияния введения клея ПВА в клеевую композицию. Из графика видно, что введение клея ПВА (25%) в карбамидоформальдегидный клей работает на снижение данного показателя в 1,4 раза по сравнению с чистым составом. Снижение твердости клеевого шва связано с наличием в поливинилацетатной дисперсии пластификатора. Обычно эффективность пластификатора заключается в гибкости его молекул, которые располагаются между молекулами основного полимера и увеличивают его подвижность (межструктурная пластификация). Рекомендации по использованию клеевой композиции на основе карбамидоформальдегидного клея с 25%-ной добавкой клея ПВА показали положительные результаты, и данный состав успешно применяется на одном из крупных деревообрабатывающих предприятий Республики Беларусь по выпуску дверных блоков в настоящее время.

Литература

1. Клеи неконструкционные для дерева. Определение прочности склеивания продольных склеек испытанием на разрыв: DIN EN 205–2003. – Введ. 21.11.2002. – СЕН, 2003. – 10 с.
2. Классификация термопластичных клеев для древесины для применения не в производстве конструкционного силового бруса: DIN EN 204-2001. – Введ. 01.05.2001. – СЕН, 2001. – 5 с.

Поступила 20.02.2013

УДК 684.4.059.4

Л. М. Бахар ассистент (БГТУ)

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ НА АДГЕЗИОННУЮ ПРОЧНОСТЬ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ

Представлены результаты исследований, отражающих влияние величины краевого угла смачивания и показателя кислотности поверхностного слоя строганного шпона древесины различных пород на адгезионную прочность лакокрасочного покрытия, образованного немецким полиуретановым лаком. Установлено влияние на адгезионную прочность покрытия операции шлифования поверхности древесины перед его созданием.

The results of the studies, reflecting the effect of the contact angle of wetting chivaniya and the acidity of the surface layer of wood sliced veneer of various species of the Adhesion paint educated German poly-urethane varnish. Set how long the time (after keeping the samples at room temperature), the acidity of the surface layer of samples of wood-HN after scuffing and influence of this parameter on the adhesive strength of the coating.

Введение. Хорошая адгезия к подложке – необходимое условие надежной работы любого защитно-декоративного покрытия, в том числе и покрытий на древесине. Это важное условие не всегда легко выдерживать, так как в настоящее время широко и быстро меняется ассортимент применяемых пленочных и лакокрасочных материалов. Вопрос управления адгезией покрытий давно приобрел актуальность, однако он еще остается недостаточно изученным. Адгезионная прочность покрытия с отделяемой поверхностью в наибольшей степени зависит от химической активности последней.

Основная часть. Была поставлена задача – исследовать способы управления адгезией, воздействуя различными методами на поверхностный слой древесины, т. е. возможности повышения адгезионной прочности лакокрасочных покрытий к древесине за счет увеличения энергии химически активных групп и их концентрации в поверхностном слое древесины. Провели исследования по определению адгезионной прочности лаковых покрытий, образованных лаками различных марок и фирм производителей, к древесине дуба и сделали сравнительный анализ полученных результатов. Выбрали наиболее приемлемый лак с точки зрения прочностных свойств и его стоимости для дальнейших исследований. Сравнительный анализ полученных результатов показал, что нитроцеллюлозные лаки имеют достаточно хорошую прочность (1,8–1,9 МПа), отвечающую требованиям стандарта (1,1–1,9 МПа), характер разрушения нитроцеллюлозных покрытий адгезионный, т. е. разрушение происходило по границе раздела лакокрасочное покрытие – основа. Адгезионная прочность покрытия, сформированного немецким полиуретановым лаком 3957 HELIODUR универсальный 40, к древесине дуба высокая (4,1 МПа) и превышает нормативную адгезионную прочность покрытия, об-

разованного полиуретановым лаком УР-2124, в 1,36–2,90 раза. Характер разрушения покрытия, полученного этим лаком, – смешанный, т. е. происходит совмещение адгезионного и когезионного видов разрушения. В ходе проведенного испытания установили, что наибольшей адгезионной прочностью к древесине дуба обладает полиуретановый лак 3957 HELIODUR универсальный 40. Поэтому для проведения дальнейших исследований выбрали именно этот лак. Определили адгезионную прочность покрытий, образованных лаком 3957 HELIODUR универсальный 40, к облицовочному шпону древесины разных пород (красного дерева, ясеня, березы, дуба и материалу облицовочному на основе пропитанной бумаги), а также определили краевой угол смачивания и pH – показатель кислотности поверхностного слоя строганного шпона древесины тех же пород. Результаты исследований показали, что адгезионная прочность покрытий, образованных полиуретановым лаком 3957 HELIODUR универсальный 40, зависит от свойств отделяемой основы. Адгезионная прочность покрытия, образованного на поверхности шпона строганого всех вышеуказанных пород древесины, одинакова и варьируется в пределах 4,1–4,3 МПа, и, как следствие, краевой угол смачивания и показатель кислотности для этих поверхностей также близки и изменяются в пределах соответственно 76–77° и pH = 5,00–5,15.

Адгезионная прочность покрытия, образованного полиуретановым лаком на поверхности облицовочного материала на основе пропитанных бумаг, ниже в 1,08–1,06 раза, чем на шпоне из древесины. Это можно объяснить лишь снижением химической активности отделяемой поверхности из облицовочного материала на основе пропитанных бумаг, что подтверждается увеличением краевого угла смачивания до 81° и снижением показателя кислотности отделяемой поверхности (pH = 4,7).

В проведенных исследованиях установили влияние на адгезионную прочность операции шлифования поверхности древесины. В исследовании использовали образцы из древесины дуба, поверхность которых перед нанесением лака 3957 HELIODUR универсальный 40 шлифовали шкурками различной зернистости от № 6 до № 24. Шлифование осуществляли ручным электрифицированным инструментом. Перед нанесением лака определяли показатель кислотности (рН) поверхностного слоя образцов из дуба после каждого шлифования. Построены графические зависимости (рис. 1, 2).

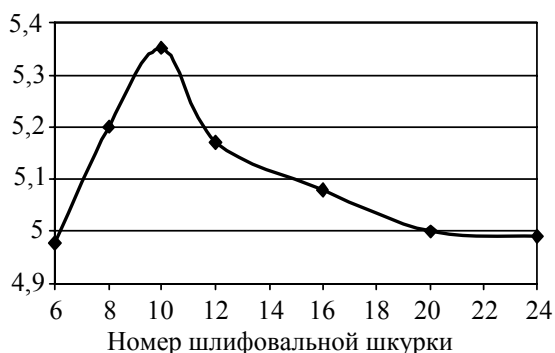


Рис. 1. Зависимость показателя кислотности поверхности древесины (рН) от операции шлифования поверхности древесины различными номерами шлифовальных шкурок

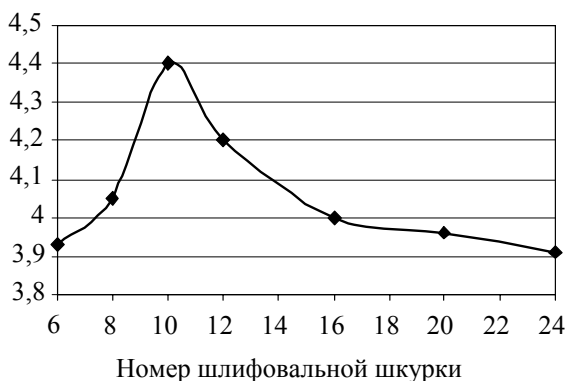


Рис. 2. Зависимость адгезионной прочности покрытия от операции шлифования поверхности древесины различными номерами шлифовальных шкурок

Результаты, полученные в ходе исследований, свидетельствуют о зависимости адгезион-

ной прочности от химического состояния поверхности древесины, характеризующейся в данном случае концентрацией активных гидроксильных групп. На увеличение их числа указывает рост значения показателя кислотности поверхности рН.

В проведенных испытаниях наиболее значение показателя кислотности отделяемой поверхности (рН) и адгезионной прочности покрытия были достигнуты на образцах шлифованных шкуркой с зернистостью № 10.

В проведенных исследованиях изменения показателя кислотности (рН) поверхностного слоя образцов из древесины дуба достигали путем непосредственной обработки поверхности древесины водным раствором щелочи КОН разной концентрации. В ходе исследований устанавливали наличие связи между адгезионной прочностью покрытия, созданного лаком 3957 HELIODUR универсальный 40, и концентрацией водородных ионов (рН) на поверхности образцов. Результаты, полученные в ходе исследований, позволили установить зависимость адгезионной прочности покрытия образованного лаком 3957 HELIODUR, от показателя кислотности поверхности отделяемой древесины дуба, которую можно выразить уравнением

$$\sigma = 0,437\text{рН} + 1,9443.$$

Анализ полученных результатов еще раз подтвердил прямую зависимость адгезионной прочности покрытия, образованного лаком, от показателя кислотности.

Достоверность результатов, полученных в ходе эксперимента, проводили согласно правилам математической статистики, которые дают возможность выявить качественную оценку проведенного испытания.

Заключение. Установлена связь между адгезионной прочностью покрытия, созданного лаком, и концентрацией водородных ионов на поверхности образцов. Таким образом, в ходе проведенных исследований было выявлено, что значение показателя кислотности (рН) поверхности древесины, иначе, химическая активность поверхности древесины является тем показателем, воздействуя на который можно в необходимых случаях управлять адгезионной прочностью покрытия.

Поступила 19.02.2013

УДК 674.59

Н. М. Влащенко, магистрант (БГТУ);**А. С. Пардаев**, кандидат технических наук, доцент (БГТУ)**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ
МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Проведен краткий анализ основных математических методов представления геометрии деревянных конструкций в системах анализа, в частности реализация метода конечных элементов при прочностном расчете мебельных изделий, определены расчетные схемы конструкций из древесины и основных древесных материалов, используемых при производстве мебельных изделий.

The short analysis of the main mathematical methods of representation of geometry of wooden designs in analysis systems, in particular realization of a method of final elements at strength calculation of furniture products is carried out, settlement schemes of designs from wood and the main wood materials used by production of furniture products are defined.

Введение. Производство изделий из древесины и древесных материалов является крупным потребителем древесины и характеризуется большими объемами производства. К таким изделиям относят: окна, двери, перегородки, щиты и панели, покрытия пола, мебель, корпуса теле- и радиоаппаратуры, музыкальные инструменты и многое другое.

Прочность, надежность и долговечность изделий из древесины в значительной мере зависят от правильного выбора материалов, размеров деталей, элементов, их соединений.

В настоящее время наряду с традиционными способами оценки прочности изделий все чаще используются подходы, основанные на численных методах. Это связано с внедрением систем автоматизированного проектирования, усложнением геометрии и структуры конструкций с ужесточением требований к их прочности, а также сокращением сроков, отводимых на подготовку производства продукции.

Использование систем конечно-элементного анализа делает возможным исследование объектов без изготовления их материального прототипа путем создания и решения адекватной математической модели. Это позволяет в несколько раз сократить период конструкторско-технологической подготовки производства продукции, материальные расходы и оптимизировать конструкцию по определенным критериям.

Однако применение метода конечных элементов при анализе деревянных конструкций требует больших знаний о самом методе, опыта работы и наличия прикладных методик расчета, учитывающих особенности древесного материала и действительной работы конструкций.

Целью данной работы является анализ прочности деревянных конструкций и последующий расчет их конструктивных показателей с применением метода конечных элементов.

Объектами исследования являются деревянные мебельные изделия, их конструкции, размеры и действующие на них нагрузки.

Предметом исследования являются механические характеристики конструкционных материалов и напряженно-деформированное состояние конструкций.

Основная часть. В настоящее время существует множество самых разнообразных конструкций деревянных изделий, которые отличаются формой и размерами, типом и назначением, конструкцией отдельных узлов и элементов, материалами, использованными для ее изготовления. Такое огромное разнообразие конструкций требует особого подхода к каждому типу изделий при их расчетах на прочность.

При анализе надежности конструкции необходимо выделить основные факторы, оказывающие влияние на прочность и жесткость изделия. Этот этап исследования называют выбором расчетной схемы изделия. Материалы, из которых изготовлено изделие, предполагаются в расчетной схеме однородными или неоднородными, изотропными или анизотропными с определенными механическими свойствами.

Для изготовления деревянных конструкций широко применяются анизотропные материалы: древесина, древесноволокнистые или древесностружечные плиты, стелярные плиты, фанера и другие. Механические испытания таких материалов показывают большое различие их упругих свойств в разных направлениях.

Композиционные древесные материалы обладают, как правило, тремя взаимно ортогональными осями упругой симметрии, т. е. являются ортогонально-анизотропными. Такие материалы принято называть ортотропными.

Исследование прочности конструкции усложняется тем, что нагрузки, действующие даже на абсолютно одинаковые изделия, являются различными. Кроме того, они изменяются во времени и по характеру приложения, т. е. носят ярко выраженный случайный характер и трудно поддаются статистическому анализу.

Прочность изделий подразделяют на статическую, под действием постоянных нагрузок.

зок, динамическую и усталостную, имеющую место при действии циклических переменных нагрузок.

Для конструкций различают общую прочность – способность всей конструкции выдерживать нагрузки без разрушения и местную – та же способность отдельных узлов, деталей, соединений.

В процессе проектирования часто возникает необходимость оценки наиболее значимых физико-механических свойств деталей и узлов или изделия в целом. Например, при проектировании необходимо оценить прочность деталей при заданных нагрузках или максимальные деформации корпуса изделия. Длительное время единственным средством оценки физико-механических свойств изделий были оценочные расчеты с использованием приближенных аналитических или полуэмпирических методик, приводимых в отраслевых справочных руководствах. Точность подобных методик применительно к реальным объектам проектирования обычно невысока. Поэтому в конструкции изделия закладываются значительные «коэффициенты запаса» (например, по прочности), снижающие риск принятия ошибочного проектного решения [1].

Существует несколько математических методов реализации представления геометрии в системах анализа, основанных на численных методах: конечных разностей (МКР); конечных элементов (МКЭ); граничных элементов (МГЭ).

МГЭ является весьма перспективным, но пока еще не нашел практического применения.

С помощью МКР реализованы многие системы анализа линейного программирования (MAGMASOFT, AFS, CastCAE, LVMFlow и др.). Это вызвано простотой применения данного метода, хотя он имеет существенный недостаток, заключающийся в искажении геометрии при ее ступенчатом представлении (например, периметр круга, представленного МКР, равен периметру описанного вокруг него квадрата).

МКЭ позволяет описать геометрию с любой степенью точности, поэтому его применение представляется более предпочтительным.

Особенностями МКЭ стали присущие универсальность (пригоден для решения различных задач математической физики: механика деформируемого тела, теплопроводность, задачи электродинамики), возможность разработки программных комплексов, охватывающих широкий круг прикладных задач; хорошая численная устойчивость МКЭ алгоритмов.

Благодаря перечисленным выше достоинствам МКЭ стал лидирующим методом компьютерного моделирования физических задач и,

фактически, ассоциируется с целой отраслью современной индустрии программного обеспечения, известной под аббревиатурой CAE (Computer Aided Design).

Суть метода конечных элементов заключается в замене исходной пространственной конструкции сложной формы на дискретную математическую модель, должным образом отражающую физическую сущность и свойства исходного изделия. Важнейшим элементом этой модели является конечно-элементная дискретизация изделия – построение совокупности элементарных объемов заданной формы (т. н. конечных элементов КЭ), объединенных в единую систему (т. н. конечно-элементную сетку).

Таким образом, конструкция, как распределенная система сложной геометрической формы, представляется в виде совокупности конечных элементов. Конечные элементы, аппроксимирующие исходную конструкцию, считаются связанными между собой в граничных точках – узлах, в каждом из которых вводится по три поступательные степени свободы (для задач механики). Действующие на конструкцию внешние нагрузки приводятся к эквивалентным силам, прикладываемым в узлах конечных элементов. Ограничения на перемещение конструкции (закрепления) также переносятся на конечные элементы, которыми моделируется исходный объект. Поскольку каждый КЭ имеет заранее определенную форму и известны его геометрические характеристики и характеристики материала, для каждого КЭ, которыми моделируется конструкция, можно записать систему линейных алгебраических уравнений, определяющих смещение узлов КЭ под действием приложенных в эти узлы сил.

Записывая систему уравнений для каждого конечного элемента, аппроксимирующего исходную физическую систему, и рассматривая их совместно, получают систему уравнений для полной конструкции. Порядок этой системы уравнений равен произведению количества подвижных узлов конструкции на число введенных степеней свободы в одном узле. Обычно это соответствует десяткам или сотням тысяч алгебраических уравнений.

Формируя систему уравнений для всей конструкции и решая ее, получают значения искомой физической величины (например, перемещений) в узлах конечно-элементной сетки, а также дополнительные физические величины, например напряжения. Эти значения будут приближенными (с точки зрения теоретически возможного «точного» решения соответствующего дифференциального уравнения математической физики), но погрешность решения может быть очень небольшой. Погреш-

ность получаемого в результате конечно-элементной аппроксимации решения обычно уменьшается с увеличением степени дискретизации моделируемой системы. Таким образом, чем большее количество КЭ участвует в дискретизации (или чем меньше относительные размеры КЭ), тем точнее получаемое решение. Естественно, что более плотное КЭ разбиение требует более значительных вычислительных затрат [2].

Описанный алгоритм конечно-элементного моделирования применим для решения разных физических задач.

Статический анализ позволяет осуществлять расчет напряженно-деформированного состояния конструкций под действием приложенных к системе постоянных во времени сил. Также можно учесть напряжения, возникающие по причине температурного расширения (сжатия) материала или деформации конструкции на величину известных перемещений. Можно оценить прочность разработанной конструкции по допускаемым напряжениям, определить наиболее уязвимые места конструкции и внести необходимые изменения, оптимизировать изделие. Статический анализ применяется для всех деревянных конструкций.

Частотный анализ позволяет осуществлять расчет собственных (резонансных) частот конструкции и соответствующих форм колебаний. По итогам расчета осуществляется проверка наличия резонансных частот в рабочем частотном диапазоне изделия. Можно повысить надежность и работоспособность изделия, оптимизируя конструкцию таким образом, чтобы исключить возникновение резонансов. Частотный анализ, как правило, применяется для конструкций музыкальных инструментов.

Анализ устойчивости важен при проектировании конструкций, эксплуатация которых предполагает продолжительное воздействие различных по интенсивности нагрузок. С помощью данного модуля пользователь может оценить запас прочности по так называемой «критической нагрузке». Под действием критической нагрузки в сжатых зонах конструкции могут скачкообразно возникнуть значительные неупругие деформации, зачастую приводящие к ее разрушению или серьезному повреждению. Такой анализ важно производить в несущих конструкциях, к примеру деревянных балках.

Тепловой анализ – модуль обеспечивает возможность оценки температурного поведения изделия под действием источников тепла и излучения. Тепловой анализ может использоваться самостоятельно для расчета температурных или тепловых полей по объему конструкции, а также совместно со статическим анализом для

оценки возникающих в изделии температурных деформаций. Такой анализ особенно приемлем для конструкций из массива древесины, работающих в условиях переменной температуры: окон, лестниц, балок, дверей, паркета.

Анализ усталости используется для изучения прочности материала при действии переменных по времени нагрузок. Сопротивление материалов действию таких нагрузок существенно отличается от сопротивления тех же материалов статическому и ударному действию нагрузок. Очень часто такой анализ используется для мебельных изделий. В большей степени это относится к мебели для хранения, мебели для сидения и лежания.

В большинстве современных программных комплексов (например, ANSYS, NASTRAN, NISA 2, PATRAN, ABAQUS, T-Flex и др.) численный анализ реализован с помощью МКЭ. При этом между трехмерной моделью изделия и расчетной конечно-элементной моделью поддерживается ассоциативная связь. Параметрические изменения исходной твердотельной модели автоматически переносятся на сеточную конечно-элементную модель. При этом следует отметить, что различные программные комплексы специализированы. К примеру, модуль T-Flex. Анализ может использоваться для расчета материалов только с изотропной расчетной схемой. Для расчета конструкций с трансверсально-изотропными, ортотропными, анизотропными характеристиками могут использоваться универсальные программные комплексы, такие как ANSYS, NASTRAN и ABAQUS.

Заключение. В результате теоретического исследования следует вывод, что метод конечных элементов является более предпочтительным для деревянных конструкций. При анализе конструкций методом конечных элементов следует учитывать расчетные схемы конструкций: для древесины – это цилиндрическая анизотропная схема, для МДФ – ортотропная расчетная схема, для ДСтП – изотропная расчетная схема. Дальнейшее исследование направлено на изучение механических свойств материалов, которые могут быть использованы для построения имитационной модели.

Литература

1. Королев, В. И. Основы рационального конструирования мебели / В. И. Королев. – М.: Лесная пром-сть, 1973. – 192 с.
2. Трофимов, С. П. Конструирование и производство столлярно-строительных изделий / С. П. Трофимов, А. С. Пардаев. – Минск: БГТУ, 2011. – 521 с.

Поступила 21.02.2013

УДК 665.345.4: 621.763

В. В. Ширяев, аспирант (БГТУ);**С. В. Шетько**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой (БГТУ)**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ОТВЕРЖДЕНИЯ ЛЬНЯНОГО МАСЛА
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

В статье рассмотрена технология производства экологически чистого композиционного материала на основе древесных отходов и льняного масла. Отмечена проблема длительности производственного процесса. Представлены методики введения эпоксидных групп в льняное масло. Приведены результаты отверждения эпоксидированного льняного масла, анализ которых показал, что время производственного процесса сокращается в несколько раз.

The article describes the technology of production of cleaner composition of the material on the basis of waste wood and linseed oil. The major topics of the duration of the production process. Techniques introduction of epoxy groups in linseed oil. The results of the curing of epoxidized linseed oil, analyzed until room, that the production process is reduced by several times.

Введение. Композиционные материалы находят все более широкое применение в авиации, судо- и автомобилестроении, строительстве, коммунальном хозяйстве, железнодорожном транспорте, производстве мебели, спортивного снаряжения, химическом производстве и других областях. В настоящее время оборот в секторе композиционных материалов составляет 60 млрд евро. С учетом ежегодного темпа роста он может достичь к 2015 году 80 млрд. Успеху в применении композиционных материалов способствуют возрастающие требования к охране окружающей среды и сокращению потребления энергии, а также поиск более устойчивых к воздействию различных сред и условий материалов.

Наряду с синтетическими связующими в настоящее время находят широкое применение экологически чистые, биоразлагаемые клеевые материалы, такие как полисахариды, пищевые масла, крахмал. Подобные материалы находят широкое применение уже не только в традиционной для них строительной отрасли, но и в машиностроении, производстве товаров для спорта, пищевой и медицинской отраслях.

Сегодня получили широкое распространение растительные масла в связи со своей устойчивостью к воздействию некоторых сред, а также вследствие того, что являются биоразлагаемым материалом. Они сейчас входят в состав ряда полимеров и добавок.

Основная часть. В состав натурального линолеума входят льняное масло, древесная мука, смола сосновых деревьев, порошок из известняка и натуральные красители.

Процесс производства натурального линолеума начинается с изготовления линолеумной массы из древесной муки, смол хвойных деревьев, измельченной извести и льняного масла. Эта масса в течение недели вызревает в специальных термических бочках. Затем в массу добавляют натуральные красители и в ре-

зультате оксидирования льняного масла получают определенную смесь, которую далее спрессовывают в каландровой машине. Полученный материал рубят на полосы, укладывают их внахлест на основу из джута и вновь пропускают через каландр. Шлейф из этого материала перемещают в сушильные камеры, где он вызревает в течение 10–14 дней, превращаясь к концу процесса в линолеум.

Как видно из представленной технологии, производственный процесс занимает около 3–4 недель, что составляет достаточно большой промежуток времени, который обусловлен сложным и длительным процессом полимеризации связующего и, соответственно, требует определенных затрат. Целью исследований является сокращение длительности производственного процесса за счет уменьшения времени отверждения льняного масла.

Льняное масло (лат. *oleum lini*) – жирное растительное масло, получаемое из семян льна. Относится к быстровысыхающим маслам, так как легко, по сравнению с остальными, полимеризуется в присутствии кислорода воздуха («высыхает») с образованием прочной прозрачной пленки. Эта способность обусловлена высоким содержанием ненасыщенных жирных кислот, %: 15–30 линолевой, 44–61 линоленовой и 13–29 олеиновой. Содержание насыщенных кислот 9–11%.

В соответствии с ГОСТ 5791–81 «Масло льняное техническое» определены следующие показатели: йодное число – 180 г I₂/100 г, плотность при 20°C равна 0,926–0,936 г/см³, цветное число по шкале Гарднера составляет 4.

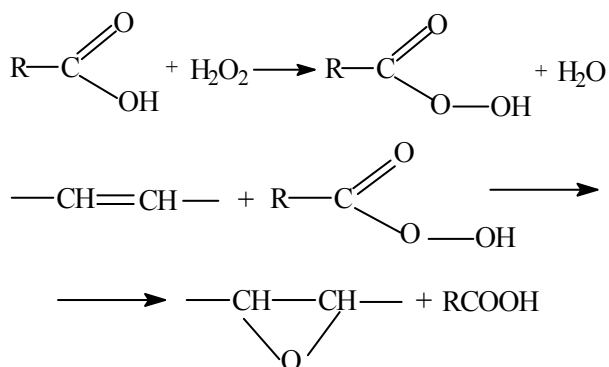
Вследствие длительного процесса высыхания льняное масло подвергают специальной предварительной обработке – окислительной или термополимеризации. В некоторых случаях используют и другой прием, сводящийся к модификации масел соединениями других типов [1].

Оксидирование льняного масла. Оксидирование проводят кислородом воздуха при температуре 90–150°C в течение нескольких часов. Процесс обычно ведут в присутствии сиккатива. Процесс оксидирования сопровождается целым рядом побочных реакций, приводящих к образованию кислородсодержащих функциональных групп и низкомолекулярных продуктов деструкции. Изменения в составе и структуре триглицеридов, протекающие при оксидировании, существенным образом влияют на процесс высыхания.

Полимеризация льняного масла. Полимеризацией принято называть термообработку масла при 250–300°C, которую проводят при ограничении доступа кислорода воздуха или его практически полном отсутствии.

Продукты реакции термической полимеризации представляют собой ди- и тримеры триглицеридов, однако структура их сильно отличается от олигомеров, полученных при окислительной полимеризации масел. Основное отличие состоит в том, что в олигомерах, являющихся продуктами термической полимеризации, молекулы триглицеридов связаны между собой главным образом связями –C–C–, а не кислородсодержащими мостиками.

Эпоксидирование льняного масла. Одним из путей переработки является эпоксидирование по двойным связям жирнокислотных остатков. В качестве эпоксидирующего агента обычно используют надмуравьиную или надуксусную кислоты. Схему эпоксидирования можно представить следующим образом:



Здесь R=H или CH₃.

Таким образом, имеется возможность ввести в масло значительное количество эпоксидных групп, что позволяет при взаимодействии с отвердителем значительно ускорить процесс отверждения.

Проанализировав данные способы переработки масла, мы остановились на введении эпоксидных групп как на более эффективном и менее энергозатратном.

Было рассмотрено несколько способов создания эпоксидных групп в льняном масле:

1-й способ: в колбу поместили масло, толуол и пероксид водорода, включили мешалку и нагрели до 70°C. При этой температуре из капельной воронки постепенно вводили муравьиную кислоту. Затем при температуре 70–80°C реакционную массу выдерживали при работающей мешалке в течение 2,5 ч. Далее масло охлаждали, промывали и сушили под вакуумом.

2-й способ: в колбу поместили масло и муравьиную кислоту. Реакция происходит во время смешивания при 50°C. Для начала эпоксидирования 50%-ную перекись водорода вводили постепенно в течение 5 ч в необходимом соотношении (по количеству связей C=C). Далее реакция проходила при включенной мешалке в течение 5 ч при температуре 50°C. После этого смесь охлаждали, промывали и сушили под вакуумом.

После непосредственного эпоксидирования определили количество полученных эпоксидных групп. Согласно теоретическим расчетам, представленным ниже, данных групп можно получить не более 26,7%.

Расчет проводился через такой показатель масел, как йодное число – масса йода (г), присоединяющегося к 100 г органического вещества. Оно характеризует содержание двойных связей в ненасыщенном соединении. Для льняного масла йодное число равно 180 г/100 г.

$$\begin{aligned}
 v(\text{I}_2) &= 180/254 = 0,709 \text{ моль}; \\
 v(\text{C}=\text{C}) &= v(\text{I}_2) = 0,709 \text{ моль}; \\
 v(\text{ЭГ}) &= v(\text{C}=\text{C}) = 0,709 \text{ моль}; \\
 m(\text{ЭГ}) &= v(\text{ЭГ}) M(\text{ЭГ}) = \\
 &= 0,709(12 + 1 + 12 + 1 + 16) = 29,8 \text{ г}; \\
 \omega(\text{ЭГ}) &= 29,8/(100 + 0,709 \cdot 16) = 26,7\%.
 \end{aligned}$$

Однако практическое содержание составило меньше и определялось по следующей методике: в конические колбы емкостью 250 см³ с притертыми пробками помещают по две навески полимера и растворяют каждую из них в ацетоне. К растворам приливают точно 0,1 н. водный раствор HCl и кипятят с обратным холодильником на водяной бане в течение 1 ч. Одновременно ставится контрольный опыт без полимера. Спустя 1 ч титруют все три пробы 0,1 н. спиртовым раствором KOH в присутствии фенолфталеина.

Содержание эпоксигрупп X, %, определяют по формуле

$$X = \frac{(a - b) \cdot K \cdot 0,056 \cdot 100}{g},$$

где a – количество 0,1 н. раствора KOH, израсходованного на титрование HCl в контрольном

опыте, cm^3 ; b – количество 0,1 н. раствора КОН, израсходованного на титрование несвязанной HCl в исследуемом образце, cm^3 ; K – поправка к титру 0,1 н. спиртового раствора КОН; 0,0056 – количество эпoxигрупп, соответствующее 1 cm^3 0,1 н. раствора КОН, г; g – навеска полимера, г [2].

После проведения ряда экспериментов получили результаты, представленные в табл. 1.

Таблица 1

Содержание эпoxигрупп

№ п/п	$X_1, \%$	$X_2, \%$
1	7,23	10,56
2	6,95	12,35
3	7,02	12,98
4	6,41	14,04
5	6,76	13,68
6	7,51	12,59
7	6,34	13,47
8	6,58	13,85
9	7,13	13,56
10	7,39	13,09
Среднее значение		
	6,93	13,02

Анализ полученных результатов показал, что второй способ более эффективен, так как количество эпoxидных групп в полученном продукте больше.

Полученное масло имеет следующие показатели: йодное число – 5 г $I_2/100$ г, плотность при 20°C 0,998–1,020 г/ cm^3 , цветовое число по шкале Гарднера равно 1.

Эпoxидированное масло стало существенно светлее и тяжелее.

Следующим этапом эксперимента является отверждение полученного эпoxидированного масла.

Для отверждения эпoxидированных растительных масел применяют ангидриды дикарбоновых кислот, например фталевый, метилтетрагидрофталеый, гексагидрофталеый, малеиновый [3].

При проведении эксперимента в качестве отвердителя приняли малеиновый ангидрид, так как его молекулы достаточно гибкие и обеспечивают относительную пластичность материала.

Для отверждения смешиваем эпoxидированное масло и отвердитель в определенном соотношении и подвергаем сушке:

1) под действием кислорода воздуха при нормальных условиях за время T_1 ;

2) при нагревании до 180°C за время T_2 .

Полученные результаты сведены в табл. 2.

Таблица 2

Время отверждения

№ п/п	$T_1, ч$	$T_2, ч$
1	99	3,6
2	95	4,9
3	101	4,2
4	105	3,8
5	117	5,1
6	107	4,1
7	97	3,9
8	103	4,6
9	109	3,8
10	115	4,5
Среднее значение		
	104,8	4,25

Анализ результатов отверждения эпoxидированного льняного масла показал, что при производстве натурального линолеума с применением в качестве связующего льняного масла с эпoxидными группами длительность производственного цикла сокращается в 100 раз при горячем отверждении и в 5 раз при отверждении в нормальных условиях.

Полученный материал является достаточно прочным и не имеет ярко выраженного запаха.

Заключение. На основании вышеизложенного сделаем вывод, что путем введения эпoxидных групп в льняное масло можно существенно сократить время его высыхания. Соответственно сокращается процесс производства композиционного материала и, как следствие, снижаются энерго- и трудозатраты на выпуск данного материала.

После анализа представленного материала поставлены задачи определения:

- 1) оптимального состава натурального линолеума;
- 2) оптимальных режимов производства и норм расхода.

Литература

1. Химия и технология пленкообразующих веществ: учеб. пособие / Н. Г. Кузина [и др.]; под общ. ред. Н. Г. Кузиной. – СПб.: СПбГИ(ТУ), 2010. – 76 с.
2. Практикум по химии и физике полимеров / Е. В. Кузнецов [и др.]; под общ. ред. Е. В. Кузнецова. – М.: Химия, 1977. – 256 с.
3. Официальный сайт компании DLW [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим доступа: <http://www.armstrong.eu>. – Дата доступа: 15.01.2013.

Поступила 19.02.2013

УДК 691.11:674.21

С. С. Гайдук, аспирант (БГТУ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТИКСОТРОПНЫХ СВОЙСТВ КЛЕЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛАЦЕТАТА

Данные исследования проводились с целью улучшения эксплуатационных свойств отечественных поливинилацетатных клеев до уровня европейских аналогов. В работе представлен комплексный анализ модифицированных клеевых материалов как с точки зрения свойств жидкого материала, так и свойств клеевого соединения на его основе. По результатам эксперимента были получены две клеевые композиции, которые можно рекомендовать к производственному применению.

This is a study of thixotropic properties of adhesive joints. These studies were conducted to improve the performance characteristics of domestic polyvinyl acetate adhesives to European counterparts. This paper presents a comprehensive analysis of the modified adhesive materials, both in terms of the properties of liquid material, and the properties of the bond based on it. The experiment results were obtained two adhesive compositions that can be recommended for production use.

Введение. Склеивание – один из основных технологических процессов в производстве столлярно-строительных и мебельных изделий. На качество клеевой прослойки значительно влияет тип клеевого материала. Выбор клеевого материала влияет на физико-механические свойства получаемых клеевых соединений и в конечном итоге на прочность и долговечность всего изделия. В мебельной промышленности наиболее часто используются поливинилацетатные клеи марки D3 по европейскому стандарту DIN EN 204 [1]. На рынке клеевых материалов представлена широкая гамма поливинилацетатных клеев различных иностранных фирм-производителей, а также отечественный поливинилацетатный клей (ДФ 51/15 ВП). Однако, как показали проведенные исследования, клеевые соединения на основе отечественных поливинилацетатных клеевых материалов обладают невысокими физико-механическими свойствами (прочность и водостойкость). Для определения прочности и водостойкости клеевых соединений использовались два европейских стандарта: DIN EN 204 и DIN EN 205 [2]. Данные стандарты описывают методику проведения испытаний и требуемые значения при определении прочности древесины на сдвиг вдоль волокон.

Использование отечественных поливинилацетатных клеев в производстве выявило также проблему вытекания клея из клеевого шва, что приводит к склеиванию мебельных щитов в процессе технологической выдержки. Данное явление связано с наличием тиксотропных свойств у отечественных клеевых материалов.

Целью проводимых исследований являлись:

- модификация отечественной ПВА-дисперсии добавками, улучшающими эксплуатационные свойства клея (снижение вытекания клеевого материала);
- повышение физико-механических показателей клеевых соединений на основе отечественных поливинилацетатных клеев.

Основная часть. Проблема вытекания клеевого материала может быть решена, в частности, путем увеличения вязкости клея.

В настоящее время на производстве используется импортный клей «Кестокол», поэтому данный клей принят в качестве эталона реологического поведения. На рис. 1 представлены кривые течения эталонного клея и отечественного клеев в состоянии поставки. Кривые течения были сняты методом последовательно нарастающей скорости сдвига в диапазоне $0,01–3000 \text{ с}^{-1}$ (закрашенные символы), после чего кривая течения снималась в обратном направлении, при последовательном уменьшении скорости сдвига от 3000 до $0,01 \text{ с}^{-1}$ (незакрашенные символы).

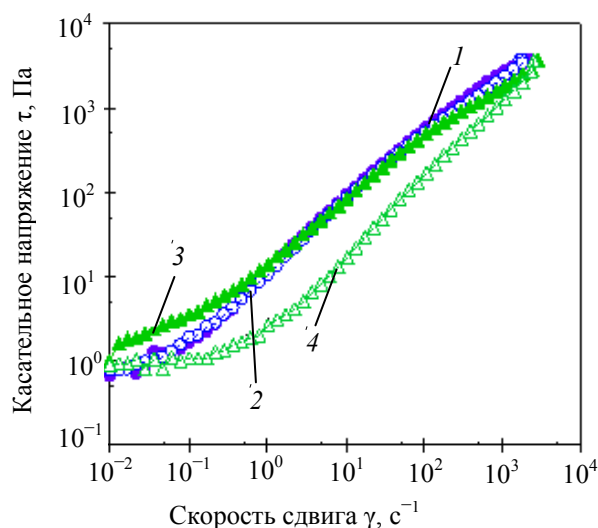


Рис. 1. Зависимость напряжения сдвига от скорости сдвига для ПВА-клеев:
1, 2 – эталонный клей;
3, 4 – ПВА-клей ДФ 51/15 ВП

Экспериментальные данные показывают (рис. 1), что кривые течения отечественного и импортного клея, снятые у образцов в состоянии покоя при нарастании скорости сдвига,

практически совпадают, однако наблюдаются существенные отличия в значениях напряжения сдвига отечественного клея, полученных после приложения к образцам деформации. Так, вязкость отечественного клея после деформации (незакрашенные зеленые символы, кривая 4) снизилась в 2–5 раз в зависимости от скорости сдвига. У эталонного клея такой особенности реологического поведения, как видно из рис. 1 (незакрашенные синие символы, кривая 2), не наблюдается. Данный факт может быть связан с наличием у отечественного клея, по сравнению с эталонным, тиксотропных свойств.

Тиксотропность – способность жидкости восстанавливать при определенных условиях свою структуру. Во избежание растекания (это особенно важно, если клеевой материал наносится на вертикальные поверхности) в клей вводят тиксотропные добавки, которые способны к «разжижению» под действием деформации сдвига (например, при взбалтывании) и быстрой «фиксации», если они в состоянии покоя. Тиксотропные свойства могут воспрепятствовать хорошему смачиванию, особенно в тех случаях, когда клей наносят только на одну поверхность [3, 4].

Чтобы подтвердить наличие или отсутствие тиксотропных свойств в отечественном и эталонном клеях, для обоих образцов клея было проведено испытание на тиксотропность в трех интервалах. Этот метод позволяет определить, насколько может перестроиться структура материала после сдвига и сколько времени занимает восстановление. Измерения для образца проводятся в условиях испытания в трех интервалах: покой – сдвиг – покой. Параметры измерения для первого и третьего интервалов идентичны (скорость сдвига $0,25 \text{ с}^{-1}$). Первый интервал позволяет получить эталонное значение для свойств образца в состоянии покоя. Во втором интервале материал подвергается интенсивному сдвигу (скорость сдвига 3000 с^{-1}), в третьем наблюдается восстановление структуры образца после деформации. Результаты теста представлены на рис. 2.

Полученные результаты проанализированы с помощью программного обеспечения Rheoplus/32 V3.40. Установлено, что через 60 с после приложенной деформации образец отечественного клея восстановился только на 30% по сравнению со значениями его эффективной вязкости в конце интервала покоя; через 500 с процент восстановления не увеличился и по-прежнему оставался на уровне 30%. Таким образом, за время, отведенное на проведение теста (550 с), восстановление образца отечественного клея так и не произошло. Однако видно, что вязкость отечественного клея, опреде-

ленная в состоянии покоя, в 3 раза превышает его вязкость, определенную в тех же условиях (скорость сдвига равна $0,25 \text{ с}^{-1}$), но после приложения интенсивной деформации. Таким образом, анализ экспериментальных данных, представленных на рис. 2, 3, свидетельствует, что образец отечественного клея обладает выраженными тиксотропными свойствами. Эталонный клей такими свойствами не обладает, поскольку его вязкость, определенная как в состоянии покоя, так и после деформации, одинакова.

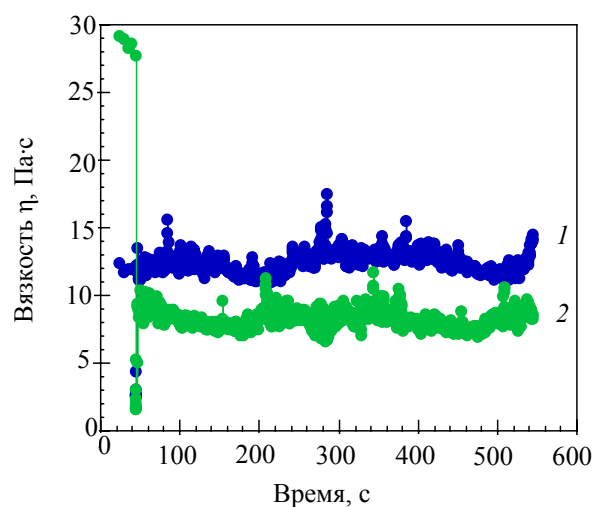


Рис. 2. Результаты испытания на тиксотропность в трех интервалах для образцов клеев ПВА: 1 – эталонный клей; 2 – клей ДФ 51/15 ВП

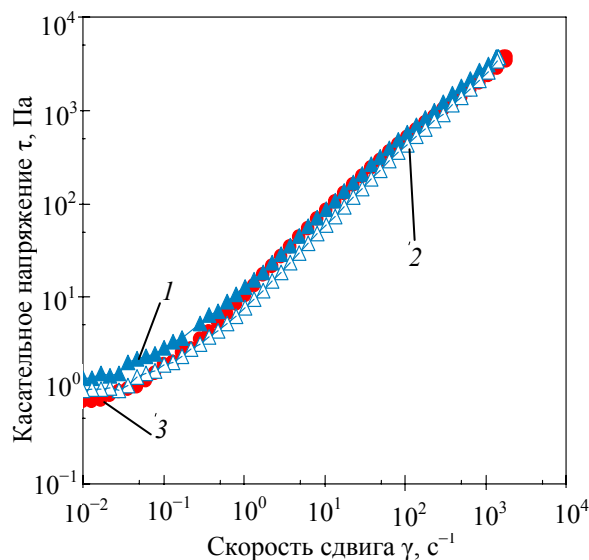


Рис. 3. Кривые течения ПВА-клеев, модифицированных древесной мукой (7%): 1 – модифицированный отечественный клей (кривая течения снята при нарастании скорости сдвига); 2 – модифицированный отечественный клей (кривая течения снята при уменьшении скорости сдвига); 3 – эталонный клей

Были проведены эксперименты по определению статического предела текучести τ_0 , или пластичности, прямым методом роста напряжения. Метод предполагает сдвиг жидкости во вращательном вискозиметре при линейно возрастающем от нулевого значения напряжений сдвига. Проводилось несколько измерений для каждого образца клея, затем найденные значения статического предела текучести усреднялись.

Согласно полученным данным, предел текучести для обоих клеев совпадает и отличается очень низкими значениями – порядка 1 Па. Таким образом, можно констатировать, что пластичные свойства у обоих исследованных образцов ПВА-клеев практически отсутствуют.

С учетом экспериментально полученных результатов сравнения реологических свойств ПВА-клеев задачей дальнейшей работы явился подбор различных модифицирующих добавок для отечественного клея, во-первых, с целью повышения его вязкости, во-вторых, – снижения тиксотропных свойств. В табл. 1 приведены модифицирующие добавки, которые применялись для достижения вышеуказанной цели.

Таблица 1

Состав образцов модифицированного клея

№	Вид модифицирующей добавки	Концентрация модифицирующей добавки, мас. %
1	Чистый ПВА-клей	–
2	Na-КМЦ	2,5
3	Древесная мука	2,0; 4,0; 6,0; 7,0; 10,0
4	Жидкое стекло	3,0; 6,0
5	КМЦ порошковая	1,5
6	Бентонит	3,0; 10,0
7	Аэросил	0,5; 0,7; 1,0

Для всех концентраций модифицирующих добавок проводились исследования по определению напряжения сдвига, а также испытания в трех интервалах для определения времени восстановления свойств материала после снятия нагрузки.

Результаты испытаний представлены только для 4 образцов клеевой композиции, т. к. они наиболее схожи по свойствам с эталоном.

Проведенная серия экспериментов позволила установить, что введение модифицирующей добавки в виде древесной муки в концентрации 7 мас. % позволяет решить и задачу увеличения вязкости отечественного клея и приближения ее к значениям финского клея, и задачу снижения тиксотропных свойств отечественного

клея, поскольку, как видно из рис. 3, кривые течения модифицированного клея, снятые как при нарастании, так и при убывании скорости сдвига, практически совпадают. Снижение тиксотропных свойств лидского клея также подтверждается данными 3-интервального теста, результаты которого приведены на рис. 4.

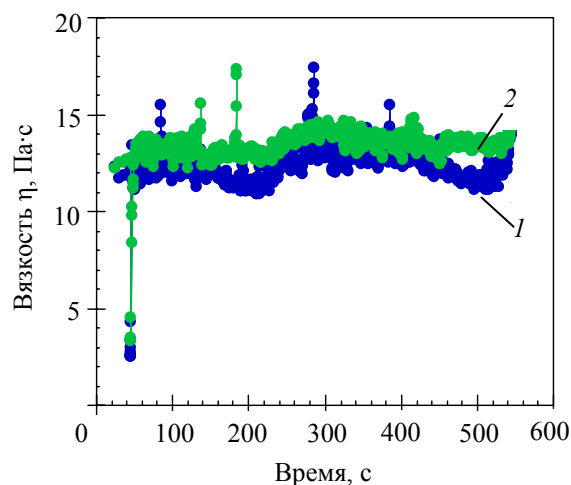


Рис. 4. Результаты испытания на тиксотропность в трех интервалах для образцов ПВА-клеев: 1 – эталонный клей; 2 – отечественный клей, модифицированный древесной мукой в количестве 7 мас. %

Из рис. 4 видно, что оба образца клея обладают примерно одинаковой вязкостью и отличаются отсутствием тиксотропных свойств, поскольку их вязкость не отличается до и после деформации.

Следующим материалом, который использовался для модификации отечественного клеевого материала, являлся аэросил. Согласно анализу экспериментальных данных, наиболее оптимальной является концентрация аэросила 0,7 мас. %. Введение аэросила не позволяет получить кривую течения, близкую к эталонному клею, поскольку аэросил, как известно, является добавкой, обладающей ярко выраженными тиксотропными свойствами, о чем свидетельствует гистерезис на кривых течения, снятых прямым и обратным методами (рис. 5), а также результаты 3-интервального теста (рис. 6), из которого видно, что модифицированные образцы клея восстанавливают первоначальную вязкость довольно медленно. Так, образец, содержащий 0,7 мас. % аэросила, через 1 мин восстанавливается на 60%, а на 90% восстанавливается через 4 мин. Однако именно благодаря своим ярко выраженным тиксотропным свойствам аэросил в клею, возможно, сможет помочь избежать проблемы вытекания клея на границе склеиваемых ламелей в штабелях заготовок.

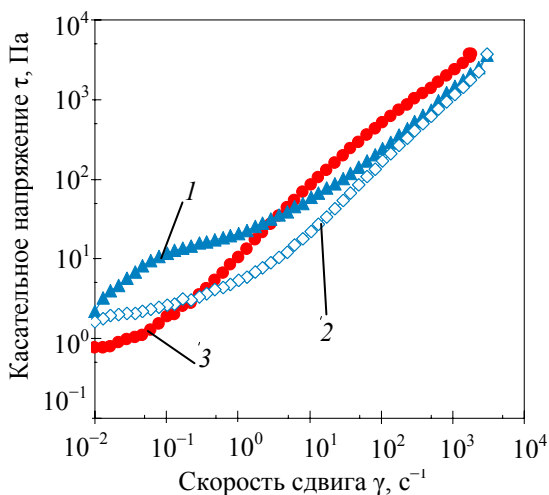


Рис. 5. Кривые течения ПВА-клеев, модифицированных аэросилом (0,7%): 1 – модифицированный отечественный клей (кривая течения снята при нарастании скорости сдвига); 2 – модифицированный отечественный клей (кривая течения снята при уменьшении скорости сдвига); 3 – эталонный клей

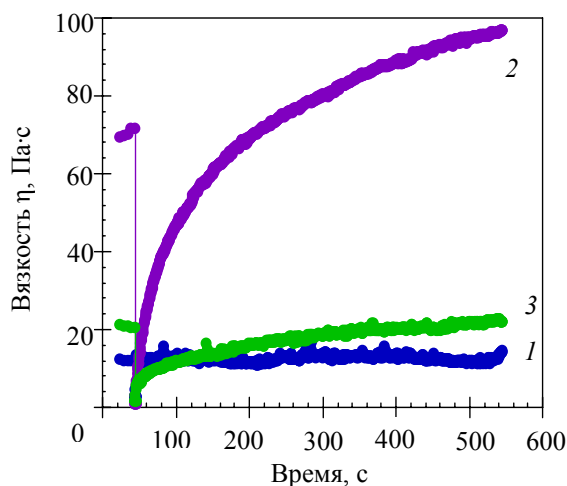


Рис. 6. Результаты испытания на тиксотропность в трех интервалах для образцов ПВА-клеев: 1 – импортный клей; 2 – отечественный клей, модифицированный аэросилом в количестве 1,0 мас. %; 3 – отечественный клей, модифицированный аэросилом в количестве 0,7 мас. %

На рис. 7 представлены кривые течения ПВА-клеев, модифицированных натриевой солью карбоксиметилцеллюлозы (Na-КМЦ). Na-КМЦ была выбрана в качестве модифицирующей добавки, поскольку, как известно, это безопасный и эффективный пластификатор, загуститель и стабилизатор. Концентрация подбиралась исходя из визуальной оценки консистенции клея. Экспериментальные данные (рис. 7) свидетельствуют, что вязко-пластичные свойства модифицированного Na-КМЦ

лидского клея резко отличаются от свойств эталонного клея. Во-первых, введение модификатора, обладающего гелеобразующими свойствами, привело к появлению у клея пластичных свойств: τ_0 находится на уровне 5–7 Па (без модификатора – менее 1 Па). При этом при высоких скоростях сдвига (свыше 200 Па) вязкость модифицированного клея близка к вязкости эталонного. Кроме того, Na-КМЦ приводит к усилению тиксотропных свойств клея (рис. 8).

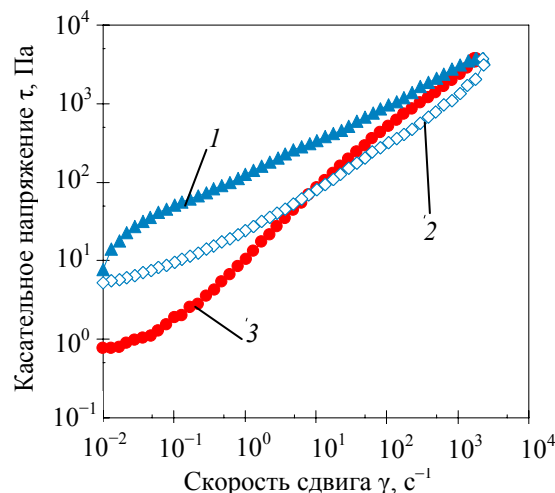


Рис. 7. Кривые течения ПВА-клеев, модифицированных Na-КМЦ (2,5%): 1 – модифицированный отечественный клей (кривая течения снята при нарастании скорости сдвига); 2 – модифицированный отечественный клей (кривая течения снята при уменьшении скорости сдвига); 3 – эталонный импортный клей

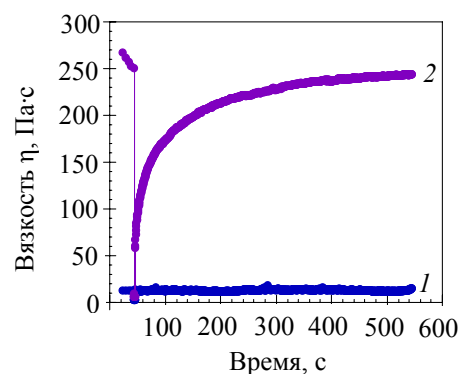


Рис. 8. Результаты испытания на тиксотропность в трех интервалах для образцов ПВА-клеев: 1 – эталонный клей; 2 – отечественный клей, модифицированный аэросилом в количестве 1,0 мас. %

Аналогичные исследования были проведены и для других материалов: бентонита и жидкого стекла. Установлено, что введение 10 мас. % бентонита позволяет получить кле-

вую композицию, соответствующую по свойствам импортному клеевому материалу.

Введение жидкого стекла в ПВА-клей в количестве 5 мас. % привело к мгновенному «створаживанию» клея, после интенсивного перемешивания клей оставался очень вязкой консистенции. С другой стороны, постепенное введение жидкого стекла (от 1 до 6 мас. %) привело к противоположному результату – вязкость клея снижалась. Данная клеевая композиция была исключена из дальнейших исследований.

Таким образом, для определения клеящих свойств модифицированных клеев были отобраны четыре образца:

- 1) ПВА-дисперсия ДФ 51/15 ВП, модифицированная 7 мас. % древесной мукой;
- 2) ПВА-дисперсия ДФ 51/15 ВП, модифицированная 0,7 мас. % аэросилом;
- 3) ПВА-дисперсия ДФ 51/15 ВП, модифицированная 2,5 мас. % Na-КМС;
- 4) ПВА-дисперсия ДФ 51/15 ВП, модифицированная 10 мас. % бентонита.

Для данных клеевых материалов были проведены испытания по определению прочности и водостойкости по европейской методике [1, 2]. Результаты исследований представлены в табл. 2.

Таблица 2

Эксплуатационные показатели клеевых соединений, полученные с использованием модифицированных клеев

Вид клея	Прочность при продольном скалывании, МПа
7 сут в стандартной атмосфере	
ДФ51/15ВП	9,10
ДФ51/15ВП + 10% бентонит	8,81
ДФ51/15ВП + 0,7% аэросил	10,9
ДФ51/15ВП + 2,5% Na КМС	11,15
7 сут в стандартной атмосфере 4 сут в воде при температуре (20±5)°С	
ДФ51/15ВП	0,28
ДФ51/15ВП + 10% бентонит	0,12
ДФ51/15ВП + 0,7% аэросил	1,03
ДФ51/15ВП + 2,5% Na КМС	1,30
7 сут в стандартной атмосфере 4 сут в воде при температуре (20±5)°С 7 сут в стандартной атмосфере	
ДФ51/15ВП	3,7
ДФ51/15ВП + 10% бентонит	2,9
ДФ51/15ВП + 0,7% аэросил	4,5
ДФ51/15ВП + 2,5% Na КМС	5,1

Следует отметить, что из эксперимента был исключен образец клеевого материала, модифицированного 7% древесной пыли. Это связано с тем, что уже на стадии нанесения возникли объективные причины невозможности равномерного нанесения клеевого материала.

Заключение. По результатам вышеприведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Испытанный клей марки ДФ 51/15 ВП производства ОАО «Лакокраска» имеет прочность склеивания, близкую к норме нагрузки D1, но низкую водостойкость (0,28 МПа вместо 2,0 МПа после выдержки в воде 4 сут).

2. Введение добавки бентонита в объеме 10% снижает прочность и водостойкость клеевого соединения. Вероятнее всего, бентонит выполняет лишь роль инертного наполнителя и в большом объеме ведет к уменьшению расхода клеящего вещества на единицу площади, что и снижает клеящие способности материала.

3. Аэросил повышает прочность клеевого соединения примерно на 20% и более чем в три раза повышает водостойкость. При прямом введении его расход аэросила требуется больший (в пересчете на сухой остаток), чем при введении его в виде водной суспензии (вероятнее всего, из-за худшего, в первом случае, распределения по массе клея).

4. Введение натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы повышает прочность клеевого соединения на 23% и в 4,6 раза повышает водостойкость. Кроме того, несмотря на высокую вязкость, обладает однородной структурой, хорошо наносится на поверхность и практически не оказывает никакого влияния на изменение цвета клеевого шва после высыхания.

Литература

1. Классификация термопластичных клеев для древесины для применения не в производстве конструкционного силового бруса: DIN EN 204-2001. – Введ. 01.05.2001. – СЕН, 2001. – 5 с.

2. Клеи неконструкционные для дерева. Определение прочности склеивания продольных склеек испытанием на разрыв: DIN EN 205–2003. – Введ. 21.11.2002. – СЕН, 2003. – 10 с.

3. Вильнав, Ж.-Ж. Мир материалов и технологий техносфера: пер с фр. / Ж.-Ж. Вильнав. – М.: Техносфера. – 2007. – 381 с.

4. Малкин, А. Я. Реология: концепции, методы, приложения / А. Я. Малкин, А. И. Исаев; пер. с англ. – СПб.: Профессия, 2007. – 560 с.

Поступила 20.02.2013

УДК 674.048.5

О. К. Леонович, кандидат технических наук, доцент,
заведующий научно-исследовательской лабораторией (БГТУ);
С. П. Судникович, магистрант (БГТУ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДЕРЕВЯННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Исследована прочность клеевых соединений бруса клееного многослойного после огнебиозащитной обработки его гидрофильными и гидрофобными средствами при различных температурах и определены теплотехнические характеристики деревянных строительных конструкций, склеенных меламино-мочевино-формальдегидными и фенолорезорциновыми клеями. В соответствии с СТБ EN 335-1-2009 исследована возможность применения деревянных строительных конструкций, подверженных постоянному намоканию. Установлено расчетное сопротивление ограждающей конструкции из древесины сосны. Предложен вариант многослойной наружной стеновой панели для домов каркасного типа.

Investigated the strength of adhesive joints glued laminated timber after heat-treatment bioprotective hydrophilic and hydrophobic agents in different temperatures and determined thermal characteristics of wooden building constructive functions glued melamine-urea-formaldehyde adhesives and phenoloresortsinovymi. In accordance with СТБ EN 335-1-2009 the possibility of using wooden building structures exposed to constant wet. Set design resistance cladding of pine wood. A variant of the multi-layered exterior wall panels for homes frame type.

Введение. Конструкции деревянные клееные (КДК) применяются в общественном, жилищном, транспортном и других отраслях строительства.

Нормативные требования к клееной многослойной древесине определяются в странах СНГ следующими нормативными документами: в Беларуси – СТБ 1722, в России – ГОСТ 20850–84, в странах Евросоюза – EN 386, EN 1995-1-1. В указанных нормативных документах регламентируется толщина склеиваемых слоев в клееных деревянных конструкциях не более 33 мм – для несущих и 42 мм – для ненесущих. Классификация бруса по температурно-влажностным условиям эксплуатации подразделяется в соответствии с EN 386 и EN 1995-1-1 на три класса эксплуатации. 1-й и 2-й классы эксплуатации характеризуются соответственно максимальной относительной влажностью 65 и 85% и температурой меньше 30°C. При этих параметрах воздушной среды в соответствии с СТБ EN 301-206 рекомендуются группы клеев D1, D2, D3, что соответствует по EN 1995-1 типам клея I или II. При максимальной относительной влажности среды – 95% и температуре – меньше 60°C (класс эксплуатации 3) рекомендован клей группы D4, тип I.

Основные правила прочностных расчетов деревянных конструкций изложены в СНБ 5.05.01-2000, ТКП 45-5.05.146-2009. Теплотехнические характеристики ограждающих конструкций рассчитываются по ТКП 45-2.04-43-2006 «Строительная теплотехника».

Целью данной работы является исследование возможности применения деревянных строительных конструкций в условиях повышенного увлажнения, влияния пропитки гидрофобными и

гидрофильными защитными средствами на свойства КДК, а также влияния воздействия температурных параметров обработки на прочность клеевых соединений и определение теплотехнических характеристик деревянных строительных конструкций, склеенных меламино-мочевино-формальдегидными и фенолорезорциновыми клеями.

Основная часть. Применение древесины в строительстве актуально, особенно в каркасном домостроении.

При анализе требований к древесине, являющейся гигроскопичным материалом, необходимо отметить, что строительные нормы значительно жестче общих требований к КДК.

Стойкость древесины и изделий из древесины в строительстве в соответствии с СТБ EN 335-1-2009 ч. 1 подразделяется на 5 классов.

Так, в классе использования 1 материал на основе древесины находится в укрытии и не подвергается воздействию погоды и намокания. В классе использования 2, кроме этого, в атмосфере присутствует высокая относительная влажность, что может привести к случайному или кратковременному намоканию. В классе использования 3 материал на основе древесины находится в укрытии и не находится в контакте с землей и не подвержен намоканию. В отличие от общенормативных требований к клееным конструкциям, в классе использования 4 материал на основе древесины находится в контакте с землей или с водой и поэтому может постоянно подвергаться намоканию, а в классе использования 5 находится в условиях постоянного воздействия соленой воды.

Требуется проведение исследовательских работ в области адгезии и когезии применяемых

клеев и прочностных характеристик строительных конструкций при различных условиях эксплуатации. Это позволит гарантировать сохранение требуемых прочностных характеристик строительных конструкций.

Определение прочности клеевых соединений при послойном скалывании конструкций деревянных определялось по ГОСТ 25884–83. Образцы изготавливались в виде прямоугольной призмы сечением $(50 \times 50) \pm 0,5$ мм и высотой, равной высоте сечения элементов. При определении водостойкости клеевых соединений по ГОСТ 17005–82 предел прочности клеевого соединения при скалывании вдоль волокон устанавливался по ГОСТ 15613.1–84. Для проведения испытаний применялась испытательная машина по стандарту ГОСТ 7855–74 с максимальным усилием до 50 000 Н. Влажность образцов определяли по ГОСТ 16588–91 непосредственно после испытаний. Образец нагружали непрерывно при скорости перемещения нагружающей головки испытательной машины $((1,5-2) \times 10^{-4}$ м/с). Испытание продолжают до разрушения образца. Разрушающую нагрузку определяли с точностью 50 Н.

Проведены исследования прочности клеевых соединений по ГОСТ 17005 при скалывании вдоль волокон клееной многослойной древесины, склеенной меламиномочевиноформальдегидными (ММФ) и фенолорезорциновыми (ФРФ) клеями, а также испытана прочность клеевых соединений при воздействии давления,

температуры после выдержки в холодной и горячей воде. Результаты исследования прочности клеевых соединений под воздействием температуры, давления и выдержки в воде при пропитке в автоклаве представлены в табл. 1.

Поверхностная пропитка масляным составом снижает прочность на 1% от прочности непропитанного бруса, а пропитка водорастворимыми составами, не содержащими медь, снижает прочность на 4–5%.

Конструкции с низким термическим сопротивлением подвергаются промерзанию. При оттаивании в конструкции скапливается конденсат. Между слоями ограждающей конструкции при неправильном их расположении также может скапливаться конденсат.

Установлено, что при толщине бревна из древесины сосны 210 мм расчетное сопротивление составляет всего $1,32 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, что не соответствует нормативным требованиям. Предложен вариант многослойной наружной стеновой панели, состоящей из деревянного каркаса с утеплителем, паро- и ветроизоляционных пленок, плит ОСБ с двух сторон и 50 мм пенопласта с наружной стороны. Расчетное сопротивление теплопередаче панели составляет $4,24 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, что больше нормируемого, равно $3,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$. Многослойная стеновая панель в соответствии с проведенным расчетом соответствует нормируемым параметрам и позволяет значительно снизить потребление древесины при строительстве домов каркасного типа.

Таблица 1

Исследование прочности клеевых соединений под воздействием температуры, давления и выдержке в воде

Наименование бруса	Тип клея	Способы обработки после пропитки					Предел прочности при скалывании
		Пропитка в автоклаве масляным составом	Пропитка в автоклаве солевым составом	Температурный режим, °С	Выдержка в воде по ГОСТ 17005–82 при t , °С	Выдержка в кипящей воде по ГОСТ 17005–82 при t , °С	
БК	ММФ	–	–	–	–	–	8,3
БК	ФРФ	–	–	–	–	–	9,1
БК	ММФ	–	–	–	–	–	–
БК	ФРФ	М	–	70	–	–	11,1
БК	ММФ	–	–	–	–	–	–
БК	ФРФ	–	С	70	–	–	6,0
БК	ММФ	–	–	90	–	–	6,4
БК	ФРФ	–	–	90	–	–	8,4
БК	ММФ	М	–	70	20	–	7,7
БК	ФРФ	–	–	–	–	–	–
БК	ММФ	–	С	70	20	–	7,28
БК	ФРФ	–	–	–	–	–	–
БК	ММФ	М	–	70	20	100	5,3
БК	ФРФ	–	–	–	–	–	–
БК	ММФ	–	С	70	20	100	4,5
БК	ФРФ	–	–	–	–	–	–

Таблица 2

Исследование прочности клеевых соединений под воздействием температуры и выдержки в воде

Наименование бруса	Тип клея	Способы обработки после пропитки					Предел прочности при скалывании
		Пропитка в автоклаве масляным составом	Пропитка в автоклаве соевым составом	Температурный режим, °С	Выдержка в воде по ГОСТ 17005–82 при t, °С	Выдержка в кипящей воде по ГОСТ 17005–82 при t, °С	
БК	ММФ	–	–	–	–	–	8,3
БК	ФРФ	–	–	–	–	–	9,1
БК	ММФ	М	–	70	–	–	11,3
БК	ФРФ	–	–	–	–	–	–
БК	ММФ	–	С	70	–	–	7,2
БК	ФРФ	–	–	–	–	–	–
БК	ММФ	–	–	–	–	–	–
БК	ФРФ	М	–	70	20	–	4,7
БК	ММФ	–	–	–	–	–	–
БК	ФРФ	–	С	70	20	–	6,5
БК	ММФ	–	–	–	–	–	–
БК	ФРФ	М	–	70	20	100	4,9
БК	ММФ	–	–	–	–	–	–
БК	ФРФ	–	С	70	20	100	6,9

Результаты исследования прочности клеевых соединений под воздействием температуры, давления и выдержки в воде по ГОСТ 17005 при пропитке методом горячехолодных ванн представлены в табл. 2.

При температуре воздушной среды 90°С прочность клеевого соединения падает, и применение высокотемпературных технологий пропитки требует дополнительных расчетов и испытаний строительных конструкций на прочность. Влияние воздействия температуры на прочность клеевого соединения показано на рис. 1.

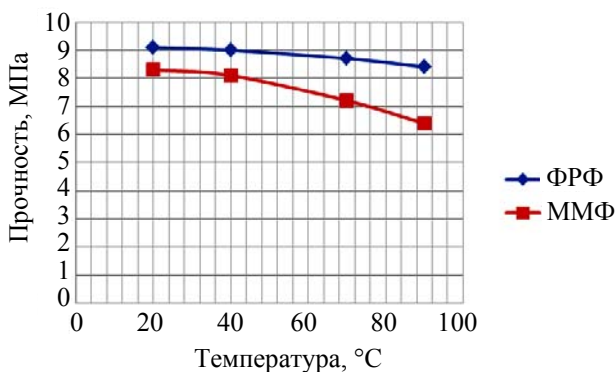


Рис. 1. Влияние температуры воздушной среды на прочность клеевого шва

Проверена возможность применения деревянных строительных конструкций, подверженных постоянному намоканию (класс эксплуатации 4), по СТБ EN 335-1-2009. Влияние воздействия воды на прочность клеевого соединения показано на рис. 2. Прочность клеевого соединения на скалывание после нахождения бруса в

воде в течение 5 сут оказалась ниже нормативной. При дальнейшей выдержке в воде прочность клеевого соединения продолжала снижаться.



Рис. 2. Влияние воздействия воды на прочность клеевого соединения

Заключение. Масляные защитные средства при низкотемпературной технологии обработки незначительно снижают прочность клеевых деревянных конструкций.

Применение строительных конструкций клееных меламино-мочевино-формальдегидными и фенолорезорциновыми клеями возможно только в классах использования 1–3 и не рекомендуется в классах использования 4–5 в контакте с водой или грунтом.

Для строительства домов приемлема многослойная структура ограждающих несущих конструкций с расчетом несущей способности, термического сопротивления, паропроницаемости, относительной влажности конструкции.

Поступила 21.02.2013

УДК 620.1,699.8

И. Г. Федосенко, кандидат технических наук, старший преподаватель (БГТУ)

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДЕГРАДИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ ПО СТЕПЕНИ РАЗРУШЕНИЯ

В статье рассмотрены и проанализированы основные способы идентификации степени разрушения древесины, которые применяются в мировой практике при обследовании деревянных объектов, а также планирования мероприятий по их защите и восстановлению.

In the article and the analysis of the main methods for identifying the degree of destruction of wood, which are used in the world of wooden objects in the survey, as well as planning for their protection and restoration.

Введение. Определение состояния древесины крайне необходимо для планирования реставрационных мероприятий. Степень разрушения древесины оценивается прямыми и косвенными методами по основным показателям ее свойств, при этом используются, соответственно, разрушающие и неразрушающие методы контроля. При исследовании состояния культурных ценностей в большинстве случаев применяют последние. Однако из-за неконтролируемых влияний эти методы рекомендуются лишь для предварительного определения наиболее слабого места конструкций с целью отбора отсюда проб для прямых методов.

Свойства, определяемые при оценке степени разрушения древесины, подразделяют на группы: физические, механические и химические. В качестве физических используют: базисную плотность, пористость, максимальное водосодержание и усушку. Механические свойства подразделяют на прочность, твердость и упругость. Химические свойства оценивают по содержанию основных компонентов древесины, таких как гемицеллюлоза, целлюлоза и лигнин.

Основная часть. К сожалению, до сегодняшнего дня нет единого критерия, характеризующего степень разрушения древесины, т. к. разные ученые оценивают ее по своему.

Де-Джонг [1], основываясь на максимальном водосодержании древесины, выделяет 3 класса ее разрушения. Главными недостатками этой классификации являются: 1) неприменимость для сухой деградированной древесины; 2) определение влагосодержания на образцах заданных размеров, но в расчет не принимается ни порода, ни пористость, приобретенная в ходе старения.

Другой ученый, Вермут [2], выделил 4 уровня разрушения, в зависимости от степени биоповреждения и прочности древесины. Основными недостатками классификации являются:

1) упрощение картины разрушения древесины (не учтено влияние гидролиза и других факторов); 2) не установлен конкретный критериальный показатель прочности.

С. Н. Горшин предложил выделять 5 типов разрушенной древесины [3], оцененных по внешнему виду поверхности. Оценивание состояния по внешнему виду является субъективным методом, следовательно, предложенный метод неточен.

На основании факта снижения плотности при разрушении [4] предложено определять степень разрушения древесины по отношению разницы базисной плотности между здоровой и деградированной древесиной к базисной плотности деградированной древесины. При выражении этого показателя в процентах выделено 4 группы разрушения древесины. Классификация характеризует разрушения древесины под действием всех факторов. Тем не менее плотность зависит от породы и размеров образцов, а также содержания в деградированной древесине внутренних трещин и пустот (наличие которых не предполагается при определении базисной плотности стандартным методом по ГОСТ 16483.1-84), что снижает точность при определении степени разрушения по этому методу.

Показатели степени разрушения материалов могут быть определены механическими, электрическими, оптическими, акустическими, термографическими, рентгенологическими, атомно-магнитными, химическими и биологическими методами или их различным сочетанием.

При использовании механических методов идентификации применяют следующие наиболее известные методики: 1) прирастное бурение с извлечением керна из канала бура; 2) измерение глубины проникновения градуированной иглы или ножа (Pilodin, АКОД, ПКДО-1, ПОЗД и др.); 3) измерение сопротивления при бурении или сверлении древе-

сины (Resistograph, прибор Латвглавэнерго и др.); 4) измерение упругости и твердости по величине ударного импульса, упругого отскока или пластической деформации (склерометры типов ИПС-МГ4, ОНИКС-2, Schmidt, Beton Condrol, Eurosit Ectha и молотки Кашкарова, Шмидта, ОМШ-1); 5) стандартные методы определения физико-механических свойств древесины на малых чистых образцах (группа ГОСТ 16483). Эти методики позволяют оценивать рыхлость структуры древесины, они просты, удобны и дешевы, но разрушающие и недостаточно точны.

Электрические методы основываются на измерении электрического сопротивления или проводимости (Shigometer, Vitamat), диэлектрической постоянной и использовании микроволн. При их помощи обычно оценивается только влажность древесины, а при интерпретации результатов необходимо учитывать температуру и плотность древесины, что негативно влияет на точность. Отличительными признаками данного метода являются: простота, мобильность и низкая стоимость измерительных инструментов, а также полное сохранение целостности образцов.

Для оптических методов идентификации древесины используют как визуальный осмотр, в т. ч. при помощи микроскопа, так и эндоскопию, голографию, а также ИК-спектроскопию. В случае визуального осмотра под микроскопом обычно требуется извлечение проб из древесины, что, естественно, приводит к разрушению оцениваемого элемента. Методика визуального осмотра, как уже отмечалось, дает субъективное представление о разрушении. Голография применяется только в лаборатории и широкого распространения для оценки не получила. ИК-спектроскопия (IR, FTIR и NIR), как и все оптические методы, дает лишь анализ поверхности элементов.

Акустические методы получают все большее распространение из-за мобильности приборов, достаточной точности, а также и потому, что они являются неразрушающими. Этими методами пользуются при контроле состояния деревянных опор ЛЭП и других несущих элементов сооружений и конструкций (ЛИС, УКС, ПУЛЬСАР-1, Ук1401М). Данные методы основываются на определении скорости звука или на явлении акустической эмиссии в продольном или поперечном направлениях. Показатели приборов сравнивают с коррелируемыми факторами, являющимися прямыми показателями разрушения древесины (например, модуль упругости древесины). Основной проблемой при-

менения таких приборов является зависимость точности измерений от акустической плотности материала (которая часто не известна), а также от шероховатости и криволинейности поверхности образца. Дополнительные погрешности от использования данного метода вносят плотность и влажность древесины.

Термографические методы основаны на измерении теплового излучения от нагретой древесины, на которое влияет неоднородность структуры и влажность материала. Важным достоинством метода является непрерывная визуализация измеряемой величины. Приборы, используемые при реализации метода (тепловизоры или прирômetros), мобильны и легки в обращении, но имеют недостаточное разрешение для точных измерений.

Пожалуй, одним из самых дорогих, но наиболее эффективных неразрушающих методов является радиографический метод, который реализуется при помощи аппаратов, создающих рентгеновское, гамма- или нейтронное излучение (плотномеры) и в т. ч. послойно сканирующих объект (томографы). Особенно последний тип аппаратов дает наиболее полную картину разрушения древесины в массе и при помощи ЭВМ позволяет создавать 3D-реконструкцию объекта исследования. Главным недостатком этого метода является отсутствие достаточно легких в использовании и мобильных аппаратов. В основном метод реализуется в лабораториях. Самая безопасная и самая дорогая (во всех смыслах) магнитнорезонансная томография (NMRT), а также нейтронная радиография позволяют оценивать лишь распределение влаги в древесине, а также проникновение в нее защитного средства, при этом разрешение сильно зависит от плотности исследуемой древесины.

Химические и биологические методы реализуются при помощи цветовой индикации, измерения выбросов углекислого газа, гелелектрофореза, иммунологических и генетических методик исследования. Они направлены на идентификацию очагов загнивания материала и вида поражения. Эти методы реализуются только в лабораторных условиях и требуют разрушения исходного материала при отборе проб.

Неразрушающие графические методы позволяют диагностировать разрушение древесины уже на поздних стадиях, в отличие от разрушающих.

Заключение. Методы идентификации деградированной древесины в комбинации друг с другом дают широкую характеристику объекта,

однако не позволяют установить его состояние относительно критического уровня, т. к. единой классификации степени разрушения древесины еще не существует.

Литература

1. De Jong, J. Conservation Techniques for old archaeological wood from shipwrecks found in the Netherlands / J. De Jong // Biodeterioration Investigation Techniques / A. H. Walters (eds). – London, 1977. – P. 295–338.

2. Wermuth, J. A. New World Evaluation of Wood Degraded by Old Cultures: Evaluation of Residual Strength Characteristics in Micro-organically Degraded Wood / J. A. Wermuth //

Old cultures in new worlds: Programme report 8th ICOMOS General Assembly and International Symposium. – Washington, 1987. – P. 499–505.

3. Горшин, С. Н. Защита деревянных памятников от разрушения / С. Н. Горшин // Методика реставрации памятников архитектуры. – М.: Стройиздат, 1977. – С. 115–126.

4. Карпович, С. И. Улучшение свойств древесных материалов методом пропитки / С. И. Карпович, Ю. В. Вихров, В. А. Кныш // Обзорная информация. Сер.: Деревообрабатывающая промышленность. – Минск, 1978. – 43 с.

Поступила 21.02.2013

УДК 699.8

И. Г. Федосенко, кандидат технических наук, старший преподаватель (БГТУ)**УКРЕПЛЕНИЕ ДРЕВЕСИНЫ АРХИТЕКТУРНЫХ ПАМЯТНИКОВ**

В статье рассмотрены и проанализированы основные способы укрепления древесины архитектурных памятников, уникальные способы обработки крупных деревянных объектов без их разборки. Предложены специальные составы для укрепления структуры деградированной древесины, даны рекомендации по их применению.

In the article and the analysis of the main ways to consolidation of the wooden monuments. Considered unique ways to process large wooden objects without disassembly. Offered special compositions for strengthening the structure of degraded wood, recommendations on their use.

Введение. Обеспечить защиту от разрушения ценного объекта можно при использовании естественных, химических и комбинированных мер воздействия. Естественные меры подразумевают изменение или поддержание необходимых условий хранения, влияющих на состояние древесины. Химические меры основаны на поверхностной или глубокой обработке древесины химическими веществами с целью придания ей био-, огне- и влагозащиты. При сочетании естественных и химических мер защиты (комбинированные меры) обеспечивается наибольшая степень защиты материалов от разрушающих факторов.

Чтобы сохранить требуемый внешний вид архитектурного памятника, кроме механического укрепления (посредством устройства поддерживающих конструкций) используют модификацию авторского материала, т. е. его усиления средствами проникающей защиты специальными веществами (консолидантами). Консолидация древесины основана на склеивании разрыхленной и разобранной ее структуры по объему или только по поверхности. В качестве веществ для консолидации в мировой практике успешно применяют полимеры, форполимеры и мономерные системы.

Основная часть. Для крупных сооружений, к которым относятся архитектурные памятники, применяют как традиционные, так и уникальные способы обработки конструкций (пропитки) без разборки [1]. Разработка таких способов всегда требует индивидуального подхода, ориентированного на стоимость материала и работ, масштабность объектов (следовательно, расход средства защиты) и технологичность защитного средства. Из истории консервации известно несколько таких способов: вливания в отверстия, вымывания из увлажняемых блоков, многократного или непрерывного нанесения на поверхность без просушки, выдержки под пропиточной панелью (панельная пропитка), выдержки в подставной (подвесной) ванне, инъекции под давлением.

Для обработки без поэлементной разборки памятника не подходят способы пропитки, применяемые для малогабаритных объектов, такие как способы пропитки под давлением и в ваннах.

Выбор любого из перечисленных способов обработки зависит от применяемого за-

щитного средства и исходного состояния древесины.

Для сухой древесины открыто расположенных объектов используют все известные укрепляющие составы, а для мокрой археологической – вещества, замещающие воду в межклеточных пространствах, из которых наиболее эффективны водорастворимые фенолоспирты и полиэтиленгликоли. Также возможны варианты защиты мокрой археологической древесины после предварительной сушки.

Важной аксиомой в сохранении культурного наследия является концепция минимального вмешательства, т. е. защитная обработка должна изменять природу материала минимально. Каждый консервирующий материал должен быть удален или оставлять состояние объекта пригодным для повторной обработки.

Сшивка полимера делает невозможным его извлечение без значительного ущерба или полного разрушения древесины. Период разложения полимера должен быть не менее срока давности авторского материала, однако срок службы некоторых полимеров, используемых в консервации древесины, не превышает 200 лет. Поэтому выбор консолиданта сложен, причем дополнительные сложности вызывает различная природа известных полимеров с авторским материалом. Неодинаковые показатели термического и влажностного расширения приводят к разрушению более хрупкого материала, которым может оказаться древесина. Крайне важно, чтобы решение проведения необратимой обработки было тщательно обдумано, т. к. второго шанса после этого уже не будет.

В качестве консолидантов применяют смолы, растворенные в воде или органическом растворителе. Они могут быть как в виде чистой смолы, так и в виде эмульсии. Последние обладают хорошей проницаемостью, из-за чего используются для обработки мокрых или влажных объектов, но желтеют с течением времени и дают труднообратимую обработку после испарения растворителя и необратимую после сшивки. Для сохранения пористой структуры с перспективой повторной обработки применяют вспенивание полимеров.

Для сухой (или высушенной) древесины на практике применяют следующие консолиданты:

- поливинилбутираль (Butvar), обладающий минимальной усадкой и полной обратимостью под действием исходного растворителя (ацетон, кетон, этиловый спирт);

- акриловые полимеры (метил-акрилат или этил-метакрилат Acryloid (Paraloid)), являющиеся долговечными и обратимыми (растворяется в ацетоне, этиловом спирте или тетрахлориде углерода), при высыхании не образуют блестящей пленки (как ПВА), покрытие прозрачно, эластично;

- поливинилацетатная эмульсия представляет собой 15–20%-ные растворы в воде (Rhoplex, CM Bond, Union Carbide's AYAF, Vinamul, Mowilith DM) или органических растворителях (Vinylite AYAA, AYAC, AYAF, AYAT, Gelva), необратимы, выделяют кислоту, их эффективность снижается при охлаждении до температуры стеклования;

- меламинформальдегид (Kauramin) имеет мелкие молекулы и хорошо растворяется в воде, однако придает блеск поверхности.

- полиметилметакрилат (PMM) (Elvacite, Perspex, Lucite, эмульсия Bedacryl) в виде растворов в хлороформе, этилендихлориде, метаноле и толуоле, придает значительное упрочнение;

- эпоксидные смолы (Renweld, Aralditel) придает древесине наибольшее упрочнение;

- цианоакрилат («супер клей») (Zap, Hot Stuff, Paleo Bond) является достаточно новой клеевой композицией, они необратимы.

Высокое содержание воды в консолиданте приводит к мгновенному образованию трещин в сухой древесине из-за ее набухания, поэтому для этого случая предпочтительней использовать органорастворимые консолиданты.

Сушка мокрой древесины памятников традиционными методами недопустима из-за потери целостности элементов. Поэтому укрепление такой древесины проводят путем постепенного замещения воды, содержащейся в ней на консолидант. Однако это вовсе не исключает операцию сушки древесины после обработки водорастворимыми консолидантами, перед тем как оставить ее на хранение, которое должно проводиться при относительной влажности воздуха 45–60%. При меньшей влажности происходит образование трещин, а при большей – проявляется деятельность грибов. Поэтому правильная консолидация проводится с введением в структуру древесины фунгицидов.

При необходимости замещения связанной влаги мокрой древесиной необходимо проникновение консолиданта в клеточную стенку, при этом длина его молекулы не должна превышать 0,55 нм.

Для мокрой древесины на практике применяют следующие консолиданты:

- растворимый в воде карбовоск или, иначе говоря, полиэтиленгликоль (ПЭГ), проникает как в стенку, так и в полость клетки, вызывает набухание поверхностных слоев, гигроскопичен, защитные мероприятия весьма затратны. ПЭГ имеет высокую степень доверия у консерваторов, но также подвергается разложению;

- дипропиленгликоль (DPG) вызывает меньшее поверхностное натяжение, чем ПЭГ, и хорошо проникает в клеточные стенки, однако эффект в полной мере проявляется лишь спустя несколько месяцев;

- силиконовые масла обеспечивают незначительную усадку при сушке, применяемые для их введения методы не вызывают искажений формы клеток в отличие от обработки ПЭГ;

- дикарбоновые кислоты хорошо проникают в древесину, их использование в консолидации – относительно новое направление, поэтому пока сложно их оценить;

- фенолформальдегидные (ФФ) смолы образуют полимер со структурой, наиболее схожей с лигнином, но он труднее деградирует. Для сшивки не требуется введения других компонентов, полимеризация происходит под действием высокой температуры. Токсичность фенолформальдегида ограничивает его использование при сохранении памятников;

- карбамидформальдегидные составы используют в качестве альтернативы ФФ, они менее стойкие, чем последние, и требуют более сложной технологии отверждения, но обладают меньшей токсичностью. Для нейтрализации вредного воздействия фенола его также замещают фураном.

Отдельным классом защитных средств, в т. ч. укрепляющих, являются более современные препараты на основе кремнийорганических соединений (полиметилфенилсилоксаны, полиметилсилозаны и алкилсиланолаты, тетраэтоксилан и продукты его частичного гидролиза, акрил(арил)алкоксисиланы), отличающихся комплексным воздействием на древесину [2].

Заключение. Для обеспечения целостности деревянных памятников архитектуры, в первую очередь, необходимо провести био-, огне- и влагозащитные мероприятия и, если потребуется, упрочнить конструкцию при помощи консолидации авторского материала. При этом требуется обеспечить приемлемые условия его хранения.

Литература

1. Горшин, С. Н. Защита памятников деревянного зодчества / С. Н. Горшин, Н. А. Максименко, Е. С. Горшина. – М.: Наука, 1992. – 279 с.

2. Михайлов, А. Консервация сухой и влажной археологической древесины / А. Михайлов. – София, 1984. – 143 с.

Поступила 21.02.2013

УДК 674.048

И. К. Божелко, ассистент (БГТУ)

МОДЕЛИРОВАНИЕ НОЖА ДЛЯ НАКАЛЫВАНИЯ ШПАЛ

Рассматривается наколочный станок для глубокой пропитки шпал. Он состоит из вращающихся барабанов с ножами. Оптимальные геометрические параметры ножа определены с помощью компьютерного моделирования. Они позволяют накалывать шпалы повреждений, вырывов и трещин древесины. Накалывание существенно улучшает качество пропитки еловых шпал. Срок эксплуатации таких шпал увеличивается.

It is considered an incision machine for realization of deep impregnation of sleepers. It consists of a rotating drum with knives. Optimal geometric parameters of knives defined by computer simulation. They allow incising sleepers without impaling damage, tearing and cracking of the wood. Incising improves the quality of impregnation spruce sleepers. Service life of such ties increases.

Введение. Одним из эффективных способов увеличения глубины пропитки шпалопродукции из труднопропитываемой древесины является накалывание [1, 2]. Наколы оказывают положительное влияние, обеспечивая одинаково глубокую и непрерывную пропитку всего периферического слоя. Микротрещины равномерно распределяют напряжения, способствуют уменьшению трещин при эксплуатации в железнодорожном пути. Использование накалывания расширяет применение ели в качестве сырья для деревянных шпал.

Основная часть. Для проведения технологической операции накалывания предлагается использовать конструкцию станков барабанного непрерывного действия [3]. Схема такого станка показана на рис. 1.

Два наколочных барабана (1) расположены один над другим. Расстояние между ними соответствует толщине накалываемого сортамента (2). Барабаны совершают вращательное движение (D_r). Сортимент подается прямолинейно горизонтально (D_s) в промежуток между барабанами. Скорости движения D_r и D_s равны. При вращении барабана лезвия ножей, выступающие над его цилиндрической поверхностью, внедряются в сортимент, оставляя на его поверхности наколы.

В настоящее время нет единого мнения о том, какими должны быть форма и размеры наколочных ножей [4]. Очевидны лишь требования, которым они должны соответствовать:

1. Нож должен обеспечить размеры наколов, установленные ГОСТ 20022.3: глубина для пиленых лесоматериалов толщиной более 50 мм – 15 мм; размер в направлении вдоль волокон древесины – от 10 до 20 мм; в направлении поперек волокон от 2 до 3 мм.

2. Накалывание должно производиться без вырывов и растрескивания древесины.

3. Нож должен быть достаточно прочным, чтобы без поломки выдерживать нагрузки, возникающие при накалывании древесины.

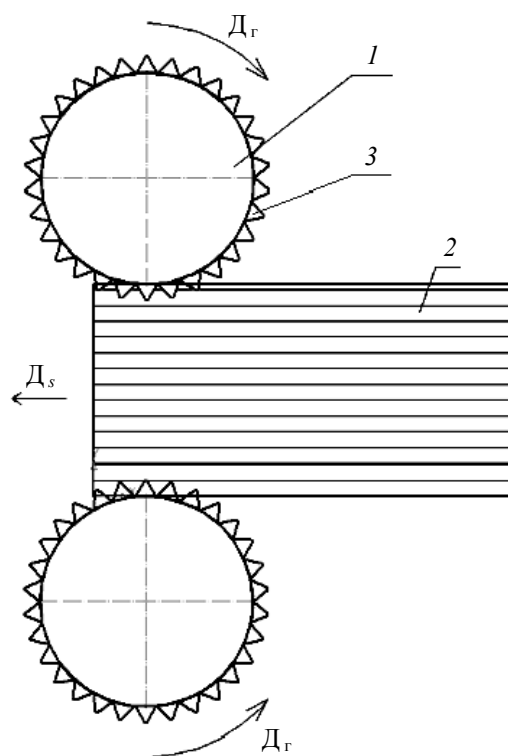


Рис. 1. Схема барабанного наколочного станка:

1 – наколочный барабан;
2 – накалываемый сортимент; 3 – ножи;
 D_r – главное движение; D_s – движение подачи

Для того чтобы определить параметры ножа, обеспечивающие выполнение перечисленных требований, исходя из конструктивных соображений была принята его модель, показанная на рис. 2.

Древесина при внедрении в нее ножа изображенной на рис. 3 формы будет оказывать давление на переднюю поверхность ножа. В принятой упрощенной расчетной модели величина давления будет соответствовать пределу прочности древесины при смятии поперек волокон $p = \sigma_{см}$.

Как правило, давление, оказываемое древесиной на обе боковые грани заостренного ножа,

будет одинаковым, что обеспечит его устойчивость. Однако при длительной эксплуатации возможны ситуации, когда нож попадет на край обрабатываемого сортамента и будет воспринимать давление сминаемой древесины только с одной стороны. В этом случае устойчивость ножа может быть нарушена, что приведет к его поломке.

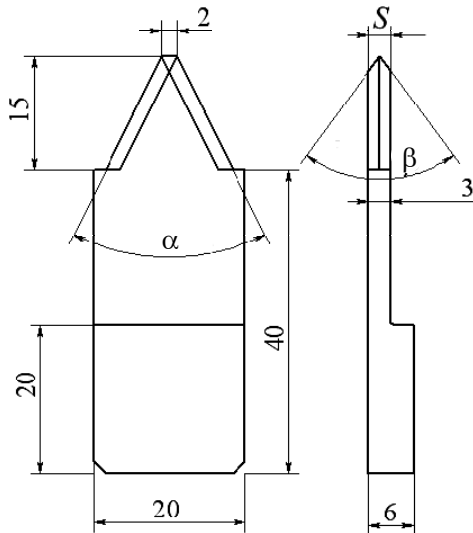


Рис. 2. Модель наколочного ножа:
α – угол заострения; β – угол заточки;
S – толщина ножа

С учетом сказанного выше расчеты по определению оптимальных параметров ножа проводили в два этапа. На первом этапе, используя схему с односторонним нагружением, определяли минимально достаточную толщину. При этом рассматривали варианты, когда толщина ножа (S) составляла 1, 2, 3 и 4 мм. Угол заострения ножа принимали $\alpha = 45^\circ$, угол заточки $\beta = 45^\circ$. В качестве материала, из которого будут изготавливаться ножи, была выбрана сталь С45, прочностные характеристики, которой приведены в таблице.

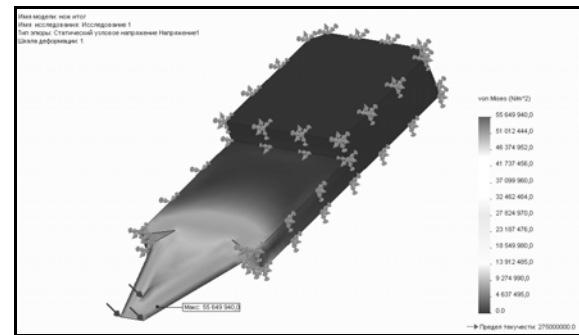
Характеристика стали марки стали С45

Параметр	Значение
Модуль упругости, Н/м ²	$2,1 \cdot 10^{11}$
Коэффициент Пуассона	0,28
Предел прочности при растяжении, Н/м ²	$4,2 \cdot 10^8$
Предел текучести, Н/м ²	$2,75 \cdot 10^8$
Модуль сдвига, Н/м ²	$7,9 \cdot 10^{10}$
Массовая плотность, кг/м ³	7800

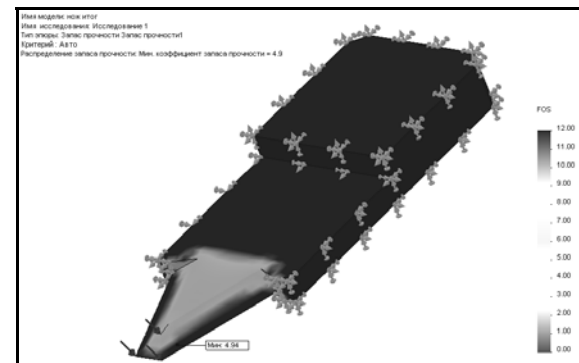
Для построения и расчета модели наколочного ножа был использован системный программный продукт SolidWorks, который позволяет проводить расчет напряжений, возникаю-

щих в модели ножа, при его статистическом нагружении методом конечных элементов.

Результат расчета, выполненного с помощью программы SolidWorks, представляется в виде двух эпюр статического узлового напряжения и запаса прочности по отношению к пределу текучести материала, из которого изготовлен нож. На рис. 3, в качестве примера, показаны результаты расчета, полученные для ножа толщиной $S = 3$ мм.



а



б

Рис. 3. Результат расчета статистических узловых напряжений, возникающих в ноже при одностороннем нагружении:

а – эпюра нагружений;

б – эпюра запаса прочности

Как следует из рисунка, максимальные напряжения в ноже при накалывании возникают на передней кромке лезвия ножа на расстоянии примерно 3 мм от нижнего угла. Их величина составляет 55,65 МПа, что в 4,94 раза меньше предела текучести стали С45 и в 7,55 раза меньше предела прочности при растяжении.

Аналогичные расчеты были проделаны для толщин ножа 1, 2 и 4 мм. В результате выполненных расчетов установлено, что наилучшие условия работы наколочного ножа достигаются при его толщине 3 мм, что не противоречит требованиям ГОСТ 20022.3.

Следующий этап исследований был посвящен определению угловых параметров наколочного ножа: угла заострения (α) и угла заточ-

ки (β). При проведении расчетов угол заострения ножа изменяли в пределах от 30 до 50°. Выбор указанного диапазона был продиктован следующими обстоятельствами. Для принятой модели ножа (рис. 4), глубины накола 15 мм и его размера в направлении вдоль волокон также 15 мм максимально возможный угол заострения ножа составляет 50°. Что касается минимального значения угла α , то теоретически он может достигать 0°. Однако, как будет показано ниже, маленькие значения угла заострения приводят к резкому возрастанию напряжений, возникающих в ноже при накальвании, что может вызвать его поломку. Именно поэтому нижней границей исследуемого диапазона угла заострения лезвия ножа стало значение $\alpha = 30^\circ$. Угол заточки ножа β при проведении расчетов также изменяли в пределах от 30 до 50°. Значения угла менее 30° не рассматривали, т. к. в этом случае средняя ширина наколов уменьшилась бы до 1,5 мм, что значительно меньше рекомендованных выше 3 мм. Верхний предел диапазона (50°) был выбран с учетом возможного раскальвания древесины при внедрении в нее ножа с большим углом заточки.

Расчеты выполняли с использованием программы SolidWorks и расчетной схемы с двухсторонним нагружением. Толщину ножа приняли равной $S = 3$ мм. На рис. 4 показан результат расчета, полученный для значений угла заострения $\alpha = 45^\circ$ и угла заточки $\beta = 45^\circ$ в виде эпюр напряжений, возникающих в ноже, и запаса прочности.

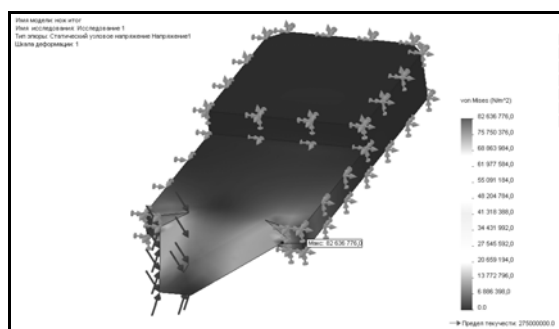
Установлено, что очень большое влияние на величину возникающих в ноже напряжений оказывает угол заострения лезвия. Чем меньше его величина, тем больше напряжения, возникающие при проведении накальвания. Напротив, угол заточки на величину максимальных напряжений в ноже практически не влияет. Так, например, при $\alpha = 50^\circ$ увеличение угла заточки в исследуемом диапазоне от 30 до 50° приводит лишь к незначительным и неоднозначным изменениям напряжений в узком интервале 81,46–84,29 МПа.

Закключение. Подводя итог выполненным исследованиям, можно рекомендовать следующие параметры наколочного ножа: толщина $S = 3$ мм, угол заострения лезвия $\alpha = 50^\circ$, угол заточки – 30°. Принятая толщина обеспечит устойчивость, а значит, и работоспособность ножа при несимметричном (одностороннем) нагружении, максимально возможный угол заострения лезвия позволит минимизировать напряжения, возникающие в ноже при накальвании, а минимально допустимый угол заточки устранил опасность раскальвания древесины при внедрении в нее ножа. Оптимальные геометрические параметры наколочного ножа, полученные путем компьютерного моделирования, соответствуют данным, полученным аналитическим методом [3].

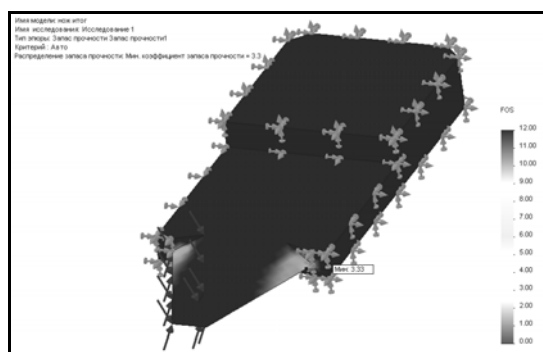
Литература

1. Winandy, Jerrold. Effects incising on lumber strength and stiffness: relationships between incision density and depth, species, and msr grade / Jerrold Winandy, Jeffrey Morrell // Wood and Fiber Science. – 1998. – 30 (2). – P. 185–197.
2. Perrin, P. W. Incising and its effects on wood strength and preservative treatment of wood / P. W. Perrin // Forest Prod. – 1978. – J. 28 (9). – P. 27–33.
3. Божелко, И. К. Определение оптимальных геометрических параметров ножа для накальвания шпал / И. К. Божелко, А. П. Фридрих // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2010. – Вып. XVIII. – С. 157–160.
4. Баракс, А. М. Глубокая пропитка древесины путем применения наколов / А. М. Баракс, Ю. Н. Никифоров, под общ. ред. А. М. Баракс. – 2-е изд. – М.: Лесная пром-сть, 1969. – 176 с.

Поступила 22.02.2013



а



б

Рис. 4. Результат расчета статистических узловых напряжений, возникающих в ноже при двухстороннем нагружении:
а – эпюра нагружений;
б – эпюра запаса прочности

УДК 674.04.047.3

О. Г. Рудак, младший научный сотрудник (БГТУ);**Н. В. Мазаник**, кандидат технических наук, старший преподаватель (БГТУ);**В. Б. Снопков**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой (БГТУ)

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ НАЧАЛЬНОГО ПРОГРЕВА В НЕНАСЫЩЕННОЙ СРЕДЕ

В статье приведены результаты эксперимента по прогреву древесины в ненасыщенной среде. На основе экспериментальных данных разработана математическая модель процесса прогрева. Показано, что использование модели позволяет существенно повысить достоверность определения продолжительности данной операции.

The results of the experiment of wood heating in non-saturated environment are given. Based on the experimental data a mathematical model of the process of heating is creating. It is shown that the use of the model can significantly improve the accuracy of determining of the operation duration.

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

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

Таблица 1

Структура расхода тепловой энергии при проведении цикла сушки в камере СМ-35«Incorplan» (Италия)

Статья расхода теплоты	Доля расходуемой тепловой энергии, %	
	Для средне- годовых условий	Для зимних условий
Прогрев материала	8,9	16,9
Испарение влаги	82,1	70,2
Потери через ограждения	9,0	12,9
<i>Итого</i>	100	100

Как видно из таблицы, доля энергозатрат на начальный прогрев материала варьирует в диапазоне 9–16%, существенно возрастающая в зимний период. Следует, однако, учитывать, что на практике расход энергии на начальный прогрев зачастую оказывается значительно выше расчетного. В первую очередь это связано с неправильным определением продолжительности прогрева. Как правило, продолжительность, устанавливаемая нормативными документами, изначально дается с запасом, поскольку переход к

стадии интенсивной сушки до достижения древесины температуры среды чреват возникновением различных дефектов. К таким дефектам можно отнести не только рост внутренних напряжений и растрескивание поверхностных слоев пиломатериалов, но и так называемую «цементацию» поверхностного слоя, которая в дальнейшем препятствует свободному испарению влаги с поверхности и замедляет сушку. Превышение же необходимой продолжительности начальной обработки в свою очередь влечет большой перерасход энергии, что непосредственно отражается на себестоимости сушки. Особенно часто с такой ситуацией сталкиваются на предприятиях, которые по каким-либо причинам допускают отступления от стандартной процедуры проведения прогрева. Так, например, «Руководящие технические материалы» предписывают проводить прогрев древесины при температуре на 5–8°C выше температуры первой ступени сушки. При этом значения психрометрической разности должны находиться в диапазоне 0,5–1,5°C. Однако состояние многих сушильных камер (в частности, значительный физический износ калориферов и отсутствие увлажнительных труб) не позволяет добиться такой высокой степени насыщенности сушильного агента. В результате прогрев древесины производится в среде с неконтролируемыми параметрами относительной влажности воздуха.

Основная часть. Последние исследования в области тепловой обработки древесины показывают, что проведение начального прогрева материала в ненасыщенной среде в большинстве случаев позволяет уменьшить расход энергии без снижения качества обрабатываемого материала. По этой причине в последнее время все чаще практикуется проведение прогрева с применением режимов, предусматривающих использование обрабатываемого агента с от-

носителем влажностью менее 95%. Очевидно, что при использовании таких режимов продолжительность прогрева будет отличаться от определенной традиционными методами.

Как известно, существует возможность точного определения точки завершения операции начального прогрева при использовании специальных датчиков температуры древесины. Эти датчики представляют собой устанавливаемые в контрольные доски штабеля термометры сопротивления, которыми производят непрерывное измерение температуры в центре сортимен-та. По достижении контрольными досками температуры, заданной для данной породы древесины, процесс прогрева заканчивается и выполняется переход на первую ступень сушки. Следует, однако, учитывать, что в отличие от датчиков влажности, датчики температуры древесины не входят в стандартный комплект оборудования сушильной камеры и должны устанавливаться потребителем, что приводит к дополнительным затратам. Кроме того, большинство систем автоматического регулирования процесса сушки использование таких датчиков не предусматривает.

С учетом вышесказанного мы пришли к выводу о необходимости применения математического моделирования для прогнозирования продолжительности операции начального прогрева в ненасыщенной среде. Математическая модель была разработана на основе экспериментальных данных, полученных в лабораторных условиях. Эксперимент проводился в климатической камере, обеспечивающей поддержание заданной температуры и относительной влажности обрабатываемой среды. В качестве образцов использовались пиломатериалы сосны

радиальной распиловки. Варьируемыми факторами являлись:

- 1) температура обрабатываемой среды ($T = X_1$);
- 2) начальная влажность пиломатериалов ($W_n = X_2$);
- 3) толщина пиломатериалов ($S = X_3$).

В качестве функции отклика рассматривалась продолжительность достижения центральным слоем древесины температуры среды.

При планировании эксперимента был использован В-план второго порядка. В соответствии с методикой [1] каждый фактор варьировался на трех уровнях, т. е. принимал в каждом опыте одно из трех значений: наименьшее X_{min} , наибольшее X_{max} , либо среднее $X_{cp} = (X_{min} + X_{max}) / 2$. Таким образом, при диапазоне варьирования 40–80°C температура в эксперименте устанавливалась на уровнях 40, 60, 80°C. Диапазон изменения толщин составил 20–60 мм, уровни варьирования соответственно 20, 40 и 60 мм. Диапазон изменения влажности – 30–70%, уровни варьирования соответственно – 30, 50 и 70%. План эксперимента в нормированных значениях переменных факторов представлен в табл. 2. Результаты эксперимента можно видеть в табл. 3.

На основе экспериментальных данных была определена регрессионная зависимость функции отклика от зависимых и независимых факторов.

$$\tau = 553,25 - 20,8 \cdot T - 8,95 \cdot S + 10,1 \cdot W_n + 0,12 \cdot T \cdot S - 0,032 \cdot S \cdot W_n - 0,03 \cdot T \cdot W_n + 0,18 \cdot T^2 + 0,073 \cdot S^2 - 0,013 \cdot W_n^2, \quad (1)$$

где T – температура обрабатываемой среды, °C; W_n – начальная влажность пиломатериалов, %; S – толщина пиломатериалов, мм.

Таблица 2

План проведения эксперимента

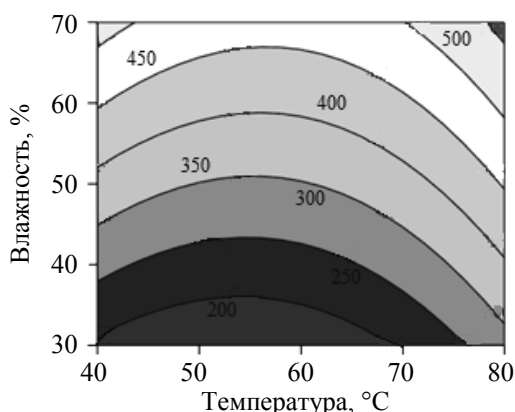
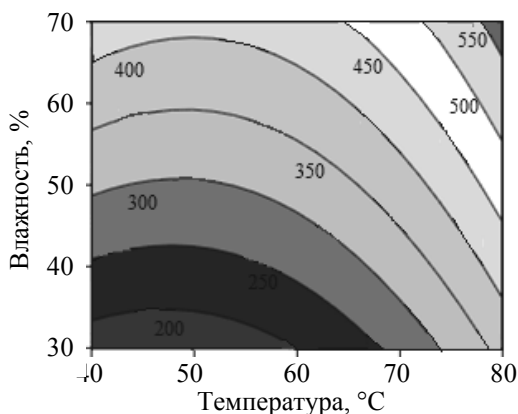
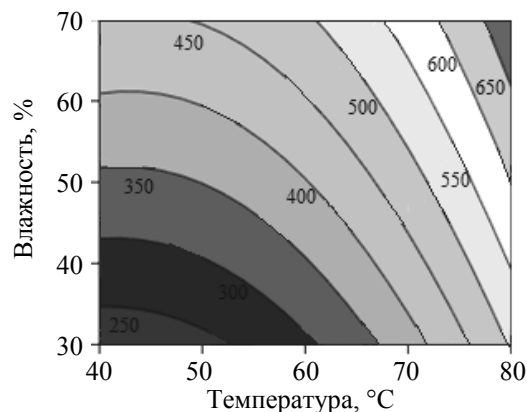
№	X_0	X_1 (T , °C)	X_2 (S , мм)	X_3 (W_n , %)	$X_1 \cdot X_2$	$X_2 \cdot X_3$	$X_1 \cdot X_3$	X_1^2	X_2^2	X_3^2
1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
2	+1	-1	+1	+1	-1	+1	-1	+1	+1	+1
3	+1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	+1
4	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1
5	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	+1	+1
6	+1	-1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1
7	+1	+1	-1	-1	-1	+1	-1	+1	+1	+1
8	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
9	+1	+1	0	0	0	0	0	+1	0	0
10	+1	-1	0	0	0	0	0	+1	0	0
11	+1	0	+1	0	0	0	0	0	+1	0
12	+1	0	-1	0	0	0	0	0	+1	0
13	+1	0	0	+1	0	0	0	0	0	+1
14	+1	0	0	-1	0	0	0	0	0	+1

Таблица 3

Результаты эксперимента

№ опыта	Уровень варьируемого фактора			Средняя продолжительность прогрева, τ , мин
	X_1 (T , °C)	X_2 (S , мм)	X_3 ($W_{нз}$, %)	
1	80	60	70	683
2	40	60	70	439
3	80	20	70	509
4	40	20	70	468
5	80	60	30	507
6	40	60	30	224
7	80	20	30	292
8	40	20	30	192
9	80	40	50	468
10	40	40	50	312
11	60	60	50	400
12	60	20	50	294
13	60	40	70	440
14	60	40	30	187

На нижеследующих поверхностях отклика, построенных на основе модели, можно видеть, как меняется продолжительность прогрева в ненасыщенной среде при фиксированном значении толщины пиломатериалов (рис. 1–3).

Рис. 1. Продолжительность прогрева при толщине пиломатериалов $S = 20$ ммРис. 2. Продолжительность прогрева при толщине пиломатериалов $S = 40$ ммРис. 3. Продолжительность прогрева при толщине пиломатериалов $S = 60$ мм

Полученная зависимость позволяет прогнозировать продолжительность прогрева материалов при различных сочетаниях переменных факторов. Проверка уравнения регрессии с использованием критерия Фишера подтвердила адекватность данной модели.

Нами также был проведен сравнительный анализ продолжительности начального прогрева, определенного с использованием разработанной регрессионной модели и методик, которые в настоящее время применяются при определении продолжительности данной операции в производственных условиях (табл. 4).

Первая из этих методик, несмотря на свою примитивность, наиболее широко используется в практике сушки. В соответствии с этой методикой продолжительность начального прогрева ориентировочно принимают равной для мягких хвойных пород – 1,5 ч на каждый сантиметр толщины пиломатериалов. Для мягких лиственных пород это время увеличивают на 25%, для твердых лиственных пород – на 50% [2], т. е. $\tau_{нп. хв} = 1,5 \cdot S$, $\tau_{нп. л. листв} = 1,5 \cdot S \cdot 1,25$, $\tau_{нп. тв. листв} = 1,5 \cdot S \cdot 1,5$.

Вторая методика заключается в определении продолжительности прогрева табличным методом по формуле:

$$\tau_{нп} = \tau_{нп0} \cdot A_t \cdot A_w \cdot A_{п} \cdot A_{ш}, \quad (2)$$

где $\tau_{нп0}$ – исходная продолжительность начального прогрева, определенная для сосновых пиломатериалов влажностью 60%, имевших начальную температуру от 0 до (-20) °C и уложенных в штабель шириной 1,8 м при температуре обрабатывающей среды 80°C и психрометрической разности 1°C; A_t , A_w , $A_{п}$, $A_{ш}$ – коэффициенты, учитывающие соответственно начальную температуру древесины и температуру обрабатывающей среды, категорию режима сушки, скорость циркуляции сушильного агента, влажность и породу древесины, ширину штабеля.

Таблица 4

Результаты определения продолжительности прогрева материалов различными методами

№	Исходные данные для определения продолжительности прогрева			Продолжительность начального прогрева τ , ч, определенная			
	Температура среды T , °C	Толщина пиломатериалов S , мм	Начальная влажность древесины $W_{нз}$, %	экспериментальным путем	с использованием разработанной модели	по методике приближенного расчета	табличным методом
1	80	60	70	683	684	540	255
2	40	60	70	439	448	540	225
3	80	20	70	509	514	180	111
4	40	20	70	468	470	180	98
5	80	60	30	507	505	540	220
6	40	60	30	224	221	540	194
7	80	20	30	292	284	180	96
8	40	20	30	192	192	180	85
9	80	40	50	468	473	360	183
10	40	40	50	312	309	360	162
11	60	60	50	400	398	540	210
12	60	20	50	294	298	180	92
13	60	40	70	440	428	360	173
14	60	40	30	187	199	360	150

Анализируя данные, приведенные в табл. 4, легко заметить, что значения, полученные с использованием математической модели, очень близки к экспериментальным данным, что еще раз подтверждает адекватность регрессионной зависимости. В то же время значения продолжительности начального прогрева, полученные с использованием общепринятых методик, не только существенно отличаются от экспериментальных данных, но и вдвое, и даже в некоторых случаях и больше, разнятся между собой.

Заключение. По результатам описанных исследований могут быть сделаны следующие выводы.

1) Расход тепловой энергии на проведение операции начального прогрева пиломатериалов в камерах периодического действия напрямую зависит от своевременности окончания данной операции.

2) Традиционные методики расчета продолжительности начального прогрева не обладают достаточной точностью и неприемлемы в случае прогрева древесины в ненасыщенной среде.

3) Для расчета продолжительности прогрева пиломатериалов в ненасыщенной среде целесообразно использовать математическую модель, полученную эмпирическим путем. Применение данной модели позволит повысить достоверность определения точки перехода от стадии прогрева к первой стадии процесса сушки и тем самым не только сократить энергозатраты, но и избежать появления дефектов.

Литература

1. Пижурин, А. А. Основы научных исследований в деревообработке / А. А. Пижурин, А. А. Пижурин. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2005. – 305 с.
2. Снопков, В. Б. Гидротермическая обработка и защита древесины. Примеры и задачи: учеб. пособие для студентов специальности «Технология деревообрабатывающих производств» / В. Б. Снопков. – Минск: БГТУ, 2005. – 240 с.

Поступила 21.02.2013

УДК 674.04.047.3

О. Г. Рудак, младший научный сотрудник (БГТУ); **В. В. Дорожко**, магистрант (БГТУ);
Н. В. Мазаник, кандидат технических наук, старший преподаватель (БГТУ)

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ НАЧАЛЬНОГО ПРОГРЕВА ЗАМОРОЖЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Исследовано влияние различных технологических факторов на продолжительность начального прогрева замороженной древесины. Получены уравнения, связывающие продолжительность прогрева с показателями базисной плотности, влажности и размерными характеристиками обрабатываемых пиломатериалов, их начальной и конечной температурой.

The impact of various technological factors on the duration of the initial heating of frozen wood is investigated. The equations which relate the duration of heating to the baseline density, moisture content and size characteristics of treated lumber, their initial and final temperatures are obtained.

Введение. Процесс сушки пиломатериалов в камерах периодического действия проходит в несколько этапов. Начальный прогрев является первой технологической операцией процесса сушки пиломатериалов. Прогрев проводится с целью доведения температуры высушиваемого материала до уровня температуры сушильного агента.

В настоящее время на территории Республики Беларусь широко используются сушильные камеры зарубежных производителей. Технологические режимы, применяемые в программном обеспечении систем автоматизации данных камер, позволяют производить сушку пиломатериалов при условии минимизации энергозатрат и вероятности возникновения брака в процессе сушки. Однако в связи с тем, что технологические режимы для данных камер разрабатывались на территории стран, климат в которых, в той или иной степени, отличается от климатических условий Республики Беларусь, при разработке данных режимов не были учтены некоторые факторы, характерные для белорусских деревообрабатывающих предприятий. В частности, при разработке режимов используется такая характеристика древесины, как ее удельный вес, который различается для разных условий произрастания дерева. Кроме того, при разработке режимов начального прогрева не учтены характерные условия работы белорусских предприятий в зимний период, когда на участок сушки поступают замороженные пиломатериалы. Учет начальной температуры пиломатериалов особенно важен при назначении режимов начального прогрева.

Вышеуказанные факты позволяют предположить, что используемые в настоящее время режимы начального прогрева древесины не соответствуют реальным производственным условиям в Республике Беларусь, что негативно сказывается на рациональном использовании энергоресурсов предприятиями и качестве получаемой продукции.

Целью настоящей работы было определение характера влияния различных технологических факторов на продолжительность начального прогрева замороженной древесины.

Методика проведения расчетов. Процесс сушки древесины нагретым воздухом состоит из трех последовательных этапов: нагревания влажных пиломатериалов (2–6% от общей продолжительности сушки), собственно сушки с испарением влаги (95–85%) и охлаждения, высушенной древесины (2–6%).

Как известно, тепловой поток q внутри твердого тела прямопропорционален градиенту температуры dt/dx в направлении x потока и коэффициенту теплопроводности λ :

$$q = -\lambda \frac{dx}{dt}. \quad (1)$$

Знак минус показывает, что поток направлен в сторону понижения температуры тела.

В наших исследованиях в целях упрощения были приняты некоторые допущения и ограничения. В отношении распространения тепла по поперечному сечению доски древесину можно приравнять к изотропному телу, за исключением случаев, когда predetermined достаточно ориентированное направление теплового потока в радиальном или в тангенциальном направлениях. Начальная температура древесины считалась одинаковой по всему объему, температура среды постоянной, как над всей поверхностью материала, так и во времени. Было принято, что тепло распространяется лишь в направлении по толщине материала, имеющего форму бесконечной пластины.

Выражения, определяющие температуру той или иной точки одномерного тела в зависимости от ее координаты и времени, получены в результате интегрирования дифференциального уравнения Фурье. Оно описывает закон распределения температур по толщине пластины при нестационарном тепловом режиме применительно

к одномерной задаче и отражает зависимость между скоростью нагревания, тепловыми свойствами тела и градиентами температур в теле:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}, \quad (2)$$

где a – коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2/\text{с}$; τ – время, ч; x – координата в направлении теплового потока, м.

По выражениям, полученным при граничных условиях (3), установлено, что количество тепла, переносимого в единицу времени посредством теплопроводности с поверхности внутрь тела, равно количеству тепла, воспринимаемого за это же время поверхностью из окружающей среды:

$$-\lambda \left[\frac{dt}{dx} \right] = \alpha (t_c - t_{\text{пов}}), \quad (3)$$

где λ – коэффициент теплопроводности древесины, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$; α – коэффициент теплообмена, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$; t_c – температура среды, °C ; $t_{\text{пов}}$ – температура поверхности образца, °C .

Искомое решение представляет собой в общем виде функцию, которую можно после пре-

образования использовать для вычисления продолжительности начального прогрева при различных начальных условиях:

$$\theta = f \left(\frac{x}{R}; F_0; Bi \right), \quad (4)$$

где R – половина толщины или радиус тела, м; F_0 – безразмерный критерий Фурье; Bi – безразмерный критерий Био ($0 < Bi < \infty$); θ – безразмерная температура.

Для определения величины безразмерного критерия Bi необходимо использовать следующую формулу:

$$Bi = \frac{\alpha R}{\lambda}, \quad (5)$$

где λ – коэффициент теплопроводности древесины, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$; α – коэффициент теплообмена, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$; R – половина толщины, или радиус тела, м.

Расчеты проводились для типичных для белорусских деревообрабатывающих предприятий пород древесины (сосна, береза, дуб). Условия проведения эксперимента для каждой из пород представлены в табл. 1.

Таблица 1

Условия проведения эксперимента

Начальная температура, °C	Толщина, мм	Начальная влажность, %	Конечная температура, °C	Начальная температура, °C	Толщина, мм	Начальная влажность, %	Конечная температура, °C	
-10	32	25	40	15	32	25	40	
			60				60	
			80				80	
		50	40			50	40	
			60				60	
			80				80	
		75	40			75	40	
			60				60	
			80				80	
	40	25	40		40	25	25	40
			60					60
			80					80
		50	40			50	40	
			60				60	
			80				80	
		75	40			75	40	
			60				60	
			80				80	
	50	25	40		50	25	25	40
			60					60
			80					80
		50	40			50	40	
			60				60	
			80				80	
75		40	75	40				
		60		60				
		80		80				

Также при расчете учитывались два возможных варианта прогрева древесины – прогрев в насыщенной и ненасыщенной среде. Таким образом, общее количество вариантов составило 162.

Результаты исследований. В ходе проведенных исследований был определен характер влияния базисной плотности, толщины, начальной и конечной температуры, а также начальной влажности древесины и параметров среды на продолжительность начального прогрева.

Результаты исследований представлены в табл. 2, 3 и 4. В данных таблицах показано, как изменяются значения продолжительности начального прогрева в зависимости от того или иного технологического фактора.

Таблица 2

Продолжительность прогрева при $W = 25\%$

$T_{\text{ср}}, ^\circ\text{C}$	$W, \%$	$S, \text{мм}$	$\tau_{\text{ненас}}, \text{ч}$	$\tau_{\text{нас}}, \text{ч}$
40	25	32	0,31	0,76
		40	0,48	0,99
		50	0,75	1,34
60		32	0,39	1,02
		40	0,61	1,38
		50	0,95	1,91
80		32	0,47	1,27
		40	0,73	1,63
		50	1,15	2,17

Таблица 3

Продолжительность прогрева при $T_{\text{ср}} = 40^\circ\text{C}$

$T_{\text{ср}}, ^\circ\text{C}$	$W, \%$	$S, \text{мм}$	$\tau_{\text{ненас}}, \text{ч}$	$\tau_{\text{нас}}, \text{ч}$
40	25	32	0,31	0,76
		40	0,48	0,99
		50	0,75	1,34
	50	32	0,32	0,95
		40	0,50	1,32
		50	0,77	1,62
	75	32	0,36	1,15
		40	0,57	1,62
		50	0,89	2,23

Таблица 4

Продолжительность прогрева при $T_{\text{н}} = 15^\circ\text{C}$ и -10°C

$T_{\text{ср}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{н}}, ^\circ\text{C}$	$S, \text{мм}$	$\tau_{\text{ненас}}, \text{ч}$	$\tau_{\text{нас}}, \text{ч}$
40	15	32	0,31	0,76
		40	0,48	0,99
		50	0,75	1,34
	-10	32	0,59	1,56
		40	0,92	1,95
		50	1,36	2,12

Анализ полученных данных показал, что на продолжительность начального прогрева суще-

ственное влияние оказывают все переменные факторы, что подтверждает необходимость использования режимов сушки, которые учитывают все эти факторы. Так, в табл. 2 представлена зависимость продолжительности начального прогрева от конечной температуры древесины (температуры среды). Из полученных данных видно, что при влажности 25%, для толщин 32 мм, 40 мм, 50 мм, при возрастании температуры среды от 40 до 80°C продолжительность начального прогрева увеличивается в среднем на 30% как в насыщенной, так и ненасыщенной среде.

В табл. 3 показана зависимость продолжительности начального прогрева от начальной влажности. Можно видеть, что при конечной температуре древесины, равной 40°C, для толщин 32 мм, 40 мм, 50 мм, при возрастании начальной влажности пиломатериалов от 25 до 75°C, продолжительность начального прогрева также увеличивается в среднем на 30% как в насыщенной, так и в ненасыщенной среде.

В табл. 4 представлена зависимость продолжительности начального прогрева от начальной температуры (температуры пиломатериалов при подаче в камеру). При анализе полученных данных можно видеть, что при конечной температуре, равной 40°C, для толщин 32 мм, 40 мм, 50 мм, при возрастании начальной температуры пиломатериалов от -10°C до +15°C, продолжительность начального прогрева увеличивается в среднем в 2 раза как для насыщенной, так и ненасыщенной среды.

Заключение. В результате проведения исследования были получены зависимости, отражающие влияние различных технологических факторов на продолжительность начального прогрева замороженной древесины. Установлено, что отрицательная начальная температура пиломатериалов оказывает значительное влияние на продолжительность операции прогрева. Тем не менее данный показатель не учитывается при назначении параметров обрабатывающего агента в современных камерах импортного и отечественного производства. Данный факт свидетельствует о необходимости адаптации существующих режимов начального прогрева к условиям Республики Беларусь.

Литература

1. Лыков, А. В. Методы определения теплопроводности и температуропроводности древесины / А. В. Лыков. – М.: Энергия, 1973.
2. Сычевский, В. А. Процессы теплообмена, деформации и подвижные границы в дисперсных системах / В. А. Сычевский. – Минск: Ин-т тепло- и массообмена им. Лыкова НАН Беларуси, 2009.

Поступила 21.02.2013

ОБЩЕИНЖЕНЕРНЫЕ ВОПРОСЫ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

УДК 674.023

А. Ф. Аникеенко, ассистент (БГТУ);

А. П. Фридрих, кандидат технических наук, доцент (БГТУ); **Я. И. Сороченко**, студент (БГТУ)

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ЛАМИНИРОВАННЫХ ДСП МЕТОДОМ ФРЕЗЕРОВАНИЯ

В статье рассмотрены существующие методики расчета технологических режимов обработки фрезерования натуральной древесины и древесных композиций и их основные недостатки в разрезе современного производства, силообразования, затупления и качества поверхности при фрезеровании инструментов. Проведены исследования в направлении моделирования влияния основных переменных факторов на путь контакта реза в объекте обработки, длину без дефекта обработанных кромок ламинированных древесностружечных плит, продолжительность работы инструмента до потери его работоспособности и мощность, затрачиваемую на процесс резания. Предложены новая методика и алгоритм расчета рациональных режимов фрезерования древесностружечных ламинированных плит.

In article existing design procedures of technological modes of processing of milling of natural wood and wood compositions are considered. Their basic lacks of a cut of modern manufacture are considered. Questions force of formation are considered, blunting and qualities of a surface at milling of tools are conducted researches in a direction of modeling of influence of the basic variable factors on a way of contact of a cutter to object of processing, length without defect of the processed edges reinforced wood particle board, operation time of the tool before loss of its working capacity and the capacity spent for process of cutting. The new technique and algorithm of calculation of rational modes of milling reinforced wood particle board is offered.

Введение. Основные требования, предъявляемые к теории резания, – получение продукции установленного качества с наименьшими энергозатратами при необходимой производительности. С учетом данных требований существующая методика расчетов технологических режимов для фрезерования натуральной древесины предусматривает расчеты скорости подачи обрабатываемых заготовок с учетом возможностей используемого оборудования по критерию энергоемкости и требований к шероховатости поверхности [1].

Однако данная методика расчетов рациональных режимов обработки ламинированных древесностружечных плит не нашла применения в деревообрабатывающих производствах.

Основная часть. В настоящее время обработка плитных материалов методом фрезерования осуществляется на оборудовании, где есть возможность обрабатывать материалы, имеющие ширину, значительно превышающую их толщину. В данном оборудовании используется механизм резания, оснащенный приводом большей мощности (свыше 15 кВт). В этом случае расчет максимально возможной скорости подачи с учетом ограничений по мощности привода механизма резания не имеет смысла.

Качество обработки древесины характеризуется длиной и глубиной волны. При обработке облицованных плитных материалов данный критерий в виде кинематических неровностей на обработанной поверхности не может служить оценкой качества. Практика показала: наличие на обработанной поверхности даже незначительных неровностей в виде сколов недопустимо. Образование сколов в данном случае зависит не только от состояния главной режущей кромки, т. е. степени ее округления, но и от технологии процесса резания, включающей выбор геометрии инструмента, его режимных показателей, величины припуска и т. д.

Длительность взаимодействия лезвия с обрабатываемым материалом вызывает при фрезеровании натуральной древесины округление режущей кромки, что приводит к росту энергозатрат и ухудшению качества обработанной поверхности.

При фрезеровании плитных материалов характер округления режущих кромок имеет значительные отличия. При обработке натуральной древесины главная режущая кромка имеет форму, примерно близкую к окружности с некоторым радиусом. При фрезеровании древес-

ностружечных плит из-за наличия связующих наблюдается интенсивный линейный износ по биссектрисе угла заострения и образование фаски на задней поверхности лезвия. Необходимо отметить, что линейный износ в наружных слоях плиты выше, чем в средней зоне контакта лезвия с материалом в 3–5 и более раз.

Наличие высокоабразивного износа обрабатываемого материала вызвало необходимость использовать ножи, изготовленные из твердых и сверхтвердых материалов. Однако до настоящего времени не разработаны рекомендации по потере режущей способности каждого отдельно взятого твердого и сверхтвердого материала в зависимости от вида обработки.

Таким образом, существующая методика определения затрат мощности на резание с получением предполагаемого качества обработки при фрезеровании древесины не может быть положена в основу для выполнения технологических расчетов по установлению режимов резания ламинированных древесностружечных плит.

В результате проведения экспериментальных исследований были получены математические модели влияния переменных факторов на выходные показатели:

длину обрабатываемой поверхности:

$$L = -162,58 + 392,58e - 21,32h + 4,868V + 1,852D + 116,53eh + 2,864eD - 0,438hV - 0,243hD - 0,041VD - 617,3e^2 + 15,71h^2; \quad (1)$$

длину дуги контакта:

$$l = -2135,4 - 3626,7e + 973h + 59,15V + 21,645D - 746,7eh + 51,27eV + 15,02eD - 12,51hV - 2,09hD - 0,5123VD; \quad (2)$$

период стойкости инструмента:

$$T = -30,66 - 50,1e + 8,58h + 0,604V + 0,49D - 4,53eh + 1,106eV - 0,104hV - 0,037hD - 0,0092VD; \quad (3)$$

полезную мощность процесса фрезерования:

$$P = -37 + 1357e - 14h + 3V - 0,3D + 353eh + 19eV + 2,6hV - 4222e^2 - 20h^2. \quad (4)$$

Математические модели позволили разработать рекомендации по назначению рациональных режимов обработки ламинированных ДСтП на станках с ЧПУ в зависимости от приоритетности выходного показателя.

При необходимости получения максимальной производительности процесса с обеспечением установленного качества другие выходные показатели могут значительно ухудшать свои значения (ресурсосбережение), наименьшие энергозатраты не позволяют получать высокий показатель производительности процесса и периода стойкости инструмента (энергосбережение).

Результаты проведенных исследований позволили установить, что значения выходных показателей должны корректироваться поправочными коэффициентами: при использовании ножей из сплава ВК15 – 1, ВК8 – 1,7 и ВК6 ОМ – 2,2.

В табл. 1 и 2 приведен пример расчета стоимости потребляемой мощности при фрезеровании ламинированных древесностружечных плит и расчета потребности в ножах на обработку 10 000 пог. м кромок ламинированных древесностружечных плит.

Таблица 1

Расчет стоимости потребляемой мощности при фрезеровании ламинированных древесностружечных плит

Расчетные показатели и зависимости	Диаметр фрезы			
	D = 100 мм		D = 140 мм	
	z1 = 3	z2 = 4	z1 = 3	z2 = 4
1. Скорость подачи заготовок, обеспечивающая выполнение сменной производительности, V_s , м/мин $V_s = \frac{L_{cm}}{T_{cm}} = \frac{10000}{420} = 24$ м/мин	24	24	24	24
2. Подача на режущий элемент S_z , мм [1] $S_z = \frac{1000V_s}{zn}$	1,33	1,0	1,33	1,0
3. Синус кинематического угла встречи $\sin \theta = \sqrt{\frac{h}{D}}$	0,1414	0,1414	0,1195	0,1195
4. Средняя толщина стружки e , мм $e = S_z \sin \theta$	0,188	0,141	0,159	0,120

Окончание табл. 1

Расчетные показатели и зависимости	Диаметр фрезы			
	D = 100 мм		D = 140 мм	
	z1 = 3	z2 = 4	z1 = 3	z2 = 4
5. Скорость резания V , м/с $V = \frac{\pi D n}{60 \cdot 1000}$	31,4	31,4	44,0	44,0
6. Мощность, затрачиваемая на резание острыми ножами, P , кВт, с учетом ширины обработки $\left(K_2 = \frac{20}{16} = 1,25\right)$	0,541	0,468	0,660	0,576
7. Расход мощности на выполнение программы $P_{см}$, кВт, по обработке плит острыми ножами	3,787	3,276	4,620	4,032
8. Поправочный коэффициент на расход мощности с учетом округления лезвий ножей K_1	1,379	1,412	1,400	1,427
9. Расход мощности на выполнение программы с учетом периода стойкости инструмента $P_{см}$, кВт (ф-ла (4))	4,507	3,951	5,544	4,895
10. Расчет стоимости расходуемой мощности без учета потерь ее в климатических парах механизмов станка и расхода мощности в подающем механизме, $Z_{ин}$, руб. (1 кВт принят равным 320 руб.)	1440	1260	1770	1570

Таблица 2

**Расчет потребности в ножах на обработку
10 000 пог. м кромок ламинированных древесностружечных плит**

Расчетные показатели	Диаметр фрезы			
	D = 100 мм		D = 140 мм	
	z1 = 3	z2 = 4	z1 = 3	z2 = 4
При использовании ножей из твердосплавных пластин ВК15: длина обработанных поверхностей при использовании фрез с одним ножом L , пог. м (ф-ла (1))	52,54	41,13	47,49	30,32
общая длина обработанных поверхностей ($L_{сум}$, пог. м) с учетом количества режущих элементов (z) и резцов ($p = 2$)	315,24	329,04	284,94	242,56
количество ножей для выполнения сменного задания, шт. $K_{нож} = \frac{10000z}{L_{сум}}$	96	124	108	168
стоимость одного ножа, тыс. руб.	7,7	7,7	7,7	7,7
затраты на инструмент $Z_{инстр}$, тыс. руб.	739,2	954,8	831,6	1293,6
При использовании ножей из твердосплавных пластин ВК8: длина обработанных поверхностей $L_{сум}$, пог. м	539,69	563,32	487,82	415,26
количество штук ножей для выполнения сменного задания $K_{нож}$, шт.	57	72	63	100
стоимость одного режущего элемента, тыс. руб.	8,0	8,0	8,0	8,0
затраты на инструмент для выполнения сменного задания $Z_{инстр}$, тыс. руб.	456,0	576,0	504,0	800,0
При использовании ножей из твердосплавных пластин ВК60М: общая длина обработанных кромок $L_{сум}$, пог. м	692,58	722,90	626,01	532,90
количество ножей для выполнения сменного задания $K_{нож}$, шт.	45	56	48	76
стоимость одного ножа, тыс. руб.	13,9	13,9	13,9	13,9
затраты на инструмент для выполнения сменного задания $Z_{инстр}$, тыс. руб.	625,5	778,4	667,2	1056,4

При расчетах технологической задачи, указанной в принятых условиях, можно использовать зависимость (1), по которой устанавливается длина обработанных поверхностей одним комплектом режущих элементов. Отношение длины обработанной поверхности, предусмотренной сменным заданием, к длине, полученной по формуле (1), дает возможность определить расход инструмента на программу.

Как видно из расчетов, выполнение технологического процесса для принятых условий обработки ламинированных древесностружечных плит наиболее эффективно фрезами диаметром 100 мм и числом ножей $z = 3$ шт.

Однако анализ расчетных методов затрат на мощность и дереворежущий инструмент не может быть установлен окончательно, т. к. срезание стружки можно изменить за счет выбора

рациональной скорости подачи или количества ножей и увеличения высоты припуска. Нахождение рациональных режимов возможно, если принять скорость подачи, выраженную не сменным заданием, а исходя из максимально возможной длины обработанной поверхности с учетом зависимостей (1)–(4).

Заключение. В настоящее время рациональными режимами обработки плитных материалов могут быть следующие критерии:

– максимально возможное получение качественной продукции. В этом случае производство практически не учитывает затраты на выполнение технологического процесса на расход (потребление) дереворежущего инструмента и энергоносители;

– минимальные затраты на приобретаемый дереворежущий инструмент. Опыт эксплуатации оборудования, используемого для обработки ламинированных древесностружечных плит,

показывает, что потребность в инструменте возрастает по мере увеличения таких показателей, как средняя толщина стружки (подача на резец) и скорость резания. Таким образом, стремление сократить расход инструмента приводит к снижению производительности обрабатываемых станков, центров и т. д.;

– минимальные затраты на энергоносители. Из теории резания известно, что с уменьшением средней толщины стружки, высоты срезаемого припуска и скорости резания потребление энергоносителей уменьшается. Но это приводит, как и в предыдущем случае, к снижению производительности.

Литература

1. Бершадский, А. Л., Резание древесины / А. Л. Бершадский, Н. И. Цветкова. – Минск: Выш. шк., 1975. – 303 с.

Поступила 25.02.2012

УДК 674.055:621.934(043.3)

А. А. Гришкевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой (БГТУ);

В. Н. Гаранин, кандидат технических наук, старший преподаватель (БГТУ);

И. И. Бавбель, старший преподаватель (БГТУ)

ОСОБЕННОСТИ НАНЕСЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ КАТОДНО-ИОННОЙ БОМБАРДИРОВКИ НА ТВЕРДОСПЛАВНЫЕ НЕПЕРЕТАЧИВАЕМЫЕ ПЛАСТИНЫ

Разработана программа проведения исследования дереворежущих инструментов с износостойкими режущими элементами. Проведен анализ способов упрочнения ножей фрезерного инструмента для обработки древесных плитных материалов и выбран один из наиболее эффективных способов с учетом имеющегося в наличии на кафедре оборудования. Разработаны методы восстановления режущих свойств изношенных двухлезвийных твердосплавных фрезерных ножей. Изготовлены и проверены на производстве образцы ножей для получения эффективности метода упрочнения.

In work the carrying out program research of woodworking tools with wear proof cutting elements is developed. The analysis of ways of hardening of knives of the milling tool for processing of wood materials is carried out and one of the most effective ways taking into account the equipment available on chair is chosen. Techniques of restoration of cutting properties of worn-out two-edge hard-alloy milling knives are developed. Samples of knives for obtaining efficiency of a technique of hardening are made and checked on production.

Введение. Одним из современных направлений в области повышения периода стойкости инструмента является модификация его поверхностных слоев с помощью нанесения различных видов покрытий, в т. ч. композиционных электролитических покрытий (КЭП) с углеродными наноматериалами (УНМ), среди которых выделяется хром (Cr), показывающий высокие физико-механические и электрохимические свойства. Однако, несмотря на высокую микротвердость (~ 1000 кгс/мм²) Cr, КЭП с УНМ имеют достаточно высокое значение коэффициента трения по стали Ст3 ($\sim 0,4-0,6$), что предполагает неэффективность данного типа покрытий на дереворежущем инструменте.

Преимуществом метода катодно-ионной бомбардировки (КИБ) по сравнению с другими методами получения покрытий, в т. ч. и физическими способами осаждения покрытий из парогазовой фазы, является интенсивная ионная бомбардировка растущего покрытия, в результате которой происходит повышение температуры и интенсификация диффузионных процессов проникновения атомов покрытия в подложку, что значительно улучшает адгезию покрытия к твердому сплавам. Кроме того, сформированные методом КИБ нитриды тугоплавких металлов Ti, Cr, Zr и другие создают фрикционные плотные оксидные пленки, защищающие поверхность ножей инструмента от окисления и, соответственно, интенсивного износа.

Основная часть. Для продолжения выполняемой научно-исследовательской работы (НИР) [1] были выбраны фрезы с двухлезвийными ножами, которые обеспечивают быструю замену в процессе эксплуатации. Данные виды фрезер-

ного инструмента широко используются в мире на деревообрабатывающих предприятиях [2].

Цель исследований – разработка технологических режимов нанесения износостойких покрытий методом КИБ на изношенные твердосплавные ножи с восстановленной режущей способностью.

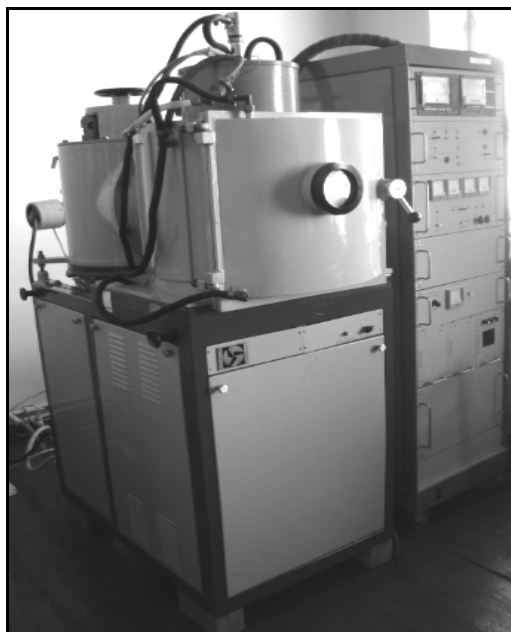
В качестве исследуемых резцов подготовлены твердосплавные двухзвенные ножи, как новые заводского исполнения, так и изношенные, которые восстанавливались до рабочего состояния путем заточки и доводки алмазными кругами. Работы по восстановлению изношенных ножей приводились на плоскошлифовальном станке. Резцы крепились на магнитной плите станка с применением упорных пластин. Обработка проводилась по передней плоскости ножа алмазным кругом ПП АСО 63/40 с минимальными припусками на обработку при обильном охлаждении СОЖ.

Целью дальнейшей работы было получение TiN ионно-плазменных покрытий на поверхности лезвий ножей фрезерного дереворежущего инструмента фирмы Leitz (Германия), исследование элементного состава импортных ножей, влияния покрытий на износ лезвий инструмента при обработке плит ДСП, в том числе и ламинированных.

Для выполнения работ по нанесению ионно-плазменных покрытий необходимо использование вакуумной установки ВУ-1Б, представленной на рисунке.

Установка предназначена для нанесения тонкопленочных износостойких покрытий толщиной от 4 мкм до 20 мкм способом конденсации вещества в вакууме с ионной бомбардиров-

кой электропроводного тугоплавкого материала, а также его соединений с различными газами.



Установка вакуумная ВУ-1Б

Для выяснения элементного состава покрытий и ножей фрезы были выполнены с помощью методов рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) и растровой электронной микроскопии (РЭМ) на микроскопах LEO-1455VP, JSM-5610LV фрактографические исследования морфологии образцов. Фазовый состав полученных TiN-, ZrN-покрытий исследовался методом рентгеноструктурного анализа (РСА) при помощи дифрактометра ДРОН-3.0.

Измерения микротвердости TiN-, ZrN-покрытий выполнялись на приборе ПМТ-3.0 методом Виккерса.

Период стойкости ножей фрезы диаметром 21 мм при резании ламинированной ДСтП толщиной 25 мм с двусторонней отделкой пластей исследовался на многооперационном обрабатывающем центре ROVER-C6.65 при следующих режимах: частота вращения фрезы – 12 000 мин⁻¹; скорость подачи – 4 м/мин; припуск – 5,0 мм/проход; толщина стружки на дуге контакта – 0,15 мм; величина длины резания – 10 000 м. п. Критерием потери режущей способности лезвия ножа являлось появление сколов отделки плиты.

Фрикционные испытания проводились на трибометре ТАУ-1М по методу «палец – поверхность» в условиях сухого трения при возвратно-поступательном движении столика с образцами со скоростью 4 мм/с и нагрузке 0,5 Н на твердосплавный индентор.

TiN-, ZrN-покрытия осаждались на поверхность двухлезвийных ножей хвостовых фрез

методом КИБ на установке ВУ-1Б «Булат» на кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов БГТУ в два этапа – с предварительной обработкой ионами металла в вакууме 10–3 Па при потенциале подложки 1 кВ с последующим нанесением покрытий при токе горения дуги катода 100 А и опорном напряжении – 100 В в атмосфере азота при давлении 1–10 Па. Для получения высокой адгезии покрытия к лезвию ножа варьировалось время ионной очистки и время непосредственного осаждения покрытия. Температура при осаждении покрытия соответствовала 400–450°С. Толщина полученных покрытий не превышала 1,5 мкм.

Упрочненные ионно-плазменными TiN-, ZrN-покрытиями импортные двухлезвийные ножи из WC-Co твердого сплава, применяемые для резания ламинированных ДСтП станками и центрами с ЧПУ, имеют период стойкости в 1,3–1,4 раза больше по сравнению с необработанными ножами.

Таким образом, проведенные опытно-промышленные испытания подтверждают необходимость дальнейших исследований в направлении повышения периода стойкости дереворежущего фрезерного инструмента методом КИБ-обработки ножей фрез и тем самым увеличения ресурса работы дереворежущего инструмента.

Заключение. Разработана программа проведения исследования дереворежущих инструментов с износостойкими режущими элементами.

Проведен анализ способов упрочнения ножей фрезерного инструмента для обработки древесных плитных материалов и выбран один из наиболее эффективных способов с учетом имеющегося в наличии на кафедре оборудования.

Разработаны методы восстановления режущих свойств изношенных двухлезвийных твердосплавных фрезерных ножей.

Изготовлены образцы ножей для проведения дальнейших исследований согласно разработанной программе.

Подобрано оборудование и методика проведения лабораторных и промышленных испытаний дереворежущих инструментов с износостойкими режущими элементами.

Литература

1. Влияние TiN-покрытий твердосплавных ножей на эксплуатацию дереворежущего фрезерного инструмента при обработке ламинированных ДСтП / А. В. Алифанов [и др.] // Труды БГТУ 2012. – № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. – С. 207–211.

2. Каталоги фирм: Leitz, Leuco, Guhdo, Stehle, Faba, Freud. – 2008–2009.

Поступила 25.02.2013

УДК 674.053

В. Т. Лукаш, соискатель, заведующий лабораторией (БГТУ);**С. А. Гриневич**, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);**А. А. Гришкевич**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой (БГТУ);**А. Н. Угляница**, студент (БГТУ)

УДЕЛЬНАЯ РАБОТА РЕЗАНИЯ ПРИ РАСКРОЕ ЛАМИНИРОВАННЫХ ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ (ЛДСтП) ДИСКОВЫМИ ПИЛАМИ

Обеспечение качественного раскроя ламинированных древесностружечных плит дисковыми пилами с пластинами твердого сплава является серьезной проблемой в мебельной промышленности. Для решения этой проблемы разрабатываются новые профили зубьев пил, новые инструментальные материалы, оптимизируются режимы обработки. При этом внедрение каждого нового профиля требует проведения исследований сил резания, мощности, технологической стойкости инструмента и, как результат, разработки рекомендаций для производства.

В статье приведены результаты расчета по экспериментальным данным удельной работы резания при раскрое ламинированных древесностружечных плит твердосплавными пилами с плоскотрапецевидным профилем зуба. Удельная работа резания для тех же условий также была рассчитана по устоявшейся в деревообработке методике. Сравнительный анализ показал, что зависимости имеют идентичный характер, но существенно отличаются в численных значениях.

Providing qualitative cutting the laminated chipboard plates of disk saws with plates of a hard-face alloy is a serious problem in the furniture industry. New profiles of teeths of the saws, new tool materials are developed for the solution of this problem, processing modes are optimized. Thus introduction of each new profile demands carrying out researches of forces of cutting, power, technological stability of the tool which is equipped with it and, as result, development of recommendations for production.

Results of calculation on experimental data of specific work of cutting are given in article at cutting the laminated chipboard plates by hard-alloy saws with a plainly-trapezoid profile of tooth. Specific work of cutting for the same conditions also was calculated by the technique which has settled in a woodworking. The comparative analysis showed that dependences have identical character, but essentially differ in numerical values.

Введение. Деревообрабатывающая промышленность относится к числу непрерывно совершенствующихся отраслей: меняются технологические процессы, модернизируется старое и внедряется новое оборудование, применяется более производительный инструмент. Современный рынок дереворежущего инструмента достаточно насыщен, и зачастую производителю трудно сориентироваться при выборе. Как правило, он руководствуется только своими знаниями и полученным производственным опытом. Старая методическая и нормативная база, к сожалению, сегодня не совсем актуальна, а новой обучающей литературы и публикаций исследователей недостаточно.

Авторами было принято решение более глубоко изучить процесс обработки современных плитных материалов дисковыми пилами с пластинами твердого сплава с целью определения наиболее выгодных условий их обработки и предложения необходимых рекомендаций.

Область исследований была выбрана не случайно. В мебельной промышленности сегодня широко используются различные древесные композиционные материалы, и в частности древесностружечные плиты, облицованные пленками на основе термореактивных полимеров.

Некоторые аспекты процесса пиления ДСтП поднимались учеными и ранее, но они касались

в основном обработки необлицованных плит [1, 2], и, как правило, результаты были получены для пил из инструментальных сталей либо пил с пластинками твердого сплава, изготовленных согласно ГОСТ 9769–79 [3]. Полученные данные не могут отражать реальной картины обработки ламинированных ДСтП, т. к. последние, кроме повышенной абразивной способности, свойственной всем композиционным материалам, обладают и хрупким облицовочным покрытием, от качества обработки которого в основном и зависит качество выполнения операции пиления.

Кроме того, рекомендуемые ГОСТ 9769–79 пилы для распиловки плитных материалов сегодня уже мало используются, да и сам нормативный документ требует доработки в связи с тем, что появились новые конструкции пил, профили зубьев и их комбинации, применяются другие инструментальные материалы и марки твердого сплава.

Авторами ранее поднимался также вопрос о том, что рекомендации производителей и результаты исследований зачастую не совпадают [4].

Среди вопросов, требующих детального изучения, главными, на наш взгляд, являются стойкость инструмента, качество обработки, энергопотребление и режимы пиления, т. к. они до сих пор остаются открытыми.

Решение данной проблемы может быть получено только путем проведения соответствующих экспериментальных исследований.

Основная часть. В качестве исследуемых были приняты рекомендуемые производителями профили: попеременно-косой (рис. 1), плоскотрапецевидный (рис. 2) и елочно-плоский с вогнутой передней гранью (рис. 3).

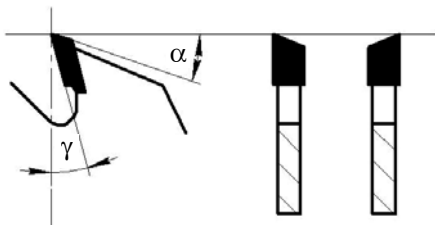


Рис. 1. Попеременно косой профиль зубьев дисковых пил с пластинами твердого сплава для распиловки ламинированных ДСтП

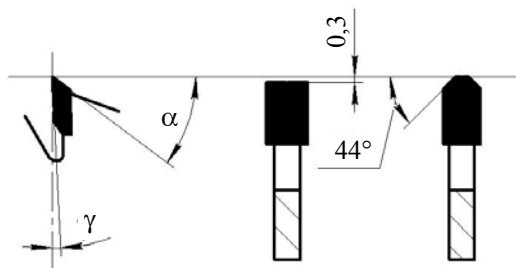


Рис. 2. Плоскотрапецевидный профиль зубьев дисковых пил с пластинами твердого сплава для распиловки ламинированных ДСтП

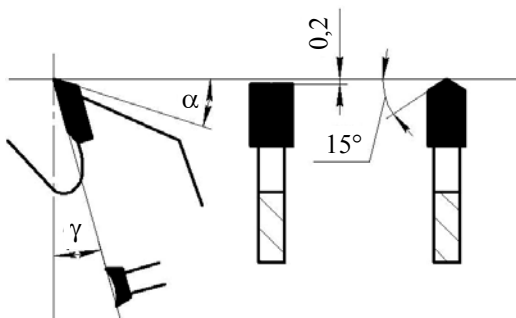


Рис. 3. Елочно-плоский с вогнутой передней гранью профиль зубьев дисковых пил с пластинами твердого сплава для распиловки ламинированных ДСтП

Каждый профиль имеет свои конструктивные особенности и геометрические характеристики, что, безусловно, будет отражаться на условиях работы зубьев.

При раскросе ламинированных ДСтП пилами с попеременно-косым профилем зубьев (рис. 1) обеспечивается эффект подрезки наружных поверхностей обрабатываемого материала. В то же время для этой формы зубьев характерен больший линейный износ, т. к. основная нагрузка

приходится на вершину трехгранного угла, что приводит к достаточно быстрому его затуплению и появлению сколов на поверхности пропила.

Стойкость пил с плоскотрапецевидным профилем зубьев (рис. 2) значительно выше, чем предыдущего, поскольку на резах с «трапецией» отсутствуют острые углы. В данном случае основную нагрузку несет трапецевидный зуб – он формирует пропила, а прямой выравнивает его, выполняя легкий финишный рез по бокам пропила [5].

Комбинация зубьев, представленная на рис. 3, также позволяет постепенно обрабатывать материал. Зуб треугольной формы осуществляет расщепление поверхностного слоя. Его заостренная форма облегчает удаление материала, позволяет избежать сдавливания и образования сколов. Вогнутая поверхность передней грани обеспечивает плавную обработку материала, начиная с боковых сторон зуба к центру. При такой форме зуба, по словам производителей инструмента, пропила получается ровным и без сколов, что позволяет обходиться без подрезающей пилы. Однако практика использования на производстве пил с елочно-плоским профилем и вогнутой передней гранью зубьев показала, что полностью исключить сколы на двустороннем «ламинате» при пилении такими пилами невозможно, но их размеры и количество можно уменьшить.

Широкое использование последнего профиля, а также ряда других, появившихся относительно недавно (G5 «Leuco»), ограничено трудностями, связанными с их подготовкой. В связи с чем последние не получили такого распространения, как первые два.

Представленные особенности работы разных профилей будут отражаться на силовых показателях процесса раскроса ДСтП.

В работах [6–8] приведены результаты экспериментальных исследований, проведенных авторами на кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов Белорусского государственного технологического университета. В частности, получены уравнения регрессии, отражающие влияние подачи на резец U_z (мм), скорости резания V (м/с), величины выхода пилы из пропила a (мм) на выходные показатели:

- начальная мощность резания (мощность при остром резце), Y_1 (Вт):

- попеременно-косой профиль зубьев

$$Y_1(P_0) = -1141,46 + 2491,25 \cdot U_z + 35,70 \cdot V - 9,14 \cdot a - 114218,323 \cdot U_z^2 - 0,27 \cdot V^2 + 0,15 \cdot a^2 + 216,88 \cdot U_z \cdot V; \quad (1)$$

- плоскотрапецевидный профиль зубьев

$$Y_1(P_0) = -1479,211 - 2015,833 \cdot U_z + 46,205 \cdot V - 4,994 \cdot a - 0,323 \cdot V^2 + 0,081 \cdot a^2 + 181,25 \cdot U_z \cdot V - 31,667 \cdot U_z \cdot a; \quad (2)$$

• конечная мощность резания (мощность при появлении сколов) – Y_2 (Вт):

– попеременно-косой профиль зубьев

$$Y_2(P_{\text{кон}}) = 36,6 + 4228,75 \cdot U_z - 1,315 \cdot V - 1,38 \cdot a - 147625 \cdot U_z^2 + 246,875 \cdot U_z \cdot V; \quad (3)$$

– плоскотрапецевидный профиль зубьев

$$Y_2(P_{\text{кон}}) = 296,969 + 1688,974 \cdot U_z - 1,837 \cdot V - 14,884 \cdot a - 62403,846 \cdot U_z^2 + 0,178 \cdot a^2 + 233,75 \cdot U_z \cdot V - 69,167 \cdot U_z \cdot a + 0,077 \cdot V \cdot a; \quad (4)$$

• технологическая стойкость (путь резания до появления сколов на поверхности облицовочного материала) – Y_3 (м):

– попеременно-косой профиль зубьев

$$Y_3(L) = 3945,1 + 56680 \cdot U_z - 136,24 \cdot V + 53,59 \cdot a - 686875 \cdot U_z^2 + 0,86 \cdot V^2 - 1,63 \cdot a^2 + 0,85 \cdot V \cdot a; \quad (5)$$

– плоскотрапецевидный профиль зубьев

$$Y_3(L) = 1854,553 + 725818,333 \cdot U_z - 598,465 \cdot V + 1322,588 \cdot a - 8060312,5 \cdot U_z^2 + 4,579 \cdot V^2 - 18,041 \cdot a^2 - 5133,333 \cdot U_z \cdot a. \quad (6)$$

Исследования проводились на экспериментальной установке, созданной на базе промышленного станка ФСА, позволяющей регистрировать силовые показатели процесса пиления [9].

Полезная мощность на резание рассчитывалась через крутящий момент на шпинделе станка, который определялся по величине разбаланса тензомоста.

Для получения уравнений регрессии, описывающих выходные характеристики процесса пиления, использован В-план второго порядка.

Адекватность полученных математических моделей подтверждена проверкой по F-критерию Фишера.

Сравнение технологической стойкости твердосплавных пил убедительно доказывает целесообразность применения плоскотрапецевидного профиля, стойкость которого существенно больше [8].

Существующие методы расчета мощности процесса пиления древесностружечных плит основаны на определении удельной работы резания [1, 10, 11]:

$$P = \frac{KbhV_s}{60 \cdot 1000}, \text{ кВт}, \quad (7)$$

где K – удельная работа резания, Дж/см³; b – ширина пропила, мм; h – высота пропила, мм; V_s – скорость подачи, м/мин.

В свою очередь удельная работа резания определяется через табличное значение K_T с учетом поправочных коэффициентов:

$$K = K_T a_\gamma a_{\text{св}} a_V a_p, \quad (8)$$

где K_T – табличное значение удельной работы резания при заданной толщине стружки, Дж/см³ [11, табл. 15 с.168]; a_γ – коэффициент, учитывающий влияние объемного веса плиты; $a_{\text{св}}$ – коэффициент, учитывающий содержание связующего; a_V – коэффициент, учитывающий влияние скорости резания; a_p – коэффициент, учитывающий износ реза.

Значение K_T можно определить также по формуле, полученной на основе обработки экспериментальных данных проф. А. Л. Бершадского [11]:

$$K_T = \frac{0,85A}{e} + 41, \quad (9)$$

где A – коэффициент, зависящий от группы плит: при распиловке плит I группы (изготовленные из резаной стружки) – $A = 1$; II группы (изготовленные из стружки-дробленки) – $A = 0,833$; III группы (изготовленные из стружки-отходов д/о станков) – $A = 0,825$; e – средняя толщина стружки, мм.

Поэтому теоретически важным аспектом является определение удельной работы резания K (Дж/см³) при обработке ламинированных древесностружечных плит инструментом, оснащенным твердосплавными зубьями именно плоскотрапецевидного профиля, а также сравнение полученных результатов с данными общепринятой методики расчета.

Удельную работу резания при пиении ламинированной древесностружечной плиты находили через начальную мощность резания P_0 , определенную с помощью полученной математической модели (2).

$$K = \frac{P_0 \cdot 60}{bhV_s}. \quad (10)$$

Для расчета удельной работы резания приняли начальную мощность процесса, чтобы исключить влияние затупления зубьев a_p ($a_p = 1$).

Графики, построенные по результатам расчетов, представлены на рис. 4.

Для нахождения удельной работы резания K по методике [10] определили значения остальных поправочных коэффициентов для плиты, использованной в эксперименте ($a_\gamma = 0,89$; $a_{\text{св}} = 1$; $a_{V=60} = 1,17$; $a_{V=70} = 1,3$; $a_{V=80} = 1,44$).

По формуле (8) с учетом найденных значений поправочных коэффициентов была рассчитана удельная работа резания. Результаты расчетов, проведенных для нижнего, нулевого и верхнего уровней варьирования переменных факторов, представлены в виде графиков (рис. 5).

Очевидно, характер зависимостей удельной работы резания на рис. 4 и 5 одинаков, однако значения различаются. Таким образом, можно

утверждать, что методика расчета сил и мощности резания при пилении древесностружечных плит, представленная в литературе [1, 10, 11], должна быть доработана с учетом внедрения в производство новых профилей зубьев твердосплавных дисковых пил.

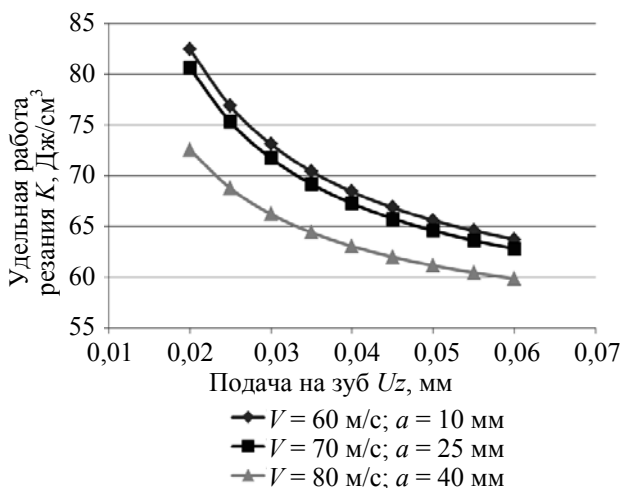


Рис. 4. Зависимость удельной работы резания от подачи на резец по результатам эксперимента

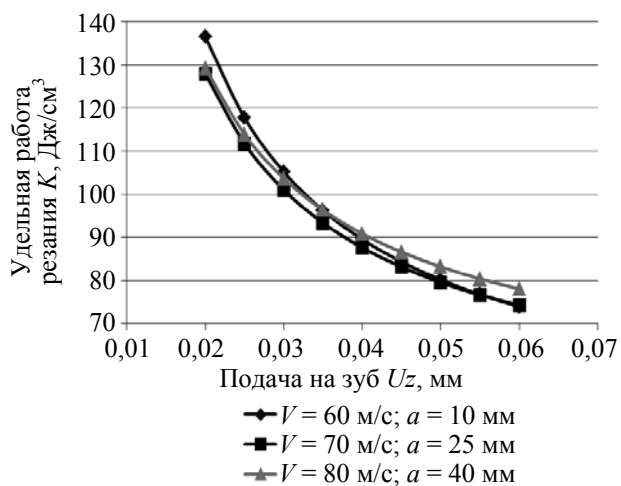


Рис. 5. Зависимость удельной работы резания от подачи на резец по результатам расчета

Заключение. Получены значения и построены зависимости удельной работы резания от подачи на резец при раскросе ламинированных древесностружечных плит твердосплавными пилами с плоскотрапециевидным профилем зубьев. В результате сравнения экспериментальных с результатами расчета по существующей методике установлено, что зависимости имеют идентичный характер, но значения удельной работы резания при использовании плоскотрапециевидного профиля меньше (в 1,2–1,9 раза).

Литература

1. Цуканов, Ю. А. Обработка резанием древесностружечных плит / Ю. А. Цуканов, В. В. Амалицкий. – М.: Лесная пром-сть, 1966. – 94 с.
2. Ивановский, Е. Г. Фрезерование и пиление древесины и древесных материалов / Е. Г. Ивановский, П. В. Василевская, Э. М. Лаутнер. – М.: Лесная пром-сть, 1971. – 96 с.
3. Пилы дисковые с твердосплавными пластинами для обработки древесных материалов. Технические условия: ГОСТ 9769–79 / М-во станкостроительной и инструментальной промышленности. – Взамен ГОСТ 9769–69; введ. с 01.01.1981 до 01.01.1986. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1979. – 15 с.
4. Лукаш, В. Т. Влияние подачи на резец на технологическую стойкость режущего инструмента при пилении ламинированных ДСтП / В. Т. Лукаш, С. А. Гриневиц // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2008. – Вып. XVI. – С. 230–234.
5. Мелони, Т. Современное производство древесностружечных и древесноволокнистых плит: пер. с англ. В. В. Амалицкого и Е. И. Карасева / Т. Мелони. – М.: Лесная пром-сть, 1982. – 416 с.
6. Лукаш, В. Т. Технологическая стойкость и начальная мощность при обработке ламинированных ДСтП пилами с попеременно-косым профилем зубьев / В. Т. Лукаш, С. А. Гриневиц // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2009. – Вып. XVII. – С. 317–321.
7. Лукаш, В. Т. Технологическая стойкость и начальная мощность при обработке ламинированных ДСтП пилами с плоско-трапециевидным профилем зубьев / В. Т. Лукаш, С. А. Гриневиц // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2010. – Вып. XVIII. – С. 234–239.
8. Лукаш В. Т. Влияние профиля зубьев дисковых пил с пластинами твердого сплава на технологическую стойкость и потребляемую мощность при обработке ламинированных древесностружечных плит (ЛДСтП) // В. Т. Лукаш, С. А. Гриневиц // Труды БГТУ. – 2011. – № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. – С. 256–262.
9. Кравченко, А. С. Применение силоизмерительного телеметрического устройства для исследования процессов пиления древесных материалов / А. С. Кравченко, В. Т. Лукаш // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2006. – Вып. XIV. – С. 172–174.
10. Бершадский А. Л. Резание древесины / А. Л. Бершадский, Н. И. Цветкова. – Минск: Выш. школа, 1975. – 303 с.
11. Любченко, В. И. Резание древесины и древесных материалов: учеб. пособие для вузов / В. И. Любченко. – М.: Лесная пром-сть, 1986. – 296 с.

Поступила 23.02.2013

УДК 674.914:674.338

В. В. Раповец, кандидат технических наук, старший преподаватель (БГТУ);
А. А. Гришкевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой (БГТУ);
В. Н. Гаранин, кандидат технических наук, старший преподаватель (БГТУ)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРИОДА СТОЙКОСТИ НОЖЕЙ ФРЕЗ ДЛЯ АГРЕГАТНОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

В статье содержатся результаты экспериментальных исследований по определению периода стойкости двухлезвийных ножей, упрочненных методом конденсации вещества из плазменной фазы в вакууме с ионной бомбардировкой поверхности, путем нанесения износостойких TiN-, ZrN-покрытий. Представлена методика проведения производственных испытаний ножей, рассчитаны значения приращения радиуса округления режущей кромки ножа при прохождении им пути резания в 1 м, которые позволяют прогнозировать период стойкости исследуемых ножей. Подтверждена целесообразность и эффективность применения упрочняющих технологий на ножах фрез для агрегатной обработки древесины.

In article results of experimental researches by definition the durability period double blade the knives reinforced by method CIB, by drawing wearproof TiN-, ZrN- coverings contain. The technique of conducting of industrial tests of knives is presented, values of an increment of radius of a rounding off of an active face of a knife are counted at passage of a way of cutting by it in 1 m which allow to predict the period of durability of investigated knives. The expediency and efficiency of application of reinforcing production engineering on knives of cutters for modular machining of wood is confirmed.

Введение. В настоящее время на лесопильно-деревообрабатывающих предприятиях Республики Беларусь для механической обработки древесины используется различный режущий инструмент, выполненный из сталей: углеродистых, легированных и быстрорежущих. Широко используется составной и сборный режущий инструмент с пластинами из твердого сплава в основном импортного производства. Выбор той или иной марки материала для изготовления дереворежущего инструмента зависит от многих факторов: типа инструмента, геометрических его параметров, физико-механических свойств обрабатываемого материала, режимов обработки, обеспечения необходимой производительности и т. д.

Потеря режущей способности инструментом (износ) для обработки древесины и древесных материалов представляет собой достаточно сложный комплекс взаимосвязанных физико-механических, тепловых и химических явлений, которые проявляются при резании непосредственно в зоне взаимодействия лезвия с обрабатываемым материалом.

К поверхностным упрочняющим слоям лезвий дереворежущего инструмента предъявляются следующие требования: высокая твердость, прочность, температуростойкость и теплопроводность инструментального материала [1, 2]. В зоне резания выделяется большое количество теплоты, и в результате такого термического воздействия образуются агрессивные химические соединения, коррозионно изнашивающие поверхность режущего инструмента. Дереворежущий инструмент имеет достаточно не-

большие углы заострения (до 60°), поэтому применение толстых износостойких слоев является нецелесообразным, режущая кромка будет выкрашиваться в работе. Поверхностное упрочнение должно выполняться таким образом, чтобы после переподготовки режущего инструмента поверхностные упрочненные слои продолжали выполнять свои функции.

Исследования в области упрочнения поверхностей режущего инструмента показывают, что период стойкости последнего целесообразно повышать с помощью методов физико-химической обработки поверхностных слоев кромок фрезерных ножей, способствующих созданию новых износостойких материалов в поверхностных слоях, а также изменяющих характер затупления лезвий ножей [3].

Известно, что использование метода конденсации вещества из плазменной фазы в вакууме с ионной бомбардировкой поверхности (КИБ) позволяет значительно увеличить физико-механические свойства различных материалов, в частности микротвердость, теплостойкость, коррозионную стойкость и другие, существенно увеличивая значение периода стойкости ножей дереворежущих фрез.

Основная часть. Специфика агрегатной обработки натуральной древесины ножами фрез с получением пилопродукции и технологической щепы, в отличие от резания плитных материалов, заключается в том, что процесс образования стружки происходит на передней поверхности. Эта особенность отражается на характере износостойкости лезвия: более интенсивно изнашивается его передняя поверхность, по ко-

торой скользят образуемые элементы технологической щепы [4].

Из этого следует, что упрочнение режущих лезвий ножей следует проводить по их передней поверхности, что позволяет, с одной стороны, снизить основной износ ножа, а с другой – сохранить упрочненный слой на передних поверхностях лезвий после восстановления режущей способности (заточки по задним поверхностям) длинного и короткого лезвий ножа.

Износостойкие покрытия TiN, ZrN осаждались на поверхности двухлезвийных ножей фрез станков PSP 500 методом КИБ на вакуумной установке ВУ-1Б «Булат» (рис. 1), имеющейся на кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов БГТУ.

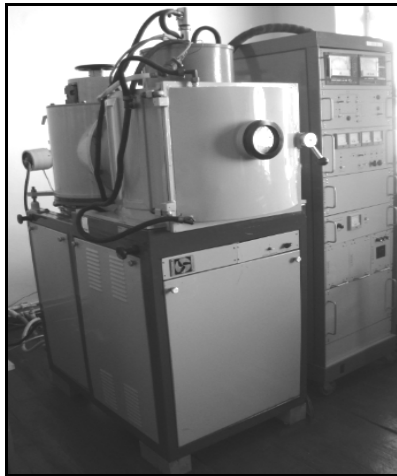


Рис. 1. Установка вакуумная ВУ-1Б «Булат»

Осаждение покрытий на поверхности двухлезвийных ножей в два этапа на четырех различных режимах: первый этап – с предварительной обработкой ионами Ti, Zr в вакууме порядка 10^{-3} Па при потенциале подложки 1 кВ и последующим нанесением покрытий при токе горения дуги катода 100 А и опорном напряжении 100 В в среде азота при давлении 10^{-1} Па.

Для получения высокой адгезии износостойких TiN, ZrN покрытий к поверхности лезвия ножа выполнялась предварительная ионная очистка, изменялось время предварительного прогрева и варьировалось время непосредственного осаждения упрочняющего материал двухлезвийного ножа покрытия в диапазоне 5–15 мин. Температура среды при осаждении покрытий соответствовала значению 400–450°C. Толщина полученных покрытий на передней поверхности ножа не превышала 2 мкм.

Для оценки эффективности практического использования упрочняющих покрытий на поверхности ножей фрез, нанесенных высокоэнергетическим КИБ методом, опытные об-

разцы (рис. 2) были подготовлены на кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов БГТУ и испытаны на лесопильно-деревообрабатывающем предприятии ОАО «Борисовский ДОК».

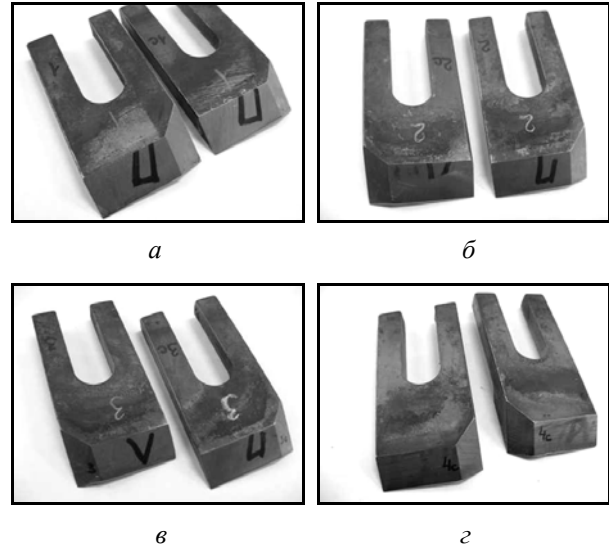


Рис. 2. Опытные двухлезвийные ножи станка PSP 500, упрочненные различными режимами нанесения износостойких покрытий:
 а – на 1-м режиме TiN-покрытием;
 б – на 2-м режиме TiN-покрытием;
 в – на 3-м режиме TiN-покрытием;
 г – на 4-м режиме ZrN-покрытием

Методика проведения опытно-промышленных испытаний упрочненных различными по физико-механическим свойствам TiN- и ZrN-покрытиями двухлезвийных ножей со спиральным расположением на многолезвийных торцово-конических фреззах состояла из следующих основных этапов:

- подготовка ножей фрез к работе (угол заточки длинного лезвия ножа 40° , угол заточки короткого лезвия ножа 40° , задний угол на лезвиях ножа $3-5^\circ$). Каждый нож был заточен и доведен до радиуса округления кромок лезвий $4-6$ мкм);
 - подготовка древесины и ее обработка на промышленных режимах (скорость резания ножами 18,8 м/с; скорость подачи 38,5 м/мин) до предельного затупления ножей [5];
 - измерение радиуса округления режущих кромок ножей после их эксплуатации (методом слепков с последующим измерением значений на электронном микроскопе JEOL JSM-5610 с учетом начального радиуса округления режущих кромок ножей);
 - расчет суммарного пути резания ножами.
- Суммарный путь L резания в древесине ножом без упрочнения и с упрочненным поверхностным слоем вычислялся по формуле (1) [6]:

$$L = N \cdot \frac{L_{бр}}{S_z} \cdot \int_{\theta_1}^{\theta_2} \sqrt{\left(\frac{k l_{щ} \theta}{2\pi} + R \cdot \sin \theta\right)^2 + (R \cdot \cos \theta)^2} d\theta,$$

где N – количество обработанных бревен, шт.; $L_{бр}$ – длина бревна, м; S_z – подача на нож, мм; θ_1 – угол входа ножа в древесину, град; θ_2 – угол выхода ножа из древесины, град; k – число ножевых спиралей, шт.; $l_{щ}$ – длина элемента щепы, мм; θ – угол контакта ножа, град; R – радиус резания ножом фрезы, мм.

По рассчитанным значениям суммарного пути резания и измеренному радиусу округления кромки ножа рассчитывалось приращение ϵ , мкм/м, радиуса округления режущей кромки ножа при прохождении им пути резания в 1 м.

Сводные данные параметров обработки древесины хвойных пород на станке PSP 500 упрочненными ножами, например, TiN-покрытием на 1-м режиме, представлены в таблице.

**Сводные данные параметров обработки
древесины TiN упрочненными на 1-м режиме
ножами на станке PSP 500**

№ п/п	Порода древесины	Кол-во, м ³	Диаметр бревна, см	Высота бруса, мм	Путь резания, м
1	сосна	103,41	200	128	8842
2	сосна	89,64	240	128	7196
3	ель	114,99	160	106	11 920
4	ель	30,49	180	106	3084
5	ель	139,01	140	106	13 346
6	ель	38,51	200	106	3752
7	ель	66,95	220	106	6107
8	ель	28,33	240	154	2007
9	ель	17,53	140	106	1686
10	ель	38,51	200	106	3752
11	ель	56,95	220	106	5205
12	ель	28,33	240	154	2007
13	ель	38,03	240	154	2696
14	ель	63,86	260	154	4382
15	ель	91,93	280	154	6098
16	сосна	68,52	220	128	5678
17	сосна	85,92	240	128	6892
18	сосна	20,49	180	128	1720
19	сосна	90,36	260	154	6179
20	сосна	137,24	280	154	14 680
21	сосна	25,75	220	154	1804
22	ель	17,98	180	128	1510
<i>Итого</i>					120 543

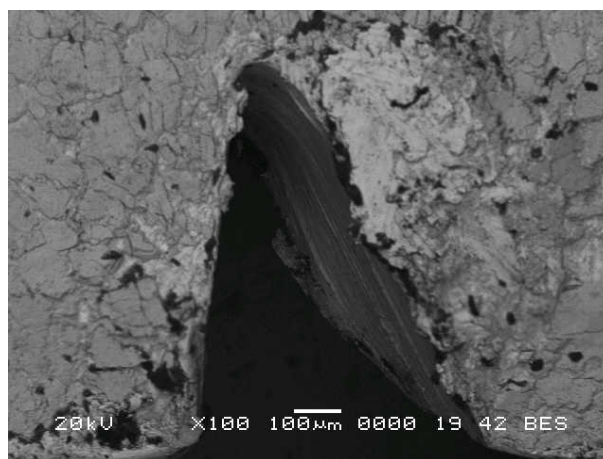
В процессе опытно-промышленных испытаний ножей фиксировались следующие параметры: обрабатываемая порода древесины, количество обработанного материала, диаметр обрабатываемого бревна, высота получаемого бруса. Эксперимент останавливался по дости-

жении ножами предельного радиуса округления режущих кромок [7].

Суммарный путь резания, пройденный неупрочненным и упрочненным на 1-м режиме ножами составил 120 543 м при достижении ими прироста радиуса округления режущей кромки ножа Δr , мкм, соответственно 60 мкм и 55 мкм (рис. 3). При этом приращение ϵ , мкм/м, радиуса округления режущей кромки ножей при прохождении им пути резания в 1 м для неупрочненного и упрочненного на 1-м технологическом режиме составили соответственно $4,977 \cdot 10^{-4}$ мкм/м и $4,563 \cdot 10^{-4}$ мкм/м, что увеличивает период стойкости и эффективность использования упрочненных ножей по сравнению с неупрочненными на 8%.



а



б

Рис. 3. Радиус округления режущей кромки ножей: а – неупрочненного ножа; б – упрочненного на 1-м режиме TiN-покрытием ножа

Аналогичным образом, испытаны на производстве ножи фрез с упрочненными поверхностями на 2, 3 и 4-м режимах с фиксированием и расчетом соответственно рассмотренных параметров.

Суммарный путь резания составил 134 952 метра при достижении Δr , мкм, ножами неупрочненным и упрочненными на 2-м и 3-м режимах соответственно 35 мкм, 35 мкм и 40 мкм. Приращение ϵ , мкм/м, радиуса округления режущей кромки ножей при прохождении ими пути резания в 1 м для не упрочненного и упрочненных на 2-м и 3-м режимах составило соответственно, $2,594 \cdot 10^{-4}$ мкм/м и $2,964 \cdot 10^{-4}$ мкм/м, что уменьшило период стойкости и снизило эффективность использования упрочненных ножей на 12%.

Четвертая серия проведенных экспериментов показала, что суммарный путь резания ножами составил 96 582 метра при достижении Δr , мкм, неупрочненным и упрочненным на 4-м режиме одинаковую величину в 45 мкм. Следовательно, приращение ϵ , мкм/м, радиуса округления режущей кромки ножа при прохождении им пути резания в 1 м для неупрочненного и упрочненного на 4-м режиме составило одинаковую для двух случаев величину порядка $4,659 \cdot 10^{-4}$ мкм/м, что не оказало влияния на период стойкости и не изменило эффективности использования не упрочненных методом КИБ ножей фрез.

Таким образом, для определения периода стойкости (времени до потери режущей способности) двухлезвийного ножа со спиральным расположением в корпусе фрезы должны быть известны технологические параметры процесса обработки. Путь резания ножом, рассчитанное значение приращения ϵ , мкм/м, радиус округления режущей кромки лезвия ножа при прохождении им пути резания 1 м позволяют рассчитать период стойкости ножей при агрегатной обработке древесины.

Заключение. Проведенные опытно-промышленные испытания упрочненных износостойкими TiN- и ZrN-покрытиями двухлезвийных ножей фрезерно-брусующих на предприятии ОАО «Борисовский ДОК» в сравнении с неупрочненными ножами позволили оценить эффективность использования метода КИБ упрочнения двухлезвийных ножей для агрегатной обработки древесины. В процессе испытаний установлено, что различные режимы упрочнения поверхностей режущего инструмента могут улучшать, не оказывать влияния или, наоборот, ухудшать износостойкость ножей.

Результаты проведенных производственных испытаний подтвердили эффективность практического применения высокоэнергетических упрочняющих технологий для двухлезвийных ножей со спиральным расположением на фрезах фрезерно-брусующих станков для агрегатной обработки древесины.

Установленные технологические режимы нанесения на лезвия ножей тугоплавких материалов на основе TiN и ZrN с получением покрытий с различными физико-механическими свойствами позволяют увеличить период стойкости ножей до 8% и рекомендуются для промышленного использования, что повышает экономическую эффективность использования оборудования.

Проведенные опытно-промышленные испытания позволяют предположить, что аналогичные положительные результаты могут быть получены при использовании технологических режимов нанесения на лезвия ножей тугоплавких материалов на основе MoN, HfN и др. методом КИБ и высокоэнергетическими комбинированными методами упрочнения.

Литература

1. Кудинов, В. В. Плазменные покрытия: учеб. пособие / В. В. Кудинов. – М.: Наука, 1977. – 184 с.
2. Мигранов, М. Ш. Износостойкость режущего инструмента с многослойными покрытиями / М. Ш. Мигранов, Л. Ш. Шустер // Трение и износ. – 2005. – Т. 26. – № 3. – С. 304–307.
3. Демьяновский, К. И. Износостойкость инструмента для фрезерования древесины / К. И. Демьяновский. – М.: Лесная пром-сть, 1968. – С. 128.
4. Боровиков, Е. М. Лесопиление на агрегатном оборудовании / Е. М. Боровиков, Л. А. Фетфилов, В. В. Шестаков. – М.: Лесная пром-сть, 1985. – 216 с.
5. Руководство по эксплуатации фрезерно-брусующей линии SAB на предприятии ОАО «Борисовский ДОК» / Sägewerksanlagen GmbH. – Bad Berleburg-Aue, 1996. – 382 с.
6. Раповец, В. В. Комплексная обработка древесины фрезами со спиральным расположением сборных двухлезвийных ножей, обеспечивающая качество продукции и снижение энергозатрат: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.05 / В. В. Раповец; Белорус. гос. технол. ун-т. – Минск, 2011. – 206 л.
7. Раповец, В. В. Критерии временной стойкости двухлезвийных резцов фрезерно-брусующих станков в зависимости от требуемого качества продукции / В. В. Раповец, Н. В. Бурносков // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды II Междунар. Евраз. симпози., Екатеринбург, 2–5 окт. 2007 г. / Урал. гос. лесотехн. ун-т; под ред. В. Г. Новоселова. – Екатеринбург, 2007. – С. 222–225.

Поступила 25.02.2013

УДК 674.05

А. П. Фридрих, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);
О. И. Костюк, аспирант (БГТУ)

ВЛИЯНИЕ ПОРОДЫ НА МОЩНОСТЬ РЕЗАНИЯ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

Статья посвящена особенностям обработки древесины методом шлифования. Рассматривается исследование влияния пород древесины на мощность резания при переменных режимах шлифования, таких как скорость резания, скорость подачи, припуск на обработку, длина шлифуемой поверхности и т. д. В работе описан характер влияния различных пород древесины на показатель мощности.

Article is devoted to features of processing of wood by a grinding method. In this article wood research on cutting capacity is considered at variable modes of grinding, such as speed of cutting, speed of giving, an allowance on processing, length of a ground surface etc. In work nature of influence of various breeds of wood on power an indicator is described.

Введение. Основными параметрами режима шлифования (для шкурки выбранной зернистости) являются удельное давление на шлифуемой поверхности, направление шлифование относительно волокон древесины, скорость резания, скорость подачи, длина контакта шкурки с древесиной.

Основная часть. С учетом современных требований к процессам шлифования нами проведены исследования затрат мощности на шлифование древесины сосны, березы, ольхи и дуба электрокорундовым шлифовальным инструментом зернистостью P80, P120, P150, P320. Длина заготовок составляет 1000 мм, ширина – 150 мм, базовая толщина 35, 40 мм. Исследования проводились на экспериментальной установке, разработанной на кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов. В качестве базовой машины при разработке экспериментальной установки принят трехагрегатный шлифовальный станок с числовым программным обеспечением (рис. 1 и 2).



Рис. 1. Станок модели «Houfek Bulldog FRC-910»

Известно, что в ходе шлифования абразивные зерна снимают с обрабатываемой поверх-

ности такое количество стружки, которое помещается в пространстве между абразивными зернами. При большой длине пути абразинго зерна в контакте с древесиной объем срезаемой стружки может превысить объем межзерновой впадины. Когда стружка переполняет межзерновое пространство, она оттесняет шлифовальную шкурку от поверхности древесины, поэтому при превышении некоторой длины контакта производительность ее быстро снижается [1].



Рис. 2. Базовая конфигурация калибровально-шлифовального узла

Все исследования проводились на скорости резания $v = 18$ м/с при изменении скорости подачи $v_s = 4, 6, 8$ м/мин и высоты припуска 0,2; 0,4; 0,5 мм. Регистрация мощности осуществлялась с интервалом 3 м погонных при полном периоде стойкости шлифовальной шкурки. Критерием остановки процесса шлифования явилось наличие прижогов на поверхности древесины и инструмента. Зависимости мощности резания (шлифования) от длины обработанной поверхности древесины березы при скорости резания $v = 18$ м/с и скорости подачи $v_s = 4, 6, 8$ м/мин, величине на обработку $h = 0,4$ мм представлены на рис. 3, 4 и 5.

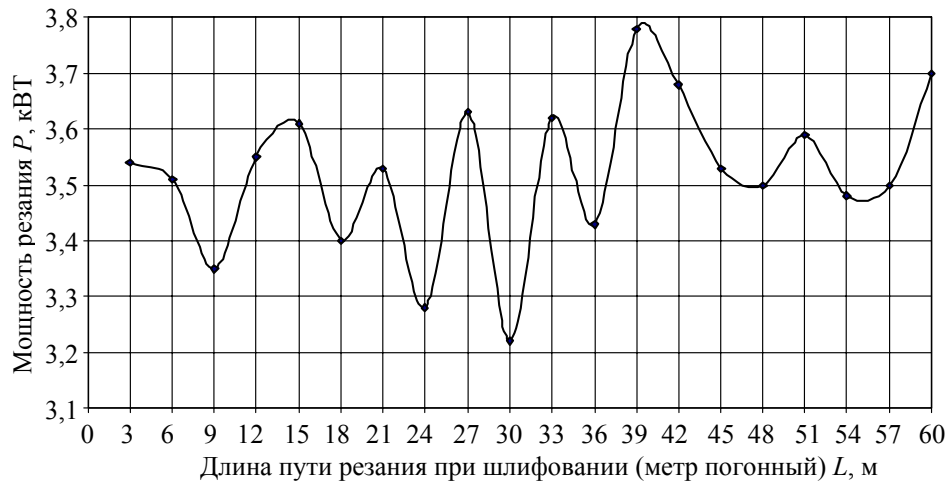


Рис. 3. Зависимость мощности шлифования от длины обработки древесины березы при скорости подачи 4 м/мин

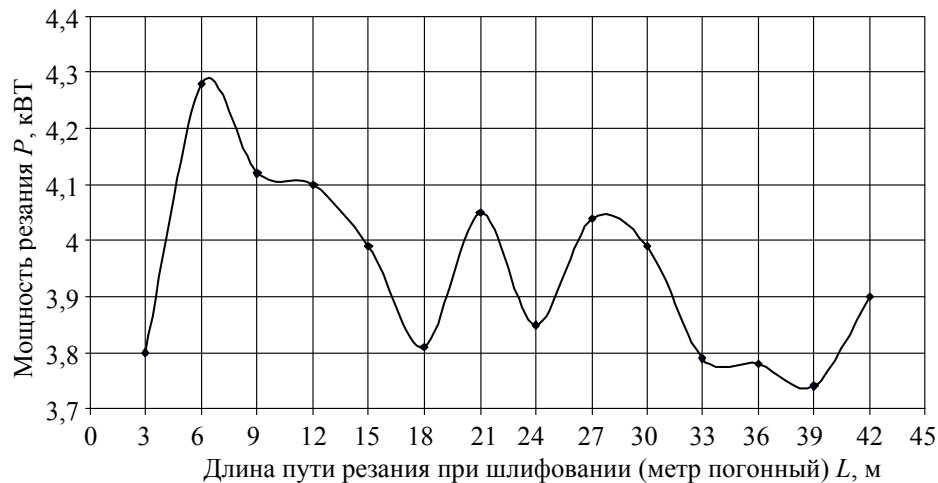


Рис. 4. Зависимость мощности шлифования от длины обработки древесины березы при скорости подачи 6 м/мин

Зависимость мощности резания (шлифования) от длины обработанной поверхности древесины ольхи при скорости резания $v = 18$ м/с и скорости подачи $v_s = 4$ м/мин, величине на обработку $h = 0,4$ мм представлены на рис. 6.

Исследования механической обработки древесных материалов выявили, что на выходные показатели процесса резания оказывают влияние многочисленные факторы и их взаимосвязи.

Используя рекомендации профессора А. С. Воскресенского и анализ результатов исследований по литературным источникам, все переменные факторы распределены на три основные группы. В эти группы включены переменные, которые в той или иной степени влияют на обоснованные в литературном обзоре выходные показатели при шлифовании натуральной древесины.

Результаты выполненной работы представлены в таблице. Анализ приведенных в таблице переменных факторов показывает, что все обобщенные показатели процесса резания яв-

ляются как зависимыми, так и независимыми. Ввиду этого исследовать одновременно влияние всех факторов в их сложном взаимодействии невозможно.

Как видно из графиков, при обработке древесины березы мощность на резание (шлифования) не имеет линейной зависимости, а имеет место зависимость криволинейная с увеличением и уменьшением мощности при изменении пути резания. Это можно объяснить различным количеством зерен, находящихся на площади контакта. Количество активных, т. е. взаимодействующих с обрабатываемой поверхностью, зерен зависит от зернистости инструмента, степени его округления, площади контакта с обрабатываемым изделием и характеристик режима шлифования.

Этими же параметрами в основном определяется толщина срезаемой стружки и, следовательно, качество обработанной поверхности, производительность процесса и стойкость стружки [2].

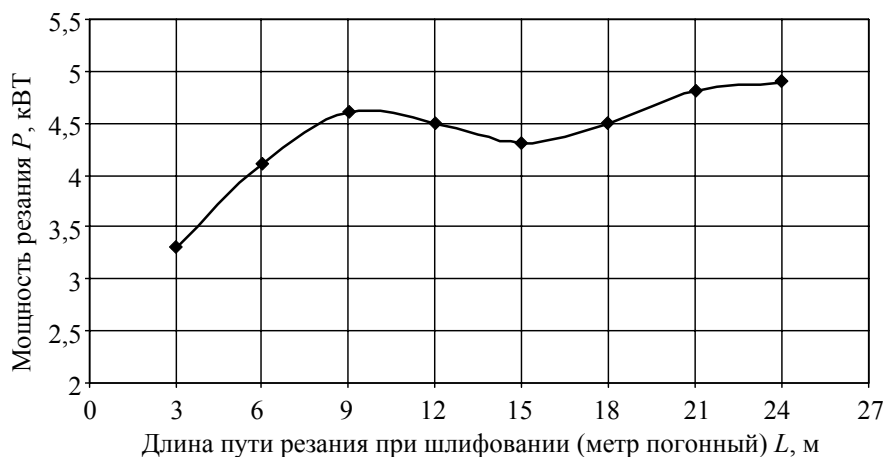


Рис. 5. Зависимость мощности шлифования от длины обработки древесины березы при скорости подачи 8 м/мин

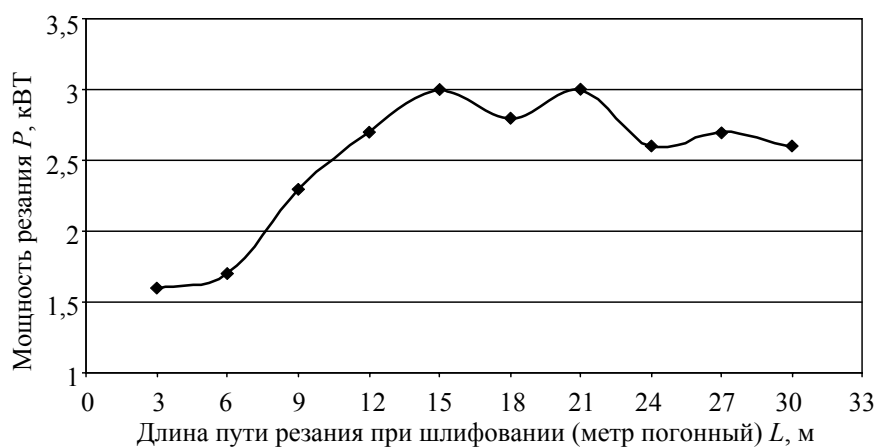


Рис. 6. Зависимость мощности шлифования от длины обработки древесины ольхи при скорости подачи 4 м/мин

**Сводная таблица переменных факторов,
учитываемых при механической обработке натуральной древесины
методом ленточного шлифования**

Переменные факторы	Влияние на выходные показатели		
	силовые	качественные	стойкостные
1. Факторы, относящиеся к обрабатываемому материалу			
1.1. Порода древесины	+	+	+
1.2. Направление волокон	+	+	+
1.3. Плотность древесины	+	+	+
2. Факторы, относящиеся к шлифовальной ленте			
2.1. Номер зернистости шлифовальной ленты	+	+	+
2.2. Материал абразивных зерен	-	-	+
2.3. Метод насыпки	-	+	-
2.4. Длина шлифовальной ленты	-	-	+
3. Факторы, относящиеся к взаимодействию режущих элементов с объектом обработки			
3.1. Давление абразивного контакта	+	+	+

Окончание таблицы

Переменные факторы	Влияние на выходные показатели		
	силовые	качественные	стойкостные
3.2. Скорость резания	+	+	+
3.3. Скорость подачи	+	+	+
3.4. Высота сошлифованной поверхности	+	+	+
3.5. Площадь контакта	+	–	+
3.6. Ширина контакта	+	–	–
3.7. Состояние режущих элементов	+	+	+

Заключение. 1. Усредненные значения мощности имеют прямо пропорциональную зависимость от влияния скорости подачи.

2. При шлифовании твердых пород затраты мощности выше. Так, например, на калибрование древесины ольхи необходимо в среднем 0,5 кВт, а березы в 2,5–3 раза больше.

Литература

1. Бершадский, А. Л. Резание древесины // учеб. пособие / А. Л. Бершадский, Н. И. Цветкова. – Минск: Выш. шк., 1975. – 246 с.

2. Любченко, В. И. Резание древесины и древесных материалов: учеб. пособие для вузов / В. И. Любченко. – М.: Лесная пром-сть, 1986. – 218 с.

Поступила 25.02.2013

УДК 621.79:674.05

А. В. Алифанов, доктор технических наук, заведующий отделом (ФТИ НАН Беларуси);
А. М. Милюкова, кандидат технических наук, заведующая лабораторией (ФТИ НАН Беларуси);
Н. В. Бурносов, кандидат технических наук, доцент (БГТУ)

МОДЕРНИЗИРОВАННАЯ КОНСТРУКЦИЯ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ЗАГОТОВКИ ОСЕВОГО РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Разработаны и научно обоснованы новые конструкции биметаллических заготовок различного осевого дерево- и металлорежущего инструмента, получаемых совместным горячим выдавливанием из инструментальных сталей (P6M5 и 40X). Различие предлагаемых конструкций заготовок связано с назначением соответствующих инструментов. Применяемая ресурсосберегающая технология получения биметаллических заготовок инструмента позволяет уменьшить расход быстрорежущей стали, увеличить прочность соединения рабочей и хвостовой частей заготовок.

The development and scientific foundation has been made of new-design bimetallic billets of different axial wood- and metal- cutting tools made by hot extrusion of tool steel combination (P6M5 and 40X). Difference in suggested billet designs is associated with the appointment of corresponding tools. The used resource-saving technology of fabricating the tool bimetallic billets makes it possible to decrease the consumption of high-speed steel and to increase the junction strength of billet operating and tail parts.

Введение. Осевой режущий инструмент (сверла, метчики, фрезы и др.) наиболее широко применяется в металло- и деревообрабатывающей промышленности. Обычно он изготавливается из высоколегированных инструментальных сталей и твердых сплавов. Для экономии инструментальной стали его рекомендуется выполнять составным: рабочую часть – из быстрорежущей стали P6M5, хвостовик – из более дешевых конструкционных сталей 45, 40X. Соединение частей можно осуществить с применением сварки трением, электроконтактной сварки, пайки. Однако эти методы обладают рядом серьезных недостатков: смещение сваренных торцов, непровар, микротрещины, образование хрупкой зоны обезуглероженного слоя, которые приводят к снижению прочности и стойкости инструмента. Последующее формообразование рабочей (режущей) части резанием повышает трудоемкость изготовления, расход инструментальной стали, а также повышает вероятность получения бракованных изделий из-за неравномерности по высоте режущих кромок.

В Физико-техническом институте НАН Беларуси разработан прогрессивный метод получения биметаллической заготовки (БЗ) осевого режущего инструмента горячим выдавливанием через профильную матрицу с обжатием и одновременным формообразованием рабочей части заготовки. При этом потери дорогостоящей инструментальной стали сводятся к минимуму за счет пластического перераспределения деформируемого материала и исключения процесса фрезерования стружечных канавок.

Обоснование исследования. Анализ современных технологий получения режущих инструментов, в том числе в биметаллическом исполнении, показал, что традиционные мето-

ды формообразования рабочей части резанием не решают проблему экономии инструментальных высоколегированных сталей, приобретаемых за рубежом. Методы поверхностного упрочнения повышают износостойкость режущего инструмента, однако не оказывают влияния на его объемное упрочнение. Осевой режущий инструмент при эксплуатации испытывает высокие сжимающие и крутящие нагрузки, которые часто приводят к поломкам, поэтому для такого инструмента необходимы повышенные механические свойства по всему объему. В настоящее время наиболее часто применяется способ изготовления биметаллической заготовки осевого режущего инструмента из разнородных сталей, заключающийся в получении неразъемного соединения сваркой трением. Однако формообразование его рабочей (режущей) части производится резанием, что приводит к рациональному расходу стали в стружку, а также к проявлению недостатков, отмеченных выше.

Конструкции дереворежущего концевоего инструмента. Наиболее распространенные осевые инструменты, используемые в деревообрабатывающей промышленности (фрезы и сверла), имеют цилиндрическую форму, а их конструкция включает режущую рабочую часть и хвостовик для крепления в державке (рис. 1, 2).

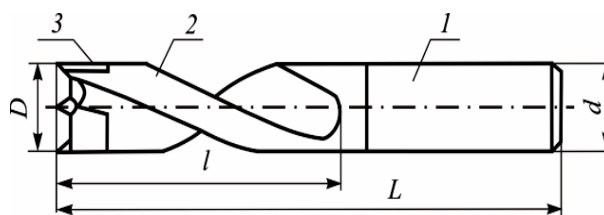


Рис. 1. Сверло спиральное:
 1 – хвостовик сверла; 2 – режущая часть;
 3 – упрочняющие элементы

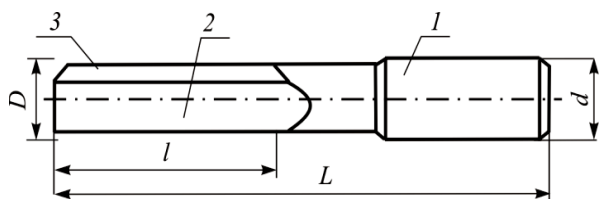


Рис. 2. Фреза концевая:
1 – хвостовик фрезы; 2 – режущая часть;
3 – упрочняющие элементы

Процесс получения составных биметаллических заготовок осевого инструмента горячим пластическим формообразованием позволяет снизить расход высоколегированной инструментальной стали, сократить операции резания, улучшить структуру стали и, соответственно, повысить механические свойства изделий.

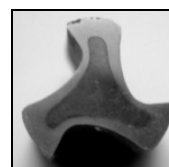
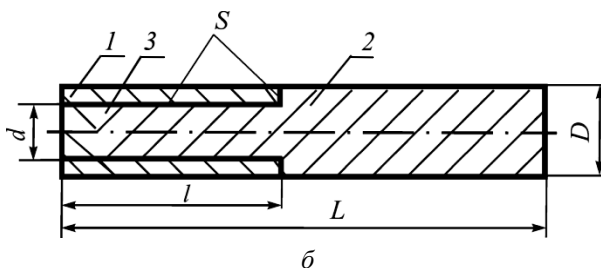
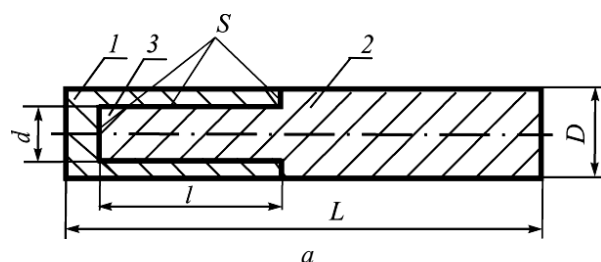
Авторами разработаны конструкции БЗ для различных видов осевого дерево- и металлорежущего инструмента [1, 2] и способ получения заготовок [3].

Ступенчатая конструкция БЗ осевого инструмента (рис. 3, а, б) разработана с целью увеличения площади физического контакта поверхностей рабочей и хвостовой частей, что в процессе деформирования увеличивает прочность соединения, показанного на рис. 3, в, г.

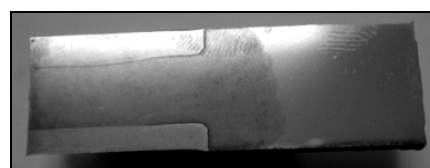
На рис. 3, а представлена БЗ режущего инструмента, состоящая из соединенных между собой рабочей части, выполненной из прутка быстрорежущей стали с образованным в ней глухим отверстием, и хвостовика, изготовленного из прутка конструкционной стали. Сплошная часть, находящаяся позади глухого отверстия в рабочей части, необходима для изготовления сверл, у которых заостренная торцевая часть является также режущей. Для изготовления заготовок таких видов металлорежущего инструмента, как метчик, зенкер, развертка, концевая фреза, предложена конструкция, представленная на рис. 3, б. Так как рабочие (режущие) элементы перечисленных инструментов находятся только на внешней цилиндрической поверхности рабочей части инструмента, то нет необходимости в наличии сплошного торца с высокими прочностными свойствами. Таким образом, рабочую часть можно изготавливать из быстрорежущей стали в виде втулки со сквозным отверстием, что упрощает технологию изготовления биметаллической заготовки при производстве таких видов осевого режущего инструмента, как метчик, концевая фреза, зенкер, развертка и др.

В процессе эксплуатации осевой режущий инструмент, например сверло, подвергается воздействию крутящего момента и напряжения сдвига. Стойкость составного инструмента к воздействию этих нагрузок определяется проч-

ностью соединения рабочей и хвостовой частей, и ее можно увеличить, если повысить прочность их соединения. При условии одинаковых адгезионных свойств соединяемых частей биметаллической заготовки прочность их соединения зависит от площади соединения: чем больше площадь физического контакта частей заготовок, тем выше прочность соединения. В процессе последующего формообразования рабочей части инструмента, например путем горячего выдавливания, площадь контакта увеличивается дополнительно за счет изменения формы (удлинения) рабочей части. В результате площадь соединения и его прочность значительно возрастают.



в



г

Рис. 3. Биметаллическая заготовка (БЗ) осевого режущего инструмента:
а – конструкция БЗ сверла в сборе для горячего пластического формообразования;
б – конструкция БЗ метчика и др. в сборе для горячего пластического формообразования;
в – поперечное сечение БЗ; г – продольное сечение БЗ;
1 – рабочая часть; 2 – хвостовик;
3 – цилиндрический выступ хвостовика;
S – площадь соединения контактных поверхностей;
d – диаметр выступа; l – длина выступа;
D – диаметр заготовки; L – длина заготовки

Биметаллическая заготовка, полученная сваркой трением [4], имеет малую площадь соединения контактных поверхностей, ограниченную ее диаметром. При сварке трением происходит частичное окисление соединяемых торцовых поверхностей (окислы препятствуют образованию полного физического контакта), что отрицательно сказывается на прочности полученного соединения. Кроме того, необходимость изготовления продольных стружечных канавок на рабочей части механическим путем (фрезерованием) приводит к нерациональному расходу дорогостоящей высоколегированной стали.

Как указывалось выше, для изготовления заготовок таких видов осевого инструмента, как метчик, зенкер, развертка, концевая фреза, необходимости создания в рабочей части заготовки глухого отверстия нет, так как их режущие элементы находятся на внешней цилиндрической поверхности рабочей части инструмента (эти инструменты при работе входят в уже готовое отверстие).

Для вышеупомянутого инструмента разработана модернизированная конструкция БЗ [2]. Для рабочей части биметаллической заготовки используется втулка из инструментальной быстрорежущей стали со сквозным отверстием несколько меньшего диаметра, чем диаметр внедряемой части хвостовика. Внедрение хвостовика производится с натягом для получения чистых металлических поверхностей до совпадения торцевых поверхностей рабочей части и внедряемой части хвостовика. Наличие сквозного отверстия в рабочей части, т. е. использование готовой втулки для нее, значительно упрощает процесс изготовления биметаллических заготовок таких инструментов, как метчик, зенкер, развертка, фреза и др., и позволяет дополнительно экономить дорогостоящую высоколегированную сталь. Затем заготовка биметаллического инструмента подвергается совместному горячему выдавливанию двух составляющих частей заготовки через профильную матрицу по способу [3]. Это обеспечивает их прочное соединение за счет схватывания металлов по всей контактной поверхности, что доказывают сравнительные испытания заготовок, полученных различными мето-

дами (сваркой трением, пайкой, горячим выдавливанием) [5].

Заключение. Результаты исследований, приведенных в статье, позволяют рекомендовать разработанные конструкции биметаллических заготовок осевого режущего инструмента, а также технологию их получения горячим выдавливанием через профильную матрицу для изготовления режущих инструментов различного назначения в процессах дерево- и металлообработки.

Литература

1. Биметаллическая заготовка концевой режущего инструмента: пат. 6813 Респ. Беларусь, МПК (2009) В 21J 13/02 / А. В. Алифанов, В. Г. Кантин, А. М. Милюкова; заявитель Физико-технический институт НАН Беларуси. – № а 20090773; заявл. 21.09.09; опубл. 30.12.10 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2010. – № 6 (77). – С. 162.
2. Алифанов, А. В. Биметаллическая заготовка осевого режущего инструмента: положительное решение о выдаче патента по заявке на полезную модель № а 20120951 от 2012.11.02 / А. В. Алифанов, А. М. Милюкова.
3. Способ изготовления биметаллической заготовки концевой режущего инструмента: пат. 14659 Респ. Беларусь, МПК(2009) В 21С 25/00 / А. В. Алифанов, В. Г. Кантин, А. М. Милюкова; заявитель Физико-технический институт НАН Беларуси. – № а 20091356; заявл. 21.09.09; опубл. 30.08.2011 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. – № 4 (81). – С. 78.
4. Справочник инструментальщика / И. А. Ординарцев [и др.]; под общ. ред. И. А. Ординарцева. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. – 846 с.
5. Прочностные испытания биметаллического концевой инструмента, полученного методами сварки, пайки и горячего пластического деформирования / А. В. Алифанов [и др.] // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: материалы II Междунар. науч.-техн. конф.: в 2 ч. – 2007. – Минск: Экоспектива. – Ч. 2. – С. 135–141.

Поступила 01.03.2013

УДК621.7.001.573:004

И. Л. Баршай, доктор технических наук, профессор (БНТУ);
А. С. Глубокий, магистрант (БНТУ)

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ СТАЛИ ПРИ ИГЛОФРЕЗЕРОВАНИИ

Данная работа относится к отрасли машиностроения. Рассматривается такой способ обработки, как иглофрезерование, которая имеет схожие черты с фрезерованием и шлифованием. Иглофрезерование может использоваться в качестве отделочной операции. Для того чтобы получить требуемые геометрические параметры поверхности, необходимо правильно выбрать режимы резания. Режимы резания в иглофрезеровании являются: скорость резания, подача и натяг в системе инструмент – заготовка. В данной статье изучается влияние режимов резания на геометрические параметры. В частности, установлено, что рост скорости резания и снижение подачи ведут к увеличению значений параметров шероховатости. Также построена модель оптимизации для выбора оптимальных режимов резания при заданной величине конкретного параметра шероховатости.

My thesis is concerned with Machine Building and needle milling. Needle milling is similarly with milling and abrasion. Needle milling can be used for finishing operation. It necessary to chose right cutting conditions for getting required roughness. Cutting conditions are speed, feed and tension in system of tool and workpiece. The influence of cutting conditions to roughness is research in this article. It was received, that increasing of cutting speed and feed leads to a reduction of surface roughness. The model of optimization for choosing right cutting conditions to obtain required roughness is boiled.

Введение. При обработке проволочным инструментом, как и абразивной, имеет место дискретный контакт с обрабатываемой поверхностью. По характеру физических процессов, протекающих в зоне взаимодействия инструмента с поверхностью заготовки, различают: зачистную, отделочно-зачистную и отделочно-упрочняющую обработку. В качестве проволочного инструмента используют щетки и иглофрезы [1–8].

В данной работе рассмотрено влияние обработки иглофрезерованием на формирование и оптимизацию геометрической структуры поверхности стальных деталей.

Иглофрезерование характеризуется микрорезанием в зоне взаимодействия режущих элементов с поверхностью заготовки. Достигаемая высота микронеровностей находится в пределах Ra 100...0,32 мкм и определяется сочетанием технологических факторов [9, 10]. Иглофрезерование в значительной степени подобно процессам фрезерования и шлифования, т. к. при всех указанных способах обработки имеет место дискретный контакт инструмента с обрабатываемой поверхностью. Кроме этого, с фрезерованием иглофрезерование сближает и то, что резание производится металлическими проволочными элементами, с процессом шлифования – количество режущих элементов, наличие, а иногда и размеры стружки [9].

Основная часть. Параметры режима обработки иглофрезерованием – *скорость резания* (v , м/мин), *подача* ($S_{пр}$, мм/мин), *натяг* (i , мм). При иглофрезеровании цилиндрических по-

верхностей различают продольную ($S_{пр}$, мм/об) и круговую ($S_{кр}$, м/мин) подачи.

Натяг (i) – устранение зазора в системе «инструмент – обрабатываемая поверхность» и создание нагрузки. Натяг в системе поверхность иглофрезы – обрабатываемая поверхность создают относительным перемещением обрабатываемой заготовки и (или) иглофрезы. При этом созданный натяг всегда больше глубины резания.

Скорость резания – один из основных технологических факторов, определяющих эффективность работы иглофрезы. Этот фактор в основном зависит от вязкости обрабатываемого материала. Обычно принятые технологические факторы обработки в настоящее время уточняют экспериментально в зависимости от конкретных условий иглофрезерования и требуемого качества поверхности [9].

Положительной особенностью иглофрезерования является возможность последующего использования металлической стружки, составляющей в отдельных случаях до 5% массы обрабатываемой детали. Стружку применяют в порошковой металлургии. Это обстоятельство свидетельствует о возможности создания мало- и безотходных процессов изготовления деталей машин в результате применения иглофрезерования.

Установлено [9, 10], что при иглофрезеровании кроме уменьшения высоты микронеровностей до Ra 0,4 мкм в поверхностном слое формируются остаточные напряжения сжатия, величина которых в зависимости от технологических факторов обработки достигает на по-

верхности $\sigma_z = -200 \dots 800$ МПа. Глубина их распространения от поверхности составляет 80...120 мкм. Степень наклепа иглофрезерованной поверхности повышается на 34...50% [11]. Выявлено также [10], что наиболее интенсивное влияние иглофрезерование оказывает на изменение свойств поверхностных слоев с глубиной распространения до 0,01 мм.

В данной работе рассматривается влияние параметров режима обработки (V , S , i) на геометрические параметры поверхности деталей из стали 12ХНЗА. Данная сталь часто применяется для деталей, работающих в условиях трения-изнашивания. В таких условиях геометрические параметры поверхности играют немаловажную роль.

Рассматривается влияние на следующие геометрические параметры:

Ra – средняя арифметическая высота профиля (*arithemical meande viation of the assessed profile*) – средняя арифметическая абсолютных значений высот $Z(x)$ профиля внутри элементарного отрезка lr .

Rz – высота неровностей по 10 точкам – сумма средних арифметических абсолютных отклонений точек пяти наибольших минимумов и пяти наибольших максимумов профиля в пределах базовой длины внутри элементарного отрезка lr .

Rq – средняя квадратическая высота профиля (*root mean square deviation form the assessed profile*) – средняя квадратическая абсолютных значений высот $Z(x)$ профиля внутри элементарного отрезка lr .

Rsm – средняя ширина элементов профиля (*mean width of the profile elements*) $X(s)$, находящихся внутри элементарного отрезка.

Для планирования эксперимента составляется матрица. На ее основании получают условия проведения опыта.

Для определения влияния параметров режима иглофрезерования на изменение характеристик топографии поверхности использовали математическое планирование эксперимента. При нахождении уравнений множественной регрессии важно правильно выбрать координаты экспериментальных точек. В этом случае весьма перспективно использование ЛПТ последовательностей. Суть этого метода заключается в том, что точки располагаются в n -мерном пространстве таким образом, чтобы их проекции на любую грань n -мерного гиперкуба лежат как можно более равномерно. В этом случае точки реализации экспериментов располагаются в многомерном пространстве таким образом, чтобы их проекции на оси X_1-X_2 , X_2-X_3 , ..., $X_{i-1}-X_i$ располагались на равном расстоянии друг от друга. Координаты точек рассчитывались из

условия $X_{\min} = 0$ и $X_{\max} = 1$. Матрица планирования экспериментов (условия проведения) представлена в табл. 1. Реализованные сочетания параметров режима иглофрезерования в соответствии с матрицей планирования приведены в табл. 2.

Таблица 1

Матрица планирования эксперимента

Фактор	Точки исследований						
	1	2	3	4	5	6	7
X_1	0,500	0,250	0,750	0,875	0,375	0,625	0,125
X_2	0,500	0,750	0,250	0,625	0,125	0,375	0,875
X_3	0,500	0,250	0,750	0,125	0,625	0,375	0,875

Таблица 2

Условия проведения опытов

Номер опыта	X_1 – скорость резания v , м/мин	X_2 – подача S , мм/мин	X_3 – натяг i , мм
1	169	330	0,22
2	84	530	0,11
3	253	170	0,34
4	295	400	0,06
5	127	85	0,28
6	211	270	0,17
7	42	690	0,39

При использовании специальной программы для ПЭВМ были получены координаты экспериментальных точек для 3 факторов, причем в случае уменьшения числа факторов достаточно отбросить соответствующую строку. Координаты точек в таблице приведены в нормализованном виде.

Результаты ранее выполненных исследований позволили выбрать следующие значения параметров режима иглофрезерования, принятые за основной уровень в данном эксперименте: $v = 338$ м/мин; подача $S = 660$ мм/мин и натяг $i = 0,45$.

В тех случаях, когда характер исследуемых зависимостей неизвестен, при решении технологических задач для моделирования исследуемого процесса широко используются уравнения множественной регрессии [12, 13].

По результатам опытов построены гистограммы изменения параметров Ra , Rz , Rq и Rsm , а также 12 графиков зависимости этих показателей от параметров режима обработки.

Средствами Excel построена модель оптимизации высотного параметра Rz . При выборе необходимого значения подбираются оптимальные параметры режимов обработки с использованием известных формул расчета геометрических параметров. Модель строится ис-

ходя из накладываемых ограничений на параметры обработки.

Заключение. Предварительный анализ результатов эксперимента свидетельствует о том, что минимальные значения исследуемых высотных характеристик шероховатости поверхности после иглофрезерования получены при следующих параметрах режима обработки: $v = 127$ м/мин; $S = 85$ мм/мин; $i = 0,28$ мм; максимальные – при $v = 42$ м/мин; $S = 690$ мм/мин; $i = 0,39$ мм (см. табл. 2, 7-й опыт). Минимальные значения шаговой характеристики RSm были зафиксированы в четвертом опыте при обработке на следующих режимах: $v = 295$ м/мин; $S = 400$ мм/мин; $i = 0,06$ мм, максимальные – в седьмом опыте. Минимум значения относительной опорной длины профиля $Rmr(c)$ на уровне 50% был получен в шестом опыте ($v = 211$ м/мин; $S = 270$ мм/мин; $i = 0,17$ мм); максимум – во втором ($v = 84$ м/мин; $S = 530$ мм/мин; $i = 0,11$ мм).

Литература

1. Сулима, А. М. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин / А. М. Сулима, В. А. Шулов, Ю. Д. Ягодкин. – М.: Машиностроение, 1988. – 240 с.

2. Алексеев, П. П. Формирование шероховатости поверхности при обработке поверхностей пластической деформацией. Технология машиностроения / П. П. Алексеев. – Тула, 1977. – С. 13–17.

3. Костецкий, Б. И. Трение, износ и смазка в машинах / Б. И. Костецкий. – Киев: Техника, 1970. – 395 с.

4. Улиг, Г. Г. Коррозия и борьба с ней. Введение в коррозионную науку и технику / Г. Г. Улиг, Р. У. Реви. – Л.: Химия. Ленингр. отд-ние, 1989. – 456 с.

5. Салуквадзе, В. С. Иглофрезерная обработка поверхности металлов / В. С. Салуквадзе,

В. С. Коптев // Экспресс-информация, сер. ХМ-9. – М.: ЦНИТИхимнефтемаш, 1986. – № 2. – С. 8.

6. Жоров, Ю. С. Качество поверхностного слоя иглофрезерованного металла // Физика и технология упрочнения металлов: тез. докл. Третьего заседания постоянного семинара «Физико-технологические проблемы поверхности металлов». – Л.: Румб, 1984. – С. 45.

7. Баршай, И. Л. Формирование топографии поверхности деталей из стали 12ХНЗА при иглофрезеровании / И. Л. Баршай, Е. Э. Фельдштейн, С. П. Гончаров // Вестник БНТУ. – 2007. – № 4. – С. 9–15.

8. Моделирование влияния иглофрезерования на формирование наклепа / И. Л. Баршай [и др.] // Машиностроение: сб. науч. тр. – Минск: Технопринт, 2007. – Вып. 23. – С. 10–12.

9. Баршай, И. Л. Моделирование влияния иглофрезерования на формирование геометрической структуры поверхности заготовок из чугуна / И. Л. Баршай, А. В. Бирич, С. П. Гончаров // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревооб- раб. пром-сть. – 2008. – Вып. XVI. – С. 276–279.

10. Баршай, И. Л. Моделирование влияния иглофрезерования на формирование наклепа заготовок из чугунов / И. Л. Баршай [и др.] // Машиностроение: сб. науч. трудов. – Минск: БНТУ, 2009. – Вып. 24. – С. 103–105.

11. Гусак, А. А. Справочник по высшей математике / А. А. Гусак, Г. М. Гусак. – Минск: Навука і тэхніка, 1991. – 480 с.

12. Балашевич, В. А. Основы математического программирования: учеб. пособие для инженер.-экон. и экон. специальностей / В. А. Балашевич. – Минск: Выш. шк., 1985. – 173 с.

13. Костеневич, Л. С. Математическое программирование: Информационные технологии оптимальных решений: учеб. пособие / Л. С. Костеневич. – Минск: Новое издание, 2003. – 424с.

Поступила 25.02.2013

УДК 674.055:621.92

А. В. Казакова, магистрант (УГЛТУ, г. Екатеринбург, Россия);**Д. В. Корелин**, аспирант (УГЛТУ, г. Екатеринбург, Россия);**В. Г. Новосёлов**, кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой (УГЛТУ, г. Екатеринбург, Россия)

ВЫБОР ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА НА ОСНОВЕ ПЕНОПОЛИУРЕТАНА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДЕРЕВЯННЫХ ДЕТАЛЕЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ

Задача исследования – определение наилучшего варианта круга по трем переменным параметрам: засаливаемости, удельному расходу круга и мощности резания. Эксперименты проводились на строганных сосновых заготовках. Для определения наилучшего из испытуемых образцов шлифовальных кругов применена процедура дискретной оптимизации на пространстве исследуемых параметров. В качестве целевой функции принята сумма взвешенных рангов этих параметров. Значения рангов параметров каждого образца шлифовального круга вычислялись из условия максимизации целевой функции. Установлено, что максимальное значение целевая функция приобретает у образца шлифовального круга № 8, обладающего в соответствии с принятыми критериями и их весовыми коэффициентами наилучшим сочетанием исследованных параметров.

Objective of this study was to determine the best option for the range of four variables: capacity consumption, circle expense, blunting and cost. Experiments were made on planed pine preparations. Procedure of discrete optimization was applied to definition of best of examinees of samples of grinding circles on space of studied parameters. As criterion function the sum of the weighed ranks of these parameters is accepted. Values of ranks of parameters of each sample of a grinding circle were calculated from a condition of maximizing criterion function. It is established that criterion function gains the maximum value at a sample of a grinding circle No. 8 possessing according to accepted criteria and their weight coefficients the best combination of studied parameters.

Введение. При шлифовании профильных поверхностей на станках твердым инструментом происходит излишнее соприкосновение с поверхностью древесины, и как следствие – прижег либо остаются непрошлифованные места. Шлифование вручную шлифовальными шкурками имеет низкую производительность вследствие отсутствия механизации труда.

В настоящее время все большее применение находит шлифовальный инструмент в виде лепестковых и абразивных самозатачивающихся кругов.

Одним из направлений механизации процесса шлифования профильных поверхностей является применение абразивных кругов на основе пенополиуретана (ППУ), самозатачивающихся в процессе работы. Особенностью этих абразивных кругов является постоянное обновление режущей кромки, в результате чего нет засаливания рабочей поверхности круга и не требуется его периодическая правка. К их достоинствам относятся также: малый коэффициент трения и химическая инертность полиуретана к большинству материалов; высокая прочность на разрыв; круг не засаливается отходами шлифовки и не дает прижега обрабатываемой поверхности благодаря пористой поверхности; хорошая удерживающая способность абразивных зерен; круг легко поддается механической, лезвийной и абразивной обработке при профи-

лировании; круг эластичен и способен сохранять заданный профиль до полного износа; высокое качество шлифованной поверхности при обработке древесины всех пород; возможность обработки одним кругом, диаметром 150 мм, до 8–10 км погонажа. В настоящей работе проанализированы круги на основе ППУ для шлифования профильного погонажа. Путем исследования был выявлен наилучший круг, сочетающий в себе оптимальные параметры.

Основная часть. На кафедре механической обработки древесины УГЛТУ совместно с ЗАО УЦРНТ «Шлифполимер» (г. Кыштым, Челябинская обл.) разработаны и получены опытные образцы шлифовальных кругов на основе ППУ, а совместно с кафедрой станков и инструментов УГЛТУ разработан станок типа ШлПр для шлифования профильных погонажных деталей с использованием опытных шлифовальных кругов. Задачей исследования было определение наилучшего варианта круга по трем переменным параметрам: засаливаемости, удельному расходу круга на 6 м погонажа и мощности резания для срезаемого слоя высотой 0,025 мм. Для проведения экспериментов были отобраны строганные сосновые заготовки, как наиболее распространенная порода в производстве мебели.

Заготовки подразделялись по направлению волокон: тангентальные, радиальные и полурадиальные, длина заготовок 1 м. Исследования

опытных образцов шлифовальных кругов на засаливаемость и расход проводились на станке ШлПр (рис. 1), имевшем характеристики: частота вращения шлифовального круга 1000 мин^{-1} ; мощность электродвигателя $0,55 \text{ кВт}$; скорость подачи детали 1 м/мин ; габаритные размеры $860 \times 450 \times 940 \text{ мм}$; масса станка 60 кг .



Рис. 1. Станок ШлПр

Шлифовальные круги устанавливались на станок, и попеременно подавались заготовки длиной 1 м . При этом замерялся диаметр шлифовального круга до шлифования и после него, разница показывала расход инструмента на 6 м шлифуемой древесины. После каждого метра шлифованной древесины фиксировалось закаливаемость круга и определялась стойкость инструмента. После шлифования с помощью прибора ТСП-4 определялась шероховатость поверхности.

Для определения мощности на резание измерялись силы резания, для чего на главном валу лабораторной установки кафедры станков и инструментов на базе горизонтально-фрезерного станка НГФ-110Ш4 (рис. 2) зажимался шлифовальный круг, а на стакане с тензорезисторами закреплялась заготовка. Для процесса шлифования устанавливались следующие параметры резания: скорость подачи заготовки 1 м/мин , частота вращения шлифовального круга 800 мин^{-1} . Шлифование проводили с изменением высоты шлифуемого слоя от 0 до $0,075 \text{ мм}$.

Сигнал с тензорезисторов передавался на персональный компьютер и обрабатывался в специализированной программе LabVIEW. Далее данные импортировались в пакет Matlab, где проводилась предварительная обработка.

Окончательная обработка, сравнение и построение графиков выполнялись в пакете Microsoft Excel.

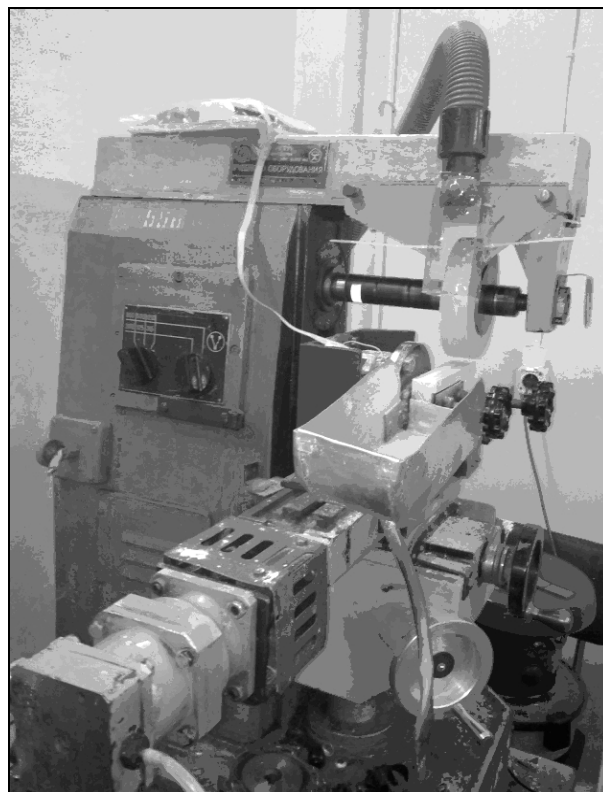


Рис. 2. Лабораторная установка на базе горизонтально-фрезерного станка НГФ-110Ш4

В табл. 1 приведены значения параметров, полученные в результате эксперимента.

Таблица 1

Результаты экспериментальных исследований

Номер круга	Параметр		
	Экспертная оценка засаливаемости Z	Расход круга R , мм	Мощность на резание P , Вт
4	3	0,83	0,267
5	4	0,10	0,240
6	1	0,67	0,183
7	3	0,20	0,068
8	1	0,13	0,642
9	2	0,10	0,071
10	1	0,27	0,735

Поскольку исследованные параметры различны, то было применено их ранжирование:

$$R_{ji} = \frac{\min(X_{ji})}{X_{ji}}, \quad (1)$$

где R_{ji} – ранг j -того образца шлифовального круга по i -тому параметру; X_{ji} – абсолютное

значение i -того параметра j -того образца шлифовального круга.

Ранжированные значения параметров приведены в табл. 2, здесь же указаны весовые коэффициенты параметров, полученные экспериментальным путем.

Таблица 2

**Ранжированные значения
исследованных параметров**

Номер круга	Параметр		
	Экспертная оценка засаливаемости	Расход круга, мм	Мощность на резание, Вт
4	0,333	0,120	0,255
5	0,250	1,000	0,283
6	1,000	0,149	0,372
7	0,333	0,500	1,000
8	1,000	0,769	0,106
9	0,500	1,000	0,958
10	1,000	0,370	0,093
Весовой коэффициент параметра	0,6	0,3	0,1

На рис. 3 показана объемная диаграмма взвешенных значений рангов параметров.

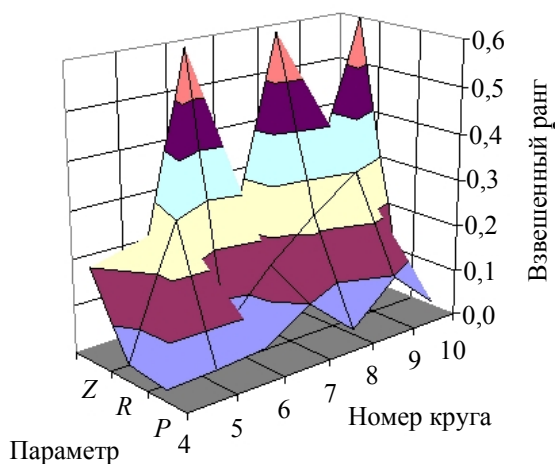


Рис. 3. Объемная диаграмма взвешенных рангов

Как видно, непосредственно по диаграмме взвешенных значений рангов параметров шли-

фовальных кругов выбрать наилучший невозможно.

Для определения наилучшего из испытуемых образцов шлифовальных кругов была применена процедура дискретной оптимизации на пространстве исследуемых параметров. В качестве целевой функции была принята сумма взвешенных рангов этих параметров

$$F_j(Z_j, R_j, P_j) = \sum_i (\alpha_j R_{ji}) \rightarrow \min, \quad (2)$$

где α_i – весовой коэффициент i -того параметра.

На рис. 4 приведена гистограмма значений целевой функции исследованных шлифовальных кругов.

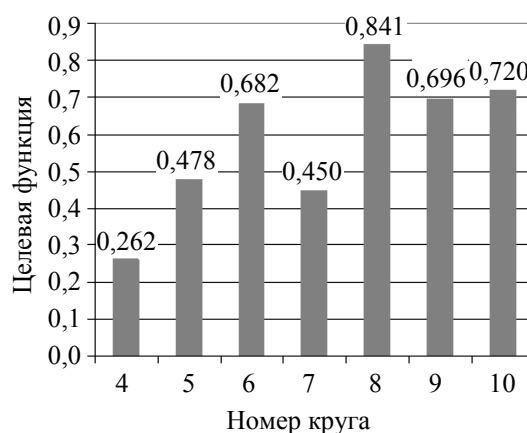


Рис. 4. Гистограмма целевой функции

Заключение. Максимальное значение целевая функция приобретает у образца шлифовального круга № 8, обладающего в соответствии с принятыми критериями и их весовыми коэффициентами наилучшим сочетанием исследованных параметров.

Литература

1. Применение шлифовальных кругов на ППУ основе // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды VI Междунар. Евраз. симпоз., Екатеринбург, 17–20 мая 2011 г. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2011. – С. 113–115.

Поступила 25.02.2013

УДК 674.053:621.933.61:62-192

В. М. Кириченко, аспирант (УГЛТУ, г. Екатеринбург, Россия);**Л. А. Шабалин**, кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой (УГЛТУ, г. Екатеринбург, Россия)**НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПИЛЬНЫХ РАМОК**

Задача исследований – выявление причин поломок пильных рамок на выпускаемых тарных одношатунных лесопильных рамах. По результатам полученных исследований проектировщики и завод-изготовитель создали и выпустили принципиально новую тарную двухшатунную лесопильную раму с качанием пильной рамки с дальнейшим проведение на одном из ее образцов комплексных исследований напряженно-деформированного состояния и динамической нагруженности всех элементов кривошипно-шатунного механизма резания, в том числе и пильной рамки. По результатам полученных исследований заводу-изготовителю была предложена облегченная конструкция пильной рамки с измененными верхними захватами пил, что дало возможность увеличить частоту вращения коленчатого вала на 4%.

Identification of the reasons of breakages of a saw framework on let-out tare odnoشاتunny sawing frames was a research problem. By results of the received researches designers and manufacturer created and let out essentially new tare dvukhشاتunny sawing frame with swing of a saw frame with further carrying out on one of its model of complex researches intense the deformed condition and dynamic loading of all elements of the krivoshipno-шатunny mechanism of cutting, including saw frame. By results of the received researches the facilitated design of a saw frame with the changed top captures of saws that gave the chance to increase the frequency of rotation of a cranked shaft by 4% was offered manufacturer.

Введение. Тарбагатайский завод деревообрабатывающих станков выпустил промышленную партию тарных одношатунных лесопильных рам (ЛР), надежность пильных рамок (ПР) которых оказалась недостаточной. При их эксплуатации, несмотря на *достаточные расчетные запасы прочности*, наблюдались недопустимые остаточные прогибы и поломки элементов ПР.

Основная часть. Для выявления причин отказов этих ПР в лаборатории динамики кафедры «Детали машин» УГЛТУ были проведены исследования напряженного состояния их деталей. Исследования подтвердили [1]: при наиболее тяжелом режиме работы ЛР (16 пил в поставе с рекомендуемым усилием их натяжения 12 кН) напряжения в опасных сечениях поперечин и стоек ПР превышают предел текучести материалов, из которых они изготовлены, а действительные запасы усталостной прочности в этих сечениях меньше допустимых значений. Сказанное связано как с недостаточной жесткостью боковин поперечин, так и с нерациональной конструкцией захватов пил, особенно верхних.

Полученные выводы исследований оказались решающими для проектировщиков и завода-изготовителя, которые создали и выпустили принципиально новую тарную двухшатунную ЛР с качанием ПР. На опытном образце этой ЛР в лаборатории динамики УГЛТУ были проведены комплексные исследования напряженно-деформированного состояния и динамической нагруженности всех элементов кривошипно-шатунного механизма резания, в том числе и ПР.

Деформации деталей ПР измерялись 17 индикаторами часового типа только от натяжения пил, а напряжения измерялись 113 тензодатчиками как от натяжения пил, так и при работе ЛР на различных режимах: пуск, холостой ход, пиление, выбег.

На рис. 1, 2 приведены картина деформаций (мм) и эпюры экстремальных напряжений (МПа) элементов ПР.

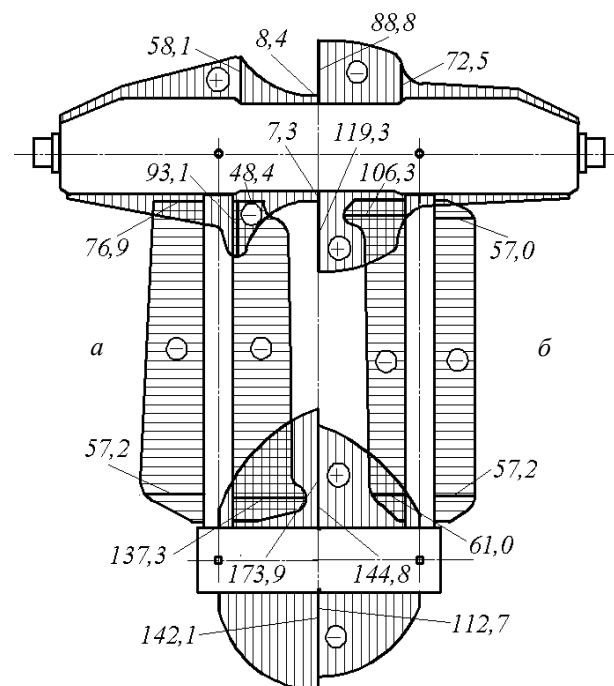


Рис. 1. Картина деформаций элементов ПР от натяжения 18 пил с усилием 12 кН

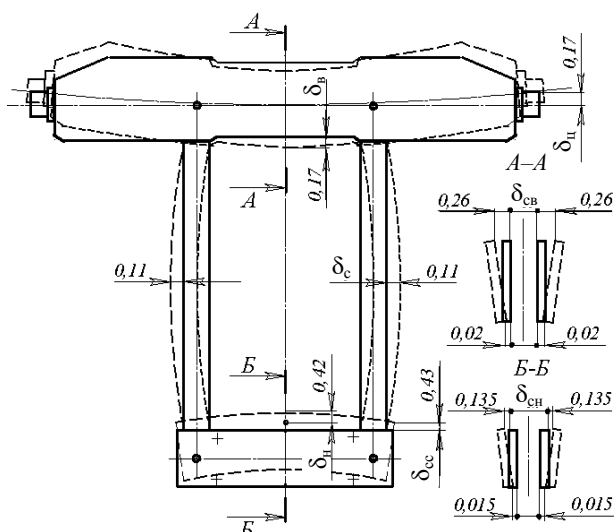


Рис. 2. Эпюры экстремальных (max, min) напряжений элементов ПР при пилении вблизи верхней и нижней мертвых точек механизма резания (в поставе 18 пил)

Исследования снова подтвердили нерациональную конструкцию захватов пил, которые при натяжении пил вызывают деформацию боковин поперечин еще и в плоскости их наименьшей жесткости.

Статическая и циклическая прочность деталей ПР была достаточной. Более того, у верхней поперечины во многих сечениях имелся резерв прочности, что позволило рекомендовать

снизить массу этой детали за счет уменьшения сечений и исключения на двух верхних боковинах восьми галтельных концентраторов.

Была разработана и изготовлена новая конструкция верхних захватов пил, исключающая деформацию боковин верхней поперечины в плоскости их наименьшей жесткости, а напряжения в опасных сечениях этой детали от натяжения пил при исследовании таких захватов снизилась примерно на 30%.

Заводу-изготовителю была предложена облегченная конструкция ПР, что дало возможность увеличить частоту вращения коленчатого вала на 4%.

Заключение. Проведенные исследования позволили заводу в короткий срок выпустить промышленную партию и перейти на серийный выпуск двухшатунных тарных ЛР с качанием ПР под маркой РТ-40, длительные производственные испытания которых подтвердили высокую надежность всех элементов, в том числе и пильной рамки.

Литература

1. О причинах отказов пильных рамок тарных лесопильных рам / Л. А. Шабалин [и др.] // Известия высших учебных заведений. № 3. Лесной журнал. Раздел «Механическая обработка древесины и древесиноведение». – 1986. – С. 52–56.

Поступила 25.02.2013

УДК 674.055:621.92

И. Т. Рогожникова, кандидат технических наук, доцент (УГЛТУ, г. Екатеринбург, Россия);**В. Г. Новосёлов**, кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой (УГЛТУ, г. Екатеринбург, Россия)**ОБ УЧАСТИИ ЛЕЗВИЙ МНОГОЛЕЗВИЙНОГО ИНСТРУМЕНТА
В ФОРМИРОВАНИИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ДРЕВЕСИНЫ**

Шероховатость получаемой поверхности при продольном цилиндрическом фрезеровании формируется совокупностью кинематической волнистости и неровностей разрушения древесины. При неодинаковых радиусах резания отдельные резцы могут не принимать участия в окончательном формировании поверхности. Важно знать, будут ли в этом случае лезвия с меньшим радиусом участвовать в процессе срезания стружки. Проведено теоретическое исследование и получена формула допускаемой разности радиусов резания резцов, сформулированы условия участия лезвий многолезвийного инструмента в формировании обработанной поверхности древесины: режут и формообразуют все резцы; все резцы режут, хотя формообразуют не все; некоторые резцы режут, хотя формообразует один; один резец режет и формообразует.

The roughness of a received surface at longitudinal cylindrical milling is shaped by set of a kinematic sinuosity and roughnesses of destruction of wood. At unequal radiuses of cutting separate cutters can not accept participation in final formation of a surface. Whether important know there will be in this case edges with smaller radius to participate during cutting a shear. Carried out theoretical research and the formula of a supposed difference of radiuses of cutting of cutters is received. Conditions of participation of edges many bladed the tool in formation of the processed surface of wood are stated: cut and shape all cutters; cutters cut all, though shape not all; some cutters cut, though shape one; one cutter cuts and shape.

Введение. Качество обработки древесины определяется шероховатостью получаемой поверхности, которая при продольным цилиндрическим фрезерованием формируется совокупностью кинематической волнистости и неровностей разрушения древесины.

Основная часть. В работе Б. М. Буглая [1] рассмотрены вопросы образования кинематической волнистости и влияния радиуса резания резцов на формирование поверхности древесины. При неодинаковых радиусах резания резцы оставляют неодинаковые по длине волны. При определенной разнице радиуса резания отдельные резцы могут не принимать участия в окончательном формировании поверхности. В крайнем случае, поверхность может формироваться только одним, наиболее выступающим резцом. В этом случае минимальная разница радиусов резания, при которой лезвие перестает касаться волны, оставленной наиболее выступающим лезвием, определяется по известной формуле [1]:

$$\Delta R = R_1 - \sqrt{R_1^2 + S_n^2 \frac{\omega}{360} \left(\frac{\omega}{360} - 1 \right)}, \quad (1)$$

где R_1 – радиус резания наиболее выступающим лезвием фрезы, мм; S_n – подача на оборот фрезы, мм; ω – центральный угол, заключенный между наиболее выступающим резцом и рассматриваемым, град.

Наибольшая допустимая величина разности радиуса резания резцов соответствует центральному углу $\omega = 180^\circ$. При величине подачи

на один зуб 0,5 мм, глубине резания 2,5 мм, номинальном (максимальном) радиусе резания 75 мм и количестве лезвий фрезы 2 эта разность составит 0,001667 мм. Если разность радиусов окажется больше, чем определенная по формуле (1), то второй резец не будет участвовать в формировании кинематической волнистости. Однако данный резец может участвовать в процессе резания.

В работах Ф. М. Манжоса [2], В. И. Любченко [3] отмечается, что для уменьшения шероховатости поверхности в общем случае требуетсяряду с увеличением скорости резания и числа резцов соблюдать высокую точность радиуса резания резцов. Утверждается также, что при установке ножей необходимо, чтобы радиус резания лезвий всех ножей в любом сечении ножевого вала отличался не более чем на 0,05–0,10 мм.

Увеличение радиуса резания резца приводит к тому, что второй нож будет принимать участие в формировании поверхности, хотя будет срезать слои в толще снимаемого припуска. Критический момент наступит, когда на поверхности будут волны, оставленные только одним резцом.

В работе [4] А. Э. Грубе также утверждает, что для совпадения или максимального приближения траектории движения второго ножа необходимо, чтобы радиус его резания отличался от радиуса резания первого ножа менее чем на 0,008 мм. При этих условиях второй нож оставит след на поверхности обработки. Однако, как утверждает автор, поскольку точность

установки ножей в лучшем случае составляет практически 0,05 мм, то второй нож следа на поверхности обработки не оставит, а след будет оставлен одним, наиболее выступающим лезвием.

В связи с этим возникает вопрос: а будут ли в случае невыполнения условия, определенного формулой (1), лезвия с меньшим радиусом участвовать в процессе срезания стружки? Это важно знать, так как процесс резания связан с возникающими силами технологического сопротивления (резания), он определяет механическую прочность и износостойкость инструмента, влияет на шумообразование и вибрацию в деревообрабатывающих станках.

Идеально точного расположения ножей фрезы достигнуть сложно. Существует четыре случая участия резцов многозубой фрезы в формообразовании обрабатываемой поверхности:

- режут и формообразуют все резцы;
- все резцы режут, хотя формообразуют не все резцы;
- некоторые резцы режут, хотя формообразует один резец;
- один резец режет и формообразует.

Первому случаю соответствует условие, определяемое формулой (1). Рассмотрим схему образования поверхности при продольном цилиндрическом фрезеровании двухзубой фрезой (рис. 1).

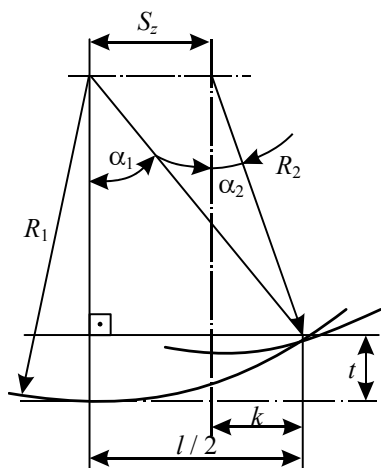


Рис. 1. Схема образования поверхности

Расстояние, которое пройдет ось вращения фрезы за время, соответствующее центральному углу между зубьями, будет равно подаче на зуб S_z .

При глубине резания t траектория, описываемая резцом с радиусом R_2 , коснется поверхности, образованной резцом с радиусом R_1 , в точке его выхода из древесины.

Из рис. 1 следует, что

$$\cos \alpha_1 = \frac{R_1 - t}{R_1}, \quad (2)$$

и

$$\cos \alpha_2 = \frac{R_1 - t}{R_2}. \quad (3)$$

После ряда преобразований получаем

$$R_2 = R_1 \frac{\cos \alpha_1}{\cos \alpha_2}. \quad (4)$$

Из рис. 1 также следует, что

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{k}{R_1 - t}, \quad (5)$$

где k — разница между полудлиной волны и подачей на зуб S_z .

Тогда

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{k}{R_1 - t} = \frac{\sqrt{2tR_1} - S_z}{R_1 - t}. \quad (6)$$

Из тригонометрии, при малых значениях положительных углов, имеем

$$\cos \alpha_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_2}}. \quad (7)$$

После всех подстановок получим

$$\Delta R = R_1 \left[1 - \left(1 - \frac{t}{R_1} \right) \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_2} \right]. \quad (8)$$

При номинальном значении радиуса резания 75 мм, подаче на зуб 0,5 мм, глубине срезаемого слоя 2,5 мм минимальная разница радиусов резания, при которой оно осуществляется одним резцом, составит 0,086 мм. При меньшей разнице в работу по срезанию стружки будут вовлечены оба резца.

Объемная диаграмма разности радиусов резания представлена на рис. 2.

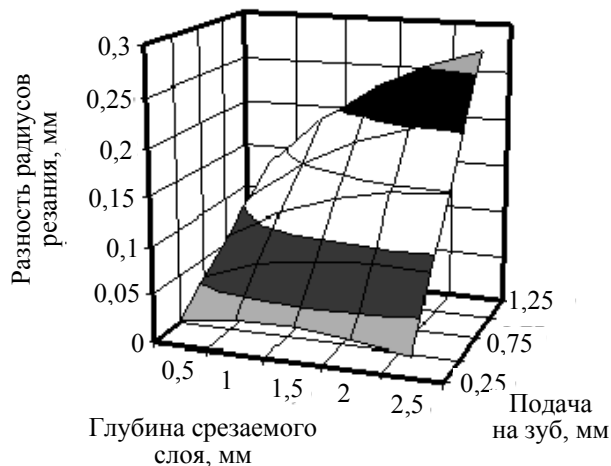


Рис. 2. Объемная диаграмма разности радиусов резания

Таким образом, имеющиеся рекомендации по разнице радиуса резания резцов в пределах 0,05 мм можно признать обоснованными при данных параметрах с точки зрения участия лезвий в работе по превращению снимаемого слоя древесины в стружку. Однако эта разность слишком велика, чтобы второе лезвие оставило след на сформированной поверхности обработки. В настоящее время на продольно-фрезерных станках используются многозубые ($Z \geq 2$) фрезы. Резание одним резцом в этом случае будет происходить, если за время прохождения всех других резцов ни одна из их траекторий не пересечет образованную им поверхность резания.

Учитывая, что наибольшая допустимая величина разности радиуса резания резцов соответствует центральному углу $\omega = 180^\circ$, с достаточной точностью можно сформулировать следующие условия участия лезвий многолезвийного инструмента в формировании обработанной поверхности древесины.

1. Режут и формообразуют все резцы, если для каждого резца радиус резания R_i находится в диапазоне

$$R_1 \geq R_i > R_1 - \Delta R, \quad (9)$$

где R_1 – радиус резания наиболее выступающего резца; ΔR – разность радиусов резания, при которой лезвие перестает касаться волны, оставленной наиболее выступающим лезвием, определяется по формуле (1).

2. Все резцы режут, хотя формообразуют не все резцы:

$$R_1 - \Delta R \geq R_i > R_2, \quad (10)$$

где R_2 – радиус резца, определяемый по формуле (4).

3. Некоторые резцы режут, хотя формообразует один резец:

$$R_1 - \Delta R > R_i \geq R_2. \quad (11)$$

4. Один резец режет и формообразует

$$R_i < R_2, i \neq 1. \quad (12)$$

Следует отметить, что как в методике Б. М. Буглая [1], так и в предлагаемом расчете система СПИД принята абсолютно жесткой, и не учитываются ее упругие и температурные деформации, безусловно, влияющие на кинематику процесса резания и на формирование обработанной поверхности. Этот вопрос требует дальнейшего изучения и учета.

Заключение. 1. Требования к точности совпадения радиусов резания резцов с точки зрения обеспечения участия в формировании поверхности и с точки зрения участия в процессе стружкообразования отличаются более чем на порядок в сторону последних.

2. Принятая на практике точность установки лезвий сборных фрез до 0,05 мм является теоретически обоснованной с точки зрения их участия в процессе стружкообразования.

3. Для более точного определения условий участия лезвий в формировании поверхности и в процессе стружкообразования необходимо дополнительно рассмотреть и учесть деформации системы СПИД.

Литература

1. Буглай, Б. М. Исследования и нормализация чистоты поверхности древесины: дис ... д-ра техн. наук: в 2 т. / Б. М. Буглай. – М., 1957. – Т. I. – 356 л.; Т. II. – 356 л.
2. Манжос, Ф. М. Настройка дереворежущих станков / Ф. М. Манжос. – М.: Гослесбумиздат, 1955. – 104 с.
3. Любченко, В. И. Резание древесины и древесных материалов: учеб. пособие для вузов / В. И. Любченко. – М.: Лесная пром-сть, 1989. – 296 с.
4. Грубе, А. Э. Дереворежущие инструменты / А. Э. Грубе. – М.: Лесная пром-сть, 1971. – 344 с.

Поступила 25.02.2013

УДК 674.05:621.914.1

Т. В. Полякова, кандидат технических наук,
старший преподаватель (УГЛТУ, г. Екатеринбург, Россия);

В. Г. Новосёлов, кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой (УГЛТУ, г. Екатеринбург, Россия)

ВЛИЯНИЕ ЖЕСТКОСТИ СИСТЕМЫ «СТАНОК – ПРИСПОСОБЛЕНИЕ – ИНСТРУМЕНТ – ДЕТАЛЬ» НА ТОЧНОСТЬ ПРОДОЛЬНОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

Для оценки влияния жесткости системы СПИД на точность обработки заготовок проведены исследования деформаций валов верхней и левой боковой ножевых головок четырехстороннего продольно-фрезерного станка «Beaver 523». Сила определялась динамометром сжатия, для измерения деформации использовалась стойка с индикатором часового типа. Измерения проводились при нагружении и разгрузке трехкратно, по усредненным значениям построены соответствующие графики зависимости силы и деформации. Расчетом определены возможные при работе станка средние и мгновенные силы резания. Установлено, что под действием максимальной мгновенной силы резания динамический прогиб на конце вала у верхней ножевой головки составит 0,023 мм, а у левой боковой – 0,003 мм, что на порядок меньше, чем допускаемое по нормам точности отклонение размера детали. Следовательно, величиной динамического прогиба валов данного станка, влияющей на точность обработки, можно пренебречь.

To assess the impact of AIDS on the system hardness precision machining workpieces held to study deformations of shafts top and left side cutter heads četyrehsto-longitudinal-milling machine was "Beaver 523". Power was determined by the dynamometer, FAS, to measure the deformation of the front was used with the time type. Measurement procedure of loading and unloading is carried out three times, on average the values in the stroeny dependency graphs of force and deformation. Calculation of possible machine the average and instantaneous cutting forces. found that under dei Multifiber maximum instantaneous cutting forces the dynamic deflection at the end of the shaft at the top-it will be head cutter 0.023 mm and 0.003 mm left sidebar that is less than the permitted deviation level accuracy standards. Consequently, the size of the dynamic deflection rollers the machine tool on Machining accuracy can be neglected.

Введение. Точность является одним из основных показателей качества изготавливаемой продукции и с точки зрения надежности технологической системы по ГОСТ [1] принимается в качестве основного критерия работоспособности. При обработке древесины резанием конечный размер детали определяется фактическим положением плоскости резания. Возникающие при резании силы воспринимаются инструментом и приспособлением, в котором инструмент закреплен, а также деталью и приспособлением, в котором она установлена и закреплена, благодаря чему образуется замкнутая силовая система – СПИД. Упругость системы СПИД приводит к деформациям ее элементов под действием сил резания и закрепления, инерционных и других сил и к образованию погрешностей форм и размеров обрабатываемой детали. Периодическое изменение силы резания обуславливает соответствующее периодическое изменение деформаций системы СПИД, то есть вибрацию. Упругие деформации обусловлены отжатиями основных узлов и отдельных элементов технологической системы, также контактными деформациями. Непостоянство сил резания в процессе обработки детали, обусловленное изменением сечения срезаемой

стружки, изменением механических свойств материала, износом и затуплением режущего инструмента, колебаниями снимаемого припуска материала, различной жесткости детали ввиду неоднородности физико-механических свойств древесины, вызывает и неравномерность упругих деформаций системы «станок – приспособление – инструмент – деталь», что влияет на точность обработки заготовки.

Основная часть. Для оценки влияния жесткости системы СПИД на точность обработки заготовок проведены исследования деформаций валов верхней и левой боковой ножевых головок четырехстороннего продольно-фрезерного станка «Beaver 523» в лаборатории кафедры станков и инструментов УГЛТУ. Нагружение валов производилось с помощью настроечных механизмов станка, сила определялась динамометром сжатия ДОСМ-3-1, для измерения деформации использовалась стойка с индикатором часового типа (рис. 1).

Сила прикладывалась к валу в средней части ножевой головки, и в этом сечении определялась величина деформации (рис. 2). Измерения проводились при нагрузке и разгрузке трехкратно, по усредненным значениям построены соответствующие графики зависимости силы и деформации, представленные на рис. 3.

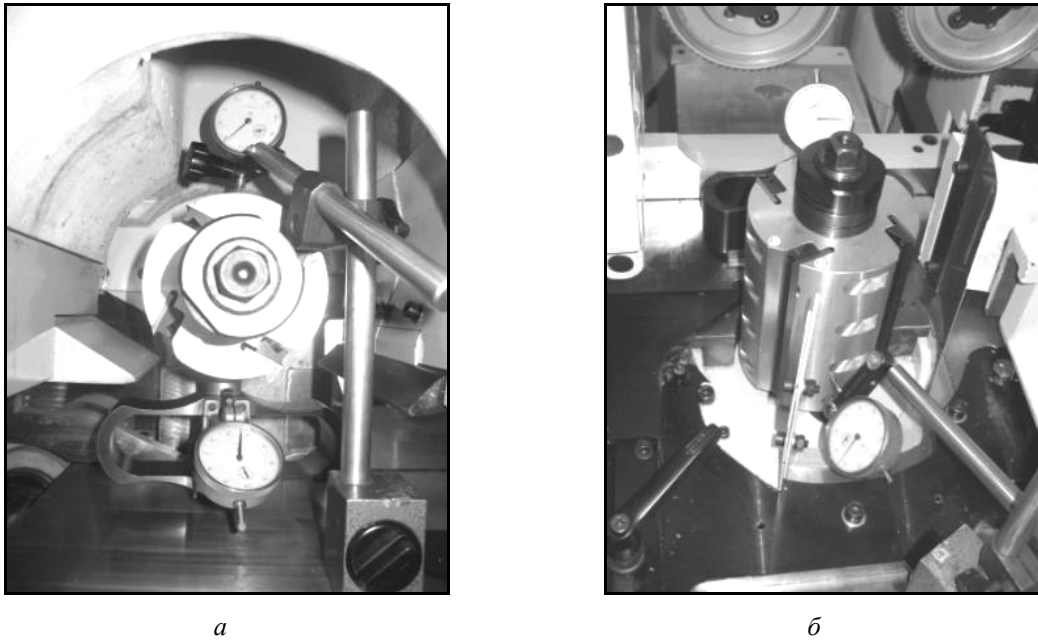


Рис. 1. Установка приборов для измерения сил и деформаций на верхней (а) и левой боковой (б) ножевых головках четырехстороннего продольно-фрезерного станка «Beaver 523»

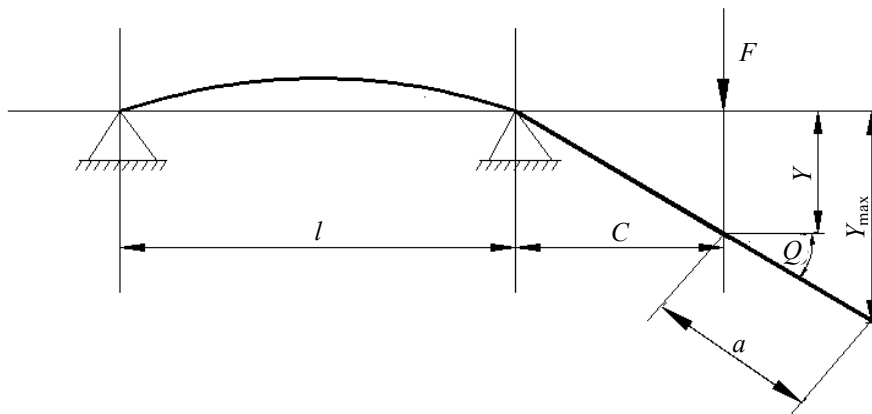


Рис. 2. Схема нагружения и измерения деформации валов ножевых головок четырехстороннего продольно-фрезерного станка «Beaver 523»

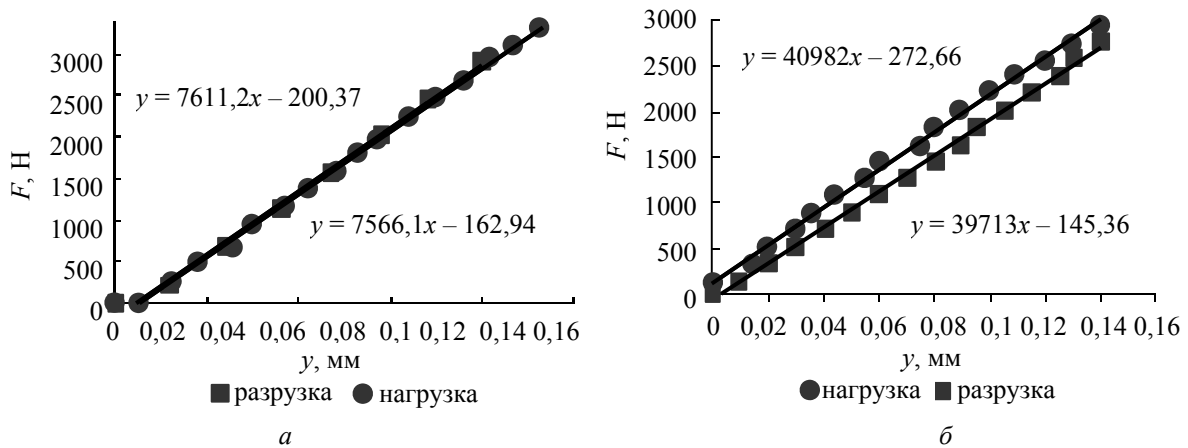


Рис. 3. Графики зависимости силы и деформации валов верхней (а) и левой боковой (б) ножевых головок четырехстороннего продольно-фрезерного станка «Beaver 523»

Как видно, нагрузочные и разгрузочные зависимости силы и деформации валов несколько различаются ввиду трения в соединениях деталей и гистерезиса в их материалах. Однако с достаточной для решения поставленной задачи точностью можно принять средние коэффициенты пропорциональности силы и деформации валов ножевых головок: верхней – 7589 Н/мм и левой боковой – 40303 Н/мм.

Из уравнения изогнутой оси двухопорной балки с нагруженной консолью [2]:

$$y = \frac{F c^2 (l + c)}{EJ 3}, \quad (1)$$

можно выразить приведенную к валу постоянного диаметра жесткость сечения EJ :

$$EJ = \frac{F c^2 (l + c)}{y 3}, \quad (2)$$

где дробь F / y и есть определенный из опыта коэффициент пропорциональности. Для определения деформации валов в процессе фрезерования выполним расчет сил резания на основе решения обратной задачи [3]. Окружная касательная сила резания средняя за оборот фрезы

$$F_{x0} = \frac{1000P\eta}{V}, \quad (3)$$

где P – мощность электродвигателя механизма резания, кВт; η – к. п. д. механизма резания; V – скорость резания, м/с.

Средняя сила резания на дуге контакта лезвий с древесиной, исходя из баланса работы сил:

$$F_{x_{\text{зуб}}} = \frac{F_{x0} \pi D}{l_k z}, \quad (4)$$

где D – диаметр фрезы, мм; l_k – длина дуги контакта лезвия с древесиной, мм; z – количество лезвий фрезы. Длина дуги контакта лезвия с древесиной

$$l_k = \sqrt{tD}, \quad (5)$$

где t – глубина фрезерования, мм.

Для станка «Beaver 523» с частотой вращения шпинделей 6000 мин^{-1} , диаметром фрез 125 мм, мощностью двигателя верхней головки 11 кВт, двигателя левой головки 5,5 кВт, считая к. п. д. пары подшипников качения 0,99, с количеством лезвий на фрезах 4, глубиной фрезерования 2 мм, получим для ножевых головок: верхней $F_{x_{\text{зуб}}} = 1722 \text{ Н}$ и левой боковой $F_{x_{\text{зуб}}} = 1174 \text{ Н}$. Приблизительно, полагая, что мгновенная сила ре-

зания нарастает по закону треугольника, можно принять ее максимальное значение равным удвоенному среднему, тогда получим для ножевых головок: верхней $F_{x_{\text{max}}} = 3444 \text{ Н}$ и левой боковой $F_{x_{\text{max}}} = 2348 \text{ Н}$.

Исходя из сделанных предположений, максимальная сила отжима составит для ножевых головок: верхней $F_{x_{\text{max}}} = 109 \text{ Н}$ и левой боковой $F_{x_{\text{max}}} = 74 \text{ Н}$. Ввиду дорезонансного режима работы валов можно считать их прогибы пропорциональными нагрузке, тогда деформация в средней части лезвия ножа фрезы не превысит 0,014 мм для верхней головки и 0,002 мм для боковой. Считая кривизну изогнутой оси вала малой, а также ввиду жесткости корпусов ножевых головок, примем, что деформация вала пропорциональна длине участка консоли. Тогда максимальный прогиб на конце верхней ножевой головки вала приблизительно составит 0,023 мм, а у левой боковой – 0,003 мм. Эта величина прогибов валов на порядок меньше, чем допускаемое по нормам точности отклонение размера детали 0,2 мм, обработанной на четырехстороннем продольно-фрезерном станке [4].

Заключение 1. Жесткость системы СПИД оказывает влияние на деформации валов ножевых головок фрезерного станка под действием сил отжима.

2. Величина деформаций валов ножевых головок реального фрезерного станка «Beaver 523» на порядок меньше, чем отклонение размера детали, допускаемое по нормам точности для четырехсторонних продольно-фрезерных станков.

Литература

1. Надежность в технике. Технологические системы. Методы оценки надежности по параметрам качества изготавливаемой продукции: ГОСТ 27.202-83. – Введ. 1984-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 50 с.
2. Любошиц, М. И. Справочник по сопротивлению материалов / М. И. Любошиц, Г. М. Ицкович. – Изд. 2-е, испр. и доп. – Минск: Выш. шк., 1969 – 464 с.
3. Глебов, И. Т. Обработка древесины методом фрезерования: учеб. пособие / И. Т. Глебов. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2007. – 192 с.
4. Деревообрабатывающее оборудование. Станки строгальные четырехсторонние. Нормы точности: ГОСТ 7315-83. – Введ. 1983-04-28. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 9 с.

Поступила 25.02.2013

УДК 674.05+621.9

С. В. Щепочкин, кандидат технических наук, доцент (УГЛТУ, г. Екатеринбург, Россия);
В. К. Пашков, кандидат технических наук, профессор (УГЛТУ, г. Екатеринбург, Россия)

РЕЖИМЫ ПИЛЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ В КРУГЛОПИЛЬНЫХ СТАНКАХ ПО КРИТЕРИЮ ТЕПЛОСТОЙКОСТИ МАТЕРИАЛА ИНСТРУМЕНТА

Приведены результаты экспериментальных исследований по определению среднего значения коэффициента теплоотдачи зуба, распределению температуры по его высоте и зависимости температуры резания от мощности резания. Значения коэффициентов теплоотдачи зубьев пилы определены методом полного факторного эксперимента. Разработаны формулы для расчета скорости подачи в круглопильных станках с учетом температуры резания для продольного и поперечного пиления древесины. Применение режимов пиления круглыми пилами по теплостойкости материала инструмента позволит уменьшить аварийный расход круглых пил, оптимизировать режимы пиления, снизить затраты на подготовку инструмента.

The results of pilot studies on determination of average value of tooth heatreturn factor, the temperature distribution on its height and dependence of cutting temperature on cutting capacity are given. Heatreturn factors values of saw teeth are de-fined by a method of complete factorial experiment. Formulas are developed for calculation of giving speed in circular saw machines taking into account cutting temperature for a longitudinal and cross-section cutting of wood. Application of cutting modes by circular saws on heat resistance of a material of the tool will allow to re-duce an emergency expense of round saws, to optimize cutting modes, to lower costs of tool preparation.

Введение. Механическая работа эквивалентно превращается в тепловую энергию, которая вызывает нагрев инструмента. Исследования, выполненные в работе [1], показали, что температура резания в зоне контакта лезвия с заготовкой достигает значений, которые могут вызвать тепловую посадку материала лезвия. В связи с этим температуру лезвия в области микрослоев, прилегающих к режущей кромке, необходимо включить в руководящие технические материалы по определению режимов пиления древесины круглыми пилами (РТМ) [2] в качестве еще одного ограничения при назначении режима резания.

Основная часть. Зависимость температуры резания от мощности резания рассмотрена в работе [1] и определяется выражением

$$t_0 = \frac{\beta_n N_{\text{рез}} K_1}{z \alpha_z + K_2 \alpha_p}, \quad (1)$$

где β_n – коэффициент, учитывающий периодичность процесса резания; $N_{\text{рез}}$ – мощность резания, Вт; K_1 – коэффициент доли мощности на резание, идущей на нагрев инструмента, $K_1 = 0,10 \dots 0,45$; z – число зубьев пилы; α_z – среднеинтегральный коэффициент теплоотдачи зуба пилы, Вт/°С; α_p – среднеинтегральный коэффициент теплоотдачи диска, Вт/°С; K_2 – коэффициент, равный отношению температуры на периферии диска (окружности межзубовых впадин) к температуре резания, $K_2 = 0,025 \dots 0,100$.

Коэффициент β_n , учитывающий периодичность процесса резания, определяется из выражения

$$\beta_n = \frac{(\varphi_{\text{ВЫХ}} - \varphi_{\text{ВХ}})}{360}, \quad (2)$$

где $\varphi_{\text{ВХ}}$, $\varphi_{\text{ВЫХ}}$ – углы входа зуба в распиливаемый материал и выхода из него, град/

Для практических расчетов рекомендуется принять значения коэффициентов $K_1 = 0,30$; $K_2 = 0,05$. Расчет среднеинтегральных коэффициентов α_z и α_p подробно рассмотрен в работах [3] и [4] соответственно.

Среднеинтегральный коэффициент теплоотдачи зуба пилы, Вт/°С, определяется из выражения

$$\alpha_z = 10^{-8} B^{0,7257} \beta^{0,5063} \alpha_{\text{cp}}^{0,6385} \beta_1^{0,0715} a^{0,0755} \times \\ \times (0,014h^3 - 1,82h^2 + 82,79h + 20,05), \quad (3)$$

где B – толщина зуба (пильного диска), мм; β – угол заострения зуба, град; α_{cp} – средний коэффициент теплоотдачи зубьев пил, Вт/(°С·м²); β_1 – вспомогательный угол, град, $\beta_1 \approx 165^\circ$ – для зубьев с ломаной задней поверхностью, $\beta_1 = 180^\circ$ – для зубьев с прямолинейной задней поверхностью; a – длина задней грани зуба, мм, $a \approx 0,025D$ – для зубьев с ломаной задней поверхностью, $a \approx t$ – для зубьев с прямолинейной задней поверхностью; h – высота зуба в направлении биссектрисы угла заострения β , мм.

Среднеинтегральный коэффициент теплоотдачи диска, Вт/°С, без принудительного охлаждения определяется по формуле

$$\alpha_p = 1,88 \cdot 10^{-3} D^{0,96} V^{0,426} B^{0,471}, \quad (4)$$

где D – диаметр пилы, мм; V – скорость резания, м/с; B – толщина диска, мм.

Скорость подачи V_S , м/мин, и мощность на резание $N_{рез}$, кВт, согласно методике [2], связаны следующими выражениями [2, формулы (2.14)–(2.16), с. 25]. Для продольного пиления с толщиной стружки $a_c \geq 0,1$ мм

$$V_{S(N)} = \frac{6 \cdot 10^4 N_{рез} - a_p p b_1 z_{пил}}{a_n a_w a_b H \cdot 10^3 \sin \theta_{cp}}, \quad (5)$$

где $N_{рез}$ – мощность на резание одной пилой, кВт; η – КПД главного привода; $z_{пил}$ – число пил, шт.; a_n – коэффициент, учитывающий породу древесины, для сосны $a_n = 1$, для березы $a_n = 1,25$; a_w – коэффициент, учитывающий влажность древесины; при влажности 8–12% $a_w = 1,0$; при 25–30% $a_w = 1,08$; a_b – коэффициент, учитывающий вид пиления; $a_b = 1,1$ – для попутного резания, $a_b = 1,0$ – для встречного; a_p – коэффициент, учитывающий влияние затупления; для острых резцов $a_p = 1,0$; для затупленных $a_p = 2,0$; p – удельная касательная сила по задней грани, Н/мм. В формуле (3) нужно знать значение коэффициента теплоотдачи режущей части α_{cp} . Для оценки количества теплоты, отводимой зубьями пил, на кафедре станков и инструментов УГЛТУ поставлен специальный эксперимент по определению численного значения среднего коэффициента теплоотдачи зубьев пил α_{cp} в зависимости от толщины зуба b , скорости воздушных потоков V , мощности теплового источника Q . Исследования среднего коэффициента теплоотдачи зубьев пил α_{cp} , Вт/(°С·м²) проводились методом полного факторного эксперимента ПФЭ 2^k на экспериментальной установке, схема которой представлена на рис. 1. Диапазоны варьирования переменных факторов в эксперименте были приняты: для толщины зуба $2,2 \leq b \leq 3,6$ мм, для скорости охлаждающего воздуха $25 \leq V \leq 50$ м/с, для мощности теплового источника $10 \leq Q \leq 15$ Вт. Постоянные факторы и их уровни: угол заострения $\beta = 40^\circ$, высота зуба $h = 35$ мм, ширина контактной площадки (рис. 2) $l_k = 3,5$ мм, материал зуба – сталь 9ХФ.

На схеме экспериментальной установки (рис. 1) обозначено: 1, 3 – соединительный кабель; 2 – шаговый электродвигатель; 4 – жесткая муфта; 5 – персональный компьютер; 6 – коническая передача; 7 – винтовая передача; 8 – инфракрасный пирометр Mikron M120; 9, 10 – исследуемые зубья пилы (модели), нижний и верхний соответственно; 11 – анемометр; 12 – термопара хромель-алюмелевая; 13 – измеритель температуры CENTER 308; 14 – патрубок от установки охлаждения; 15 – клещи токовые измерительные модели АТА-2502 (датчик Холла); 16 – трансформатор; 17 – лабораторный автотрансформатор (ЛАТР); 18 – вольтметр В7-65/2. Установка смонтирована на базе машины АСП-10, предназначенной для электроконтактной сварки стальной проволоки. На корпусе машины устанавливаются модели зубьев пил: нижний 9 и верхний 10. Основным элементом машины является трансформатор 16, концы вторичной обмотки которого присоединены к зубьям 9 и 10. Поскольку зубья соприкасаются в вершинных частях, вторичная цепь трансформатора 16 оказывается замкнутой и по ней потечет ток.

Установка смонтирована на базе машины АСП-10, предназначенной для электроконтактной сварки стальной проволоки. В месте соприкосновения зубьев электрическое сопротивление цепи максимально, и именно в этом происходит местный нагрев.

Регулирование напряжения трансформатора и, как следствие, температуры нагрева достигается изменением напряжения в его первичной обмотке ЛАТРОм 17.

Для определения мощности теплового источника необходимо иметь сведения о величине напряжения и тока, поступающего на зубья 9 и 10. Измерение величины электрического тока осуществляется токовыми измерительными клещами 15 модели АТА-2502 (датчик Холла), в которых наводится ЭДС, пропорциональная величине электрического тока, поступающего на зубья пилы. Далее с токовых клещей ЭДС фиксируется вольтметром 18. Напряжение определяется также вольтметром 18. Мощность теплового источника определялась как произведение электрического тока и напряжения.

Таблица 1

Теплостойкость инструментальных материалов, °С [5]

Стали		Твердые сплавы			Эльбор	Алмаз
углеродистые и легированные	быстрорежущие	вольфрамо-кобальтовые	безвольфрамовые	минералокерамические		
160–400	550–700	800–1000	800–1000	1200	1400	700–800

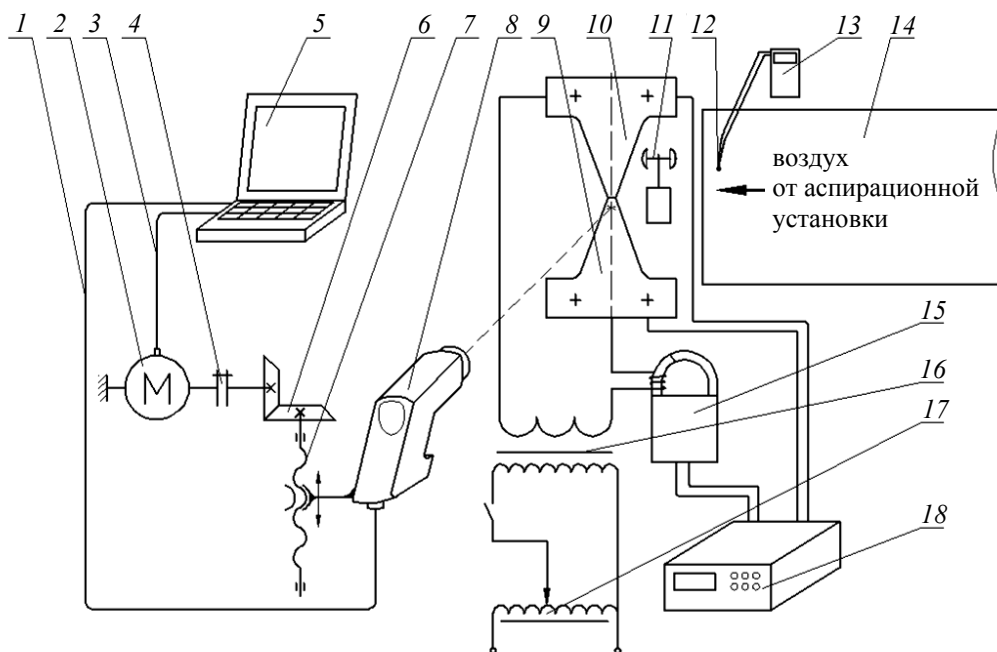


Рис. 1. Схема экспериментальной установки по определению среднего коэффициента теплопередачи зубьев пил

Измерение температуры по высоте зуба в направлении биссектрисы угла заострения осуществлялось инфракрасным пирометром 8, который устанавливался в начальный момент времени у основания верхнего зуба 10. Расстояние от зуба пилы до пирометра составляет 100 мм, на этом расстоянии диаметр исследуемого участка минимален.

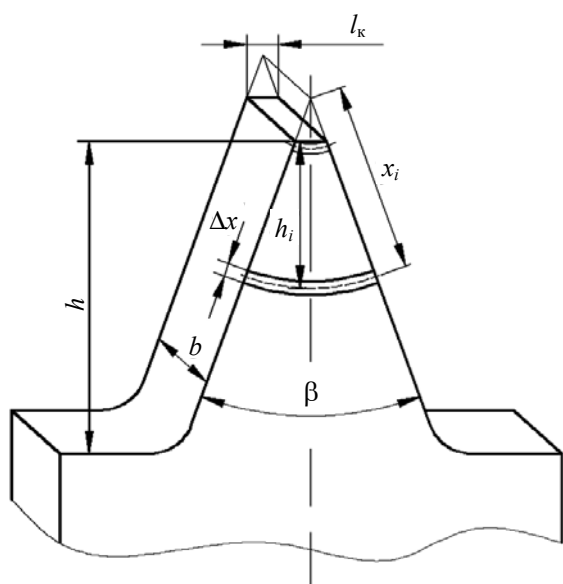


Рис. 2. Схема разбивки зуба на кольцевые участки

Работа на установке выполняется в такой последовательности. При включении пиро-

метра 8 прибор при помощи цифрового соединительного кабеля 1 передает данные о температуре выбранного участка исследуемого объекта на персональный компьютер (ПК) 5. При получении данных от пирометра компьютер 5 посылает сигнал на шаговый электродвигатель 2 по кабелю 3. Шаговый двигатель через жесткую муфту 4, коническую передачу 6 передает движение на винтовую передачу 7. Поскольку пирометр жестко связан с «гайкой» винтовой передачи 7, то прибор перемещается на 1 шаг, и измерение температуры возобновляется.

Измерение температуры по высоте зубьев осуществлялось при перемещении пирометра вертикально вниз от основания верхнего зуба 10 до основания нижнего 9. Температура охлаждающего воздуха регистрировалась при помощи термоэлектрического преобразователя 12 (хромель-алюмелевая термопара), который подключен к измерителю температуры 13 модели Center-308. Скорость воздушного потока контролировалась крыльчатым анемометром 11. Охлаждающий воздух подается на зубья 9 и 10 из патрубка 14 от вентиляционной установки.

Скорость охлаждающего воздуха регулировалась изменением площади сечения входного патрубка дроссельной заслонкой. Все измерения осуществлялись в установившемся тепловом режиме, который определялся окончанием роста температуры в зоне контакта зубьев.

Таблица 2

Результаты эксперимента по определению среднего коэффициента теплоотдачи зубьев пил

Номер опыта	Натуральные значения факторов			Нормализованные значения факторов			Сила тока I , А	Напряжение U , В	Температура охлаждающего воздуха $t_{\text{охл}}$, °С	Значение выходной величины $y = \alpha_{\text{ср}}$, Вт/(°С·м ²), в дублированном опыте	
	$b \equiv x_1$, мм	$V \equiv x_2$, м/с	$Q \equiv x_3$, Вт	x_1	x_2	x_3				1	2
1	2,2	25	10	-1	-1	-1	74	0,135	29,5	998	994
2	3,6	25	10	+1	-1	-1	75	0,133	28,8	974	1059
3	2,2	50	10	-1	+1	-1	74	0,135	27,3	1278	1246
4	3,6	50	10	+1	+1	-1	75	0,133	27,5	1315	1384
5	2,2	25	15	-1	-1	+1	91	0,165	29,8	960	914
6	3,6	25	15	+1	-1	+1	92	0,163	28,8	958	976
7	2,2	50	15	-1	+1	+1	91	0,165	27,8	1243	1294
8	3,6	50	15	+1	+1	+1	92	0,163	27,7	1341	1354

Передача тепла от зубьев осуществляется через 4 грани: переднюю, заднюю и две боковые. Мощность теплового источника выбиралась таким образом, чтобы температурный напор в основании зуба был равен нулю. Только при этом условии можно полагать, что теплообмен осуществляется через 4 вышеназванные грани зуба, а следовательно, в установившемся тепловом режиме количество выделяющейся теплоты $Q = IU$ равно количеству теплоты, передающейся в окружающую среду конвективным теплообменом.

Результирующие данные опытов и расчетов по определению средних коэффициентов теплоотдачи зубьев пил $\alpha_{\text{ср}}$, Вт/(°С·м²) приведены в табл. 2.

Коэффициенты, для которых расчетные значения критерия Стьюдента меньше табличного значения, не являются значимыми. Члены уравнения регрессии с незначимыми коэффициентами должны быть отброшены, и с учетом этого уравнение регрессии будет иметь вид

$$y = 1143 + 27,1x_1 + 164x_2. \quad (6)$$

Проверка адекватности математической модели (уравнения регрессии) осуществляется по методике [5] с помощью F-критерия Фишера при принятом уровне значимости $q = 0,05$. Полученное уравнение регрессии адекватно результатам эксперимента и может быть использовано.

После перевода регрессионного уравнения из кодированного вида в натуральный получим уравнение

$$\alpha_{\text{ср}} = 538,7 + 38,7b + 13,1V. \quad (7)$$

Максимально допустимая скорость подачи выбирается как наименьшая из рассчитанных по пяти ограничениям: по заполнению впадин зубьев; шероховатости поверхности распиловки; мощности привода механизма резания; динамической устойчивости пилы; теплостойкости материала зубьев пил.

Закключение. 1. Предложена методика расчета скорости подачи по теплостойкости материала зубьев пил. Максимально допустимая скорость подачи выбирается как наименьшая из рассчитанных по пяти ограничениям: заполнению впадин зубьев; шероховатости поверхности распиловки; мощности привода механизма резания; динамической устойчивости пилы; теплостойкости материала зубьев пил.

2. Критерий теплостойкости, при расчете скорости подачи, становится ограничивающим при увеличении высоты пропила и уменьшении числа зубьев.

3. Значения коэффициентов теплоотдачи зубьев пил $\alpha_{\text{ср}}$ в пределах исследованных факторов колеблются от 914 до 1384 Вт/(°С·м²).

4. Наибольшее влияние на величину коэффициентов теплоотдачи зубьев пил оказывает скорость воздушного потока. При увеличении ее значения вдвое (от 25 до 50 м/с)

значения коэффициентов теплоотдачи при постоянных значениях толщины зуба b и мощности теплового источника Q возрастают в 1,25–1,40 раза.

5. Мощность теплового источника Q в пределах изменения фактора (от 10 до 15 Вт) существенного влияния на коэффициент теплоотдачи $\alpha_{\text{ср}}$ не оказывает.

Литература

1. Щепочкин, С. В. Об оценке температуры резания при пилении круглыми пилами / С. В. Щепочкин // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды Междунар. Евраз. симпоз. / под ред. И. Т. Глебова. – Екатеринбург, 2006. – С. 143–146.

2. Руководящие технические материалы по определению режимов пиления древесины круг-

лыми пилами / Ю. М. Стахийев, В. К. Пашков. – Архангельск: ЦНИИМОД, 1988. – 74 с.

3. Пашков, В. К. О конвективном теплообмене режущей части пилы при резании / В. К. Пашков, С. В. Щепочкин // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды Междунар. Евраз. симпоз. / под ред. И. Т. Глебова. – Екатеринбург, 2006. – С. 138–143.

4. Пашков, В. К. Определение температурных перепадов плоских круглых пил / В. К. Пашков, С. В. Щепочкин // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. трудов по итогам Междунар. науч.-техн. конф. – Брянск: БГИТА, 2006. – Вып. 14. – С. 147–152.

5. Моисеев, А. В. Износостойкость дерево-режущего инструмента / А. В. Моисеев. – М.: Лесная пром-сть, 1981. – 112 с.

Поступила 25.02.2013

УДК 674.055:621.914.28

А. А. Мухин, аспирант (УГЛТУ, г. Екатеринбург, Россия);**В. Г. Новосёлов**, кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой (УГЛТУ, г. Екатеринбург, Россия)**СБОРНАЯ ФРЕЗА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ
С ТАНГЕНТАЛЬНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ НОЖЕЙ**

При упрочнении лезвий режущего инструмента поверхностными методами (ХТО, лазерная, ионная, электроискровая обработка) возникает необходимость сохранения слоя упрочненного материала при переточках. Поскольку износ лезвий происходит в основном по задней грани, то при заточке инструмента по задней грани срезается и упрочненный слой. Заточка по передней грани сохраняет упрочненный слой материала лезвия, но резко снижает количество возможных переточек. Совместить требование сохранения упрочненного слоя и полного возможного количества переточек возможно изменением расположения лезвий с традиционного радиального на тангентальное. Проведено теоретическое исследование зависимостей и определено допустимое сочетание геометрических характеристик сборных фрез предлагаемой конструкции. Подана заявка и получено решение Роспатента о выдаче патента на полезную модель. Выполнено рабочее проектирование и изготовлены опытные образцы сборных фрез.

When hardening edges of the cutting tool by superficial methods (laser, ionic, electro spark processing) arises need of preservation of a layer of the strengthened material. As wear of edges occurs, generally on a back side, when grinding tool on a back side the strengthened layer is removed. Grinding on a forward side keeps the strengthened layer of a material of an edge, but sharply reduces number of possible grindings. To combine the requirement of preservation of the strengthened layer and full possible number of grindings possibly change of an arrangement of knives with radial on the tangential. Theoretical research of dependences is conducted and the admissible combination of geometrical characteristics of combined mills of an offered design is defined, the decision of Rospatent on issue of the patent for useful model is received. Design is executed and prototypes of combined mills are made.

Введение. В процессе обработки и непосредственного контакта режущего инструмента с древесиной инструмент подвергается действию различных разрушающих сил, соответственно, изнашивается и теряет свои первоначальные характеристики, что естественным образом влияет на качество обработанной поверхности: точность, шероховатость. В этом случае инструмент требует замены, при его замене зачастую нужно перенастраивать станок, что пагубно отражается на качестве обрабатываемых заготовок и увеличивает потерю времени, связанную с перенастройкой станка.

Основная часть. Для того чтобы инструмент служил дольше, его нужно подвергать различного рода упрочнениям и повышать износостойкость. Методы, используемые для повышения износостойкости дереворежущего инструмента, зачастую влекут за собой значительное увеличение его стоимости и использование специального оборудования для заточки и обработки данного инструмента. К таким инструментам можно отнести неперетачиваемые пластины из твердого сплава; инструмент, подвергнутый электроискровому упрочнению; инструмент с наплавленным твердым сплавом; инструмент с твердосплавными пластинами, инструмент, упрочненный ионно-плазменным напылением, и многие другие.

Альтернативой данным методам является упрочнение методами химико-термической обработки (ХТО). К ним относятся цианирование, хромирование, сульфидирование, борирование, цементирование и др. Обработку поверхностного слоя режущих элементов инструмента перечисленными способами производят после полной термической обработки и заточки инструмента – это заключительная операция.

Возникает проблема сохранения упрочненной части инструмента как можно дольше. Трение материала происходит по задней грани, что приводит к изнашиванию и образованию фаски [1] – затуплению, следовательно, нужно сохранить ее износостойкость как можно дольше. Сейчас заточку плоских ножей производят по задней грани, то есть при перезатачивании срезается упрочненный ХТО слой. Эту проблему можно решить заточкой инструмента по передней грани, но при традиционном методе крепления при заточке по передней грани каждый раз будет уменьшаться его толщина на 0,3–0,5 мм, а при толщине ножа в 3 мм, количество переточек будет невелико. Следовательно, нужно производить заточку по той грани, которая не влияет на толщину ножа. Добиться этого можно только обращением инструмента, то есть перевертыванием его: переднюю грань сделать задней, заднюю сделать передней (рис. 1).

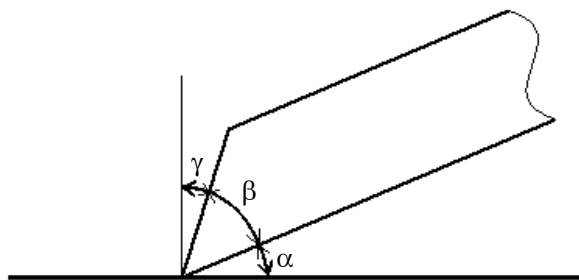


Рис. 1. Positionирование ножей:
α – задний угол; β – угол заточки;
γ – передний угол

При этом возникает проблема отсутствия сборных фрез для такого крепления инструмента. Нами разработана и рассчитана новая конструкция фрезы (рис. 2).

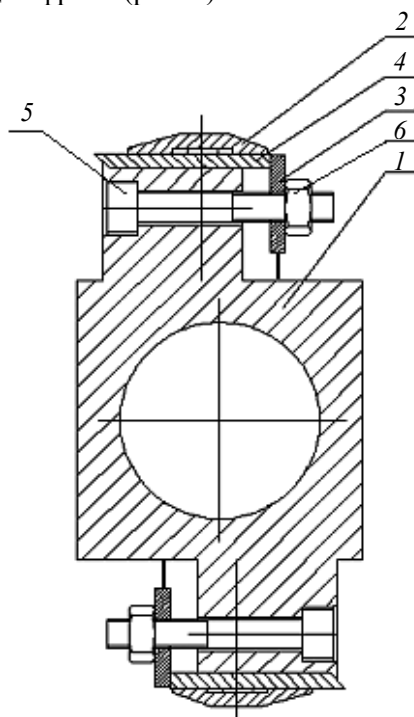


Рис. 2. Эскиз фрезы:
1 – корпус; 2 – прижимная планка;
3 – упорная планка; 4 – нож; 5 – винт; 6 – гайка

К корпусу 1 фрезы с помощью прижимных планок 2 крепятся ножи 4, устанавливаемые на пластъ до упора в соответствующий выступ на корпусе 1. Положение ножей 4 фиксируется при помощи упорных планок 3 с резьбовыми отверстиями и винтов 5 с контргайками 6. На данную конструкцию фрезы подана патентная заявка на полезную модель и получено положительное решение Роспатента.

Для обеспечения рациональных условий резания необходимо выдерживать определенные угловые параметры лезвия инструмента. Рекомендуемые углы резания [2] представлены в таблице.

Рекомендуемые углы резания

Вид резания и обрабатываемый материал	Нормальные углы, град*			
	Передний угол γ для фрез		Задний α	
	стальных	твердосплавных		
Фрезерование древесины:	продольное	(20...25)/	(20...30)/	15/10
		(10...15)	(10...25)	
	поперечное	(35...40)/	30/30	10/10
	торцовое	(30...35)/	30/25	20/15
		(25...30)		
Фрезерование кромок ДСтП и ДВП	20...25	15...20	15...20	

* В числителе для хвойных пород, в знаменателе – для твердолиственных.

Ширина ножа, с одной стороны, определяет способ и надежность крепления его к корпусу фрезы, а с другой стороны, она не должна выходить за периметр окружности резания. На рис. 3 представлена расчетная схема к определению ширины ножа и переднего угла.

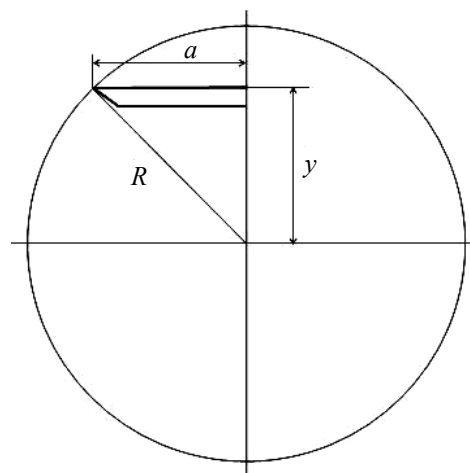


Рис. 3. Схема к расчету ширины ножа и переднего угла

Их зависимости при различных радиусах резания и расстояниях от оси вращения фрезы выражаются формулами:

$$B = 2R * \cos(\beta + \gamma) - 2,5; \quad (1)$$

$$\gamma = \text{Arcsin}\left(\frac{y}{R}\right) - \beta, \quad (2)$$

где B – ширина ножа; R – радиус резания; a – половина ширины ножа. y – расстояние от оси вращения фрезы до верхней пласти ножа.

Полученные результаты представлены в графиках (рис. 4, 5).

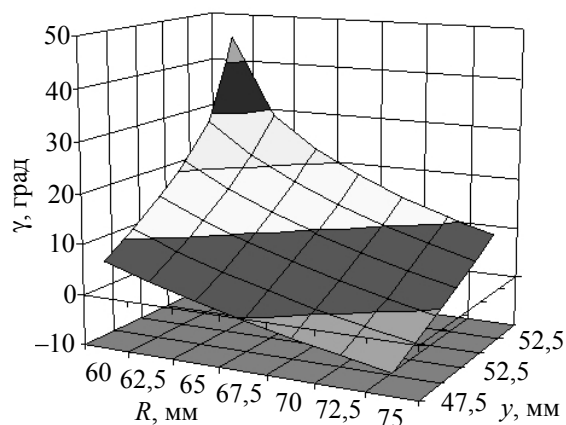


Рис. 4. Зависимость переднего угла от радиуса резания и расстояния от оси вращения

Как видно, передний угол существенно зависит как от радиуса резания фрезы, так и от расстояния между ножом и осью ее вращения, особенно в диапазоне малых значений радиусов. Область отрицательных передних углов находится в диапазонах $R > 70$ мм и $y < 52,5$ мм.

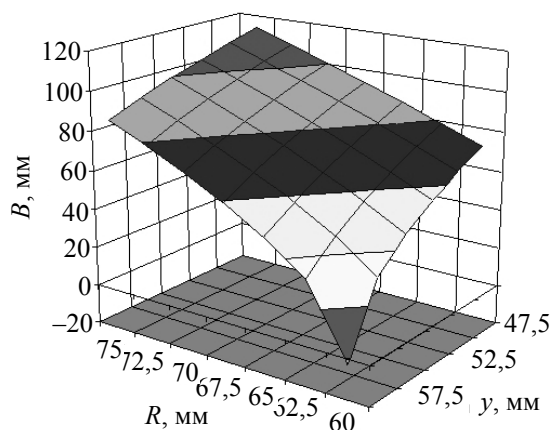


Рис. 5. Зависимость ширины ножа от угла от радиуса резания и расстояния от оси вращения

Возможная ширина ножа по условию его размещения внутри периметра окружности резания также существенно зависит как от радиуса резания фрезы, так и от расстояния между ножом и осью ее вращения, особенно в диапазоне малых значений радиусов. А при $R < 62,5$ мм и $y > 57,5$ мм принимает отрицательное значение, что говорит о невозможности исполнения фрезы с такими параметрами.

Поскольку для различного рода фрезерования необходим определенный передний угол, можно рассчитать параметры необходимой фрезы.

Например, при диаметре резания 125 мм и переднем угле $\alpha = 20^\circ$ расстояние от центра y составляет 56 мм, а ширина ножа B может составлять до 50 мм.

Закключение. Таким образом, новый способ ориентации инструмента может решить проблему сохранения упроченной задней грани режущего инструмента как можно дольше, что, в свою очередь, повысит срок службы инструмента и сократит расходы на приобретение, заточку и упрочнение инструмента.

Литература

1. Новосёлов, В. Г. Исследование износостойкости стальных и неплетачиваемых твердосплавных ножей при продольном фрезеровании древесины / В. Г. Новосёлов, А. Р. Абдулов // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: материалы Междунар. Евраз. симпоз. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2008. – С. 315–320.

2. Глебов, И. Т. Фрезерование древесины: монография / И. Т. Глебов. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2003. – 169 с.

Поступила 26.02.2013

УДК 674.023

И. Т. Глебов, кандидат технических наук,
профессор (УГЛТУ, г. Екатеринбург, Россия);
В. В. Глебов, магистрант (УГЛТУ, г. Екатеринбург, Россия)

ШЕРОХОВАТОСТЬ КРОМОК ФАНЕРЫ, ОБРАБОТАННЫХ РЕЗАНИЕМ

Экспериментально показано, что глубина микронеровностей кромок фанеры, обработанных фрезерованием или строганием, зависит от толщины срезаемого слоя и угла перерезания волокон древесины лицевого слоя. Фрезерование кромок выполнялось на станке цилиндрической фрезой диаметром $D = 125$ мм при глубине фрезерования $t = 1$ мм и толщинах срезаемых слоев $a = 0,05; 0,08; 0,10; 0,15; 0,20$ мм.

Experiments show that the depth of the micronevennesses edges of plywood, treated by milling or planing, depends on thickness of the layer and a cutting angle of cutting wood face-first yolocon layer. Milling of edges was carried out on the machine by a cylindrical mill diameter $D = 125$ mm with a milling depth $t = 1$ mm and thickness of cut-off layers $a = 0,05; 0,08; 0,10; 0,15; 0,20$ mm.

Введение. Фанера широко используется в строительстве, судостроении, машиностроении, мебельной промышленности и др. Для механической обработки деталей применяют различные станки: общего назначения, специальные и станки с ЧПУ. При назначении режимов механической обработки необходимо стремиться к достижению требуемой шероховатости обработанных поверхностей. Информации по этому вопросу в технической литературе недостаточно.

Характеристика фанеры. Фанера представляет собой древесный материал, состоящий из нескольких склеенных листов лущеного шпона при взаимно перпендикулярном расположении волокон древесины в смежных листах и давлении прессования 0,7...1,4 МПа при холодном и 1,4...2,2 МПа при горячем прессовании. Технические условия производства фанеры общего назначения регламентированы ГОСТ 3916.1–96 [1].

Особенности обработки фанеры резанием. Фанера продается листами прямоугольной формы, у которых можно выделить две продольные боковые кромки, параллельные направлению волокон древесины лицевых слоев фанеры, и две поперечные кромки, перпендикулярные направлению волокон древесины лицевых слоев. Поверхность кромок образована сочетанием продольных и поперечных слоев шпона. По отношению к некоторой боковой кромке листа фанеры слой назовем продольным, если его волокна древесины параллельны боковой кромке. Для поперечного слоя волокна древесины перпендикулярны боковой кромке. Если число слоев фанеры нечетное (фанера трех, пяти, семи, девятислойная и т. д.), то на продольную кромку выходит продольных слоев на единицу больше, чем поперечных, а на поперечную – поперечных слоев шпона на единицу больше, чем продольных.

Кромки листов фанеры часто обрабатывают методом цилиндрического фрезерования как на станках общего назначения, так и на станках с числовым программным управлением.

При цилиндрическом фрезеровании фанеры можно выделить следующие виды резания (рис. 1): пласти продольно; пласти поперечно; кромки продольно; кромки поперечно.

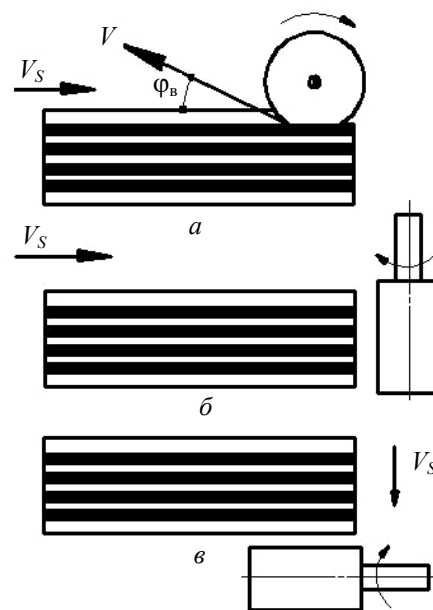


Рис. 1. Виды фрезерования фанеры:
а – пласти продольное или поперечное;
б – кромки продольное;
в – кромки поперечное

При фрезеровании пласти продольно вектор скорости главного движения расположен в плоскости, параллельной направлению волокон, а при фрезеровании пласти поперечно – в плоскости, перпендикулярной направлению волокон древесины в лицевом слое шпона.

При продольном фрезеровании происходит перерезание волокон древесины в лицевом слое

шпона продольно-торцовое с углом встречи φ_v , а в нижележащем слое – чисто поперечное. При фрезеровании пласти поперечно происходит резание в лицевом слое шпона поперечное, а в нижележащем – торцово-продольное, близкое к торцовому.

При фрезеровании кромки продольно происходит торцово-продольное резание (в одних слоях шпона почти чисто торцовое, а в других – почти чисто продольное).

При фрезеровании кромки поперечно происходит чередование видов резания по слоям шпона так: в одних противоположных кромках – поперечное и торцово-продольное; в других противоположных кромках – торцово-продольное и поперечное резание. Для трехслойной фанеры, например, в одних кромках будет происходить резание таким образом: в двух слоях – поперечное и в одном слое торцово-продольное; для других кромок: в двух слоях – торцово-продольное и в одном слое поперечное. При продольном фрезеровании кромок цилиндрической фрезой диаметром $D = 125$ мм и глубине фрезерования $t = 1$ мм угол подачи, измеряемый на середине дуги контакта [2],

$$\mu = \arcsin \sqrt{\frac{t}{D}} = \arcsin \sqrt{\frac{1}{125}} = 0,68^\circ.$$

Это значит, что при фрезеровании кромок фанеры выполняется продольно-торцовое резание, причем для продольных слоев угол встречи (перерезания волокон) равен $\varphi_v = \mu$, а для поперечных слоев – $\varphi_v = 90^\circ - \mu$. При небольшом значении угла подачи можно считать, что для продольных слоев резание приближается к продольному, а для поперечных слоев – к торцовому.

Методика экспериментов. При проведении экспериментов кромки фанеры обрабатывали методом цилиндрического фрезерования и

методом строгания. Одним из главных параметров обработки кромок фанеры методом фрезерования является шероховатость – высота микронеровностей обработанной поверхности [3]. Для определения шероховатости обрабатывались продольные кромки девятислойной фанеры на экспериментальной фрезерной установке при условии: диаметр окружности резания фрезы $D = 125$ мм, частота вращения фрезы $n = 1250 \text{ мин}^{-1}$, угол резания зубьев фрезы $\delta = 60^\circ$, зубья острые, глубина фрезерования $t = 1$ мм, толщина срезаемого слоя $a = 0,05; 0,08; 0,10; 0,15; 0,20$ мм.

Высоту микронеровностей измеряли на микроскопе МИС-11 при увеличении объектива $N = 10,6$. Результаты измерений представлены на рис. 2.

Высота микронеровностей зависит также от угла перерезания волокон древесины. Для изучения вопроса из листов фанеры были вырезаны образцы размером 50×100 так, что длинная сторона образца составляла угол с направлением волокон лицевого слоя $30^\circ, 45^\circ$ и 60° . На станке обрабатывали длинную сторону образца методом строгания со скоростью $V = 0,035$ м/с и углом резания ножа $\delta = 55^\circ$. Результаты показаны на рис. 3.

Результаты и их обсуждение. Наблюдения микронеровностей фрезерованной поверхности кромок фанеры показали, что величина микронеровностей в пределах одной кромки отличается для продольных и поперечных слоев. Продольные слои образуют гладкую поверхность. По поперечным слоям выполняется торцовое резание и на обработанной поверхности наблюдаются вырывы волокон древесины. При срезании тонких слоев эти вырывы неглубокие. С увеличением толщины срезаемого слоя глубина вырывов растет.

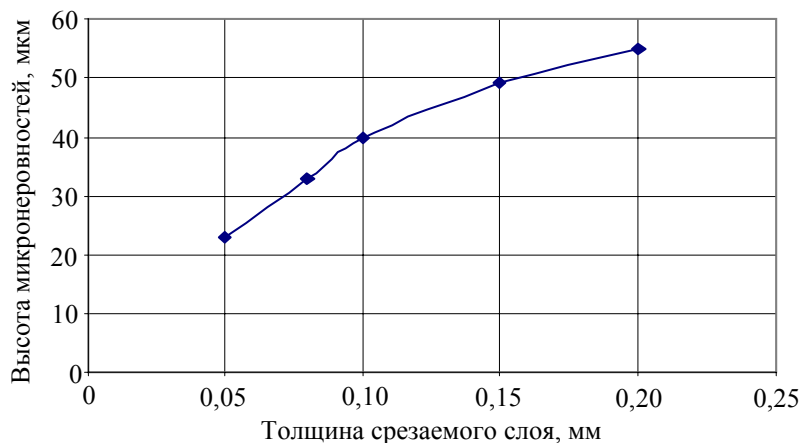


Рис. 2. Зависимость высоты микронеровностей фрезерованной поверхности кромок фанеры от толщины срезаемого слоя

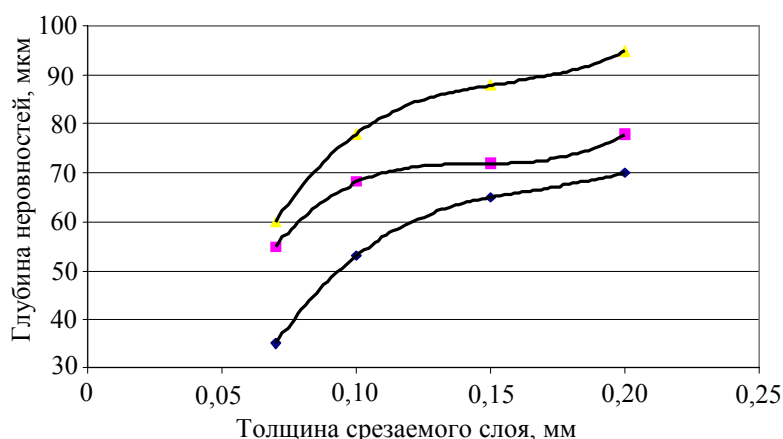


Рис. 3. Глубина микронеровностей строганой поверхности кромок, расположенных под различными углами к волокнам лицевого слоя

Таким образом, можно утверждать, что шероховатость обработанной поверхности кромок фанеры определяется глубиной вырывов волокон древесины в пределах поперечных слоев фанеры.

Такая закономерность согласуется с общими представлениями о продольном и торцовом резании массивной древесины. С ростом значений толщины срезаемого слоя высота микронеровностей увеличивается линейно.

На рис. 3 показаны зависимости высоты микронеровностей от толщины срезаемого слоя и угла перерезания волокон лицевого слоя фанеры.

Из графиков следует, что максимальная глубина микронеровностей строганых поверхностей кромок фанеры наблюдается при угле перерезания волокон древесины лицевого слоя 45°. В этом случае получается однородная поверхность, у которой волокна древесины во всех слоях фанеры перерезаны под одинаковым углом 45°. Минимальная глубина неровностей получилась при угле перерезания волокон древесины лицевого слоя 60°. В этом случае продольные слои фанеры перерезаны под углом 60°, а поперечные слои фанеры – под углом 30. С увеличением толщины срезаемого слоя глубина микронеровностей увеличивается.

Выводы. Таким образом, на основании исследований можно сделать вывод: глубина

микронеровностей обработанных кромок фанеры зависит от толщины срезаемого слоя и направления перерезания волокон древесины лицевого слоя фанеры. Минимальные значения микронеровностей получаются при угле перерезания волокон лицевого слоя 60°, а максимальные значения – при угле 45°. При увеличении толщины срезаемого слоя высота микронеровностей увеличивается.

Литература

1. Фанера общего назначения с наружными слоями из шпона лиственных пород. Технические условия: ГОСТ 3916.1–96. – М.: Изд-во стандартов, 1999. – 265 с.
2. Глебов, И. Т. Резание древесины: учеб. пособие / И. Т. Глебов. – СПб.: Лань, 2010. – 256 с.
3. Рогожникова, И. Т. Экспериментальное исследование зависимости шероховатости поверхности от затупления резца при продольном цилиндрическом фрезеровании древесины / И. Т. Рогожникова, В. Г. Новоселов, А. Р. Абдулов. – Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. Труды V Международ. Евраз. симпоз. – Екатеринбург, 2010. – С. 247–250.

Поступила 25.02.2013

УДК 674.055: 621.914.2

А. Р. Абдулов, аспирант (УГЛТУ, г. Екатеринбург, Россия);
В. Г. Новосёлов, кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой (УГЛТУ, г. Екатеринбург, Россия)

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ СТАЛЬНЫХ НОЖЕЙ ПРИ ЧЕРНОВОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ ДРЕВЕСИНЫ

При изготовлении бруса, сращенного по длине, на первом этапе производится черновое фрезерование для вскрытия сучков и дефектов, подлежащих последующему выпиливанию. Такая обработка производится с минимальными припусками и, как правило, на засоренных пылью поверхностях, что сопровождается значительным трением и повышенным изнашиванием лезвий инструмента. С целью определения характеристик изнашивания инструмента и потребляемой электродвигателем мощности при таком виде обработки были проведены экспериментальные исследования на четырехстороннем строгальном станке. Для определения радиуса округления режущей кромки применялся метод слепков. Измерение мощности на резание производилось в одной из фаз электродвигателя с помощью клещей-ваттметра. Было установлено, что произошло снижение периода стойкости инструмента в 10–30 раз по сравнению с обработкой незасоренной древесины. По мере затупления инструмента мощность, необходимая на резание, потребляемая электродвигателем, возросла с 0,94 до 1,24 кВт, то есть на 31%.

At production of the bar spliced on length, at the first stage draft milling is made for opening of knots and the defects which are subject to the subsequent cutting out. Such processing is made with the minimum allowances and, as a rule, on the surfaces littered with a dust that is accompanied by considerable friction and the increased wear of edges of the tool. For the purpose of definition of characteristics of wear of the tool and power consumed by the electric motor at such type of processing pilot researches on the quadrilateral planing machine were conducted. The method of molds was applied to determination of radius of rounding of a cutting edge. Power measurement on cutting was made in one of electric motor phases by means of pincers – a wattmeter. It was established that there was a decrease in the period of persistence of the tool at 10-30 time in comparison with processing of not littered wood. In process of tool wear, the capacity necessary on cutting, increased with 0,94 to 1,24 kW, that is for 31 percent.

Введение. Процесс обработки древесины весьма сложен и состоит, в зависимости от получаемой продукции, из комплекса операций. В частности, изготовление бруса, сращенного по длине, включает пять операций. На первом этапе производится черновое фрезерование для вскрытия сучков и дефектов, подлежащих последующему выпиливанию. Такая обработка осуществляется с минимальными припусками и, как правило, на засоренных пылью поверхностях, что сопровождается значительным трением и повышенным изнашиванием лезвий инструмента. В настоящее время основным способом повышения стойкости дереворежущего инструмента является использование материалов, имеющих высокие характеристики износостойкости. К таким инструментам можно отнести ножи из быстрорежущей стали, неперетачиваемые пластины из твердого сплава, инструмент, подвергнутый электроискровому упрочнению, и многие другие. Эти способы имеют наряду с положительным эффектом ряд недостатков: дороговизна используемых материалов, технологическая сложность производства и необходимость использования специализированного оборудования, дорогостоящих шлифовальных кругов для заточки данного типа инст-

румента. Современные рыночные условия диктуют свои правила, и в погоне за долговечностью инструмента в первую очередь нам необходимо ориентироваться на использование наиболее прогрессивных, надежных и низкозатратных способов, т. к. любое значительное удорожание инструмента в конечном счете выливается в удорожание конечной продукции. Одной из альтернатив данным методам является упрочнение методами, формирующими на поверхности инструмента слой износостойкого покрытия. Такие слои, возможно, формировать методами химико-термической обработки (ХТО). К ним относятся цианирование, хромирование, сульфидирование, борирование, цементирование и др. Причем борирование в твердой среде является наиболее дешевым методом, в сравнении с остальными методами ХТО, дающим значительное повышение стойкости инструмента [1].

Наряду с методами, формирующими дополнительный упрочняющий слой, возможно значительное увеличение стойкости инструмента путем повышения внимания к предварительной подготовке обрабатываемых заготовок.

Основная часть. С целью определения характеристик изнашивания инструмента и ус-

тановления закономерности изменения мощности, потребляемой электродвигателем при продольном фрезеровании, нами были проведены исследования о влиянии загрязнения заготовок на износостойкость дереворежущего инструмента.

Экспериментальные исследования проводились на четырехстороннем продольно-фрезерном станке V HOLD – Н 412 в условиях деревообрабатывающего комплекса «Форест» г. Екатеринбург 20 января 2012 года. Влажность обрабатываемой древесины $W = 6\text{--}12\%$, порода заготовок – сосна, марка стали режущего инструмента – DS, скорость подачи 16 м/мин. В процессе проведения исследований на станке было обработано 409 досок сечением 25×50 мм, длиной 3 м. С целью обеспечения постоянства глубины резания 1 мм исследования проводились на нижней ножевой головке, частота вращения которой составляла 6000 мин⁻¹ при мощности электродвигателя 4,4 кВт. Размеры ножа 4×35×60 мм, угол заточки 45°, а диаметр окружности резания 135 мм. В качестве обрабатываемых заготовок использовался материал, хранившийся на открытом воздухе и подвергнутый воздействию естественных климатических условий (пыль, дождь, грязь и т. д.)

Для определения радиуса закругления режущей кромки применялся метод слепков [2]. Данный метод позволяет производить измерения радиуса закругления режущей кромки в условиях реального производства, что позволяет получить данные с учетом воздействия посторонних факторов, присутствующих в системе «станок – заготовка – человек».

С целью получения данных о радиусе закругления режущей кромки производилось по одному замеру с каждого ножа. Полученные отпечатки фотографировали цифровым фотоаппаратом через металлографический микроскоп МЕТАМ ЛВ-44 при увеличении ×100. Затем полученные снимки обрабатывали на компьютере при помощи программы AutoCAD. На основании полученных данных строились зависимости изменения радиуса закругления режущей кромки от пути, пройденного резцом, и времени работы резца.

Измерение мощности на резание производилось в начале и в конце исследований в одной из фаз электродвигателя с помощью клещей-ваттметра ATK 2104. Схема подключения представлена на рис. 1.

На основании проведенных исследований были получены следующие закономерности. На рис. 2 показано изменение радиуса закругления режущей кромки лезвия ножей в зависимости от продолжительности его работы.

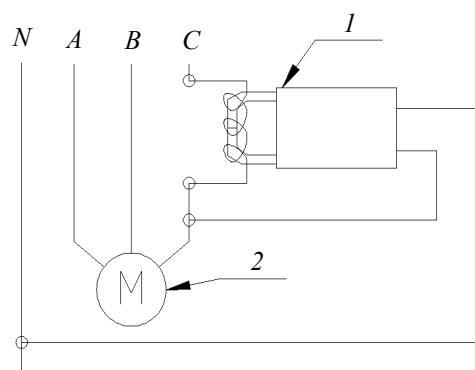


Рис. 1. Схема подключения клещей-ваттметра при измерении мощности на электродвигателе. Обозначение: N – нейтраль; A, B, C – фазы; I – клещи-ваттметр; 2 – электродвигатель

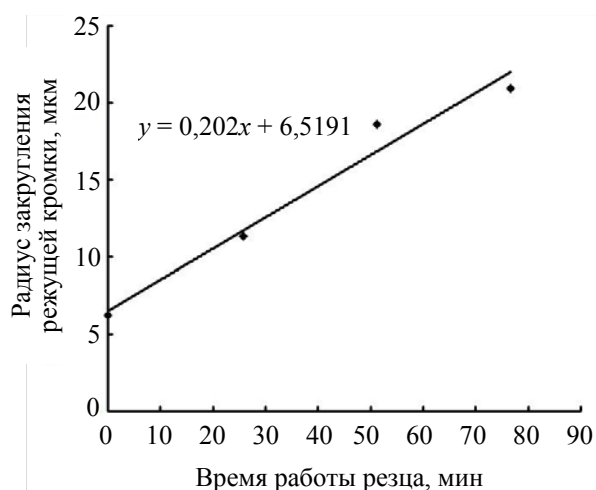


Рис. 2. Зависимость радиуса закругления режущей кромки от времени работы резца

На рис. 3 показано изменение радиуса закругления режущей кромки лезвия ножей в зависимости от пути, пройденного резцом в контакте с древесиной (путь резания).

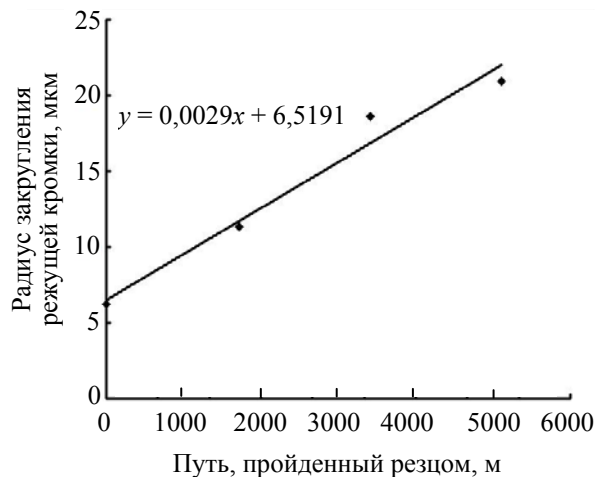


Рис. 3. Зависимость радиуса закругления режущей кромки от пути резания

На рис. 4 показано изменение потребляемой мощности в зависимости от радиуса закругления режущей кромки лезвия.

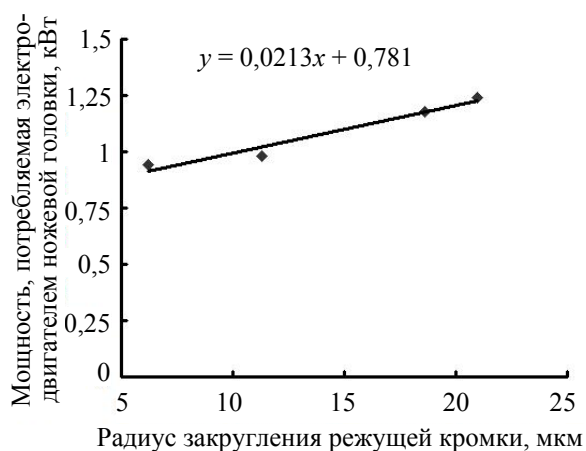


Рис. 4. Зависимость потребляемой мощности от радиуса закругления режущей кромки

Заключение. Из полученных данных можно сделать следующие выводы. Скорость изнашивания лезвий инструмента по радиусу закругления режущей кромки составила 0,202 мкм/мин, а интенсивность изнашивания – 0,0029 мкм/м. Для сравнения: при обработке незасоренной древесины эти величины составляли соответственно 0,0214 мкм/мин и 0,0009 мкм/м при глубине резания 0,5 мм [3], что говорит о снижении периода стойкости в 10–30 раз.

По мере затупления инструмента мощность, необходимая на резание, увеличивается на 0,02 кВт на 1 мкм приращения радиуса закругления режущей кромки. За период исследования мощность, потребляемая электродвигателем, возросла с 0,94 до 1,24 кВт, то есть на 31%.

Все вышеперечисленные факты говорят о том, что повышенная загрязненность обрабаты-

ваемых заготовок приводит к снижению надежности технологической системы и увеличению количества отказов по параметру «режущий инструмент».

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о возможности снижения затрат на электроэнергию, обслуживание и замену режущего инструмента, как следствие – удешевление стоимости готовой продукции за счет включения в цикл производства дополнительной операции подготовки обрабатываемых заготовок.

Литература

1. Новосёлов, В. Г. Выбор способа повышения износостойкости дереворежущего инструмента: в 2 ч / В. Г. Новосёлов, А. Р. Абдулов // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: материалы VIII Всерос. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов и конкурса по программе «УМНИК»: в 2 ч. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т. – 2012. – Ч. 1. – С. 208–211.

2. Новосёлов, В. Г. Исследование износостойкости стальных и неплетачиваемых твердосплавных ножей при продольном фрезеровании древесины / В. Г. Новосёлов, А. Р. Абдулов // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: материалы Междунар. Евраз. симпоз., Екатеринбург, 30 сентября – 3 октября 2008 г. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2008. – С. 315–320.

3. Новосёлов, В. Г. Исследование износостойкости стальных ножей, упроченных путем имплантации ионов азота / В. Г. Новосёлов, А. Р. Абдулов // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: материалы Междунар. Евраз. симпоз., Екатеринбург, 17–20 мая 2011 г. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2008. – С. 240–242.

Поступила 25.02.2013

УДК 537.525.7:621.762

Д. С. Карпович, кандидат технических наук, заведующий кафедрой (БГТУ);
П. Д. Дадько, главный инженер (ГОЛХУ «Мозырский опытный лесхоз»);
А. Г. Лилин, главный инженер (ГОЛХУ «Вилейский опытный лесхоз»);
С. И. Карпович, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник (БГТУ)

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НОЖЕЙ РУБИЛЬНЫХ МАШИН ПРИ ЗАГОТОВКЕ ТОПЛИВНОЙ ЩЕПЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ

В статье приведены результаты производственных испытаний ножей рубильных машин в лесхозах Республики Беларусь. По результатам испытаний ножей из низко- и среднелегированных сталей с применением технологии поверхностного упрочнения предложены комплексные мероприятия, направленные на улучшение эффективности процесса заготовки топливной щепы.

The article contains results industrial tests of knives chippers in forestry of the Republic of Belarus. According to test results of knives from the low-and medium-doped steels using the technology of surface hardening proposed comprehensive measures to improve the effectiveness of the grinding of wood.

Введение. При переработке отходов производственных процессов на первом этапе их утилизации решаются вопросы измельчения.

Отходы лесозаготовок и деревообрабатывающей промышленности используют для получения топливных брикетов разной формы, размеров. Получение топливной щепы осуществляют на рубильных машинах МР-25, МР-40, «Jenz», «Tesla» и др. Наиболее часто сменяемой частью технологической оснастки является инструмент. Эффективность инструмента оценивают по его износостойкости и стоимости. Для изготовления ножей рубильных машин применяют среднелегированные инструментальные стали.

Рассмотрим возможности повышения практической ценности инструмента с этих двух позиций – износостойкости и стоимости.

Основная часть. Износостойкость инструмента определяется многими факторами – в первую очередь выбором инструментального материала и последующим формированием оптимальной структуры при термической обработке.

Известно, что износостойкость инструмента определяется его твердостью с учетом условий работы инструмента. Исходя из режимов работы ножей рубильных машин при ударных нагрузках и вибрации твердость инструмента должна назначаться с учетом механических показателей металла, в первую очередь на изгиб и удар. В этом плане представляют интерес следующие марки сталей: Х6ВФ, 6ХВ2С, Х12МФ, 5ХНМ.

Рассмотрим влияние легирующих элементов, входящих в состав вышеперечисленных сталей, на их свойства.

Одним из основных легирующих элементов является хром. Он повышает твердость, износостойкость и коррозионную стойкость стали, увеличивает склонность к отпускной хрупкости, входит в состав сталей, предназначенных для азотирования. Твердость стали при невысоком содержа-

нии в ней хрома при отпуске снижается медленнее, чем углеродистых сталей.

Никель у хромоникелевых инструментальных сталей повышает прочность, твердость, способствует сохранению вязкости, измельчению размеров зерна. Однако он повышает опасность образования остаточного аустенита, что ведет к снижению твердости после закалки.

Вольфрам входит в состав многих инструментальных материалов, не только сталей. Карбиды вольфрама обладают хорошим сочетанием высокой твердости и теплопроводности. Вольфрам повышает пределы прочности, твердости, способствует равномерному распределению карбидов. При низком содержании вольфрама 1–1,5% и низкой температуре закалки 760–820°C карбиды вольфрама не растворяются, что обеспечивает сохранение высокой твердости и износостойкости. Наличие вольфрама в сплавах уменьшает их пластичность, стали не обнаруживают способности к вторичной твердости, однако обладают достаточной устойчивостью к отпуску.

Молибден почти полностью устраняет опасность охрупчивания стали при отпуске до температур 300 и 450–650°C.

Ванадий повышает предел текучести, способствует измельчению зерна, повышает стойкость к отпуску.

Легирующие элементы Cr, Ni, Mo, Mn существенно влияют на прокаливаемость стали в направлении уменьшения их влияния.

Для них соотношение твердости HRC к ударной вязкости КСИ (дж/см²) равняется соответственно: 0,67; 2,50; 1,10; 1,40. Этот показатель является ориентировочным при выборе марки стали для изготовления ножей рубильных машин, поскольку не учитывается абсолютная величина твердости. На практике применяют ножи твердостью не выше HRC ≈

≈ 58–59. Из рассмотренных марок сталей оптимальное соотношение рекомендуемой твердости к наибольшему значению ударной вязкости равняется 0,7. Высокое значение этого показателя для стали 6ХВ2С объясняется невысоким значением прочности на удар. Опытные ножи из этой стали дополнительно прошли ионно-плазменную обработку с целью нанесения твердого износостойкого слоя. Производственные испытания опытных ножей в Мозырском опытном лесхозе показали увеличение их износостойкости в 1,5–1,8 раза по сравнению с серийным инструментом. Следует обратить внимание на характер затупления опытных ножей. Обычно износ дереворежущего инструмента происходит с округлением режущей кромки. На опытных ножах с упрочненным поверхностным слоем на глубину 0,2–0,3 мм износ происходит за счет микровыкрашивания твердого слоя, который имеет твердость $HV \approx 900$, а общая твердость подложки с упрочненным слоем $HRC = 50–51$. Микровыкрашивание ведет к линейному износу инструмента, но режущая кромка дольше сохраняет режущую способность. Определение оптимального соотношения твердости упрочненного слоя к твердости металла подложки с учетом толщины упрочняющего слоя обеспечивает дополнительные потенциальные возможности увеличения износостойкости ножей рубильных машин.

Стойкость инструмента составляет часть экономических издержек, а с учетом тенденции роста щепы на инструмент требует более пристального внимания.

Снизить стоимость инструмента можно за счет применения низко- и среднелегированных сталей взамен высоколегированных. Сталь 6ХВ2С стоит около 65 тыс. руб. за 1 кг, а сталь 5ХНМ – 24 тыс. руб. за 1 кг. Разница в цене окупает затраты на последующее нанесение упрочненного слоя, а увеличение износостойкости увеличивает экономический эффект от применения предлагаемой технологии изготовления ножей рубильных машин из низколегированных сталей с ионно-плазменным упрочнением.

В Вилейском опытном лесхозе проводятся испытания инструмента для установок «Jenz». Ножи изготавливались из стали 7Н1М на Минском инструментальном заводе. Установлено большое влияние термообработки на работоспособность инструмента. Термообработка с применением соляных ванн обеспечила хорошую работоспособность комплекта ножей в количестве 100 шт. Применение нагрева при закалке в пламенной печи дало плохие результаты. Инструмент разрушался по корпусу (вид излома показан на рис. 1) поэтому следует строго придерживаться режима проведения отпуска.

Для инструмента со склонностью к хрупкому разрушению можно рекомендовать проведение двойного отпуска. Положительные результаты были получены на стали Х6ВФ при проведении двойного отпуска при 280°C с последующим отпуском при 250°C.



Рис. 1. Вид излома ножей установки «Jenz»

На величину твердости это практически не влияет, но несколько уменьшает склонность к хрупкому разрушению. Можно предположить, что это связано с дислокационными процессами в металле.

Установлено, что твердость ножей после испытаний на $HRC = 1–2$ единицы меньше их первоначальной твердости, это может быть связано со структурными превращениями.

Для ножей установки «Jenz» хорошие результаты были получены при нанесении TiN с толщиной 3–5 мкм на стальной корпус ножей по стали 7Н1М.

Износ инструмента является закономерным физическим явлением. Период стойкости инструмента делят на три стадии: участок приработки, участок монотонного (нормального) износа, участок аварийного (ускоренного) износа. При достижении третьей стадии производят замену инструмента или его заточку. Целесообразно не допускать эксплуатацию инструмента в период повышенного износа по следующим причинам. Работа инструмента с повышенными радиусами округления режущей кромки увеличивает силовые параметры процесса резания, что связано с перерасходом топлива и повышенными нагрузками на рабочие органы рубильных машин.

Большие радиусы округления лезвия требуют большего объема удаления инструментального материала при заточке затупившегося инструмента, что сокращает количество переточек, а следовательно, и потенциальный ресурс инструмента.

При эксплуатации рубильных машин происходят и аварийные поломки ножей, связанные с попаданием в зону резания случайных

предметов – металла, камней. Такие ситуации прогнозировать невозможно.



Рис. 2. Характер разрушения ножа

Аварийные ситуации случаются по причине не только поломки инструмента, но и узлов фиксации – разрыв тела крепежного болта или отрыв головки с последующим разрушением корпуса ножа. На рис. 2 приведен характер разрушения корпусов ножей рубильных машин при заготовке топливной щепы. Предварительный анализ характера разрушения ножей показал, что вышедший из строя инструмент соответствует всем требованиям технических условий – как по химическому составу сталей, так и по режимам термической обработки (твердости).

В этом случае причину разрушения следует искать в надежности крепления резьбовых соединений. В процессе длительной эксплуатации (резьбовые элементы практически не меняют) в резьбовых соединениях образуется люфт и в условиях вибрационных и ударных нагрузок происходит самооткручивание крепежных болтов. В такой ситуации изгибающееся плечо увеличивается с 40–50 до 90–110 мм, с соответствующим увеличением силовой нагрузки на резьбовое соединение и корпус инструмента. Разрушение происходит по телу болта с последующим разрушением корпуса ножа. В таких ситуациях выводится из строя весь комплект инструмента стоимостью около 6 млн. руб. и зачастую наносятся механические повреждения механизму фиксации (рис. 3), что связано с простоем оборудования и дополнительными расходами.

На данном этапе, для уменьшения вероятности аварийных поломок, можно рекомендовать после приработочного периода нового комплекта ножей производить промежуточную подтяжку резьбовых соединений. Эта рекомен-

дация малоприемлива для операторов рубильных машин. Упростить операцию можно за счет применения герметиков многократного использования для резьбовых соединений.



Рис. 3. Повреждение механизма фиксации

Вероятность самооткручивания резьбовых соединений будет минимизирована, а следовательно, устранена одна из причин возникновения аварийных ситуаций в процессе эксплуатации рубильных машин при заготовке топливной щепы.

Рекомендуемые комплексные мероприятия позволят увеличить эффективность использования не только инструмента, но и всего технологического процесса заготовки топливной щепы.

Заключение. Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Выбор инструментальной стали для изготовления дереворежущего инструмента, работающего в условиях ударных нагрузок, должен проводиться в первую очередь с учетом твердости и ударной вязкости инструментального материала.

2. Нанесение упрочняющих, твердых покрытий позволяет применять низко- и среднелегированные стали взамен высоколегированных для изготовления ножей рубильных машин.

3. Однослойные твердые упрочняющие покрытия позволяют повысить стойкость дереворежущего инструмента в 1,5–1,8 раза.

4. Нанесение многослойных функциональных покрытий потенциально обеспечит дальнейшее увеличение износостойкости дереворежущего инструмента.

5. Увеличение надежности резьбовых соединений при фиксации рубильных ножей уменьшит вероятность возникновения аварийных ситуаций.

Поступила 25.02.2013

УДК 539.357

С. С. Макаревич, профессор (БГТУ);

А. В. Дорожко, кандидат технических наук, доцент (БГТУ)

ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКОМ ВНЕЦЕНТРОМ РАСТЯЖЕНИИ

Предложена методика определения остаточных напряжений при упруго-пластическом внецентренном растяжении. Получены зависимости, позволяющие определить смещение нейтральной линии, величину растягивающей силы и остаточные напряжения, соответствующие заданным границам пластических деформаций

The method of determination of elasto-plastic tension stresses at non-central tension is offered. The dependencies for determining the displacement of the neutral line, the value of tensile strength and residual stress corresponding to the given boundaries of plastic deformation

Введение. В настоящее время при проектировании и изготовлении деталей машин и элементов конструкций приходится довольно часто рассматривать их деформации за пределом упругости. Такие расчеты необходимы при разработке технологических операций по повышению несущей способности деталей конструкций методами предварительного пластического деформирования. В литературе достаточно полно освещены вопросы упруго-пластического деформирования при плоском изгибе, но недостаточно изучено упруго-пластическое внецентренное растяжение.

Основная часть. Как известно [1], при внецентренном растяжении напряжение в произвольном сечении стержня (рисунок, а) определяется по формуле

$$\sigma = \frac{F}{A} \left(1 + \frac{x_F x}{i_y^2} + \frac{y_F y}{i_x^2} \right), \quad (1)$$

где A – площадь поперечного сечения стержня; x_F, y_F – координаты точки приложения силы F ; i_x, i_y – главные центральные радиусы инерции; x, y – координаты точки, в которой определяется напряжение.

Приравняв напряжение к нулю, получим уравнение нейтральной линии, т. е. геометрического места точек, где нет напряжений:

$$1 + \frac{x_F x}{i_y^2} + \frac{y_F y}{i_x^2} = 0.$$

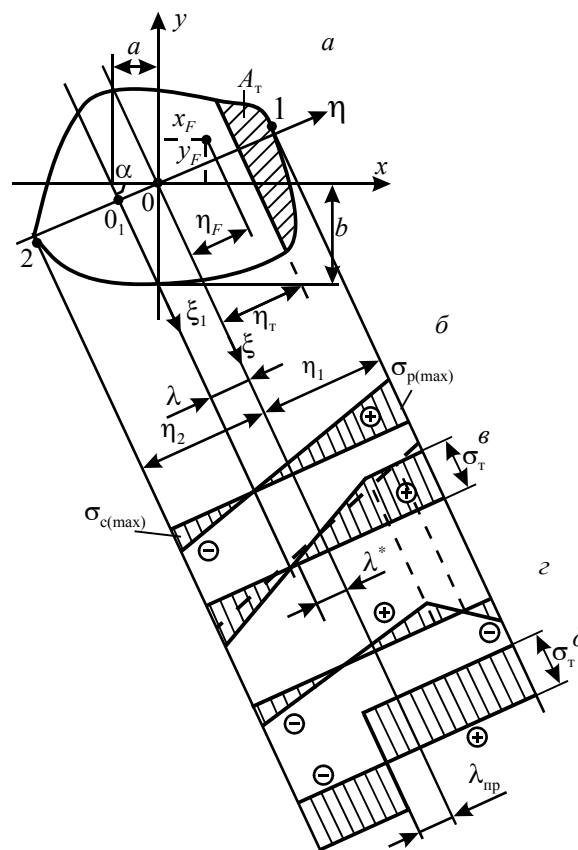
Это уравнение прямой, не проходящей через начало координат. Отрезки, отсекаемые нейтральной линией на осях y, x , можно рассчитать из отношений:

$$a = -\frac{i_y^2}{x_F}; \quad b = -\frac{i_x^2}{y_F}.$$

Запишем тангенс угла наклона нейтральной линии к оси:

$$\operatorname{tg} \alpha = -\frac{x_F}{y_F} \frac{I_x}{I_y}, \quad (2)$$

где I_x, I_y – главные центральные моменты инерции поперечного сечения стержня.



Расчетная схема упруго-пластического внецентренного растяжения

На рисунке, б показана эпюра распределения нормальных напряжений в поперечном сечении стержня.

Обозначим ось, совмещенную с нейтральной линией, через ξ_1 , а перпендикулярную к ней – η . Ось, параллельную оси ξ_1 и проходящую через центр тяжести сечения, обозначим ξ . Отрезок, отсекаемый нейтральной линией на оси η в системе координат $\xi_0 \eta$,

$$\lambda = -a \sin \alpha.$$

Учитывая линейное распределение напряжений, их можно определить через изгибающий момент относительно нейтральной линии:

$$\sigma = \frac{M_{\xi_1}(\eta - \lambda)}{I_{\xi_1}}. \quad (3)$$

В формуле (3)

$$M_{\xi_1} = F(\eta_F - \lambda); \quad \eta_F = y_F \cos \alpha - x_F \sin \alpha;$$

$$I_{\xi_1} = I_{\xi} + \lambda^2 A; \quad I_{\xi} = I_x \cos^2 \alpha + I_y \sin^2 \alpha,$$

где η – ордината точки, в которой определяется напряжение, в системе координат $\xi_1 O \eta$, угол α определяется из уравнения (2).

Формула (3) дает возможность достаточно просто определять напряжения при внецентренном растяжении в случае наличия упруго-пластических деформаций.

При увеличении внецентренно приложенной растягивающей силы F напряжения будут расти и при некотором значении $F = F_T$ в точке 1, наиболее удаленной от нейтральной линии, они достигнут предела текучести σ_T . При дальнейшем увеличении силы зона пластических деформаций будет распространяться вглубь сечения. Если стержень выполнен из материала, схематизированная диаграмма которого может быть представлена диаграммой растяжения идеального упруго-пластического тела, то напряжения в зоне пластических деформаций будут оставаться постоянными и равными пределу текучести. При некоторой силе F^* пластические деформации распространятся до границы η_T и эпюра напряжений примет вид, показанный на рисунке, в. Ввиду наличия пластических деформаций нейтральная линия, а следовательно, и ось ξ_1 , будет смещаться, т. е. будет меняться величина λ . Для ее определения запишем уравнения равновесия отсеченной части стержня:

$$\left. \begin{aligned} \int_{A_y} \sigma dA + \int_{A_T} \sigma_T dA &= F^*, \\ \int_{A_y} \sigma(\eta - \lambda^*) dA + \int_{A_T} \sigma_T(\eta - \lambda^*) dA &= \\ &= F^*(\eta_F - \lambda^*), \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где A_y, A_T – площади поперечного сечения соответственно с упругими и пластическими деформациями.

Напряжение в упругой области может быть определено через радиус кривизны ρ нейтрального слоя:

$$\sigma = \frac{\eta - \lambda^*}{\rho} E, \quad (5)$$

где E – модуль продольной упругости материала стержня.

С учетом (5) систему уравнений (4) можно записать следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} \frac{E}{\rho} \int_{A_y} (\eta - \lambda^*) dA + \sigma_T A_T &= F^*, \\ \frac{E}{\rho} \int_{A_y} (\eta - \lambda^*) dA + \int_{A_T} \sigma_T (\eta - \lambda^*) dA &= \\ &= F^*(\eta_F - \lambda^*). \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Формула (5) справедлива до границы η_T , где напряжение равно σ_T :

$$\sigma_T = \frac{\eta_T - \lambda^*}{\rho} E,$$

откуда

$$\frac{E}{\rho} = \frac{\sigma_T}{\eta_T - \lambda^*}. \quad (7)$$

Подставив (7) и (6) и произведя интегрирование, получим:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\sigma_T}{\eta_T - \lambda^*} (S_{\xi_y} - \lambda^* A_y) + \sigma_T A_T &= F^*, \\ \frac{\sigma_T}{\eta_T - \lambda^*} (I_{\xi_y} - 2\lambda^* S_{\xi_y} + \lambda^{*2} A_y) + \\ + \sigma_T (S_{\xi_T} - \lambda^* A_T) &= F^*(\eta_F - \lambda^*), \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

где I_{ξ_y} – момент инерции относительно оси ξ площади сечения с упругими деформациями; S_{ξ_y}, S_{ξ_T} – статические моменты относительно оси ξ площади сечения соответственно с упругими и пластическими деформациями.

Задавшись границей текучести η_T , можно определить все геометрические характеристики поперечного сечения стержня, входящие в систему уравнений (8). После этого из системы уравнений (8) можно определить положение нейтральной линии, т. е. λ^* :

$$\lambda^* = - \frac{I_{\xi_y} + \eta_T S_{\xi_y} - \eta_F S_{\xi_y} - \eta_T \eta_F A_T}{\eta_F A}. \quad (9)$$

При известном λ^* из первого уравнения системы (8) определится сила F^* , а следовательно, можно будет определить напряжение в любой точке сечения.

Если при силе F^* стержень разгрузить, то напряжения при разгрузке будут изменяться по линейной зависимости (3), как при упругих деформациях. Подставив в уравнение (3) вместо M_{ξ_1} значение $M_{\xi_1} = F^*(\eta_F - \lambda^*)$, можно опреде-

лить напряжения разгрузки в любой точке сечения. Эпюра напряжений разгрузки показана на рисунке, в пунктирной линией. При разгрузке в стержне появятся остаточные напряжения, которые определяются как разность между напряжениями, возникающими при нагружении, и напряжениями разгрузки. Эпюра остаточных напряжений показана на рисунке, г. Если стержень с остаточными напряжениями снова нагрузить силой $F_T < F < F^*$, приложенной в той же точке, то возникающие при этом напряжения накладываются на остаточные напряжения и пластические деформации не возникают. Это явление улучшения упругой способности стержня путем предварительного нагружения и создания подходящих напряжений можно использовать на практике, уменьшив тем самым расход материала на изготовление конструкции.

При достаточно большой силе пластические деформации распространяться по всему сечению стержня. Такое состояние называют предельным. В этом случае эпюра напряжений будет иметь вид, показанный на рисунке, д.

Положение нейтральной оси ξ_1 в определенном состоянии и величина предельной растягивающей силы $F_{пр}$ устанавливаются из условия равновесия:

$$\left. \begin{aligned} \int_{A_p} \sigma_T dA - \int_{A_c} \sigma_T dA &= F_{пр}, \\ \int_{A_p} \sigma_T (\eta - \lambda_{пр}) dA - \int_{A_c} \sigma_T (\eta - \lambda_{пр}) dA &= \\ &= F_{пр} (\eta_F - \lambda_{пр}). \end{aligned} \right\}$$

Учитывая значения интегралов, получим:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_T (A_p - A_c) &= F_{пр}, \\ \sigma_T (S_{\xi_p} - S_{\xi_c} - \lambda_{пр} (A_p - A_c)) &= \\ &= F_{пр} (\eta_F - \lambda_{пр}), \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

где A_p, A_c – площади поперечного сечения соответственно в растянутой и сжатой зонах, S_{ξ_p}, S_{ξ_c} – статические моменты относительно оси ξ площади сечения соответственно с растягивающими и сжимающими напряжениями.

Исключая из уравнений (10) $F_{пр}$, получим:

$$S_{\xi_p} - S_{\xi_c} = (A_p - A_c) \eta_F. \quad (11)$$

Нейтральная линия, которая параллельна оси ξ , в определенном состоянии должна разделить сечение на две части так, чтобы соблюдалось условие (11).

Если при внецентренном растяжении возникают только упругие деформации, то в случаях, когда сила приложена в пределах ядра сечения, в поперечном сечении стержня возникают только растягивающие напряжения. Если же точка приложения силы выходит за пределы ядра сечения, то в поперечном сечении стержня будут возникать как растягивающие, так и сжимающие напряжения.

Что касается предельного состояния, т. е. когда пластические деформации распространяются по всему сечению, то при любом эксцентриситете растягивающей силы в поперечном сечении стержня будут в наличии растягивающие и сжимающие напряжения. Для доказательства этого положения запишем для предельного состояния сумму моментов относительно оси ξ^* , проходящей через точку приложения силы и параллельной нейтральной линии:

$$\sigma_T (S_{\xi^*p} - S_{\xi^*c}) = 0, \quad (12)$$

где S_{ξ^*p}, S_{ξ^*c} – статические моменты относительно оси ξ^* площади сечения соответственно с растягивающими и сжимающими напряжениями.

Если предположить, что сжимающие напряжения отсутствуют, то $S_{\xi^*c} = 0$, и из уравнения (12) $S_{\xi^*p} = S_{\xi^*c} = 0$, где S_{ξ^*} – статический момент относительно оси ξ^* площади всего сечения, т. е.

$$S_{\xi^*} = A \eta_F = 0. \quad (13)$$

Выводы. Условие (13) может быть выполнено только при $\eta_F = 0$. Следовательно, в предельном состоянии напряжения σ_T могут быть одного знака только при $\eta_F = 0$, т. е. когда сила приложена в центре тяжести поперечного сечения стержня.

Литература

1. Феодосьев, В. И. Соппротивление материалов / В. И. Феодосьев. – М.: Наука, 1999. – 540 с.

Поступила 15.02.2013

УДК 674.055

П. В. Рудак, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);**Р. Н. Ласовский**, кандидат физико-математических наук, старший преподаватель (БГТУ);**А. Балтрушайтис**, кандидат технических наук, доцент,

заведующий кафедрой (Каунасский технологический университет, Республика Литва);

Г. Кятуракис, преподаватель (Каунасский технологический университет, Республика Литва)

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ СТРУЖКИ И ПЫЛИ ПРИ ВЫХОДЕ ИЗ ЗОНЫ ФРЕЗЕРОВАНИЯ ПЛИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В статье приводятся результаты моделирования процесса движения частиц стружки и пыли при выходе из зоны резания плитных древесных материалов в процессе фрезерования. Исследовано влияние угла наклона кромки на угол схода стружки, скорость движения стружки вдоль лезвия и скорость выхода стружки из зоны резания, влияние частоты вращения фрезы на угол схода стружки.

The paper presents the results of modeling of the motion of chips particles and dust at the exit from the zone of milling of plate wood material. The influence of angle of inclination on the edge of the chip flow, the impact angle of the edge on the speed of chips along the blade and the output speed of the chips from the cutting area, the effect of rotation frequency on the angle cutter chip flow.

Введение. Дереворежущие фрезы эксплуатируются при высоких частотах вращения и скоростях подачи без применения смазывающе-охлаждающих жидкостей. В связи с этим древесные стружка и пыль приобретают высокие начальные скорости, что затрудняет их улавливание [1]. Неуловленная крупная стружка распространяется на значительные расстояния от зоны обработки, попадает на направляющие станка и, ухудшая условия эксплуатации, сокращает их ресурс.

В связи с высокими частотами вращения дереворежущих фрез стружка, срезанная за один оборот инструмента, не всегда полностью удаляется из межзубой впадины, образует подпор, затрудняет срезание новой стружки, увеличивает мощность на резание, обуславливает доизмельчение стружки.

При недостаточной эффективности системы аспирации ухудшаются пожарные и санитарные условия труда. Пыль оказывает неблагоприятное воздействие на органы дыхания, зрения, кожные покровы рабочих.

Процесс аспирации в деревообрабатывающей промышленности характеризуется высоким уровнем энергетических затрат. Мощность на фрезерование древесных материалов не превышает 1 кВт, в то время как мощность привода вентилятора системы аспирации часто составляет 6–30 кВт.

Одной из возможностей разработки энергосберегающей системы эффективного удаления отходов из зоны резания фрезерных деревообрабатывающих станков является использование кинетической энергии стружки и пыли – их направление в сторону стружкоприемника или накопителя и организация воздушных потоков через зону обработки [1].

Целью исследования, результаты которого представлены в данной работе, является установление закономерностей движения частиц струж-

ки и пыли при выходе из зоны резания плитных древесных материалов при фрезеровании.

При исследовании решались задачи установления влияния: 1) угла наклона кромки на угол схода стружки при фрезеровании плитных древесных материалов на различных режимах; 2) угла наклона кромки на скорость движения стружки вдоль лезвия и скорость выхода стружки из зоны резания; 3) частоты вращения фрезы на угол схода стружки.

Основная часть. Исследованию процесса выхода стружки из зоны фрезерования плитного древесного материала посвящена работа [2].

Для описания процесса выхода стружки древесностружечной плиты (ДСтП) из зоны резания рассматривалась частица стружки массой m , находящаяся в межзубой впадине инструмента и участвующая в круговом движении с циклической частотой ω в результате вращения фрезы радиусом R , осуществляющей полное фрезерование (раскрой плитного древесного материала) (рис. 1).

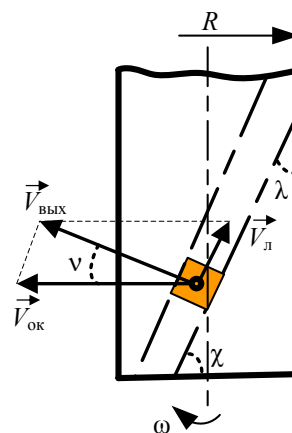


Рис. 1. Схема векторов скоростей движения частицы стружки в межзубой впадине вертикально установленной фрезы

Полученные в работе [2] уравнения позволяют определять угол схода стружки ν с учетом широких диапазонов значений частоты вращения n и радиуса фрезы, угла наклона кромки λ , массы стружки, коэффициентов трения стружки по поверхности обрабатываемого материала μ_1 и по поверхности лезвия μ_2 .

Далее анализируем влияние значений параметров режима фрезерования на величины угла схода стружки, скорость движения стружки вдоль лезвия и скорость выхода стружки из зоны резания.

На рис. 2 представлены зависимости скорости движения стружки вдоль лезвия $V_{\text{л}}$ и скорости выхода стружки из зоны резания $V_{\text{вых}}$ от угла наклона кромки λ при диаметре хвостовой фрезы 20 мм, частоте вращения фрезы 24 000 мин⁻¹.

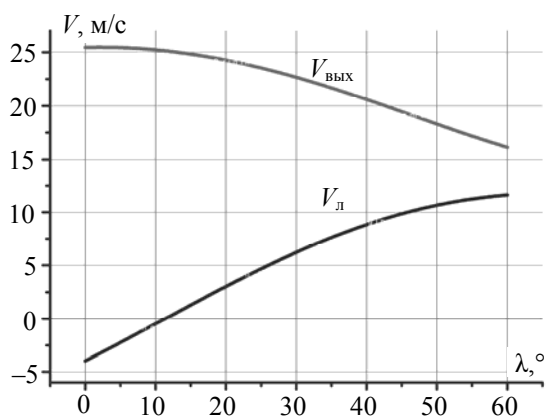


Рис. 2. Зависимости скорости движения стружки вдоль лезвия $V_{\text{л}}$ и скорости выхода стружки из зоны резания $V_{\text{вых}}$ от угла наклона кромки λ при диаметре хвостовой фрезы 20 мм, частоте вращения фрезы 24 000 мин⁻¹

Из графиков видно, что увеличение угла λ вызывает увеличение скорости $V_{\text{л}}$ движения стружки вдоль лезвия. В интервале значений угла λ от 0 до 11,3° значения $V_{\text{л}}$ являются отрицательными, что говорит о движении стружки в данном интервале вниз.

На рис. 3 представлена зависимость угла ν схода стружки от угла λ наклона кромки при диаметре хвостовой фрезы 20 мм, частоте вращения фрезы $n = 24\ 000$ мин⁻¹.

В интервале угла ν от -10° до 35° зависимость практически линейна.

Из рисунка видно, что при значениях угла λ наклона кромки от 0° до 11,3° угол схода стружки ν отрицателен – стружка при выходе движется вниз. При $\lambda = 11,3^\circ$ угол схода стружки $\nu = 0$ – стружка покидает зону резания, двигаясь в плоскости, перпендикулярной оси вращения фрезы. При дальнейшем увеличении угла λ стружка покидает зону резания, будучи

направленной вверх. Так, при угле $\lambda = 25^\circ$ угол схода стружки $\nu = 10,4^\circ$. С увеличением угла λ более 55°, угол ν начинает уменьшаться.

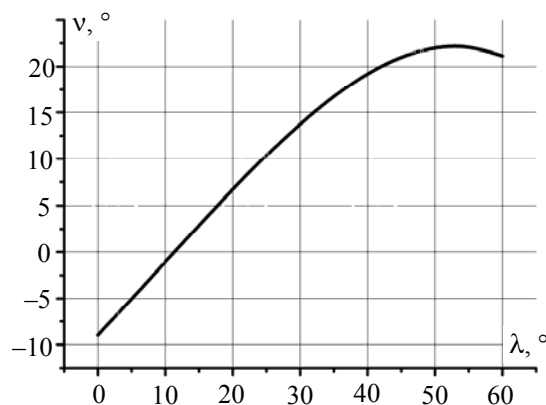


Рис. 3. Зависимость угла ν схода стружки от угла наклона кромки λ при диаметре хвостовой фрезы 20 мм, частоте вращения фрезы 24 000 мин⁻¹

На рис. 4 представлена зависимость угла схода стружки ν от частоты вращения хвостовой фрезы n при диаметре фрезы 20 мм и угле наклона кромки $\lambda = 25^\circ$.

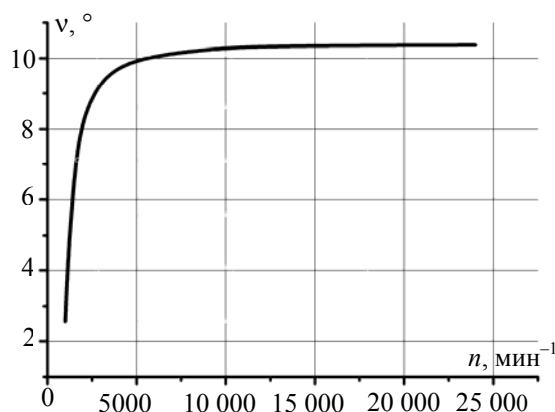


Рис. 4. Зависимость угла схода стружки ν от частоты вращения хвостовой фрезы n при диаметре фрезы 20 мм, угле наклона кромки $\lambda = 25^\circ$

Увеличение частоты вращения от 1000 мин⁻¹ до 3000 мин⁻¹ вызывает быстрый рост угла ν . При дальнейшем увеличении частоты вращения угол схода стружки изменяется незначительно, оставаясь на уровне $\approx 10^\circ$.

На рис. 5 представлены зависимости угла схода стружки ν от коэффициента трения стружки по поверхности обрабатываемого материала μ_1 (при $\mu_2 = 0,2$) и от коэффициента трения стружки по поверхности лезвия μ_2 (при $\mu_1 = 0,5$) при диаметре фрезы 20 мм, угле наклона кромки $\lambda = 25^\circ$.

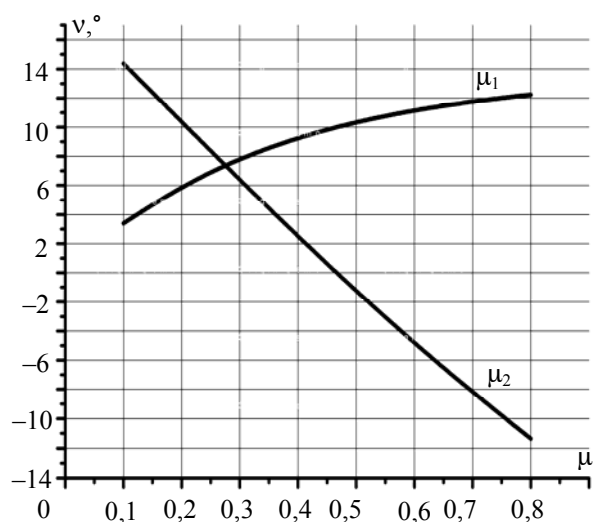


Рис. 5. Зависимости угла схода стружки v от коэффициента трения стружки по поверхности обрабатываемого материала μ_1 (при $\mu_2 = 0,2$) и от коэффициента трения стружки по поверхности лезвия μ_2 (при $\mu_1 = 0,5$) при диаметре фрезы 20 мм, угле наклона кромки $\lambda = 25^\circ$

Как видно из рисунка, с увеличением μ_1 наблюдается монотонный рост угла v .

Угол v практически линейно зависит от μ_2 и при значении коэффициента μ_2 трения стружки по поверхности лезвия более 0,45 угол схода стружки приобретает отрицательное значение.

В ходе экспериментальных исследований углов схода стружки на деревообрабатывающем центре с ЧПУ ROVER B 4.35 (Италия) осуществлялось фрезерование ДСтП хвостовыми фрезами различных конструкций в широком диапазоне режимов резания. Процесс выхода стружки из зоны резания фиксировался цифровым фотоаппаратом, далее фотографии анализировались с помощью компьютера. Углы схода стружки определялись в САПР КОМПАС 3D v.12.

На рис. 6 представлены примеры картин выхода стружки и пыли из зоны резания при неполном (а) и полном (б) фрезеровании.

Установлено, что фракционный состав стружки и пыли, образующихся в процессе фрезерования ДСтП, зависит от режима резания.

Заключение. На основе экспериментальных исследований в процессе фрезерования ДСтП в широких диапазонах параметров режима резания (диаметр фрезы 7–24 мм, число режущих элементов $z = 1-3$ шт., угол наклона кромки $-5-20^\circ$, частота вращения 3000–24 000 мин⁻¹, подача на нож 0,1–1,5 мм) по разработанной методике [2] установлены коэффициенты трения μ_1 и μ_2 , с учетом которых рассчитаны углы схода стружки.



а



б

Рис. 6. Цельная твердосплавная фреза $\varnothing 16$ мм, $z = 3$ шт., $\lambda = 20^\circ$, выход стружки и пыли из зоны резания при неполном фрезеровании (а), полном фрезеровании (б) (стрелка указывает направление движения стружки)

В процессе фрезерования ДСтП в широких диапазонах параметров режима резания выполнено экспериментальное определение углов схода стружки. Сопоставление значений углов схода стружки, полученных в результате экспериментов, с результатами расчетов по разработанной математической модели показало их хорошую сходимость.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (Т12М-098).

Литература

1. Рудак, П. В. Эффективное удаление стружки и пыли из области обработки в процессе фрезерования древесных материалов / П. В. Рудак, Д. В. Куис // Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 24–26 нояб. 2010 г.: в 2 ч. / Белорус. гос. технол. ун-т; редкол.: И. М. Жарский [и др.]. – Минск, 2010. – Ч. 1.
2. Моделирование процесса движения элемента стружки в стружечной канавке фрезы при обработке плитных древесных материалов / П. В. Рудак [и др.] // Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого. – 2013.

Поступила 21.02.2013

УДК 674.055

П. В. Рудак, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);**О. Г. Рудак**, магистр технических наук, ассистент (БГТУ);**А. Балтрушайтис**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой
(Каунасский технологический университет, Республика Литва);**Г. Кятуракис**, преподаватель (Каунасский технологический университет, Республика Литва)

АНАЛИЗ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА СТРУЖКИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕЖИМОВ ФРЕЗЕРОВАНИЯ ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ

В статье приводятся методика и анализ результатов фракционного состава стружки в зависимости от режимов фрезерования древесностружечных плит на основе сухого ситового анализа с ручным просевом. Установлено, что при фрезеровании древесностружечных плит распределение размеров частиц стружки описывается кривыми, близкими к кривым нормального закона распределения.

The paper presents the methodology and analysis of the fractional composition of chips, depending on the modes of chipboard milling on a dry sieve analysis with manual sieving. Found that when milling chipboards chip size distribution described by a curve similar to the curves of normal distribution. (Gauss's law).

Введение. На эффективность удаления стружки и пыли при фрезеровании древесины и древесных материалов большое влияние оказывает их фракционный состав. Частицы стружки больших размеров в момент выхода из зоны резания обладают высокой кинетической энергией, и их улавливание затруднительно. Силы сопротивления движению частиц стружки и пыли со стороны воздушной среды также связаны с размерами древесных частиц.

Процесс фрезерования характеризуется различной толщиной стружки в зависимости от режима резания, направления подачи (встречная или попутная) и, как правило, описывается величиной средней толщины стружки – толщиной стружки на середине дуги контакта лезвия с обрабатываемым материалом.

Переменная толщина стружки по своей длине, включение в состав древесностружечных плит (ДСтП) древесных частиц различного фракционного состава в процессе изготовления, возможность появления трещин по мере движения лезвия в обрабатываемом материале, появление вырывов частиц плиты в результате разрушений клеевых связей, эффект доизмельчения стружки, уже отделенной от заготовки, но повторно взаимодействующей с лезвием, и иные особенности процесса обработки плитных древесных материалов фрезерным инструментом приводят к тому, что толщина стружки, образующейся при некотором режиме фрезерования, может значительно отличаться от средней величины, полученной расчетом.

Дисперсность в значительной мере определяет свойства стружки и пыли поглощать смазочные материалы, например, с направляющих станка. В результате измельчения изменяются некоторые свойства вещества и приобретаются новые. Это вызвано в основном тем, что при

диспергировании вещества многократно увеличивается его суммарная площадь поверхности.

Кроме физических и химических свойств, дисперсный состав определяет в значительной мере характер и условия распространения древесной пыли в воздушной среде. Мелкодисперсная пыль осаждается значительно медленнее, а особо мелкодисперсная пыль практически вовсе не осаждается. Таким образом, расщепление пылевых частиц в воздухе в значительной мере определяется дисперсным составом пыли. Важный вопрос пылеулавливания – выбор пылеулавливающего оборудования – решается главным образом на основании анализа дисперсного состава пыли.

Цель работы – разработка методики, проведение экспериментальных исследований и анализ фракционного состава стружки в зависимости от режима фрезерования ДСтП.

Основная часть. Применяют следующие основные методы определения дисперсного состава стружки и пыли: ситовый анализ – разделение частиц на фракции путем последовательного просеивания навески пыли через лабораторные сита с отверстиями различных размеров; седиментометрия – разделение навески пыли на фракции путем ее осаждения в жидкой или газообразной среде; микроскопический анализ – рассмотрение пылевых частиц с помощью оптического или электронного микроскопа, определение формы частиц, их размера и количества по фракциям; центробежная сепарация – разделение пыли на фракции с помощью центробежной силы. Наибольшее распространение получил ситовый анализ.

Применяют ручной и механический просевы. При механическом просеве на тонких ситах условия отсева затрудняются вследствие отсутствия в пробе грубых частиц.

При исследовательской работе, а также для ответственных производственных анализов рекомендуется применять сухой ситовый анализ с ручным просевом [1].

На деревообрабатывающем центре ROVER B4.35 (BIESSE, Италия) с числовым программным управлением (ЧПУ) выполнялось фрезерование ДСтП фрезами на различных режимах резания (рис. 1).



Рис. 1. Деревообрабатывающий центр ROVER B4.35 с ЧПУ с закрепленной на рабочем столе станка заготовкой ДСтП

Обрабатываемый материал – ДСтП производства EGGER Eurospan (Румыния) с отделкой с двух сторон ламинатом. Толщина плиты – 18 мм. Средняя плотность (670 кг/м^3) контролировалась определением средней массы по результатам замеров для 5 кубиков $18 \times 18 \times 18 \text{ мм}$, вырезанных с различных участков плиты. Связующее составляет 10%. Длина заготовки в эксперименте – 2800 мм.

После обработки материала выполнялся отбор представительной пробы стружки. Поскольку объем первичной пробы оказывался больше, чем необходимо для анализа, проба подвергалась перемешиванию и сокращению.

Для достаточно больших проб предварительно производилось перемешивание по способу «конус». Для этого применялась воронка, установленная на штативе, через которую на плоскую поверхность насыпалась первоначальная проба частиц. После этого воронка переставлялась на другую плоскую поверхность и процесс повторялся. Данная операция проводилась не менее 3–4 раз.

Сокращение перемешанной пробы осуществлялось методом квартования при помощи крестовины (рис. 2).

Часть пробы в одной паре противоположных секторов отбиралась (рис. 2, б), другая снова перемешивалась и квартовалась до тех

пор, пока не получался необходимый для анализа объем частиц.

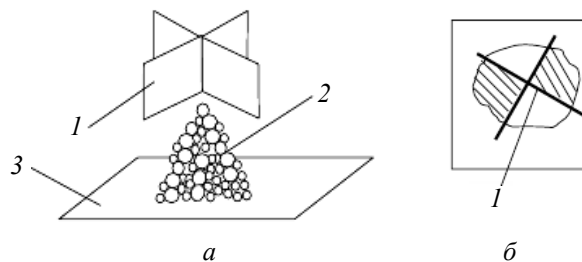


Рис. 2. Сокращение пробы методом квартования (а) и отбор пробы в одной паре противоположных секторов (б):
1 – крестовина; 2 – проба частиц;
3 – плоская поверхность

Далее анализируемая проба помещалась на наиболее тонкое сито, а полученный остаток перекладывался на сито, следующее по крупности ячеек. Такая последовательность проведения анализа благоприятна с той точки зрения, что грубое зерно способствует просеву пробы на более тонких ситах.

На рис. 3 представлены фотографии некоторых применяемых сит (а), а также весов (Adventurer ARC 120, OHAUS) (б).

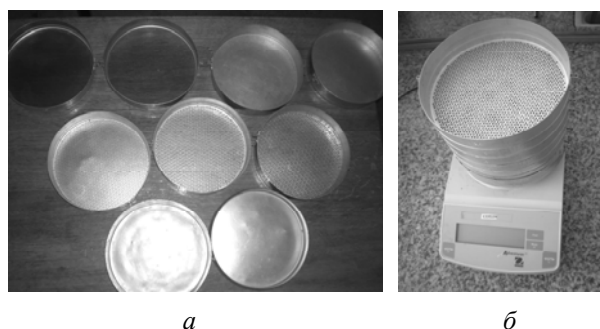


Рис. 3. Фотографии некоторых применяемых сит (а), весов (б)

Сито с поддоном и крышкой брали одной рукой, наклонив полотно к горизонтальной поверхности на $10\text{--}20^\circ$ вверх от этой руки и ударили другой рукой около 120 раз в минуту. Примерно 4 раза в минуту сито располагали горизонтально и сильно ударили по обечайке. При трудностях в просеве и при тонких ситах через 3 мин и далее через каждые 5 мин нижнюю поверхность сита очищали мягкой кисточкой. Опадающие с поверхности сита частицы присоединяли к проходу.

После окончания просева проход из поддона взвешивали, а остаток помещали на следующее сито в порядке увеличения размера ячеек и продолжали просев описанным способом.

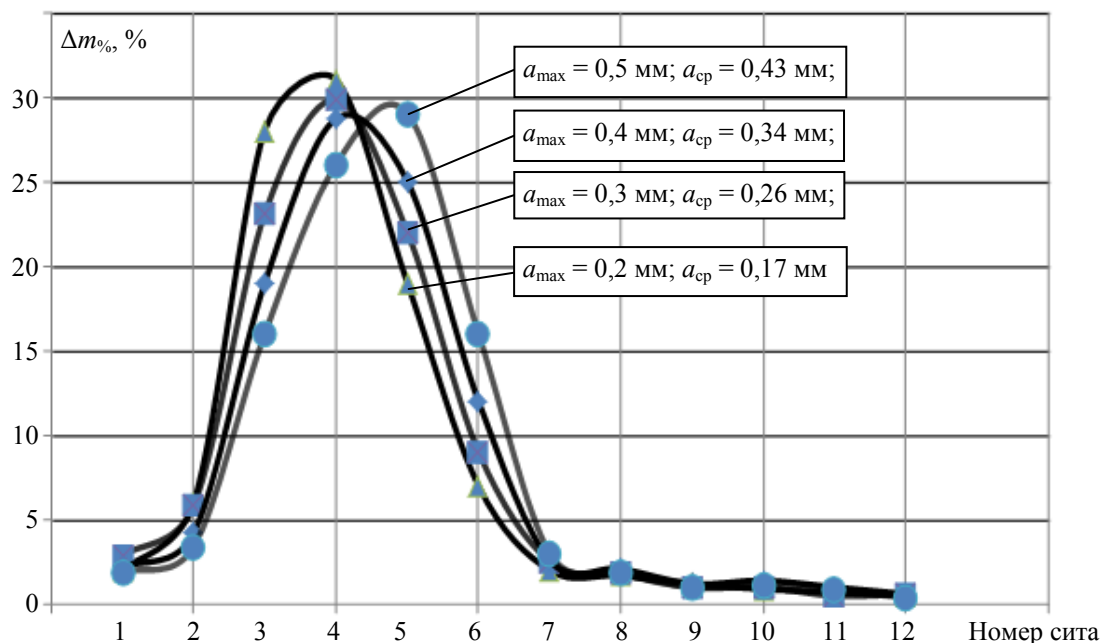


Рис. 4. Кривые распределения размеров частиц стружки, полученной при различных режимах встречного фрезерования ДСтП однолезвийной прямозубой хвостовой фрезой Ø21 мм, при толщине снимаемого слоя 5 мм, частоте вращения 12 000 мин⁻¹

Согласно рекомендациям [1] исследовали объем пробы стружки 100 см². Массу определяли с точностью 0,01 г.

Рассев считали законченным, когда через сито при повторном отсеивании в течение 3 мин проходило не более 1% частиц, находящихся на данном сите. После окончания просева каждую фракцию с соответствующего сита и поддона взвешивали. Контролировали, чтобы суммарная масса всех фракций не отклонялась от массы исходной навески более чем на 2%.

При обработке полученных результатов суммарную массу всех фракций принимали за 100%. Процентное содержание частиц в каждой фракции $\Delta m\%$ определяли из соотношения:

$$\Delta m\% = \frac{\Delta m_i}{\sum m_i} \cdot 100\%,$$

где Δm_i – масса частиц на i -м сите, г; $\sum m_i$ – суммарная масса всех фракций, г.

За окончательный результат принимали среднее арифметическое результатов двух параллельных определений. Контролировалось, чтобы расхождение между результатами двух параллельных определений массы соответствующих фракций не превышало 1% от массы всей навески.

Если расхождение между результатами параллельных определений превышало приведенную величину, определение повторяли.

Заключение. На рис. 4 представлены кривые распределения размеров частиц стружки,

полученных при различных режимах фрезерования ДСтП однолезвийной хвостовой фрезой Ø21 мм, при толщине снимаемого слоя 5 мм, частоте вращения фрезы 12 000 мин⁻¹.

Наибольшие толщины стружки a_{max} устанавливались 0,2 мм, 0,3 мм, 0,4 мм и 0,5 мм. Соответствующие средние толщины стружки a_{cp} : 0,17 мм; 0,26 мм; 0,34 мм; 0,43 мм.

Соответствие размеров ячеек номерам сит: 1 – поддон; 2 – 0,063 мм; 3 – 0,125 мм; 4 – 0,25 мм; 5 – 0,5 мм; 6 – 1 мм; 7 – 1,5 мм; 8 – 2 мм; 9 – 2,5 мм; 10 – 3 мм; 11 – 4 мм; 12 – 8 мм.

Кривые распределения дают наглядное представление о дисперсном составе стружки.

Установлено, что при фрезеровании ДСтП распределение размеров частиц стружки описывается кривыми, близкими к нормальному закону распределения.

При увеличении средней толщины стружки кривые распределения смещаются в сторону большей толщины стружки.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (Г12М-098).

Литература

1. Коузов, П. А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов / П. А. Коузов. – Л.: Химия, 1987. – 264 с.

Поступила 21.02.2013

УДК 621.762.2

Н. А. Свидуневич, доктор технических наук, профессор (БГТУ);**Г. П. Окатова**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник (БГТУ);**В. С. Урбанович**, кандидат технических наук (НПЦ НАН Беларуси по материаловедению);**П. В. Рудак**, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);**Ю. А. Товстыко**, магистрант (БГТУ)

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ НАНОУГЛЕРОДА, ПОЛУЧЕННОГО ПРИ ТЕРМОБАРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Из порошков углеродных материалов и карбонильного железа в соотношении С-90 мас. % методом высокотемпературной интенсивной пластической деформации изготовлены композиционные материалы, изучено структурное состояние полученных материалов различными методами исследований.

Of powders carbon and carbonyl iron materials in the ratio C-90 weights of % a method of high-temperature intensive plastic deformation are made by composite materials. The structural conditions of the materials were studied with different research methods.

Введение. Ранее нами было показано, что в условиях высоких давлений – 4–5 ГПа и температур – 950–1200°C образование сверхтвердой алмазоподобной углеродной фазы серого цвета в Fe–C нанокompозите происходит не только из фуллеренов, но и других, более дешевых нанодисперсных углеродных материалов – фуллеренсодержащей сажи, многостенных нанотрубок, фуллереновой черни [1]. В основе идеи о возможности замены фуллеренов на другие наноуглеродные материалы явилось предположение о ведущем влиянии на образование «сверхупругих и твердых углеродных частиц» дисперсности исходного углеродного наноматериала.

Основная часть. В результате проведения комплекса работ в условиях высоких давлений (4 ГПа) и температур (1200–1500°C) получены опытные образцы композитов из шихты состава 90% С + 10% Fe. В качестве исходных компонентов использовали экстрагированную нанодисперсную фуллереновую сажу и порошок карбонильного железа с размером частиц 5–100 мкм.

Использованная нами экстрагированная фуллереновая сажка не содержит фуллеренов (по данным фазового анализа ~1,5% C₆₀ и ~1,3% C₇₀), т. е. это наноуглерод после практически исчерпывающей экстракции фуллеренов из продукта электродугового испарения графита.

Полученные образцы нанокompозитов исследовались методами световой и электронной микроскопии, рентгеновской дифракции, микрорентгеноспектрального анализа и измерения микротвердости.

В результате исследования микроструктуры установлено, что образцы, спеченные на основе экстрагированной фуллереновой сажи (90 мас. % C_{эфс} + 10 мас. % Fe) представляют собой сплошную особотвердую углеродную серую фазу, содержащую ряд ее модификаций различных от-

тенков (рис. 1). Образцы композита С–Fe не имеют зеренной структуры – ни до, ни после травления она не выявлена, что характерно для аморфного состояния. Полученный высокотвердый углеродный нанокompозит является суперлегким – его удельный вес находится в пределах 2,14÷2,18 г/см³.

При исследовании в сканирующем электронном микроскопе полученного нанокompозита установлен ряд характерных и неожиданных структурных особенностей и отличительных свойств серой фазы.

Поверхность супертвердых частиц, названная «рельефом “зигзаг”», «крапчатая», «зигзаг, крапчатая» оказалась составленной из сросшихся в разной степени «шаровидных» частиц разной морфологии и размеров (рис. 2) в зависимости от температуры и времени спекания; при уменьшенном увеличении и низком разрешении светового микроскопа такой рельеф и создает характерные «зигзаги» и «крапчатость». «Шаровидное», теперь можно назвать глобулярное, строение составляющих поверхность супертвердых частиц с «рельефом «зигзаг», «крапчатая», «зигзаг, крапчатая» полученных нами образцов композита С–Fe находится в согласии с моделью глобулярной структуры стеклоуглерода [2].

Элементный микрорентгеноспектральный анализ показал, что супертвердые частицы полученного композита С–Fe состоят из С, фаза-основа состоит из С с включениями Fe от 1,8 до 7–10 мас. % при анализе по площади. При этом определено, что в центре больших супертвердых частиц располагаются частицы Fe, т. е., возможно, добавка 10% Fe явилась катализатором этого процесса.

Вид изломов серой фазы-основы в световом и сканирующем электронном микроскопе характерен для аморфных материалов [3].

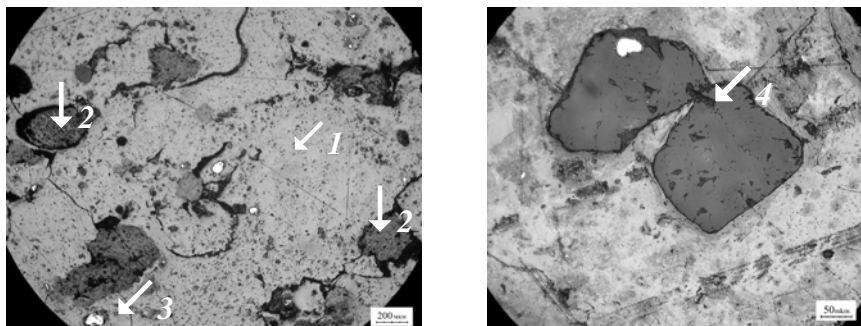


Рис. 1. Микроструктура образца Эфс-17 из шихты на основе экстрагированной фуллереновой сажи, $P = 4$ ГПа, $T_{\text{сп}} = 1200^{\circ}\text{C}$, время спекания – 43 с
(по стрелке $\swarrow 1$ – связующая серая «фаза-основа»;
по стрелке $\downarrow 2$ – включения супертвердых частиц рельефа «зигзаг» и «крапчатый»,
по стрелке $\swarrow 3$ – частицы на основе Fe;
по стрелке $\swarrow 4$ – «гладкая темно-серая фаза» с огранкой или округлая)

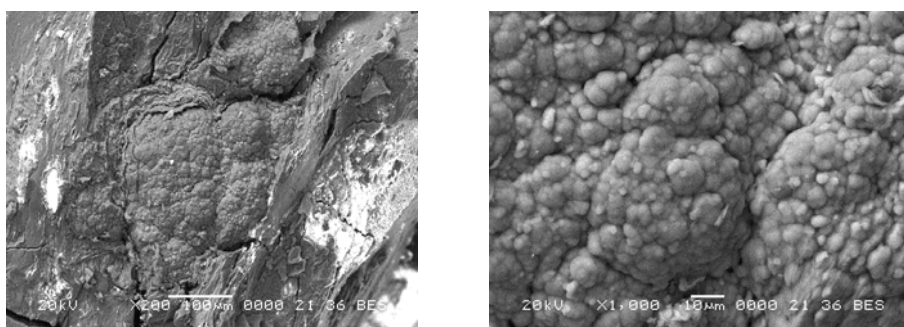


Рис. 2. Фрактограмма частицы серой фазы с рельефом «зигзаг, крапчатая» в сканирующем электронном микроскопе с излома образца Эфс-17 из шихты на основе экстрагированной фуллереновой сажи с добавкой 10 мас. % Fe $P = 4$ ГПа, $T_{\text{сп}} = 1200^{\circ}\text{C}$, время спекания – 43 с

Таким образом, в дополнение к отсутствию зеренной структуры вид поверхности излома серой фазы-основы является еще одним из аргументов в пользу подтверждения ее аморфного состояния. Однако для окончательного вывода изучение необходимо дополнить проведением исследования методом просвечивающей электронной микроскопии и электронографии.

Анализ и расчет дифрактограмм спеченных образцов свидетельствуют в пользу того, что полученный композит является аморфно-нанокристаллическим углеродным материалом с различной степенью дисперсности кристаллитов и аморфной составляющей (1,3–14,5 нм).

Полученные результаты по состоянию наноконпозиционного материала на основе С–Fe из недорогой, несодержащей фуллеренов экстрагированной фуллереновой сажи согласуются с данными авторов [4].

Заключение. Таким образом, полученный нами наноконпозиционный материал на основе С–Fe из недорогой, не содержащей фуллеренов, нанодисперсной экстрагированной фуллереновой сажи с добавлением 10% Fe, на ~90% является одной сплошной углеродной фазой с нанокристаллитами различной степени дисперсности и морфологии и аморфной составляю-

щей. Микротвердость включений супертвердых частиц близка к твердости алмаза.

Литература

1. Структура и свойства наноконпозиита на основе железа и нанодисперсного углерода / Г. П. Окатова [и др.] // Химия и химическая технология. Разд. Химическая технология. – 2010. – Т. 53, вып. 10. – С. 90–100.
2. Беленков, Е. А. Гибридные наноалмазы и родственные углеродные материалы. Компьютерное материаловедение / Е. А. Беленков, В. В. Ивановская, А. Л. Ивановский. – Екатеринбург: УрО РАН, 2008. – 165 с.
3. Разрушение. Т. 7: Разрушение неметаллов и композитных материалов. Ч. I: Неорганические материалы (стекла, горные породы, композиты, керамики, лед) / пер. с англ.; под ред. Ю. Н. Работнова. – М.: МИР, 1976. – 634 с.
4. Структура и свойства сверхупругих и твердых углеродных частиц, армирующих износостойкие конпозиционные материалы, полученные из смеси порошков железа и фуллеренов под давлением / О. П. Черногорова [и др.] // Российские нанотехнологии. – 2008. – Т. 3, № 5–6. – С. 150–157.

Поступила 21.02.2013

УДК 669.24/29.018:[539/25+539/26]

- Д. В. Куис**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой (БГТУ);
Н. А. Свидунович, доктор технических наук, профессор (БГТУ);
Г. П. Окатова, кандидат технических наук, старший научный сотрудник (БГТУ);
А. Т. Волочко, доктор технических наук, профессор (ФТИ НАН Беларуси);
А. П. Ласковнев, доктор технических наук, профессор,
член-корреспондент, заместитель директора (ФТИ НАН Беларуси);
С. Н. Лежнев, кандидат технических наук, доцент, проректор по учебной работе
(Карагандинский государственный индустриальный университет, Республика Казахстан)

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ ЛИГАТУР Al–C

В работе приведены результаты исследования структурообразования лигатур Al–C, полученных с использованием фуллеренов C₆₀, фуллереносодержащей сажи, фуллереновой черни и микрокристаллического углерода.

This work contains research results structure formation of alloys Al–C, the obtained with the fullerene C₆₀, fullerenes soot, fullerenes black and micro-crystalline carbon.

Введение. Актуальной проблемой современного материаловедения является поиск составов с использованием наноматериалов для разработки новых материалов, обладающих физическими свойствами, обеспечивающими потребности современной техники.

Современные композиционные материалы обладают большей удельной прочностью, чем лучшие конструкционные алюминиевые, магниевые и титановые сплавы. Имеются серьезные основания утверждать, что физико-механические свойства конструкционных материалов, применяемых в настоящее время, не являются достаточными для ряда перспективных изделий. Таким образом, необходимы композиционные материалы с более высоким уровнем свойств, повышения которых можно достичь путем оптимизации существующих технологий и составов материалов, а также применения новейших технологий и материалов, в частности нанотехнологий и наноматериалов.

Наноструктурирование рассматривается в качестве одного из наиболее перспективных путей повышения физико-механических свойств конструкционных и функциональных материалов. Известно, что свойства наноструктурных композиционных материалов (НКМ) в значительной степени определяются как свойствами самих наночастиц, так и особенностями их взаимодействия [1]. Одним из быстро развивающихся в настоящее время направлений является создание новых НКМ с металлической матрицей, упрочненных различными углеродными наноструктурами (УНС).

Основная часть. В результате проведения работ в направлении создания новых металлических материалов на основе алюминия и наноуглеродных материалов были получены опытные образцы лигатур Al–C.

Для получения таких лигатур использовалась литейно-деформационная технология, раз-

работанная в Физико-техническом институте НАН Беларуси, включающая смешивание порошковых компонентов шихты, проведение механоактивации полученной смеси, экструдирования шихты с получением лигатуры.

Образцы готовились из порошков алюминия с размером частиц основной фракции 5–100 мкм и ряда наноуглеродных материалов в соотношении Al – 10 мас. % C в исходной смеси.

В качестве углеродных материалов использовались:

- фуллереносодержащая сажа производства института им. Иоффе, Санкт-Петербург;
- фуллерены C₆₀ производства института им. Иоффе, Санкт-Петербург;
- фуллереновая чернь производства института им. Иоффе, Санкт-Петербург;
- углеродные микрочастицы размером 3, 4, 9 мкм, производства ASBURY GRAPHITE MILLS, INC., США.

В соответствии с задачей исследований по изысканию возможности замены при создании новых материалов дорогостоящего фуллерена на более дешевый фуллереносодержащий материал изготовление образцов с введением фуллеренов, как эталонных, производилось для сравнения.

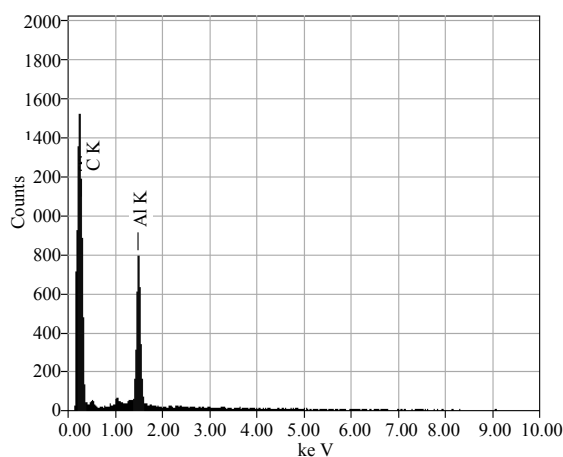
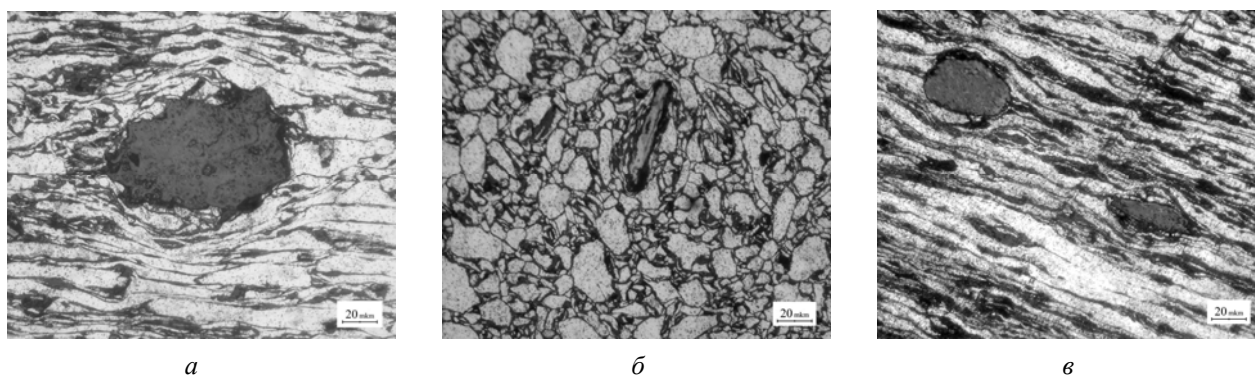
Методами рентгеноструктурного анализа, световой микроскопии, сканирующей электронной микроскопии с системой качественного и количественного микроанализа, метода измерения микротвердости исследованы элементный, фазовый состав, структурное состояние и показатели механических свойств исходных компонентов, шихты после ее механоактивации, лигатур Al–C после экструдирования шихты.

Результаты комплексных исследований порошка фуллереновой сажи ФТИ им. А.Ф. Иоффе, РАН показали, что порошок состоит из дисперсных частиц сажи и крупных частиц фуллеренов. При этом сажа в основе своей состоит из аморф-

ного углерода, содержит $\approx 8\%$ фуллеренов и не содержит, кроме небольшого количества кислорода, никаких посторонних примесей. Фуллереновая чернь на 100% состоит из сажистого углерода, какие либо другие примеси не обнаружены. Порошок состоит из частиц небольшого размера от 3–5 мкм и очень больших частиц, но все это только конгломераты. По данным [2], фуллереновая чернь представляет собой черный мелкодисперсный порошок с размерами частиц 40–50 нм. Частицы микрокристаллического углерода имеют вид как пластинок, чешуек, типичных для гексагонального кристаллического строения, так и микрогранул сферической формы.

Исследования шихты после механоактивации показали, что в шихте системы Al–C при ее механоактивации протекают процессы пластического деформирования исходных порошковых компонентов и не наблюдается изменений элементного и фазового составов. При этом полученные топограммы порошков шихты с различными углеродными добавками схожи.

Результаты исследований композиций Al–C после экструдирования шихты показали, что в образцах выявлены необычные для Al–C сплавов сверхтвердые частицы серого цвета (рис. 1). При замерах микротвердости этой фазы обнаружен эффект восстановления отпечатка индентора, что указывает на ее весьма высокие упругие свойства. Микрорентгеноспектральным анализом EDX (рис. 1, г) установлено, что эта сверхтвердая фаза – углеродная. В микроструктуре ряда образцов (особенно в серии с фуллереновой чернью) наблюдались частицы серой фазы с волнистой, без следов шлифования-полирования поверхностью (рис. 1, а, 2), имеющие очень высокую микротвердость: отпечатки индентора на изображении практически не видны, отпечатки съезжают с частицы, оставляя кресты со сколом (рис. 2). Такое поведение этой фазы при измерении микротвердости свидетельствует об их высокой твердости, возможно, близкой по значению к твердости алмаза.



Element	(ke V)	mass %	Error %	At %
C K	0.277	85.64	0.89	93.05
Al K	1.486	14.36	0.49	6.95
Total		100.00		100.00

г

Рис. 1. Структура образцов лигатур Al–C:
 а – Al + 10% фуллереновой черни, $\times 500$; б – Al + 10% фуллеренов, $\times 500$;
 в – Al + 10% фуллереновой сажи, $\times 500$; г – результаты микрорентгеноспектрального анализа EDX
 серой фазы в лигатуре Al + 10% фуллереновой черни

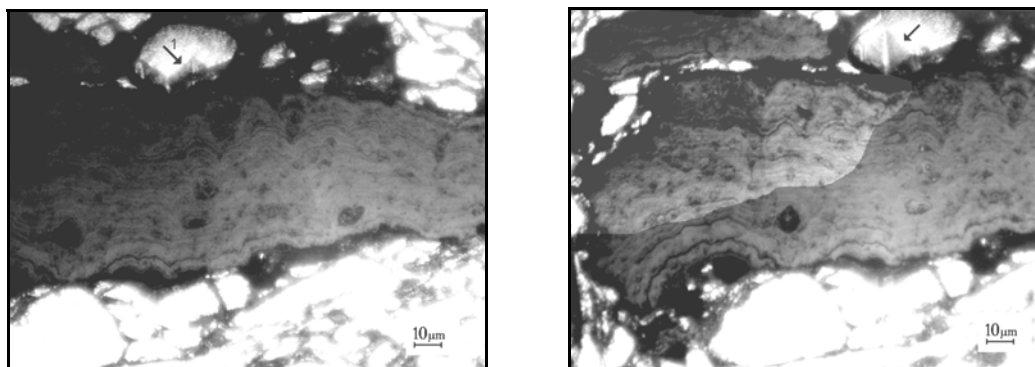


Рис. 2. Частица волнистой серой фазы с нанесенными отпечатками индентора (индентор съезжает с поверхности частицы по стрелкам)

Такую фазу содержат все изготовленные с нанокремнеземными добавками образцы – и с фуллереномодифицированной сажей, и с фуллереновой чернью, и с фуллеренами C_{60} (рис. 1). Анализ показал, что размеры, форма и количество особо твердой чисто углеродной фазы с высокой упругостью различны в лигатурах разных составов.

Авторами настоящих исследований параллельно проводятся работы по разработке технологии получения новых материалов на нанокремнеземной основе с добавкой железа путем высокотемпературного ($\approx 1000^\circ\text{C}$) преобразования высоким давлением (4–5 ГПа) [3]. В результате были получены образцы композитов (90% фуллереновой сажи + 10% мас. Fe) с тремя основными типами серой фазы: волнистой, гладкой темно-серой фазой с огранкой и серой фазой «основа» (рис. 3).

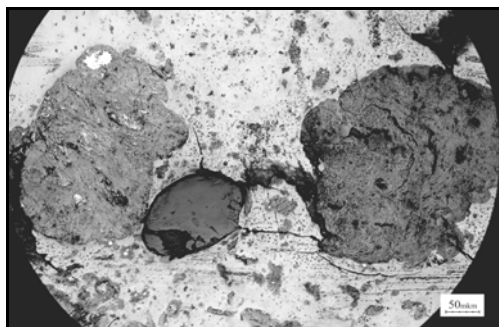


Рис. 3. Морфология частиц и «основы» серой фазы в образце – 90% мас. фуллереновой сажи + 10% Fe

Исследования показали, что структура и поведение серых фаз при измерении микротвердости в системах Al–C и C–Fe схожи. Однако вышеописанные структурные состояния в случае систем Al–C и C–Fe были получены в существенно отличающихся условиях, что предполагает проведение дальнейших исследований.

Анализ результатов исследования структурного состояния образцов композиций алюминий – микрокристаллический углерод после экструдирования шихты показал равномерное

распределение углеродной составляющей (черных и серых включений) в алюминиевой матрице. При этом малые размеры углеродных включений не позволяют произвести замеры их микротвердости, что не дает возможности идентифицировать их как сверхтвердые углеродные фазы, которые были получены в случае использования нанокремнеземных добавок.

Заключение. Таким образом, поэтапно изучено структурное состояние лигатур Al–C при их получении. При этом исследования не выявили принципиальных отличий в структурообразовании лигатур Al–C, полученных с использованием дорогостоящих фуллеренов, в сравнении с лигатурами, полученными с использованием более дешевых нанокремнеземных материалов, что делает их перспективными для промышленного освоения. Такие лигатуры могут быть использованы в качестве добавок, содержащих ультрадисперсное углеродосодержащее сырье различных модификаций, при создании новых антифрикционных композиционных материалов системы Al–C для объектов новой техники, отличающихся высокими техническими характеристиками, в частности для прецизионных деталей машиностроения, изделий, работающих на трение при повышенных нагрузочно-скоростных условиях.

Литература

1. Гусев, И. А. Нанокристаллические материалы: методы получения и свойства / И. А. Гусев. – Екатеринбург: УПО РАН, 1998. – 198 с.
2. Гусев, А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А. И. Гусев. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 416 с.
3. Влияние условий термобарической обработки нанокремнезема под высоким давлением на образование и тонкую структуру сверхтвердой фазы / В. С. Урбанович [и др.] // Углерод: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, технология: тез. докл. Восьмой Междунар. конф., Троицк, 25–28 сент. 2012 г. / ФГУ ТИСНУМ. – Троицк: Тривант, 2012. – С. 500–510.

Поступила 21.02.2013

УДК 621.793

И. О. Соков, кандидат технических наук, доцент (БНТУ);
З. Э. Газбан, аспирант (БНТУ); **О. Ю. Пискунова**, инженер (БГТУ)

УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИМ НАПЫЛЕНИЕМ

В статье проанализированы условия работы валов деревообрабатывающего оборудования, в результате выявлено, что лимитирующей ресурс валов является опорная поверхность, подвергающаяся фреттинг-коррозии. Результаты исследования позволили определить эффективный способ повышения ресурса опорной поверхности нанесением износостойкого газотермического покрытия при условии обеспечения достаточной прочности сцепления с основой.

The article analyzes the conditions of the shaft woodworking equipment, as a result found that the limiting resource is the shaft bearing surfaces subjected to fretting corrosion. Results of the study to determine effective ways to increase the resource bearing surface wear-resistant thermal coatings, provided that sufficient adhesion to the substrate.

Введение. Деревообработка – одна из быстроразвивающихся и перспективных отраслей промышленности страны. И не менее значимый фактор – это то, что древесина – сырье, запасы которого могут непрерывно восстанавливаться в отличие от невозобновляемых (газа, угля, руды, нефти, торфа и др.). Из этого следует вывод – для того чтобы деревообработка в Республике Беларусь динамично развивалась, не нужно стоять на месте, необходимо внедрять новые технологии, вводить в эксплуатацию новое оборудование, повышать квалификацию персонала.

Перспективным планом развития деревообрабатывающей отрасли страны предусмотрено увеличить объемы производства продукции, повысить производительность труда, более полно использовать лесосырьевые ресурсы. Один из путей повышения эффективности деревообработки – концентрация и специализация лесопильного производства, ввод в эксплуатацию новых технологий деревообработки, а также увеличение ресурса работы оборудования.

Повышение износостойкости и коррозионной стойкости, антифрикционных свойств и сопротивления усталостным процессам поверхностей трения актуально для различных отраслей техники. Не менее важной является проблема упрочнения и восстановления деталей деревообрабатывающего оборудования, на замену которых ежегодно расходуются миллиарды рублей. Наиболее характерными из таких деталей являются различные валы деревообрабатывающего оборудования. Масса этих валов достигает нескольких тонн при стоимости до нескольких десятков тысяч долларов. Одним из эффективных способов повышения долговечности деталей, работающих в условиях трения, является напыление на их рабочие поверхности прочных износостойких газотермических покрытий, позволяющих экономить дорогостоящие легированные и другие дефицитные мате-

риалы, повышать ресурс и надежность механизмов, снижать энергоемкость производства, успешно решать проблемы восстановительного ремонта в целях повторного использования изношенных деталей.

Основная часть. Из анализа условий работы деталей был сделан вывод о том, что на изнашивание трибопар, таких как «опорная поверхность вала – буксовая втулка (или кольцо подшипника)» (рис. 1), оказывает немаловажное влияние процесс фреттинг-коррозии. Так как указанные сопряжения являются номинально неподвижными, при воздействии на них высоких удельных нагрузок и вибраций передаваемых, в частности от подшипников качения, в этих соединениях происходят относительные знакопеременные (силы инерции при запуске-остановке машины, действие крутящих моментов) колебательные перемещения контактирующих поверхностей, что приводит к разрушению как оксидных пленок, так и поверхностных слоев, а образующиеся продукты износа, окисляясь, превращаются в абразив. Кроме того, в номинально неподвижных соединениях затруднен вывод продуктов износа.

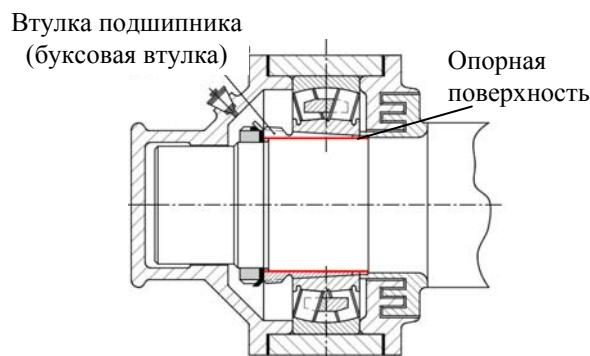


Рис. 1. Схема подшипникового узла

Вышесказанное свидетельствует о том, что на разрушение опорных поверхностей валов первостепенное влияние оказывает фреттинг-

коррозия, это наглядно демонстрирует рис. 2, на котором представлены фотографии опорных поверхностей различных валов, поврежденных фреттинг-коррозией.

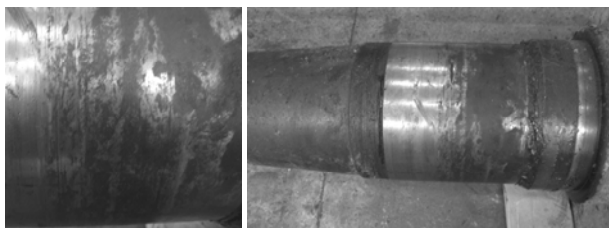


Рис. 2. Примеры повреждения опорных поверхностей валов при фреттинг-коррозии

Повреждение контактирующих поверхностей в условиях фреттинг-коррозии определяется в основном рядом ведущих процессов – коррозионно-усталостными процессами, схватыванием и микрорезанием. Хотя эти процессы развиваются в поверхностном слое одновременно, однако с учетом свойств контактирующих материалов и условий нагружения один из этих процессов становится ведущим, и именно он в основном лимитирует ресурс работы контактирующих деталей. Такая дифференциация ведущих процессов позволяет рационально классифицировать методы защиты от того или иного ведущего процесса. Все способы защиты поверхностей условно подразделены на четыре основные направления [1]:

- 1) конструктивно-технологические приемы;
- 2) защита от схватывания;
- 3) защита от усталостно-окислительного разрушения;
- 4) защита от абразивного разрушения.

К первой группе относятся такие конструктивные и технологические решения, которые исключают микросмещение поверхностей (увеличение натяга для пресовых посадок, использование демпфирующих устройств для гашения вибраций, улучшение подвода смазочного материала, усовершенствование конструкций и т. д.).

Третья группа методов защиты – упрочнение контактирующих поверхностей механической, термической и химико-термической обработкой. Методы этой группы эффективны, когда в качестве ведущего фактора выступают усталостно-окислительные процессы. К ней относятся методы, уменьшающие коэффициент трения и исключающие окислительную среду в зоне контакта (применение смазок, металлических мыл, нанесение пленок и покрытий и др.).

На основе проведенного анализа составлена классификация методов защиты поверхности от разрушения при фреттинг-коррозии. Опираясь на данную классификацию, учитывая условия работы и характер повреждения поверхностей,

определив предварительно ведущий процесс, можно наметить оптимальный метод защиты от фреттинг-коррозии.

Внешними признаками, указывающими на приоритет процессов схватывания при развитии фреттинг-коррозии, являются образование вырыва на одной поверхности и налипание частиц в виде наростов на другой. При дальнейшем перемещении наросты могут, подобно абразиву, диспергировать и деформировать сопряженную поверхность, а также способствовать образованию и развитию новых узлов схватывания.

Выявить ведущий процесс можно с достаточной степенью точности в результате микроскопического исследования поверхностей трения. При этом следы пластического течения металла, вырывы и налипание частиц металла, следы оплавления и размазывания, надрывы металла, следы окисления и хрупкого разрушения поверхностей и т. д. – характерные изменения внешнего вида контактных поверхностей в процессе эксплуатации в условиях фреттинг-коррозии.

После анализа условий работы различных валов деревообрабатывающего оборудования, характера повреждений их опорных поверхностей, которые являются лимитирующими срок службы данных деталей, было сделано предположение, что ведущую роль при их разрушении играет фреттинг-коррозия.

На основе проведенного анализа литературных данных по исследованию фреттинг-коррозии, влияния различных факторов (механического воздействия, химической активности окружающей среды, природы контактирующих материалов) на интенсивность изнашивания при фреттинг-коррозии, а также методов защиты от нее можно сделать вывод о том, что для обеспечения долговечности деталей, работающих в условиях фреттинг-коррозии и высоких удельных нагрузок, наиболее рациональным является нанесение на их рабочие поверхности покрытий с требуемыми физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

Учитывая специфику таких деталей, как крупногабаритные тяжелонагруженные валы для нанесения покрытий на их рабочие поверхности, можно применять методы газотермического напыления покрытий. Технологический процесс нанесения газотермического покрытия на металлическую поверхность включает следующие стадии: 1) подготовку поверхности перед нанесением покрытия с целью повышения энергии активации основы; 2) напыление покрытия; 3) последующую термическую и (или) механическую обработку.

Однако для определения работоспособности таких валов с защитными покрытиями це-

лесообразно определять удельную нагрузку, действующую на опорную поверхность. Номенклатуру деталей, для которых возможно применение газотермического напыления (плазменного, газопламенного) без последующего оплавления, можно определить исходя из того, что прочность сцепления покрытий с основой должна превышать максимальную удельную нагрузку, т. е. $\sigma_{\text{сц}} > p_{\text{max}}$. Для валов, удельная нагрузка которых превышает прочность сцепления, необходимо применять источники концентрированной энергии (плазменные, микроплазменные, лазерные) для повышения прочности сцепления покрытия с основой, что не всегда эффективно с точки зрения дороговизны оборудования и проблем, связанных с нагревом крупногабаритных деталей, – возникающие остаточные напряжения могут привести к деформации детали и ее поломке. Поэтому для гарантии работоспособности вала с покрытием очень важно правильно определить максимальную удельную нагрузку [2].

Заключение. Анализ условий работы валов деревообрабатывающего оборудования позволили сделать следующие выводы.

1. Валы деревообрабатывающего оборудования работают в условиях высоких нагрузок и вибраций, передаваемых, в частности от подшипников качения. Лимитирующими срок работы валов являются опорные поверхности, т. е. сопряжения «шейка вала – втулка подшипника». Данная трибопара, являясь номинально неподвижным соединением, под воздействием высоких удельных нагрузок и вибраций подвергается фреттинг-коррозии, которая приводит к возникновению схватывания и абразивного изнашивания опорной поверхности.

2. Процесс изнашивания контактирующих поверхностей при фреттинг-коррозии в значительной степени определяется механическими и термодинамическими свойствами поверхностных слоев взаимодействующих тел.

3. При фреттинг-коррозии усталостные процессы могут иметь первостепенное значение, однако их роль в процессе разрушения контактирующих поверхностей недостаточно ясна.

4. Так как при фреттинг-коррозии можно ожидать предельного разрушения кристаллической решетки металла, то развитая в дефектном отношении структура материала может значительно интенсифицировать протекание механохимических (трибохимических) процессов (например, образование при фреттинг-коррозии сталей $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$).

5. Изнашивание при фреттинг-коррозии зависит от внешнего механического воздействия, химической активности окружающей среды, природы контактирующих материалов,

свойств продуктов износа и т. д. Параметрами внешнего механического воздействия являются продолжительность нагружения, удельная нагрузка, амплитуда скольжения и частота колебания. Они в основном определяют характер и интенсивность разрушения контактирующих металлических поверхностей при фреттинг-коррозии.

6. Интенсивность изнашивания при фреттинг-коррозии в значительной степени определяется прочностными характеристиками материала (твердостью, микротвердостью, усталостной прочностью) и его склонностью к окислению.

7. Существует зависимость между демпфирующей способностью металлов и склонностью к фреттинг-коррозии. Однако однозначной связи между свойствами рассеяния энергии колебаний и износостойкостью при фреттинг-коррозии в настоящее время не установлено. Это объясняется тем, что интенсивность разрушения при фреттинг-коррозии определяется комплексом физико-химических свойств материала.

8. Одним из перспективных методов защиты поверхности от изнашивания и коррозионных процессов при фреттинг-коррозии и повышения долговечности деталей машин является нанесение покрытий с требуемыми физико-механическими и эксплуатационными свойствами газотермическими методами – газопламенным, плазменным с применением последующего оплавления напыленных покрытий. Для крупногабаритных тяжело нагруженных деталей, какими являются валы деревообрабатывающего оборудования, применение последующего оплавления затруднено вследствие их габаритных размеров и массы, а также возможность возникновения остаточных напряжений, снижающих усталостную прочность, что недопустимо для тяжело нагруженных деталей. Решение проблемы упрочнения крупногабаритных тяжело нагруженных валов заключается в разработке технологии получения износостойких покрытий с прочностью сцепления не менее 50–60 МПа, при условии соблюдения интервала температур нагрева основы (150–200°C), не приводящего к ее перегреву и развитию процессов усталостного разрушения.

Поэтому для повышения прочности сцепления предлагается наносить промежуточный слой (подслой) плазменным напылением из терморезирующего материала NiAl с практически одновременным напылением основной части газотермического покрытия из разрабатываемых композиций газопламенным методом. Это позволит, во-первых, получить промежуточный слой с высокой прочностью сцепления за счет высоких скорости и температуры

частиц при плазменном напылении, а также свойств терморезирующего материала (экзотермической реакции), что способствует увеличению времени протекания химической реакции, во-вторых, получить высокую прочность сцепления основного покрытия с подслоем и основой за счет сокращения времени между операциями напыления (отпадает необходимость перенастройки плазменной установки на напыление основной части газотермического покрытия), это снизит количество образовавшихся окисных пленок на поверхности и даст возможность напылять основную часть газотермического покрытия на подогретую основу после плазменного напыления. Кроме того, применение газопламенного метода не приведет к катастрофическому перегреву основы и сведет к минимуму вероятность развития усталостных процессов разрушения.

9. Несмотря на интенсивное развитие технологий газотермического напыления покрытий, по-прежнему остается актуальной задача снижения себестоимости данных процессов при увеличении качества покрытий. Основным направлением удешевления напыления является разработка новых композиционных материалов, заменяющих дорогостоящие без потери качества. В настоящее время для нанесения покрытий широко применяются самофлюсующиеся по-

рошки на основе никеля, недостатком которых является высокая стоимость. Порошки на железной основе обладают стоимостью в 2–4 раза меньшей, но вследствие более высокой температуры плавления, низкой пластичности и высокой окисляемости их технологичность ниже. Такие порошки целесообразно применять либо при введении в них большого количества легирующих элементов, пластификаторов, либо как основу для механических смесей.

10. Создание композиции из самофлюсующихся материалов на основе железа, терморезирующих и медьсодержащих порошковых материалов, позволит получить покрытия с необходимыми физико-механическими, эксплуатационными свойствами при невысокой стоимости относительно материалов на никелевой основе.

Литература

1. Уотерхауз, Р. Б. Контактная коррозия // Усталость металлов / Р. Б. Уотерхауз. – М.: ИНОГИЗ, 1961. – С. 109–141.

2. Определение максимальной удельной нагрузки в паре «опорная поверхность вала – втулка подшипника» / Н. В. Спиридонов [и др.] // Машиностроение: республик. межведомств. сб. науч. трудов / под ред. Б. М. Хрусталева. – Минск, 2007. – Вып. 23. – С. 243–254.

Поступила 21.02.2013

УДК 621.785.554

Ф. Ф. Царук, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);
С. Е. Бельский, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой (БГТУ);
А. В. Блохин, кандидат технических наук, ассистент (БГТУ)

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ГРАФИТИЗИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ НА УСТАЛОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ ВЫСОКОЧАСТОТНОМ НАГРУЖЕНИИ

Показано использование высокочастотного циклического нагружения для определения характера влияния состава графитизированных сталей на изменение усталостных свойств. Установлена степень влияния содержания углерода, кремния и меди на ограниченный предел выносливости данных сталей.

The article dwells upon the application of high-frequency cycle loading for determination of graphitized steels chemical composition influence on fatigue characteristics changes. The degree of influence of carbon, silicon and copper content on the restricted limit of the given steels fatigue.

Введение. В последнее время весьма актуальным становится вопрос рационального применения графитизированных сталей. Комплекс свойств данной категории конструкционных материалов позволяет успешно использовать их в различных областях машиностроения. Однако из-за недостаточной изученности влияния химсостава на служебные свойства и вредного влияния неизбежно присутствующих различного рода примесей в данных сталях их характеристики могут значительно отличаться от требуемых, причем не в лучшую сторону.

Для достижения нужных свойств необходимы исследования влияния различного рода добавок, технологии переработки и структуры на характеристики данных сплавов. Одним из важнейших свойств таких сталей является сопротивление усталостному разрушению под действием циклических нагрузок, определение величины которого наталкивается на значительные трудности.

Для снижения трудоемкости и сокращения времени проведения усталостных испытаний, особенно при больших (до 10^8 циклов) базах, весьма перспективным является использование высоких частот механических колебаний, позволяющих за приемлемый промежуток времени обеспечить наработку значительного числа циклов. Так, для проведения испытаний на частоте 50 Гц и базе 10^8 цикл. необходимо затратить 555 ч непрерывной работы (23 сут) испытательной установки, а проведение этих же испытаний на частоте 20 кГц – всего 1,3 ч, т. е. в 400 раз меньше времени. Особенно эффективным является использование данного метода исследований при проведении сравнительных испытаний [1].

Основная часть. Объектом исследований являлись плоские балочные образцы толщиной 2,0 мм из данных сталей с различным содержанием углерода, кремния и меди. Всего было исследовано 15 серий по 10 образцов с содер-

жанием углерода от 0,48 до 1,97%, кремния – от 0,62 до 2,55%, меди – 0,02 до 3,95%. Содержание других элементов: 0,5–0,7% Mn; 0,20–0,25% Al; 0,02–0,04% S; 0,01–0,03% P. Все варианты сталей были модифицированы СК30 из расчета перехода в сплав 0,2% Са. Разливка производилась в песчано-глинистые формы при $t = 1550^\circ \text{C}$. Термообработка – закалка с 500°C . Нагружение образцов производилось на исследовательской установке, работавшей с резонансной частотой колебаний $f_{\text{рез}} = 18 \text{ кГц}$ [2].

Образцы колебались на второй собственной форме колебаний. Размеры и форма образцов были выбраны такими, чтобы усталостное разрушение происходило в месте максимальных циклических напряжений, расположенных примерно посередине прямолинейного участка, что позволяло удобно исследовать изменение свойств материала и развитие усталостной трещины.

Кинетику повреждения образца оценивали по падению резонансной частоты колебаний с развитием усталостной трещины. Гистограмма распределения усталостных трещин по длине образцов представлена на рис. 1.

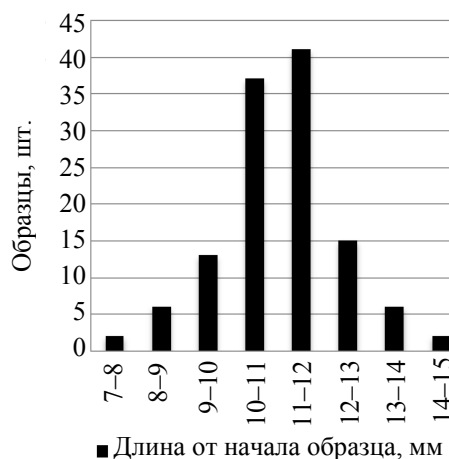


Рис. 1. Распределение усталостных трещин по длине образцов

Из диаграммы распределения непосредственно видно хорошее совпадение места появления усталостной трещины с местоположением максимума расчетной величины циклических напряжений для данной формы колебаний, что в дальнейшем позволяет с минимальными погрешностями исследовать кинетику изменений структурно-чувствительных свойств конструкционных материалов.

Для анализа влияния различных элементов на усталостные свойства представленных сплавов был исследован характер поведения ограниченного предела выносливости для выбранной базы испытаний $N = 10^6$ цикл. (рис. 2–4).

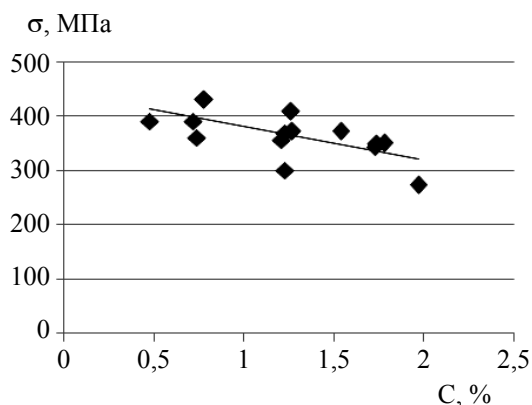


Рис. 2. Влияние углерода на предел выносливости

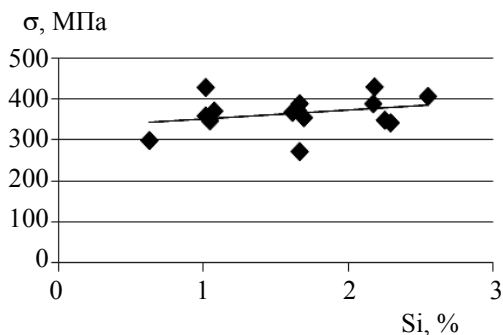


Рис. 3. Влияние кремния на предел выносливости

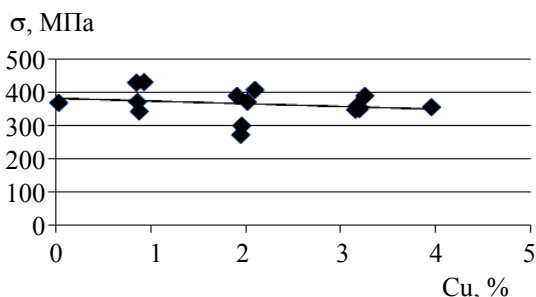


Рис. 4. Влияние меди на предел выносливости

Как видно из полученных кривых, для данных сплавов в заданном диапазоне концентраций все исследованные элементы оказывают существенное влияние на характер поведения усталостных характеристик. Можно отметить, что при сравнимой величине разброса значений ограниченного предела выносливости рост концентрации углерода закономерно приводит к снижению данной характеристики. В то же время увеличение концентрации кремния закономерно привело к росту ограниченного предела выносливости для выбранной базы сравнения. Для меди наблюдалась обратная тенденция, т. е. рост содержания Cu вел к снижению данной характеристики.

Таким образом, можно отметить, что углерод и медь в графитизированных сталях монотонно снижают усталостные свойства данных сплавов, в то время как кремний в исследованном диапазоне концентраций выступает в роли антагониста данных элементов и способствует росту высокочастотной циклической прочности образцов.

Выводы. Использование высокочастотного нагружения позволяет проводить сравнительные испытания различных конструкционных материалов с существенным ускорением процесса исследований и с повышенной достоверностью результатов за счет большего количества испытанных объектов при приемлемом уровне трудозатрат и экономии энергоресурсов.

Экспериментально установлен характер влияния величины процентного содержания углерода, кремния и меди в исследованных сталях с точки зрения повышенного уровня усталостных свойств данных металлических сплавов.

Очевидно, что использованные в работе установка и метод исследований могут быть рекомендованы для оптимизации уровня усталостных характеристик конструкционных материалов путем проведения массовых сравнительных испытаний.

Литература

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

2. Estimation of influence of frequency of flexural vibrations of structural sensitive characteristics of 20X13 steel / I. Dovgyallo [et al.] // The 4Th. International Symposium on Creep and Coupled Processes. – Bialostok, 1992. – P. 57–63.

Поступила 01.04.2013

УДК 674.023

А. Ф. Дулевич, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);
С. В. Киселёв, преподаватель (БГТУ)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОЛОТНЕ ЛЕНТОЧНОЙ ПИЛЫ ОТ ДЕЙСТВИЯ НАПРАВЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ

В статье рассмотрен аналитический метод определения напряжений в полотне ленточной пилы от действия роликовых направляющих устройств. Разработана расчетная схема, составлены уравнения гибкой линии стержня и найдены их решения. Определены величины напряжений для различных параметров установки направляющих роликов.

Analytical method for determining the stresses in the band saw blade from the action of roller guides devices is regarded in the article. Developed analytical model, the equation of the elastic line are written and find their solutions. Found of the stresses for different installation guide rollers.

Введение. Повышение усталостной долговечности ленточных пил является одной из актуальных проблем, стоящих перед деревообрабатывающей промышленностью. Существенное влияние на долговечность оказывает напряженное состояние полотна пилы в процессе работы. Изучение напряженного состояния ленточных пил для распиловки древесины проводили в своих работах многие отечественные и зарубежные ученые, такие как Грубе А. Э., Феоктистов А. Е., Прокофьев Г. Ф., Санев В. И., Швамм Л. Г., Трубников И. И., Меньшуткин Н. Н., Фонкин В. Ф., Шилько В. К., Кондратюк А. А. и др.

По мнению авторов, сложное напряженное состояние полотна ленточной пилы определяется наличием независимых напряжений от сил предварительного натяжения, изгиба на шкивах, центробежных сил, сил резания, температурного перепада; наклона шкива, направляющих устройств и пр.

Недостаточное внимание было уделено влиянию направляющих устройств на напряженное состояние ленточной пилы. Например, А. Е. Феоктистов относит напряжения от направляющих к прочим [1] и не описывает методику их расчета. Авторы А. А. Кондратюк и В. К. Шилько [2] приводят гипотезу, что напряжения от действия нажима направляющих роликов можно определить исходя из положений контактной теории упругости при взаимодействии цилиндра и плоскости по зависимости:

$$\sigma_{\text{напр}} = 0,418 \sqrt{\frac{2F_{\text{рас}} \cdot E \cdot y}{b \cdot d \cdot C}}, \quad (1)$$

где $F_{\text{рас}}$ – сила натяжения ветви пилы; y – величина отжима пилы; b – ширина пилы; d – диаметр ролика; C – расстояние от оси ролика до оси шкива.

Контактные напряжения действуют преимущественно на поверхности материала, поэтому их учет для оценки напряженного состояния полотна пилы в целом вызывает со-

мнение даже с учетом небольшой толщины инструмента.

Основная часть. Авторами предложен способ определения напряжений от действия роликовых направляющих устройств. Ленточную пилу можно рассматривать как гибкий стержень, нагруженный продольными растягивающими и поперечными изгибающими силами (рис. 1). Действие роликов можно представить в виде действия сосредоточенных сил, так как диаметр роликов гораздо меньше длины ветви пилы. Напряжения, возникающие в полотне, будут зависеть от величины кривизны полотна в местах установки роликов. Определим кривизну χ и радиус кривизны $\rho = 1/\chi$ полотна пилы.

Поперечные силы F_1 и F_2 являются силами давления направляющих роликов на полотно пилы. Продольная растягивающая сила $F_{\text{рас}}$ равна силе предварительного натяжения.

Реакции опор будут иметь следующие значения (рис. 1):

$$R_A = \frac{F_1(a-a_1)}{a} + \frac{F_2 a_3}{a};$$

$$R_B = \frac{F_1 a_1}{a} + \frac{F_2 a_2}{a}.$$

Приближенное дифференциальное уравнение изогнутой оси стержня для участка AC :

$$EJ_y y_1'' - F_{\text{рас}} y_1 = R_A x_1, \quad (1)$$

где $J_y = bs^3/12$ – момент инерции поперечного сечения пилы относительно оси Y ; y_1 – перемещение (прогиб) стержня на участке AC по оси Z .

Разделим обе части уравнения (1) на EJ_y и введем обозначение:

$$k^2 = \frac{F_{\text{рас}}}{EJ_y}. \quad (2)$$

Уравнение (1) примет вид

$$y_1'' - k^2 y_1 = \frac{R_A}{EJ_y} x_1. \quad (3)$$

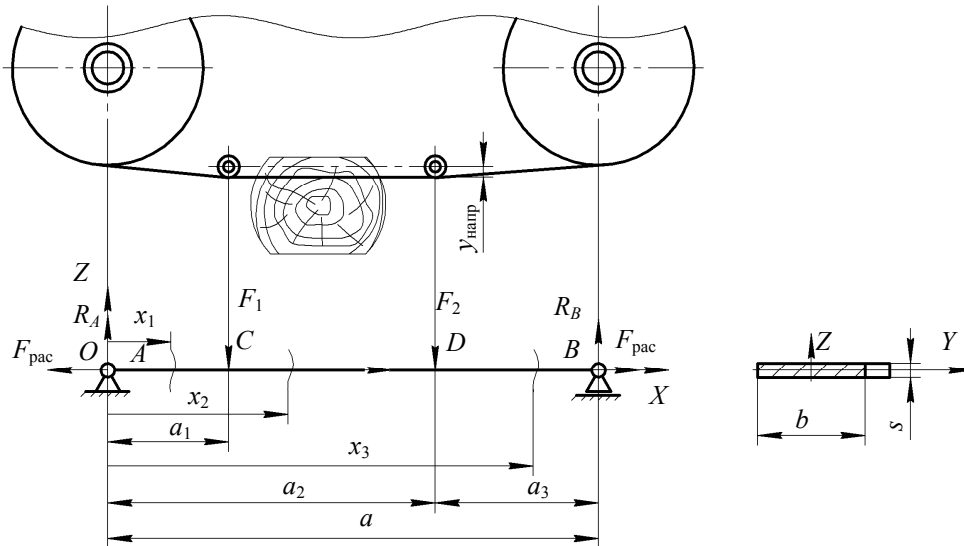


Рис. 1. Схема нагружения пилы направляющими роликами

Решение уравнения (3) будет иметь вид

$$y_1 = A_1 \cosh(kx_1) + A_2 \sinh(kx_1) - \frac{R_A}{F_{рас}} x_1,$$

где A_1, A_2 – постоянные интегрирования, которые определяются из граничных условий.

Запишем уравнение углов поворота для участка AC:

$$y'_1 = A_1 \sinh(kx_1) + A_2 k \cosh(kx_1) - \frac{R_A}{F_{рас}}. \quad (4)$$

Приближенное дифференциальное уравнение изогнутой оси стержня для участка CD запишется аналогично уравнению (1):

$$EJ_Y y''_2 - F_{рас} y_2 = R_A x_2 - F_1(x_2 - a_1)$$

или

$$y''_2 - k^2 y_2 = \frac{(R_A - F_1)x_2}{EJ_Y} + \frac{F_1 a_1}{EJ_Y}. \quad (5)$$

Решением уравнения (5) будет

$$y_2 = B_1 \cosh(kx_2) + B_2 \sinh(kx_2) - \frac{(R_A - F_1)x_2}{F_{рас}} - \frac{F_1 a_1}{F_{рас}}, \quad (6)$$

где B_1, B_2 – постоянные интегрирования.

Запишем уравнение углов поворота для участка CD:

$$w'_2 = B_1 k \sinh(kx_2) + B_2 k \cosh(kx_2) - \frac{R_A - F_1}{F_{рас}}.$$

Приближенное дифференциальное уравнение изогнутой оси стержня для участка DB.

$$EJ_Y y''_3 - F_{рас} y_3 = R_A x_3 - F_1(x_3 - a_1) - F_2(x_3 - a_2).$$

Или с учетом $R_A - F_1 - F_2 = -R_B, F_1 a_1 + F_2 a_2 = R_B a$

$$w''_3 - k^2 w_3 = \frac{R_B(a - x_3)}{EJ_Y}. \quad (7)$$

Решением уравнения (8) будет

$$w_3 = C_1 \cosh(kx_3) + C_2 \sinh(kx_3) + \frac{R_B(a - x_3)}{F_{рас}}, \quad (8)$$

где C_1, C_2 – постоянные интегрирования.

Запишем уравнение углов поворота для участка DB:

$$w'_3 = C_1 k \sinh(kx_3) + C_2 k \cosh(kx_3) + \frac{R_B}{F_{рас}}.$$

Граничные условия для определения постоянных интегрирования будут следующие:

при $x_1 = 0$	$w_1 = 0,$	
при $x_1 = x_2 = a_1$	$w_1 = w_2,$	$w'_1 = w'_2$
при $x_2 = x_3 = a_2$	$w_2 = w_3,$	$w'_2 = w'_3$
при $x_3 = a$	$w_3 = 0.$	

Исходя из первого граничного условия получим, что $A_1 = 0$. Остальные условия нам дают следующую систему уравнений:

$$A_2 \sinh(ka_1) = B_1 \cosh(ka_1) + B_2 \sinh(ka_1);$$

$$A_2 k \cosh(ka_1) = B_1 k \sinh(ka_1) + B_2 k \cosh(ka_1) + \frac{F_1}{F_{рас}};$$

$$B_1 \cosh(ka_2) + B_2 \sinh(ka_2) - \frac{(R_A - F_1)a_2}{F_{рас}} - \frac{F_1 a_1}{F_{рас}} =$$

$$= C_1 \cosh(ka_2) + C_2 \sinh(ka_2) + \frac{R_B a_2}{F_{рас}} - \frac{R_B a}{F_{рас}};$$

$$\begin{aligned}
 C_1 \cosh(ka) + C_2 \sinh(ka) &= 0. \\
 B_1 k \sinh(ka_2) + B_2 k \cosh(ka_2) - \frac{R_A - F_1}{F_{\text{рас}}} &= \\
 = C_1 k \sinh(ka_2) + C_2 k \cosh(ka_2) + \frac{R_B}{F_{\text{рас}}}. &
 \end{aligned}$$

Из данной системы уравнений определяют постоянные интегрирования через силы F_1 и F_2 и размеры a_1 , a_2 , a_3 и a . После этого можно записать перемещения под силами F_1 и F_2 :

$$\left. \begin{aligned}
 y_C &= B_1 \cosh(ka_1) + B_2 \sinh(ka_1) - \\
 &\quad - \frac{F_1 a_1}{F_{\text{рас}}} + \frac{F_1 a_1^2}{a F_{\text{рас}}} - \frac{F_2 a_1 a_3}{a F_{\text{рас}}}, \\
 y_D &= B_1 \cosh(ka_2) + B_2 \sinh(ka_2) + \\
 &\quad + \frac{F_1 a_1 a_2}{a F_{\text{рас}}} - \frac{F_2 a_3 a_2}{a F_{\text{рас}}} - \frac{F_1 a_1}{F_{\text{рас}}}.
 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Из системы (9) уравнений можно рассчитать силы F_1 и F_2 через соответствующие перемещения (прогибы) под направляющими роликами.

Напряжение в полотне будут определяться по зависимости:

$$\sigma = E \frac{s}{2\rho}. \quad (10)$$

Для расчета численных значений напряжений необходимо знать геометрические параметры станка и установки направляющих роликов. В качестве примера возьмем станок Woodmizer модели LT40. Расстояние между центрами шкивов $a = 1340$ мм, расстояние от оси шкива до первого ролика $a_1 = 400$ мм, расстояние между роликами примем 350 мм, соответственно $a_2 = 750$ мм, $a_3 = 590$ мм. Роликовые отжимные направляющие установлены таким образом, что отгибают ленточную пилу от прямолинейного положения на величину $y = 5-6$ мм.

Величины напряжений от направляющих устройств зависят от величины прогиба и при различных уровнях растягивающей нагрузки представлены на рис. 2 и 3.

Как видно из графиков, при установке направляющих с величиной отжима 5–6 мм величина напряжений составляет 80–100 мПа и сопоставима с напряжениями предварительного натяжения.

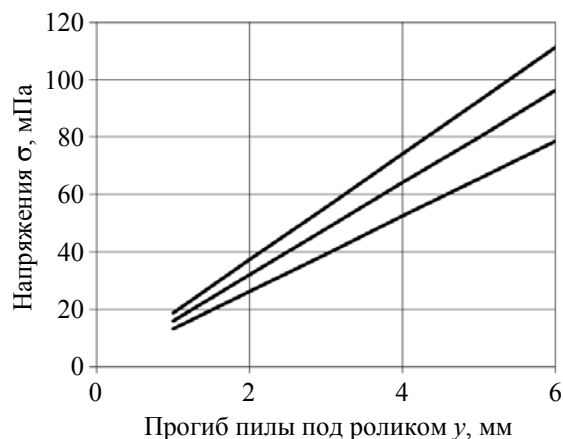


Рис. 2. Напряжения от роликовых направляющих устройств в точке C

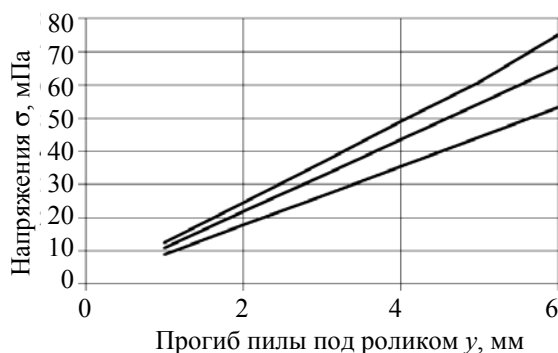


Рис. 3. Напряжения от роликовых направляющих устройств в точке D

Заключение. Результаты расчетов показали, что значения напряжений от отжимных роликовых направляющих устройств сопоставимы с величиной напряжения от предварительного натяжения, но носят местный и циклический характер. Определение значений напряжений от действия роликовых направляющих устройств позволяет создать уточненную модель напряженного состояния полотна ленточной пилы в процессе ее работы.

Литература

1. Феоктистов, А. Е. Подготовка ленточных пил к работе / А. Е. Феоктистов. – М.: Лесная промышленность, 1971. – 72 с.
2. Шилько, В. К. Влияние параметров направляющих роликов на напряжения в ленточных пилах / В. К. Шилько, М. Ю. Кондратьев, И. В. Новосельцева. – Томск: ТГАСУ. – 2004. – 8 с. – Деп. в ВИНТИ. – 17.02.2004, № 263.

Поступила 21.02.2013

УДК 621.785.532

М. Н. Пищов, кандидат технических наук, старший преподаватель (БГТУ);
С. Е. Бельский, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой (БГТУ);
А. И. Сурус, кандидат технических наук, доцент (БГТУ)

ВЛИЯНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПОСЛЕ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ УПРОЧНЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

В статье рассмотрена необходимость увеличения срока службы деталей зубчатых передач трелевочных тракторов путем упрочнения их комплексным борированием. Разработана методика проведения сравнительных стендовых испытаний на износ. Результаты сравнительных испытаний на износ зубчатых колес подтверждают возможность упрочнения комплексным борированием с использованием разработанного состава рабочих поверхностей зубьев деталей.

The paper dwells upon the necessity to increase the operating life of the toothed gearing of skidder transmission by means of strengthening by complex borating. The methodology of comparative testing of tooth gear as well as the stand construction are described. The causes of destruction of tooth gear surface strengthened by different methods have been determined. Results of comparative tests for wear of gears confirm the possibility of strengthening integrated borating using the developed structure of the working surfaces of the teeth parts.

Введение. Условия эксплуатации ряда сложнонагруженных деталей лесных машин характеризуются значительным трением, интенсивным износом на их рабочих поверхностях, а также вибрациями широкого амплитудно-частотного диапазона. В связи с этим возникает необходимость в их дополнительном упрочнении методами, позволяющими получать более высокую поверхностную твердость [1]. Для повышения износостойкости деталей машин, а также их восстановления при ремонте широко применяют различные виды поверхностного упрочнения: цементацию, азотирование, цианирование и др. В процессе упрочнения борированием при высокой температуре происходит диффузия бора в поверхностный слой зубьев на некоторую глубину h , мм. В результате зуб конической шестерни можно рассматривать состоящим из двух слоев: сердцевинного слоя из основного материала с модулем упругости E_c , МПа, и температурным коэффициентом линейного расширения α_c , и поверхностного слоя толщиной h , мм, в пределах которого модуль упругости меняется от E_c на границе с сердцевинным слоем до E_n , МПа, на поверхности зуба, и аналогично температурный коэффициент линейного расширения меняется от α_c до α_n , град⁻¹. В качестве температуры T_0 для сталей, используемых в машиностроении, можно принять температуру 250–300°C, так как ниже этой температуры восстанавливаются стабильные физико-механические свойства.

1. Методики проведения сравнительных стендовых испытаний. Сравнительные испытания были проведены на стенде с замкнутым силовым контуром СИ-4. На практике в основном для проведения ресурсных испытаний зубчатых передач используются стенды, работаю-

щие по схеме с замкнутым силовым контуром или схеме с циркулирующей мощностью, при которой испытываемые зубчатые колеса или целые узлы включаются в замкнутую силовую цепь, нагружаемую с помощью различных устройств, а приводной электродвигатель служит для приведения зубчатых колес во вращение. Такие стенды просты конструктивно, так как в них отсутствует дополнительное тормозное устройство, и весьма экономичны, поскольку мощность привода расходуется только на преодоление внутренних потерь в замкнутом силовом контуре. При реализации одинакового крутящего момента на испытываемых зубчатых колесах для привода стенда, работающего по схеме двигатель – зубчатая передача – тормозное устройство, расход энергии в 6–10 раз больше, чем для привода стенда, работающего по схеме замкнутого силового контура.

Испытывались зубчатые колеса с модулем $m = 3$ мм и числом зубьев $z = 20$. Испытываемые колеса смазывались трансмиссионным маслом, поступающим под давлением из масляной станции в зону зацепления и по стоку возвращающимся в масляную станцию. Возможно также осуществление смазки по схеме окунания в масляную ванну. Масло охлаждается водой, протекающей через змеевики, расположенные в масляной станции. Для определения величины износа в ходе проведения сравнительных испытаний было предложено некоторое смещение зубьев. Данное смещение повышает нагрузку на зуб, что позволяет приблизить параметры испытаний на стенде с режимом работы трелевочного трактора.

2. Основные результаты испытаний цементированных зубчатых колес. Основной задачей при проведении сравнительных испы-

таний было установление преобладающих механизмов разрушения поверхности зубьев (изнашивание, пластическая деформация поверхности, усталостное выкрашивание, заедание). Изнашивание при заедании является наиболее опасным видом разрушения поверхностей, которое приводит к нарушению зацепления зубчатых колес и потере их работоспособности. Схватывание и глубинное вырывание материала при заедании способствует переносу материала с одной поверхности трения на другую, что приводит к образованию неровностей на поверхности зуба (рис. 1). Заедание главным образом проявляется в виде глубоких борозд, вырвов, наростов, рисок и т. д.

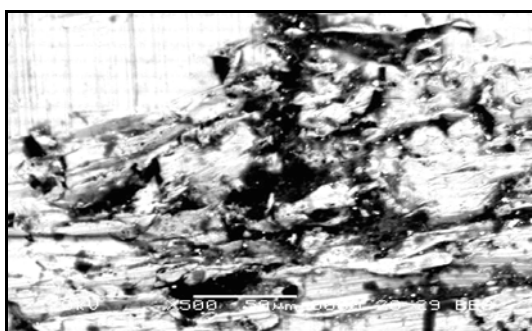
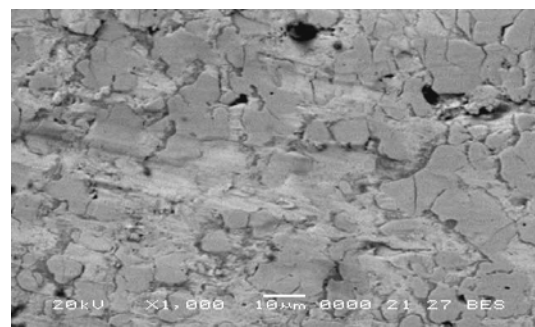


Рис. 1. Изношенные поверхности цементированных зубчатых колес после $1,8 \times 10^7$ циклов нагружения при моменте $M = 100$ Нм ($\times 500$)

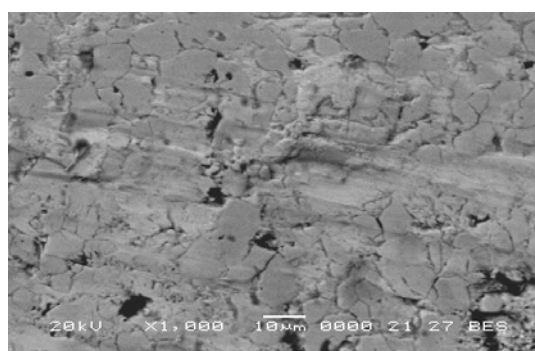
Также в ходе проведения сравнительных испытаний на поверхности зубьев цементованных колес было установлено наличие задиров и пластической деформации (рис. 1). Основной причиной возникновения этого является недостаточная твердость поверхности цементованных зубчатых колес, что подтверждается расчетами при моделировании напряженного состояния зубчатых колес.

3. Основные результаты испытаний зубчатых колес, упрочненных комплексным борированием. При исследовании упрочненных комплексным борированием зубчатых колес на поверхности зубьев было выявлено наличие двух фаз. Первая фаза FeB, перенасыщенная бором, обладает высокой твердостью (1500–2000 HV) по сравнению со второй Fe₂B. Данная фаза (Fe₂B), обладая меньшей твердостью, является и менее хрупкой. Наличие на поверхности зубьев двух фаз приводит к снижению общего охрупчивания упрочненного слоя и препятствует его выкрашиванию с поверхности зубьев. Также установлено, что с добавкой в состав упрочняющей смеси кремния лучше происходит приработка зубчатых колес и повышается возможность их работы при высоких динамических нагрузках. После проведения сравнительных испытаний упрочненных

зубчатых колес было установлено наличие на поверхности зубьев небольших вмятин, находящихся на менее твердой фазе Fe₂B (рис. 2, а, б).



а



б

Рис. 2. Изношенные поверхности при упрочнении комплексным борированием зубчатых колес после $1,8 \times 10^7$ циклов нагружения ($\times 1000$)

Наличие на поверхности зубьев менее твердой фазы способствует лучшей приработке зубчатых колес и повышает их ресурс.

Заключение. Результаты проведенных сравнительных испытаний на износ зубчатых колес подтверждают возможность упрочнения комплексным борированием с использованием разработанного состава [2] рабочих поверхностей зубьев деталей трансмиссии трелевочных тракторов для повышения их износостойкости.

Литература

1. Пищов, М. Н. Причины разрушения и возможность повышения долговечности конической передачи переднего ведущего моста трелевочного трактора / М. Н. Пищов, С. Е. Бельский // Наука и инновации вузов – производство: взаимодействие, эффективность, перспективы. – Минск, 2008. – С. 88–89.

2. Состав для борирования металлов: пат. 11380, 09.05.2008 / С. Е. Бельский, М. Н. Пищов, А. И. Сурус, В. А. Симанович, С. Н. Пищов; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. – № а20061174; заявл. 23.11.2006; опубл. 05.09.2008.

Поступила 21.02.2013

УДК 621.185.532

А. В. Блохин, кандидат технических наук, ассистент (БГТУ);**А. М. Лось**, ассистент (БГТУ);**Ф. Ф. Царук**, кандидат технических наук, доцент (БГТУ)

РАСШИРЕНИЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВТОРИЧНЫХ ЛИТЕЙНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МОБИЛЬНЫХ МАШИН

В работе рассмотрена проблема расширения области применения вторичных алюминиевых сплавов. Предлагается использовать такие материалы для изготовления деталей, работающих в условиях циклического нагружения.

Для повышения характеристик усталости на заготовке кронштейна педали тормозной была опробована термоциклическая обработка. Вместе с заготовкой кронштейна педали тормозной аналогичной термоциклической обработке подвергались образцы, изготовленные из слитка, полученного литьем из того же материала, из которого выплавлялись заготовки кронштейна педали тормозной. Последующие испытания показали, что циклическая долговечность этих образцов увеличилась в 1,4–1,5 раза по сравнению с образцами, подвергнутыми термической обработке по технологии T5.

The article considers the problem of broader application area of secondary aluminum alloys. The author suggests the materials of this type to be used for manufacturing the parts working in the circumstances of cyclic loading.

Thermocyclic treatment was tested for rising fatigue characteristics of the brake pedal bracket work piece. The analogues treatment was applied to the samples made of the cast bar produced of the same material as brake pedal bracket work piece. The further tests showed that cyclic durability of these samples has been increased 1,4–1,5 times in comparison with the samples exposed to thermal treatment according the technique T5.

Введение. Детали современных лесных машин и оборудования лесного комплекса работают в сложных условиях при сочетании как статических, так и динамических нагрузок. Наряду с материалами, полученными на основе железа, широко используются сплавы из цветных металлов. Наиболее часто применяются различные алюминиевые сплавы [1]. Тенденция к увеличению доли цветных, в частности Al-сплавов, в общем объеме выпуска отливок вызвана, прежде всего, развитием автомобильной и авиационной промышленности. Так, по данным [2], если в 1990 г. на один автомобиль уходило в среднем 50 кг этого материала, то к 2005 г. эта цифра выросла до 132 кг, а в 2010 г. она достигла 145 кг [3]. В настоящее время свыше 50% всех транспортных средств, произведенных в Северной Америке, содержат свыше 10% алюминия от массы машины. Из алюминиевых сплавов изготавливаются как кузовные детали и элементы отделки салона, так и детали, подверженные знакопеременным нагрузкам (блоки цилиндров, поршни, кронштейны передней растяжки и крепления двигателя, рычаги передней подвески).

Более широкое применение сплавов, полученных на основе алюминия в настоящее время, ограничивается их высокой стоимостью. В первую очередь это связано со значительными затратами электроэнергии. Изготовление алюминиевых сплавов с использованием вторичного сырья позволяет значительно снизить удель-

ные расходы электроэнергии. Однако существенной проблемой, ограничивающей применение вторичных алюминиевых сплавов, являются их низкие механические характеристики, связанные с тем, что после переплавки сплавы характеризуются широкими интервалами содержания основных компонентов, значительной загрязненностью неметаллическими включениями и газами, гетерогенностью структуры, а также наличием грубых включений железосодержащих фаз. Поэтому задача повышения качества, а следовательно, и конкурентоспособности вторичных сплавов по отношению к более дорогостоящим их первичным аналогам в этом аспекте выходит на передний план.

В данной работе показана возможность использования термоциклической обработки [4, 5] для повышения усталостных характеристик таких материалов, что особенно актуально для деталей и узлов, работающих в условиях разного рода циклических и динамических нагрузок.

Основная часть. Методика повышения усталостных характеристик литейных алюминиевых сплавов, полученных с использованием вторичного сырья, была апробирована на заготовке кронштейна педали тормозной (рис. 1). Необходимость повышения характеристик усталости в этом случае показана на основании исследований напряженно-деформированного состояния детали методом конечных элементов. Для этого была построена твердотельная модель рассматриваемой детали с учетом ее реальных геомет-

рических параметров и размеров отдельных конструктивных элементов, далее была смоделирована сетка конечных элементов.

После приложения расчетной нагрузки (400 Н) к оси, соединяемой с кронштейном, были получены модели, отражающие деформации (рис. 1) и напряжения, возникающие на поверхности исследуемой детали (рис. 2).

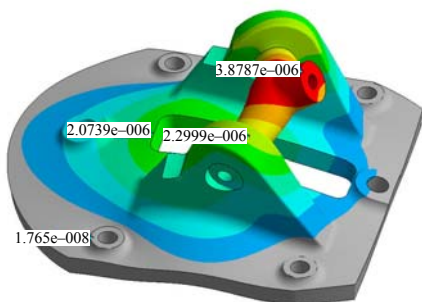


Рис. 1. Деформированное состояние элементов исследованной детали методом конечных элементов

Анализ полученных моделей показал, что наибольшие напряжения возникают на переходных участках между различными поверхностями. Так, на отдельных участках напряжения растяжения достигают 10 МПа и более (рис. 2).

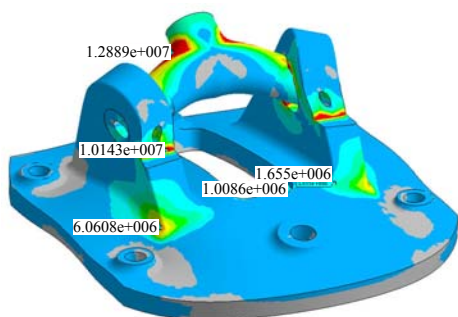


Рис. 2. Напряженное состояние исследованной детали методом конечных элементов

Для предотвращения выхода детали из строя по причине усталостного разрушения литые заготовки кронштейна педали тормозной подвергались термоциклической обработке, включающей: 1 – подготовку заготовок кронштейна педали тормозной (очистка от пыли и грязи); 2 – термоциклирование; 3 – закалку; 4 – старение путем термоциклирования.

Термоциклирование до закалки осуществлялось в интервале температур 350–525°C при скорости нагрева 2,0°C/с в печи и скорости охлаждения 1,5°C/с на воздухе с последующим нагревом до 525°C и закалкой в воду [5]. После закалки производилось старение путем термо-

циклирования до температуры 250°C с последующим охлаждением до 20°C на воздухе [5].

Вместе с заготовкой кронштейна педали тормозной аналогичной термоциклической обработке подвергались образцы-свидетели, изготовленные из слитка, полученного литьем из того же материала, из которого выплавлялись заготовки. Последующие испытания показали, что циклическая долговечность этих образцов увеличилась в 1,4–1,5 раза по сравнению с образцами, подвергнутыми термической обработке по технологии Т5.

Выводы. В результате исследований методом конечных элементов были установлены численные значения прогибов и напряжений, действующих на отдельных участках детали кронштейна педали тормозной, анализ которых показал, что при использовании вторичных сплавов необходимо повышать их механические характеристики. Разработаны технические условия на заготовку кронштейна педали тормозной (ТУ ВУ 100354059.091-2011) и организован на опытном производстве УП «Институт БЕЛНИИЛИТ» выпуск опытной партии деталей из таких материалов.

Показано, что использование термоциклической обработки литейных алюминиевых сплавов, полученных с использованием вторичного сырья, позволяет изготавливать из них детали машин, работающие в условиях циклического нагружения, что дает возможность более эффективно применять такие материалы и снижать себестоимость конечной продукции.

Литература

1. Ефименко, Г. Г. Сталь и альтернативные материалы. Проблемы экономики и экологии / Г. Г. Ефименко, И. Г. Михеева, Т. Н. Павлышин // *Металл и литье Украины*. – 1997. – № 8–9. – С. 3–8.
2. *Металлы и цены. Ценовой каталог металлопродукции и оборудования* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://metal4u.ru/articles/by_id/203. – Дата доступа: 14.05.2011.
3. *Stal.by* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://stal.by/mirovoi-tsvetmet-v-aprele-prognozy-raspugali-investorov>. – Дата доступа: 14.05.2011.
4. Блохин, А. В. Исследование характеристик усталости вторичных литейных алюминиевых сплавов / А. В. Блохин, С. Е. Бельский, Ф. Ф. Царук // *Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработка. пром-сть*. – 2007. – Вып. XV. – С. 200–205.
5. Способ термической обработки литейных алюминиевых сплавов из вторичного сырья: пат. 12582 Респ. Беларусь, МПК 2006 С 22 F 1/04 / А. В. Блохин, С. Е. Бельский; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. – № а 20081099; заявл. 21.08.08; опубл. 30.10.09.

Поступила 01.03.2013

УДК [712.5(282.3):627.8.059.22]:[519.2:311]

Г. И. Касперов, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);
В. Е. Левкевич, кандидат технических наук, доцент (КИИ МЧС Республики Беларусь);
С. М. Пастухов, кандидат технических наук, доцент (КИИ МЧС Республики Беларусь);
А. В. Бузук, преподаватель (КИИ МЧС Республики Беларусь)

СОСТАВ И СТРУКТУРА ЭЛЕКТРОННОЙ БАЗЫ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ВОДОХРАНИЛИЩ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

В статье приведено описание, а также состав и структура базы данных гидротехнических сооружений искусственных водных объектов, разрабатываемой с целью проведения дальнейшей оценки риска возможных аварийных ситуаций на этих объектах.

This paper contains a description structure of the database hydraulic facilities water bodies, developed for the purpose of further evaluating the risk of potential accidents at these facilities.

Введение. Актуальной на сегодняшний день проблемой является оценка безопасности гидротехнических сооружений (ГТС) на водохранилищах Республики Беларусь при их проектировании и прогноз долговечности существующих сооружений [1]. Эту проблему очень сложно решать традиционными статистическими и аналитическими способами. Представляется целесообразной попытка решить эту проблему, используя богатый опыт эксплуатации ГТС. Положив в основу создаваемой базы данных (БД) информацию об имевшихся инцидентах при эксплуатации ГТС, а также используя корреляционные основы и методы экстренной интерполяции, можно получить определенные результаты. Достоверность этих результатов достаточна, поскольку они основываются на практическом опыте строительства и эксплуатации ГТС не только в Беларуси и странах СНГ, но и странах дальнего зарубежья. Меры предупреждения аварийных ситуаций на ГТС должны рассматриваться как непрерывная совокупность взаимосвязанных и взаимозависимых этапов от проектирования, строительства и эксплуатации и до эффективного управления этими объектами.

Основная часть. Порядок оценки состояния ГТС приведен в литературе [2]. Достаточно большой объем информации о техническом состоянии ГТС должен быть зафиксирован, проанализирован и сохранен таким образом, чтобы указанная информация была легкодоступна для обработки и оперативного использования. Имея в наличии БД по объектам, а также информацию о сроке службы, авариях, отказах и прочее для одних сооружений, можно с определенной степенью предсказывать поведение других, аналогичных. Естественно, что ценность такой БД тем выше, чем большее количество информации она содержит. Поэтому создаваемая БД должна содержать информацию не только об отечественных объектах гидротехники, но и

тех, которые построены в разное время в разных странах. Необходимым условием создания БД является возможность ее пополнения. В БД также могут содержаться графические сведения, определяющие схемы основных сооружений гидротехнического назначения: границы территорий ГТС и искусственных водных объектов в целом; компоновка гидроузлов; изобаты; разрезы по зонам.

Создаваемая БД ГТС имеет следующую структуру:

1. Общие сведения о гидротехнических сооружениях;

1.1. Данные о водохранилищах, на которых эксплуатируются гидротехнические сооружения (табл. 1);

1.2. Основные параметры водохранилищ (табл. 2);

2. Данные о современном техническом состоянии сооружений (табл. 3);

2.1. Данные натуральных наблюдений за эксплуатацией гидротехнических сооружений;

2.2. Количественная оценка технического состояния гидротехнических сооружений по результатам натуральных наблюдений;

3. Сведения об аварийных ситуациях, имевших место на гидротехнических сооружениях (табл. 4);

3.1. Причины возникновения аварий и их частота на сооружениях аналогичного типа;

3.2. Последствия аварий и причиненный ущерб, а также величина повреждений сооружений;

3.3. Принимаемые меры по устранению последствий аварий;

4. Мероприятия по снижению риска возникновения и предотвращения дальнейшего развития аварийных ситуаций;

4.1. Мероприятия, разрабатываемые на стадии проектирования сооружений;

4.2. Инженерно-технические мероприятия, проводимые в процессе эксплуатации сооружений.

Таблица 1

Данные о водохранилищах, на которых эксплуатируются гидротехнические сооружения

Название вдхр.	Р-н, обл. расположения	Тип вдхр.	Вид регулирования стока	Расстояние от устья до створа плотины, км	Наличие ГЭС	Основное назначение	Перечень ГТС	Год ввода в эксплуатацию	Эксплуатирующая организация

Таблица 2

Основные параметры водохранилищ

Площадь водосбора, км ²	Отметки уровня НПУ/УМО (ФПУ), м	Полный объем воды в вдхр., млн м ³	Длина вдхр. и береговой линии, км	Максимальная и средняя ширина вдхр., км	Максимальная и средняя глубина вдхр., м	Наличие гидрометеопоста на вдхр.	Уровень режим вдхр.	Ледовый режим вдхр.

Таблица 3

Данные о современном техническом состоянии сооружений

Информация о ремонтах и реконструкции ГТС	Информация об обследовании подводной части ГТС	Фото- и видеоматериалы наблюдений деформаций с привязкой к измерительным приборам	Значение величины деформаций				Количественная оценка технического состояния ГТС		
			Береговых склонов	Напорных верховых и низовых откосов	Берегоукрепит. сооружений	Водосбросных сооружений	K ₁	K ₂	K ₃

Таблица 4

Сведения об аварийных ситуациях, имевших место на гидротехнических сооружениях

Причины возникновения аварийных ситуаций					Последствия аварий и причиненный ущерб, а также величина повреждения сооружений	Принимаемые меры по устранению последствий аварий
Причины возникновения, полученные в результате натурных обследований до аварии	Причины возникновения, полученные в результате натурных обследований после аварии	Причины возникновения аварии, полученные в результате анализа официальных документов	Характеристика гидрометеообстановки в районе расположения вдхр. с указанием события и его частоты	Оценка риска возникновения аварий		

Заключение. Разрабатываемые состав и структура электронной базы ГТС Республики Беларусь планируется использовать для принятия управленческого решения по защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций и оценки ущербов от них.

Литература

1. Фомин, Ю. Н. Система оценки безопасности и долговечности морских гидротехни-

ческих сооружений / Ю. Н. Фомин // Транспортное строительство. – 2005. – № 3. – С. 9–11.

2. Кошумбаев, М. Б. Повышение безопасности гидротехнических сооружений при чрезвычайных ситуациях путем усовершенствования конструкции водосбросов: дис ... д-ра техн. наук: 05.26.02 / М. Б. Кошумбаев. – Алматы, 2008. – 257 л.

Поступила 20.02.2013

УДК 634.0.323

Н. И. Жарков, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);
В. И. Гиль, кандидат технических наук, старший преподаватель (БГТУ)

ПРИМЕНЕНИЕ ИГЛОФРЕЗЕРНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ОКОРКИ КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ

Одним из важнейших видов работ на лесопромышленных и деревообрабатывающих предприятиях является окорка круглых лесоматериалов. Для рационального использования древесного сырья необходимо удаление коры практически со всех сортиментов. Окорка улучшает чистоту поверхности пиломатериалов, способствует уменьшению расхода инструмента, повышает точность распиловки. Традиционные способы окорки и технологическое оборудование для них не всегда удовлетворяют потребителя, так как не позволяют регулировать степень удаления коры. Для устранения этих недостатков авторами предложен новый инструмент, работа которого основана на процессе иглофрезерования, широко используемого в металлообработке. Предложенная цилиндрическая иглофреза проста по устройству и отличается невысокой стоимостью, ее работоспособность подтверждается расчетами.

One of the important types of work on timber and wood processing enterprises is barking round timber. The rational use of wood raw material is necessary to remove the bark from almost all assortments. Debarking cleans the surface of lumber, reduces consumption tool, increases the accuracy of cutting. Traditional methods of peeling and processing equipment for them does not always satisfy the consumer, because it does not allow you to adjust the degree of removal of the cortex. To address these shortcomings, the authors propose a new tool, which is based on the planing needles are widely used in metalworking. The proposed cylindrical mill with needles is simple in design and has a low cost, it is still working confirmed by the calculations.

Введение. Повышение комплексного использования сырья возможно за счет полной переработки отходов лесопиления на технологическую щепу. Неокоренные отходы содержат до 34% коры. Ценность отходов повышается, если они не имеют коры. Поэтому окорка древесины должна быть обязательным мероприятием перед распиловкой. При окорке вместе с корой удаляется песок, что увеличивает стойкость инструмента при последующей переработке древесины.

Основная часть. Окорку лесоматериалов можно производить следующими способами:

а) фрикционным; б) режущим (механическим); в) струйным; г) физико-химическим.

В современных технологиях преобладает режущий способ окорки древесины с использованием ножей, фрез, скребков. Вместе с корой снимается и верхний слой древесины, поскольку резцы не могут копировать поверхность круглых лесоматериалов с неровностями.

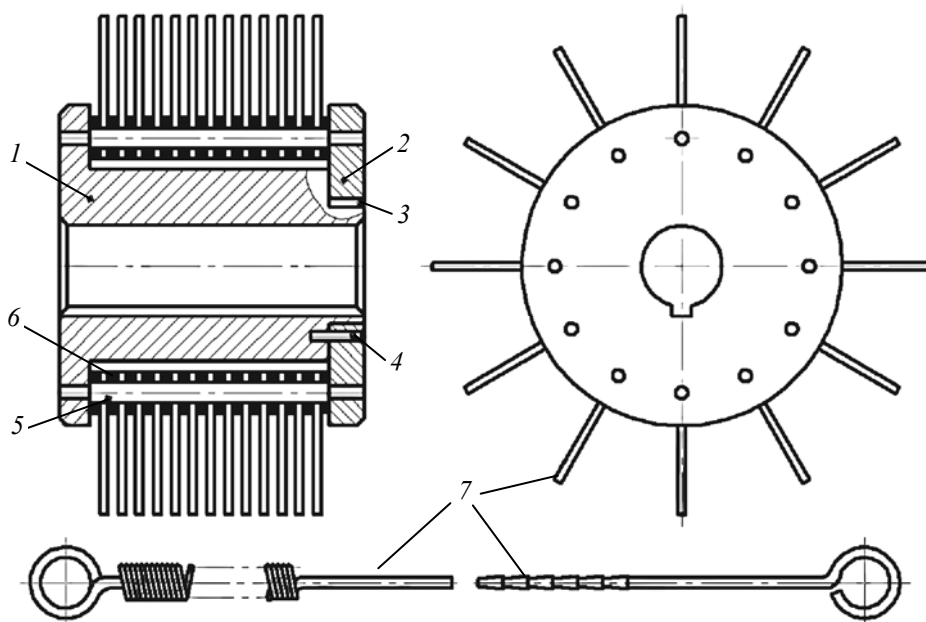


Рис. 1. Иглофреза в сборе с рабочими элементами

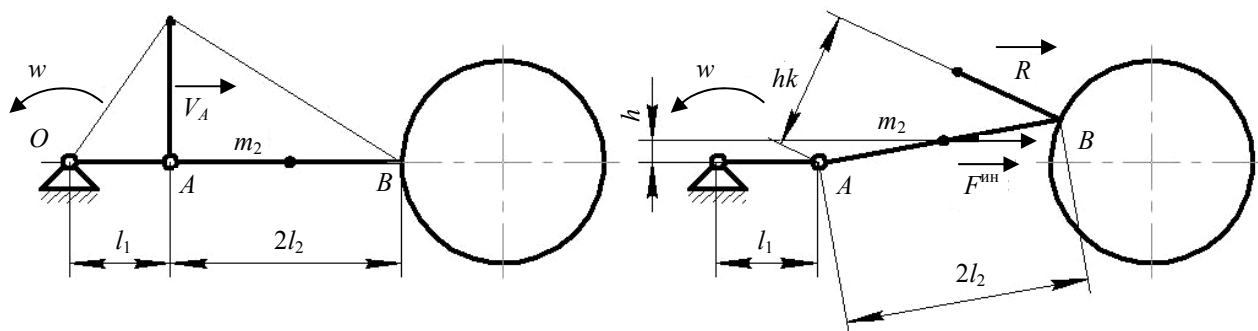


Рис. 2. Схема процесса иглофрезерования

Недостатки можно преодолеть при использовании для окорки процесса иглофрезерной обработки. Этот процесс эффективно используется в металлообработке для срезания дефектного слоя (окисных пленок, ржавчины). Существуют игольчатые фрезы различного типа: торцевые, концевые, цилиндрические [1]. Рабочим инструментом в иглофрезах служит жесткий металлический проволочный ворс. В процессе эксплуатации отдельные проволочки ворса за счет изгибающих нагрузок обламываются, значительно уменьшая сроки службы иглофрезы. Предлагаемая конструкция цилиндрической иглофрезы позволит увеличить долговечность инструмента.

Цилиндрическая щетка (рис. 1) (иглофреза) состоит из корпуса с фланцем 1, торцевого диска 2, соединяемых с корпусом при помощи шпонки 3 и винтов 4, плавающих осей 5, подвижных шайб 6, проволочного рабочего элемента 7. Корпус 1 имеет шпоночный паз для фиксации его на приводном валу. Рабочие элементы в нерабочем положении находятся в свободно свисающем состоянии.

Каждый рабочий элемент 7 состоит из кольца для крепления на плавающей оси, средней нерабочей части и рабочей части, контактирующей с объектом обработки. Нерабочая часть представляет собой гладкий стержень или демпфирующую цилиндрическую пружину.

При достижении рабочим валом необходимого числа оборотов рабочие элементы за счет центробежных сил устанавливаются в радиальном направлении. После поперечной подачи рабочие элементы вступают в контакт с объектом обработки, и за счет ударных нагрузок происходит очистка.

Для обоснования работоспособности устройства предлагаются следующие теоретиче-

ские выкладки при условии, что рабочий элемент жесткий (рис. 2). Мощность, передаваемая на снятие поверхностного слоя:

$$N = \frac{n \cdot m_2 \cdot w^2 \cdot l_2^2}{6 \cdot \pi}, \quad (1)$$

где n – число рабочих элементов; m_2 – масса рабочего элемента; w – угловая скорость рабочего вала; l_2 – момент инерции звена AB рабочего элемента. При увеличении подачи касание будет происходить под углом. Сила R , с которой элемент AB прижимается к поверхности, определяется через центробежную силу. Составив уравнение моментов относительно шарнира A , получим

$$R = \frac{F^{\text{ин}} \cdot h}{h_k}, \quad (2)$$

с учетом того, что h_k – плечо действия силы R ($h_k < 2l_2$). Раскрыв силу инерции $F^{\text{ин}}$, имеем:

$$R > \frac{F^{\text{ин}} \cdot h}{2 \cdot l_2} > \frac{w^2 \cdot m_2 \cdot (l_1 + l_2)^2 \cdot h}{2 \cdot l_2}. \quad (3)$$

Заключение. Полученное соотношение определяет минимальную угловую скорость, обеспечивающую работоспособность иглофрезы за счет сил инерции. Данная цилиндрическая иглофреза отличается простотой в изготовлении и невысокой стоимостью.

Литература

1. Современные методы и технологии создания и обработки материалов: сб. материалов VII Междунар. науч.-техн. конф., 19–21 сентября 2012 г., Минск: в 3 кн. – Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2012. – Кн. 3.

Поступила 21.02.2013

УДК 544.54:674

В. В. Перетрухин, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);
Г. А. Чернушевич, старший преподаватель (БГТУ)

ОСОБЕННОСТИ МОНИТОРИНГА РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОАО «ИВАЦЕВИЧДРЕВ»

В статье приведен анализ степени радиоактивного загрязнения территории лесного фонда Республики Беларусь. Рассмотрены особенности организации и проведения радиационного мониторинга на ОАО «Ивацевичдрев» с целью оценки обеспечения норм радиационной безопасности работников и предотвращения ухудшения радиационной обстановки при использовании древесного сырья и местного топлива, загрязненных радионуклидами. Раскрыты направления решения этой проблемы путем измерения удельной активности цезия-137 в древесном сырье и изделиях из древесины, мощности дозы внешнего облучения и плотности потока бета-частиц на рабочих местах с помощью дозиметров и радиометров.

The article analyzes the degree of radioactive contamination of the forest fund of the Republic of Belarus. It considers the characteristics of radioactive monitoring at JSC "Ivatsevichdrev" which is aimed at assessing the radiation occupational safety standards and preventing the degradation of the radiation environment when using wood resources and domestic fuel contaminated by radionuclides. This problem can be solved by means of measuring Cs-137 specific activity in wood resources and wood-based articles, external radiation dose rate and beta particles flux density at workplaces using dosimeters and radiometers.

Введение. Радиационная безопасность персонала и населения считается обеспеченной, если соблюдаются основные принципы радиационной безопасности (обоснование, оптимизация, нормирование) и требования радиационной защиты, установленные Законом Республики Беларусь «О радиационной безопасности населения», а также нормами радиационной безопасности (НРБ-2000) и основными санитарными правилами обеспечения радиационной безопасности (ОСП-2002).

Основная часть. В настоящее время площадь лесного фонда республики составляет 9,3 млн. га, из них в зонах радиоактивного загрязнения находится около 1,55 млн. га (таблица).

Загрязнение территории лесного фонда цезием-137 по ПЛХО. Прогноз на 2016–2046 г.

Наименование ПЛХО	Площадь загрязнения цезием-137, тыс. га		
	на 01.01.2012	2016 г.	2046 г.
Брестское	110,0	74,8	26,3
Витебское	0,3	0,3	0
Гомельское	901,2	649,9	536,4
Гродненское	41,4	23,9	2,2
Минское	46,2	32,9	8,3
Могилевское	444,9	398,7	256,1
<i>Итого</i>	1544,0	1380,5	829,3

Экономическая ситуация требует проведения рубок леса и в регионах с повышенным радиационным фоном.

ОАО «Ивацевичдрев» в 2013 г. планирует выйти на проектную мощность по производст-

ву древесностружечных (ДСП) и ламинированных древесностружечных плит (ЛДСП). Новое производство на 100% является безотходным.

Все древесные отходы от производства предусмотрено использовать в качестве топлива собственной энергетической установкой мощностью 30,7 МВт без потребления газа, что обеспечит производство тепловой энергии для сушки древесной стружки и обогрева пресса.

Для полной загрузки технологической линии ОАО «Ивацевичдрев» суточная потребность в древесном сырье составляет около 2000 м³. Исходя из таких объемов потребления возможно поступление древесного сырья для производства и топлива практически из большинства лесхозов Республики Беларусь, в том числе и находящихся в зонах радиоактивного загрязнения, поэтому продукция предприятия весьма дифференцирована по содержанию радиоактивных веществ [1].

Необходимость снижения активности древесного сырья, используемого как местное топливо на крупных энергоустановках, обусловлена вероятностью загрязнения окружающей среды зольными остатками с высокими концентрациями радионуклидов. В нормативном документе «Щепа топливная. Технические условия ТУ ВУ 100145188.003-2009» установлен допустимый уровень содержания в топливной щепе цезия-137 – 300 Бк/кг.

В 2010 г. Национальной академией наук Беларуси были разработаны и предложены для практического применения допустимые уровни содержания цезия-137 до 200 Бк/кг в древесном топливе (дровах, древесных отходах для изготовления топлива), используемом в промыш-

ленных котельных и мини-ТЭЦ теплопроизводительностью 0,1 МВт и более. Это позволит обеспечить безопасное обращение с зольными отходами.

При использовании древесного топлива с содержанием радиоцезия до 200 Бк/кг образуется зола с активностью меньшей, чем радиоактивные отходы (РАО, 10 000 Бк/кг) [2].

Для обеспечения радиационной безопасности работников предприятия ОАО «Ивацевичдрев» с учетом высокой опасности воздействия ионизирующих излучений на человека, важное место отводится строгому соблюдению основных принципов и норм радиационной безопасности:

- непревышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения;
- исключение всякого необоснованного облучения;
- поддержание на возможно низком уровне индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц. Эта проблема решается проведением радиационного мониторинга.

Радиационный мониторинг – это система регулярных наблюдений с целью оценки состояния радиационной обстановки, а также прогноза изменений ее в будущем.

Радиационный контроль древесины проводится в первую очередь с целью обеспечения норм радиационной безопасности, предотвращения ухудшения радиационной обстановки и подтверждения содержания радионуклидов цезия-137 соответствующим Республиканским допустимым уровням – РДУ/ЛХ-2001.

Основными источниками, обуславливающими радиоактивное загрязнение древесного сырья, являются радионуклиды цезия, стронция и плутония.

На деревообрабатывающих предприятиях все сырье и готовая продукция подвергаются тройному радиационному контролю – входному, в процессе переработки сырья и готовой продукции.

Программа мониторинга на предприятии является частью системы управления качеством продукции.

Цель мониторинга должна быть не только в демонстрации того, что методы защиты адекватны. Мониторинг также используется для того, чтобы оценить рабочее облучение и показать его совместимость с нормативными требованиями.

Результаты радиационного мониторинга могут быть использованы для классификации зон и решения задач по изменению радиологических условий.

Для измерения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения внешнего облучения в

диапазоне 0,1 мкЗв/ч до 10 мЗв/ч применяется дозиметр-радиометр МКС-АТ6130.

Для измерения плотности потока бета-частиц применяется дозиметр-радиометр МКС-АТ1117М с блоком детектирования БДПБ-01.

Загрязнение древесины цезием-137 более 200 Бк/кг возможно при произрастании древесных насаждений на территории с поверхностной активностью менее 37 Бк/м² (1 Ки/км²).

При проведении мониторинга качества сырья и изготовленной продукции для измерения удельной активности древесины используется гамма-радиометр РКГ-АТ1320А.

Складирование больших объемов древесины, древесного топлива, содержащего радионуклиды даже в пределах допустимых норм (РДУ/ЛХ-2001), будет приводить к локальному повышению естественного радиационного фона (ЕРФ), норма – 0,1–0,2 мкЗв/ч (10–20 мкР/ч).

Так, если в железнодорожном вагоне объем древесины 50 м³ (удельный вес сырой сосны 820 кг/м³, вес партии – 41 000 кг) и средняя удельная активность 100 Бк/кг, то активность всей партии составит 4,3 МБк. Тогда, мощность эквивалентной дозы, измеренная с помощью дозиметра-радиометра МКС-АТ6130 непосредственно у вагона с древесиной и такой активностью, может быть в 1,5–1,7 раза больше естественного радиационного фона.

Заключение. На ОАО «Ивацевичдрев» все поступающее сырье из загрязненных радионуклидами территорий и готовая продукция подвергаются тройному радиационному контролю – входному, в процессе переработки сырья и готовой продукции.

К таким критическим контрольным точкам на предприятии относится склад сырья, на который ежесуточно поступает около 40 вагонов древесного сырья (объем около 2000 м³), участок выдержки плит после форматной обрезки (около 500 м³) и котельная энергетической установки с запасом топлива.

Результаты радиационного мониторинга предприятия используются для классификации опасных зон и улучшения санитарно-гигиенических условий и безопасности труда.

Литература

1. Лес. Человек. Чернобыль. Лесные экосистемы после аварии на Чернобыльской АЭС: состояние, прогноз, реакция населения, пути реабилитации / В. А. Ипатьев [и др.]; под ред. В. А. Ипатьева. – Гомель: ИЛ НАН, 1999.

2. Правила ведения лесного хозяйства в зонах радиоактивного загрязнения / Ком. лесного хоз-ва при Совете Министров Респ. Беларусь. – Минск, 2002.

Поступила 13.02.2013

УДК 630*332:331.45

А. К. Гармаза, кандидат технических наук, доцент (БГТУ)**ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ
ПРИ МАШИННОЙ ЗАГОТОВКЕ ДРЕВЕСИНЫ**

В статье приведен анализ травматизма в лесной отрасли. В связи с переходом на машинную заготовку древесины повышаются требования к квалификации работников, в том числе и по охране труда. Описаны основные требования, предъявляемые к машинистам многооперационной лесозаготовительной техники, а также требования охраны труда при выполнении технологических операций при машинной заготовке древесины.

The article dwells on the traumatism analysis in forestry. Mechanical logging requires much higher qualification of the workers in occupational safety. The author highlights the principle requirements to operators for multipurpose logging machinery as well as occupational safety requirements while fulfilling engineering operations in mechanical logging.

Введение. В 2011 году в лесной отрасли травмы с тяжелым исходом получили 33 работника, со смертельным – 7. По данным головной организации по охране труда в лесном хозяйстве УП «Белгипролес», наиболее опасными видами работ являются лесосечные (57% из всех смертельных случаев).

Наиболее трудоемкой и травмоопасной технологической операцией при лесосечных работах является валка деревьев, осуществляемая вальщиками леса при помощи бензиномоторных пил.

В последние годы на рубках главного пользования и рубках ухода все чаще применяются машины. К 2015 году организациями Министерства лесного хозяйства планируется заготавливать 70% от всего объема древесины с использованием многооперационной лесозаготовительной техники. Для этого планируется закупка харвестеров и форвардеров, выпускаемых на отечественных машиностроительных предприятиях.

Машинная заготовка древесины позволит сократить ручной труд и тем самым уменьшить число несчастных случаев на производстве. Однако современная техника требует и более качественной подготовки операторов, в том числе и по охране труда.

Основная часть. Характерными опасными и вредными производственными факторами, действующими на работника, занятого на лесосечных работах, являются: движущиеся машины, механизмы, вращающиеся детали машин, механизмов, агрегатов, моторного инструмента; падающие деревья и сучья, перемещаемые и складываемые деревья, хлысты, сортименты; отлетающие частицы, осколки деревьев, металла, опилки; острые кромки оборудования и инструментов; повышенные уровни запыленности и загазованности воздуха рабочей зоны; повышенные уровни шума и вибрации; недостаточная освещенность рабочей зоны; неблагоприятные метеорологические условия; ядовитые рас-

тения, грибы, животные; нервно-психические перегрузки в результате монотонности труда.

Эти факторы могут оказывать на работников следующие действия: возможное соприкосновение с режущим инструментом, вращающимися и перемещаемыми деталями и механизмами; травмирование падающими, перемещаемыми деревьями, хлыстами, сортиментами, сучьями и щепками; отрицательное воздействие шума вибрации запыленности и загазованности; поражение молнией, переохлаждение и тепловые удары [1].

К управлению харвестером и форвардером допускаются лица мужского пола, не моложе 18 лет, прошедшие предварительный и периодический медицинские осмотры и признанные годными для выполнения соответствующих видов работ; прошедшие инструктаж, стажировку, обучение и проверку знаний по охране труда, пожарной безопасности, оказанию первой медицинской помощи и имеющие об этом специальное удостоверение. Работники, совмещающие профессии, должны быть обучены безопасным приемам и пройти инструктаж по охране труда на всех выполняемых работах.

Каждый работник должен знать правила внутреннего трудового распорядка предприятия и строго их выполнять. Не допускается находиться на территории предприятия, рабочем месте или в рабочее время в состоянии алкогольного, наркотического или токсического опьянения.

Машинисты обеспечиваются средствами индивидуальной защиты в соответствии с отраслевыми Типовыми нормами.

Лесозаготовительные машины должны соответствовать стандартам, техническим условиям на их изготовление и эксплуатироваться только в исправном состоянии. Работники обязаны соблюдать установленные заводскими инструкциями требования обращения с машинами и оборудованием.

Лесосечные работы проводятся в соответствии с утвержденной на каждую лесосеку тех-

нологической картой. На лесосеке до начала ее разработки выполняются подготовительные работы. При машинной валке деревьев разработка лесосеки проводится без предварительной уборки опасных деревьев.

На пешеходных тропах и дорогах, пересекающих осваиваемую лесосеку, должны быть установлены знаки безопасности и предупреждающие надписи, запрещается движение машин и людей по лесосеке.

Территория в радиусе 50 м от места валки деревьев, а на склонах холмов – не менее 60 м является опасной зоной. Место валки деревьев на расстоянии опасной зоны по волоку должно быть ограждено переносным знаком безопасности с предупреждающей надписью: «Проход и проезд запрещен. Валка леса».

После запуска двигателя машинист должен проверить все механизмы машины и технологического оборудования на холостом ходу. При обнаружении неисправностей и невозможности их устранения своими силами машинист обязан доложить об этом механику или мастеру. Работать на неисправной или не прошедшей своевременно технического обслуживания машине не разрешается.

При работе машин не разрешается присутствие посторонних лиц в кабине или других местах машины.

Машинистам не разрешается: оставлять машину без наблюдения при работающем двигателе; стоять под поднятым технологическим оборудованием; садиться и выходить из кабины во время работы технологического оборудования; выполнять обслуживание машины при работающем двигателе; управлять гидрораспределителями не из кабины; оставлять рабочий орган в неопущенном положении.

В ночное время на лесосеке должно работать не менее двух машин.

Во время валки деревьев должен соблюдаться минимальный, равный двойной высоте древостоя, но не менее 50 м разрыв между машиной, производящей валку леса, и другими машинами.

Машинист харвестера, выполняя комплекс лесосечных операций, должен выдерживать требования к волоку, технологическому коридору для дальнейшей работы форвардера. Эти требования заключаются в формировании ширины волока, технологического коридора на пасеке или ее участках в соответствии с указаниями технологической карты, спиливании деревьев в створе движения заподлицо с землей, выдерживании минимального безопасного для движения форвардера радиуса поворота.

Во время выполнения спиливания, обрезки сучьев и раскряжевки не допускается перемещение харвестера. Диаметр спиливаемых деревьев ограничивается технологической документацией по эксплуатации машины.

Машинист форвардера осуществляет движение машины по следу харвестера. При работе он выполняет следующие требования безопасности: движение вниз по склону и преодоление препятствий осуществляет на первой передаче; переезжает через поваленные деревья или их части под прямым углом к ним, а через канавы и рвы – под углом 15–20°; развороты машины осуществляет в местах отсутствия пней и других препятствий; не оставляет машину на склоне, а в случае вынужденной временной остановки подкладывает под колеса упоры, технологическое оборудование опускает.

Машинисту форвардера не разрешается: резко тормозить и поворачивать машину и технологическое оборудование; работать в машине с открытой дверью и выбитыми стеклами; высовывать голову из кабины во время работы.

Крутые спуски и подъем необходимо преодолевать только на передачах рабочего диапазона. При движении машины с грузом на спусках переключение передач не разрешается. При транспортировке сортиментов машинист должен следить за тем, чтобы никто не находился в опасной 10-метровой зоне вокруг формируемой пачки и движущейся с ней машины.

По окончании работы машинист обязан: поставить машину на стоянку; привести технологическое оборудование в транспортное положение, стрелу и толкатель опустить на землю; рукоятки управления трактором и технологическим оборудованием привести в нейтральное положение; выключить гидронасосы, остановить двигатель, отключить аккумулятор, закрыть дверь кабины на замок; очистить машину от грязи и сучьев.

Заключение. Снижение травматизма при машинной заготовке древесины возможно только при ответственном отношении к своим обязанностям машинистов и мастеров, а также при строгом соблюдении технологии производства работ.

Литература

1. Межотраслевые правила по охране труда в лесной, деревообрабатывающей промышленности и в лесном хозяйстве: постановление Министерства труда и социальной защиты Респ. Беларусь и Министерства лесного хозяйства Респ. Беларусь, 30 дек. 2008 г., № 211/39 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2009. – № 147. – 8/20979.

Поступила 21.02.2013

УДК 613.6:674

Б. Р. Ладик, старший преподаватель (БГТУ);
И. Т. Ермак, кандидат биологических наук, доцент (БГТУ)

ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ТРУДА ПРИ АТТЕСТАЦИИ РАБОЧИХ МЕСТ ПО ВИБРОАКУСТИЧЕСКИМ ФАКТОРАМ

Измерение и оценка фактических уровней шума и вибрации при аттестации рабочих мест имеют свои особенности. Оценка постоянного шума проводится как по уровням звукового давления в октавных полосах частот, так и по уровню звука (дБА). Оценка непостоянного шума проводится по результатам измерения эквивалентного уровня звука интегрирующим шумомером. При воздействии в течение рабочего времени на работника шумов с разными временными (постоянный, непостоянный – колеблющийся, прерывистый, импульсный) и спектральными (широкополосный, тональный) характеристиками в различных сочетаниях измеряют или рассчитывают эквивалентный уровень звука. Измерение и оценка параметров общей и локальной вибрации проводятся методом интегральной оценки по частоте или частотным анализом нормируемого параметра.

Measurement and evaluation of noise and vibration during the job evaluation has its own peculiarities. Constant noise is measured by both sound pressure level in octave bands and by the level of sound decibels A. Evaluation of non-constant noise is made by measuring the equivalent sound level by integrating sound level meter. When exposed to during working hours on employee noise with different time (constant, changing – fluctuating, intermittent, impulsive) and spectral (broadband, tonal) characteristics of different combinations of measured or calculated equivalent sound level. Measurement and evaluation of general and local vibration parameters is conducted via integral evaluation of the frequency or by frequency analysis of a normalized parameter.

Введение. Порядок проведения аттестации рабочих мест по условиям труда определен постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 253 от 22.02.2008 года «Об аттестации рабочих мест по условиям труда», а оценка условий труда при аттестации постановлением Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь от 22.02.2008 № 35 «Об утверждении Инструкции по оценке условий труда при аттестации рабочих мест по условиям труда и предоставлению компенсации по ее результатам и признании утратившими силу некоторых постановлений Министерства труда Республики Беларусь, Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь», а также Санитарными нормами, правилами и гигиеническими нормативами 13-2-2007 «Гигиеническая классификация условий труда», утвержденными постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 20.12.2007 № 176.

Оценка условий труда проводится по химическому, биологическому факторам, содержанию в воздухе рабочей зоны пыли, аэрозолей, по виброакустическим факторам, электромагнитным полям и неионизирующим излучениям, ионизирующим излучениям, климатическим условиям, тяжести и напряженности трудового процесса.

Общая для многих деревообрабатывающих предприятий неблагоприятная экономическая ситуация в связи с финансовым кризисом в значительной мере затрудняет решение многих

проблем охраны труда. К их числу можно отнести и усложнение процедуры выбора профилактических мероприятий, обеспечивающих снижение до некоторого приемлемого уровня профессионального риска при минимуме затрат. Так, в связи с резким уменьшением инвестиций в реконструкцию и техническое перевооружение производства, сокращением финансирования материально-технического обеспечения мероприятий по охране труда у предприятия могут отсутствовать возможности для устранения либо снижения до изменяемого уровня всех видов вредных производственных факторов. В этих условиях возникает необходимость проработки и анализа не одного, а нескольких альтернативных вариантов трудовых мероприятий, каждый из которых обеспечивает нормализацию производственной среды только по какому-то одному фактору либо по сравнительно небольшой группе факторов. При этом в качестве приоритетного, подлежащего реализации, должен быть принят вариант, обеспечивающий наивысшую результативность с точки зрения снижения уровня профессионального риска при наименьших затратах.

Основная часть. На деревообрабатывающих предприятиях одним из наиболее опасных и вредных производственных факторов является шум и вибрация, возникающие в процессе обработки древесины.

Уровни шума и вибрации, генерируемые деревообрабатывающим оборудованием, очень часто превышают предельно допустимые уровни.

Измерение фактических уровней шума и вибрации при проведении аттестации рабочих мест имеет свои особенности. Шум и вибрация на рабочих местах могут быть постоянными в течение рабочего времени и непостоянными:

- колеблющимися во времени;
- прерывистыми;
- импульсными.

Вибрация на рабочих местах может быть общая, локальная и фоновая.

Характер шума, вибрации предопределяет соответствующие методы проведения измерений.

Оценка постоянного шума проводится по результатам непосредственного изменения звука (дБА) и уровней звукового давления (дБ).

Оценка непостоянного шума возможна только по эквивалентному уровню звука в течение смены. Эквивалентный (по энергии) уровень звука постоянного широкополосного шума, который имеет такое же среднеквадратическое звуковое давление, что и данный непостоянный шум в течение заданного интервала времени. С этой целью по фотографии рабочего времени определяются временные интервалы для проведения измерений. Для измерений используется интегрирующий шумомер, позволяющий определить уровни звука (дБА) для каждого интервала измерений.

Эквивалентный уровень звука в течение смены можно рассчитать по методике, изложенной в ГОСТ 12.1.050 «Методы измерения шума на рабочих местах» [1].

При воздействии в течение рабочего времени на работника шумов с различными временными (постоянный, непостоянный колеблющийся, прерывистый, импульсный) и спектральными (широкополосный, тональный) характеристиками в различных сочетаниях рассчитывают эквивалентный уровень звука дБА.

Измерение и оценка параметров общей и локальной вибрации проводится методом интегральной оценки по частоте или частотным анализом нормируемого параметра [2, 3].

Для оценки условий труда для постоянной вибрации измеряют или рассчитывают уровень виброскорости (виброускорения), скорректированный уровень виброскорости (виброускорения), дБ (m/s^2). Для непостоянной вибрации измеряют или рассчитывают эквивалентный скорректированный уровень виброскорости (виброускорения), дБ (m/s^2).

При измерении непостоянной вибрации определяют скорректированные значения виброскорости (виброускорения) во временных интервалах согласно фотографии рабочего времени.

По полученным значениям рассчитывается эквивалентный скорректированный уровень виброскорости (виброускорения), дБ (m/s^2).

Оценка фактического состояния условий труда на рабочем месте дается по результатам аттестации рабочих мест, при этом устанавливается класс (степень) вредности или опасности условий труда на рабочем месте.

Неблагоприятные условия труда, по данным авторов [4], сказываются на продолжительности жизни человека (таблица).

Шкала оценки ущерба здоровью человека в зависимости от класса вредности условий труда

Класс (степень) условий труда	Время сокращения продолжительности жизни, сут/год	
	диапазон	среднее значение
3.1	2,5–5,0	3,75
3.2	5,1–12,5	8,75
3.3	12,6–25	18,75
3.4	25,1–75	50,0
4	–	75,0

Ими предложена методика оценки риска нанесения ущерба здоровью человека неблагоприятными условиями труда. Ее суть состоит в расчете среднего ожидаемого количества дней сокращения продолжительности жизни за год в зависимости от условий среды, напряженности и тяжести трудового процесса, уровня травматичности.

Заключение. Указанная шкала может быть использована для количественной оценки уровня совершенства технологического процесса, а также для поставленной задачи – определения результативности и приоритетности мероприятий по охране труда.

Литература

1. Методы измерения шума на рабочих местах: ГОСТ 12.1.050 – 86 ССБТ. – Введ. 01.04.06. – М.: Государственный комитет по стандартам, 2005. – 16 с.
2. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Требования к проведению измерений на рабочих местах: ГОСТ 31319-06. – Введ. 01.11.09. – Минск: Госстандарт, 2009. – 18 с.
3. Измерение локальной вибрации и оценка ее воздействия на человека. Требования к проведению измерений на рабочих местах: ГОСТ 31192.2-05. – Введ. 01.08.09. – Минск: Госстандарт, 2009. – 32 с.
4. Соколов, Э. М. Как оценить риск / Э. М. Соколов, В. В. Ветров, И. В. Панферова // Охрана труда с социальное страхование. – 1998. – № 3. – С. 37–41.

Поступила 15.02.2013

ЮБИЛЕИ

УДК 929(476)+625.7(092)

Н. П. Вырко, доктор технических наук, профессор (БГТУ)

БОЛЕЕ ПОЛВЕКА РЯДОМ

Посвящается 60-летию работы в высшей школе профессора, доктора технических наук, заслуженного деятеля науки и техники БССР Леоновича Ивана Иосифовича. Дан анализ его педагогической, научной и административной работы. Отмечается огромный вклад И. И. Леоновича в решение проблемы лесопромышленного и дорожно-транспортного комплекса, развитие высшей школы и среднего специального образования, подготовку инженерных кадров для лесной и дорожной отрасли, подготовку кадров высшей квалификации.

Dedicated to the 60th anniversary of work in the higher school, Professor, doctor of technical Sciences, Honored worker of science and engineering of BSSR Leonovich Ivan Iosifovich. The analysis of the pedagogical, scientific and administrative work. Notes the significant contribution of it to the solution of problems of the forestry and road transport sectors, in the development of higher education and secondary special education, in preparation of engineering staff for the forest and road industry, in the training of personnel of higher qualification.

Введение. Среди научной элиты, среди дорожников нашей республики, СНГ и в моей жизни особое место занимает заслуженный деятель науки и техники БССР, вице-президент Международной академии организационных и управленческих наук, Украинской транспортной академии, Белорусской горной академии, академик Белорусской академии архитектуры, Белорусского отделения академии коммунального хозяйства, член-корреспондент лесных специалистов Финляндии, доктор технических наук, профессор **Леонович Иван Иосифович**, крупный ученый и специалист в области лесного и дорожного дела. Следует отметить исключительно великое и разностороннее влияние профессора Леоновича И. И. на решение проблем лесопромышленного и дорожно-транспортного комплексов. Он внес неоценимый вклад в развитие высшей школы. В нем органично сочетаются талант и эрудиция ученого-теоретика, организатора высшего и среднего специального образования, педагога (осуществляет подготовку инженерных кадров для лесной и дорожной отрасли, подготовку кадров высшей квалификации).

Основная часть. Профессора Леоновича И. И., как ученого, знают не только в нашей стране, но и в ближнем и дальнем зарубежье. По его учебникам, учебным пособиям, которые отличаются оригинальностью и простотой изложения материала, учатся не только студенты Беларуси, но и студенты России, Прибалтики и ряда других зарубежных стран.

Практически каждый день, вне зависимости от того, чем он занят и как наполнен его день, он продолжает писать монографии, учебники, статьи.

Каждый человек по-разному отмечает исторические вехи в своей жизни, подводит итоги, вспоминает прошлое... А Иван Иосифович постоянно устремлен в будущее, в том числе через свои книги. Хотя его книги специальные, технические, но в них частица его души. Вот почему они интересны по своему содержанию, доступны в понимании написанного, помогают студентам изучить один из важнейших курсов «Проектирование, строительство и эксплуатация автомобильных дорог» при подготовке инженеров-дорожников.

Издания профессора Леоновича Ивана Иосифовича открывают новые грани и краски постижения того или другого явления, пробуждают интерес к новым знаниям и открытиям всем тем, кто хочет понять и обрести истинную веру в себя.

Учебники и учебные пособия, издания Ивана Иосифовича можно разделить на несколько групп:

- чисто познавательные (буклеты, брошюры, популярные и другие);
- книги-справочники;
- книги, помогающие и способствующие выработке творческого подхода к решению инженерных задач;
- книги по практической подготовке.

Конечно, студенты разные, в том числе и по отношению к учебе. Поэтому очень важным в их обучении является чтение лекций, проведение других учебных занятий. Всеми этими качествами обладает, наделен, я бы сказал в высшей степени, профессор Леонович И. И.

Сказанное им СЛОВО, сами предложения и фразы, произнесенные им, как бы материализуют сказанное. В этом и заключается фантастическое действие Ивана Иосифовича как лектора. Он не просто читает лекцию, ведет учебные занятия, а наполняет их глубоким смыслом, помогает каждому студенту открыть в самом себе себя. Здесь я считаю уместным привести слова из моего стихотворения, посвященного Ивану Иосифовичу, моему учителю:

*Учитель от природы Вы
И педагог Вы современный,
А для меня всегда важны Ваши слова,
Ведь тайна жизни в них заключена.
И оттого так велика
Их значимость и глубина.*

Вот почему большим спросом пользуются его учебники, учебные пособия, а учебное пособие «Автомобильные лесовозные дороги», 1965 года издания, фактически сборник задач по проектированию, строительству и эксплуатации автомобильных дорог, до сих пор не утратило своего значения.

За 60 лет научно-педагогической деятельности под руководством Ивана Иосифовича Леоновича опубликовано около 1000 научных работ, в том числе 6 учебников, 23 учебных и методических пособия, 29 монографий, получено 82 авторских свидетельства и патента на изобретения.

Он является основоположником теории расчета дорожных одежд с учетом упруговязких свойств дорожно-строительных материалов, способов стабилизации грунтов органическими и минеральными вяжущими. И. И. Леонович – автор и руководитель разработки теории расчета сборно-разборных дорожных покрытий.

Мне повезло в жизни идти рядом с Иваном Иосифовичем на протяжении 55 лет. Он являлся моим руководителем кандидатской и докторской диссертаций. Научил меня понимать сложнейшие процессы, происходящие в дорожной конструкции, и как результат – разработка нами статистического метода определения глубины промерзания грунтов, методов прогнозирования пучинообразования в грунтах земляного полотна, определения расчетной влажности и высоты насыпи с учетом климатических условий местности, использования отходов промышленности (гидролизного лигнина) для регулирования водно-теплового режима

дорожной конструкции с целью обеспечения круглогодичной работы лесовозного транспорта на вывозке леса.

Важно отметить, что на всех этапах творческой деятельности как непосредственно, так и опосредственно Иван Иосифович Леонович вносил и вносит существенный вклад в развитие науки, подготовку инженерных и научных кадров, где и на каком бы посту он не работал.

Профессор Леонович И. И. постоянно вовлекает в творческую деятельность студенческую молодежь, руководит аспирантами, магистрантами, помогает соискателям ученых степеней, профессиональному росту инженеров. Он подготовил, как преподаватель, несколько тысяч инженеров-дорожников. Иван Иосифович создал научную школу, в которую входят доктор и кандидаты наук. Они работают в различных организациях, с которыми Иван Иосифович поддерживает постоянные деловые контакты и согласованно проводит работы по решению различных важных для науки и производства проблем.

На протяжении всей своей научно-педагогической и административной деятельности И. И. Леонович принимал и принимает участие не только в подготовке инженерных и кадров высшей квалификации, но и в общественной работе.

Еще будучи аспирантом-заочником ЦНИИМЭ, он устанавливает тесные контакты с учеными Московского лесотехнического института и Ленинградской лесотехнической академией. В период служебной командировки в Хельсинкский университет избирается членом-корреспондентом лесного общества Финляндии. Знание иностранных языков позволяет ему выступать с докладами по проблемам лесотранспорта и дорожного строительства в Польше, Чехословакии, Соединенных Штатах Америки, Греции, Австрии и других странах. Как инженер и ученый Иван Иосифович пользуется общественным авторитетом. В 1962 году его избирают заведующим кафедрой сухопутного транспорта леса и дорожных машин. В 1963 году назначается проректором по научной работе Белорусского технологического института им. С. М. Кирова, в 1968 – заместителем Министра высшего и среднего специального образования Беларуси, а в 1979 избирается по конкурсу заведующим кафедрой «Строительство и эксплуатация дорог» Белорусского политехнического института и до 1984 года на общественных началах выполняет эти функции.

В 1984 году И. И. Леонович командирован на Кубу и до 1988 года работает советником Министра высшего образования, осуществляет научно-методическое руководство советскими специалистами, работающими в высших учебных

заведениях. После возвращения из заграникомандировки работает на прежнем месте, т. е. заведующим кафедрой в Белорусском политехническом институте.

Профессор Леонович И. И. неоднократно выступал в качестве оппонента при защите докторских и кандидатских диссертаций, участвовал в качестве эксперта по оценке государственных проектов и программ, организовывал и проводил научные конференции, круглые столы и диспуты по различным проблемам лесной промышленности, лесного хозяйства, лесоинженерного и дорожного образования. Учитывая весомый вклад, который был им внесен в лесную науку, Президиум Российской академии естественных наук избрал И. И. Леоновича в 1995 году академиком. В настоящее время Иван Иосифович является членом научно-редакционного совета Белорусской энциклопедии, заместителем главного редактора журнала «Вестник БНТУ», членом редколлегий журналов «The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering», «Technological and Economic development of Economy» (г. Вильнюс), «Архитектура и строительные науки», «Автомобильные дороги Беларуси» (г. Минск), «Труды БГТУ. Лесная и деревообрабатывающая промышленность», членом президиума НТС Департамента «Белавтодор», заместителем председателя Совета общества «Беларусь – Куба», входит в состав советов по защите докторских и кандидатских диссертаций в Белорусском национальном техническом университете (БНТУ), Белорусском государственном технологическом университете (БГТУ), Киевском автомобильно-дорожном институте (ныне НТУ), является заместителем председателя методической комиссии при Совете БНТУ, председателем методической комиссии по специальности «Автомобильные дороги», выполняет ряд других постоянных общественных поручений, участвует в программе международного сотрудничества по вопросам подготовки кадров и научного развития.

Заключение. Иван Иосифович лауреат Президентской стипендии. За достигнутые успехи в развитии научных исследований в республике и подготовке специалистов для народного хозяйства награжден орденами Отечества II степени (2009), Отечества III степени (1999) и «Знак Почета» (1976), медалями «За доблестный труд в ознаменование 100-летия со дня рождения В. И. Ленина» (1970), «Ветеран труда» (1985), «60 лет Победы в Великой Отечественной войне» (2005), Почетной грамотой Верховного Совета БССР (1979), Ленинской Почетной грамотой Парткома партийных организаций Советских учреждений в Республике Куба (1987). Ему присвоено почетное звание заслуженного деятеля науки и техники БССР (1981). И. И. Леонович является почетным дорожником (2003) и почетным транспортником Беларуси (2005). Отмечен Дипломом почета ВДНХ СССР, награжденными знаками отличия Минвуза СССР, Госстандарта СССР, ЦК ВЛКСМ, Министерства образования Республики Беларусь, ряда других ведомств и организаций Советского Союза и Республики Беларусь. Является изобретателем СССР, почетным профессором Московского автомобильно-дорожного университета (ГТУ) (2000) и почетным доктором Вильнюсского технического университета им. Гедиминаса (2003). Избран вице-президентом Международной Академии организационных и управленческих наук (1994), действительным членом Российской академии естественных наук (1995), академиком Транспортной академии Украины (1996), академиком Белорусской горной академии (1997), академиком Белорусского отделения жилищно-коммунальной академии, академиком Белорусской академии архитектуры (2005) и членом-корреспондентом Общества лесных специалистов Финляндии (1969).

Поступила 15.02.2013

РЕФЕРАТЫ

УДК 630*36

Федоренчик А. С. **Формирование мобильных систем машин для комплексной переработки древесного сырья** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 3–9.

Предложена концепция и показана целесообразность развития модульных систем комплексной переработки древесного сырья на базе мобильных систем машин. Выполнена их классификация и обоснованы варианты систем машин для переработки деловой и дровяной древесины, отходов лесозаготовок, зелени в условиях лесосек и терминалов.

Ил. 2. Библиогр. – 11 назв.

УДК 630*36

Федоренчик А. С. **Оценка применимости лесных машин «Амкодор»** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 10–13.

Показаны влияние лесозаготовительных параметров лесосечного фонда страны на выбор систем лесных машин «Амкодор», масштабы их применения в рамках территориально-структурных подразделений исходя из технических и технологических возможностей.

Табл. 5. Библиогр. – 3 назв.

УДК 629.113.012.1:629.113.002

Гороновский А. Р., Мохов С. П., Пищов С. Н., Арико С. Е. **Оценка напряженно-деформированного состояния ведущих мостов автотранспортной техники МАЗ** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 14–17.

Работа посвящена исследованию напряженно-деформированного состояния и усталостной долговечности деталей порталного моста. Разработаны конечно-элементные модели деталей порталного моста и их сопряжений. На основе конечно-элементных моделей выполнена оценка напряженно-деформированного состояния узлов моста и оценка их усталостной долговечности. Даны рекомендации по рациональным путям снижения нагруженности деталей моста и изменению конструкторской документации.

Ил. 6. Библиогр. – 3 назв.

УДК 630*363.7

Лой В. Н., Германович А. О. **Моделирование работы самоходной рубильной машины с автономным двигателем** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 18–21.

Работа посвящена математическому моделированию работы самоходной рубильной машины с автономным двигателем. Приведена расчетная схема математической модели работы рубильной машины. Описаны динамические процессы, происходящие в процессе работы рубильной машины.

Ил. 4. Библиогр. – 12 назв.

УДК 625.089.42

Тумашик И. И., Вырко Н. П. **Способы повышения несущей способности лесных дорог, устроенных на несвязных грунтах** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 22–24.

Проведен анализ совокупности способов увеличения несущей способности и проезжаемости лесных автомобильных дорог. Рассмотрены способы применения геосинтетических материалов, устройства гравийных и щебеночных покрытий, поверхностной обработки и пропитки, указаны достоинства и недостатки данных способов. Приведена технология смешения минеральных материалов с органическими вяжущими, покрытия из которых устраиваются преимущественно на магистральных дорогах с большой интенсивностью движения.

Библиогр. – 3 назв.

УДК 625.731.4

Вырко Н. П., Леонович И. И., Демидко М. Н. **Динамика развития водно-теплового режима грунта земляного полотна** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2013. – С. 25.

В статье рассмотрен вопрос об изменении водно-теплового режима грунта земляного полотна во времени, т. е. в различных погодно-климатических условиях. В годовом цикле изменения водно-теплового режима выделено пять периодов: накопительный (осеннее насыщение влагой), зимний период влагонакопления, вымерзания, период насыщения, период оттаивания и восстановления летнего периода.

УДК 630.332.3:662.63

Вавилов А. В., Моиссеев А. О. **Предпосылки создания мульчера для расчистки лесных площадей** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. – С. 26–28.

В связи с наметившейся тенденцией использования лесосечных отходов и малоценных маломерных деревьев в энергетических целях встает задача перед созданием лесных культур на очищенных лесосеках пополнять почву на них органическим удобрением. Таким удобрением может быть мелкоизмельченная пневая древесина. Ликвидация пней как препятствия облегчит механизированное создание лесных культур и будет содействовать прямолинейности рядков будущих лесонасаждений. Такую задачу можно решить при использовании мульчеров-фрез, с помощью которых фрезеруются пни и получаемая щепа разбрасывается по расчищаемой площади.

Для создания мульчера по расчистке лесных площадей, прежде всего вырубков, в республике имеются необходимые предпосылки: выпуск Минским тракторным заводом типоразмерного ряда тракторов – потенциальных базовых машин для навешивания таких мульчеров и опыт создания мульчеров несколькими машиностроительными предприятиями Беларуси для дорожной отрасли и мелиорации.

Ил. 4. Библиогр. – 4 назв.

УДК 674.8.05:630*614

Матвейко А. П. **Инновационная технология производства древесного топлива для энергетических целей непосредственно на лесосеках** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. – С. 29–30.

Даны основные положения по разработке инновационной технологии производства топливной щепы на вырубленных лесосеках. Изложены технология и организация работ на заготовке топливной щепы из оставшегося древесного сырья на лесосеках.

Табл. 1. Библиогр. – 1 назв.

УДК 630*383:625.7

Насковец М. Т., Корин Г. С., Драчиловский А. И. **Применение геотекстильного материала «Спанбел» при строительстве опытных объектов лесных дорог второстепенного значения и результаты их испытаний** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. – 2013. – С. 31–33.

Статья посвящена строительству опытных объектов лесных автомобильных дорог на слабых основаниях. Чтобы усилить слабые грунтовые основания и повысить их несущую способность, используются разделяющие и армирующие прослойки из геосинтетического материала «Спанбел».

Табл. 2. Ил. 6. Библиогр. – 1 назв.

УДК 630*383:625.7/.8

Красковский С. В. **Методика расчета на прочность конструкций лесных дорог, упрочненных объемными георешетками** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. – С. 34–35.

Рассмотрены предпосылки упрочнения объемными георешетками конструкций лесных дорог, устроенных из грунтов и песчано-гравийных смесей. Обоснована необходимость разработки методик расчета на прочность упрочненных конструкций. Предложена методика учета упрочняющего элемента в виде георешетки при расчете на прочность дорожной конструкции, находящейся в объемном напряженном состоянии; приведена упрощенная расчетная схема упрочненной конструкции. Даны последовательность расчета и перечень решаемых задач, отмечены достоинства и область применения методики.

Ил. 1. Библиогр. – 4 назв.

УДК 625.814.22

Лыщик П. А., Науменко А. И. **Требования к укрепленным дорожным грунтам** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. – С. 36–38.

В статье рассмотрены основные требования, предъявляемые к грунтам, которые используют при возведении земляного полотна и устройстве дорожной одежды.

Переход лесной отрасли на вывозку заготовленной древесины в сортаментах повлекло увеличение осевых нагрузок и скоростей движения лесовозных автопоездов. В этой связи к лесным дорогам предъявляются повышенные требования.

Одним из направлений увеличения прочности и долговечности дорожных конструкций принято считать улучшение физико-механических свойств грунтов. В результате анализа материалов литературных источников и проведенных исследований были установлены основные требования и характеристики дорожных грунтов.

Табл. 2. Библиогр. – 4 назв.

УДК 625.8:666.9

Лыщик П. А., Плышевский С. В., Науменко А. И. **Использование комплексного вяжущего для укрепления грунтов земляного полотна лесных автомобильных дорог** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 39–42.

В тех районах строительства лесных дорог, где нет прочных каменных материалов и высокого качества песков, возникает необходимость в замене дорогостоящего привозного камня и песка местным грунтом, укрепленным вяжущим материалом. Применение укрепленных грунтов, в том числе и укрепленных различными отходами промышленности в конструктивных слоях дорожных одежд, обеспечивает значительное снижение стоимости строительства дорог и уменьшает потребность в привозных каменных материалах.

Проведенные исследования показали, что рассмотренные в публикации отходы могут быть использованы для получения смешанных цементов и рекомендованы для дорожного строительства.

Табл. 2. Ил. 6. Библиогр. – 5 назв.

УДК 528.721.6:528.8.042

Лыщик П. А., Бавбель Е. И. **Современные подходы к проектированию и строительству лесных автомобильных дорог** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 43–44.

Рассмотрены современные подходы к созданию нормативного документа ТКП «Лесные автомобильные дороги. Нормы проектирования и правила устройства». Приведены классификация и технические нормы проектирования лесных автомобильных дорог.

Табл. 2. Библиогр. – 4 назв.

УДК 630*377.44

Клоков Д. В. **Оценка нагрузочных режимов трансмиссий погрузочно-транспортных машин «Беларус»** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 45–46.

Работа посвящена оценке нагрузочных режимов трансмиссий погрузочно-транспортных машин с различными типами привода ведущих органов. Определены оптимальные параметры, которые позволяют снизить нагруженность машин в целом.

Ил. 1. Библиогр. – 1 назв.

УДК 629.3-027.21

Пищов С. Н., Арико С. Е., Мохов С. П., Манько А. В. **Результаты экспериментальных исследований устойчивости автомобиля МАЗ повышенной проходимости** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 47–48.

В статье представлены результаты экспериментальных исследований по оценке показателей продольной и поперечной устойчивости. Определены углы переднего и заднего свесов, высота расположения центра масс, установлены зависимости изменения реакций под осями полноприводного грузового автомобиля повышенной проходимости в зависимости от угла наклона опорной поверхности при различной загрузке (порожний, груженный) грузовой платформы. Выполнен анализ полученных результатов и даны рекомендации по режимам эксплуатации проектируемого автомобиля при выполнении различных транспортных операций в тяжелых дорожных условиях.

Ил. 2. Библиогр. – 3 назв.

УДК 528.721.221.6:528.8.042

Бавбель Е. И., Селезнева Т. С. **Новые возможности применения наземного лазерного сканирования при изысканиях объектов строительства** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 49–50.

Сегодня без использования современных геодезических приборов и технологий практически невозможно оперативно решать актуальные проблемы строительства. Безусловно, идеальными приборами для определения геометрических параметров объекта являются лазерные сканирующие системы. Эти программно-аппаратные комплексы позволяют не только быстро, с высокой точностью выполнять полевые измерения, но и оперативно получать трехмерные цифровые модели исследуемых объектов.

Табл. 1. Ил. 2. Библиогр. – 1 назв.

УДК 630*2:502.174

Протас П. А., Завойских Г. И., Федоренчик А. С. **Классификация ветровально-буреломных лесосек с учетом эксплуатационных особенностей их освоения** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. – С. 51–52.

В статье на основании анализа состояния ветровально-буреломных лесосек приведена их классификация по виду и степени повреждения, направлению повала или поломки деревьев. Выполненная работа позволяет упорядочить встречающиеся в практике повреждения лесонасаждений, дать обоснованную оценку технико-эксплуатационных показателей систем машин, разработать рекомендации по технологии освоения ветровально-буреломных лесосек, а также требования по технике безопасности.

Табл. 1. Ил. 1. Библиогр. – 1 назв.

УДК 625.711.84

Протас П. А. **Применение наследственной теории упругости Больцмана – Вольтерра для оценки напряженно-деформированного состояния лесотранспортных путей** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. – С. 53–54.

В работе дана методика и обоснована целесообразность применения наследственной теории упругости Больцмана – Вольтерра для оценки напряженно-деформированного состояния лесотранспортных путей. Применение результатов исследований позволит разработать рекомендации по использованию лесных машин, проектированию и содержанию лесотранспортных путей с учетом их эксплуатационно-экологической совместимости с лесной средой.

Ил. 1. Библиогр. – 3 назв.

УДК 674.093.4

Леонов Е. А. **Повышение устойчивого обеспечения энергообъектов топливной щепой в течение года** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная. и деревообаб. пром-сть. – С. 55–56.

В статье показано, что устойчивое обеспечение энергообъектов топливной щепой в течение года возможно при создании лесоэнергетических терминалов (ЛЭТ). Обоснование вместимости ЛЭТ выполнено на основании результатов имитационного моделирования их функционирования.

Ил. 2. Библиогр. – 3 назв.

УДК 630*36

Леонов Е. А. **Оценка экономического эффекта от применения складов древесного топлива оптимальной вместимости** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная. и деревообаб. пром-сть. – С. 57–58.

В статье выполнена оценка экономического эффекта от производства и потребления древесного топлива на межсезонных складах с различной относительной вместимостью. Установлено, что при организации оптимального межсезонного запаса древесного топлива с применением промежуточных складов годовой удельный экономический эффект составит до 7,4 у. е./пл. м³.

Ил. 1. Библиогр. – 3 назв.

УДК 630*36:630

Арико С. Е., Мохов С. П., Симанович В. А., Федоров Д. А. **Методика определения параметров харвестерной головки** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. – С. 59–60.

Разработаны расчетные схемы для определения параметров харвестерных головок при создании предварительного натяга дерева и его протаскивании через сучкорезные ножи в процессе обрезки сучьев. Приведенная методика позволяет определять усилия прижатия подающих вальцов, усилие, необходимое для протаскивания дерева при обрезке сучьев, мощность, затрачиваемую на выполнение соответствующих операций.

Ил. 2.

УДК 630.36.001.63

Лось А. М., Блохин А. В. **Расчет основных параметров кониковых устройств проектируемого сортиментовоза** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. – С. 61–62.

В рассматриваемой статье приведены методики расчета основных нагрузок, действующих на стойки кониковых устройств, и проверки их на прочность. Исследования поперечины выполнены с применением интегрированной системы прочностного анализа по методу конечных элементов. Представленные результаты исследований показывают, что выбранные параметры сечений стоек и поперечины коников имеют достаточный запас прочности, что обеспечит их надежность и долговечность эксплуатации.

Ил. 4. Библиогр. – 1 назв.

УДК 630*63

Короленя Р. О. **Оценка эффективности процесса перевозок древесины при организации работы лесовозного автотранспорта на комбинированных маршрутах** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 63–64.

В современных условиях происходит рост объемов заготовки и потребления древесины при незначительных изменениях количества автотранспорта и малых объемах строительства лесных дорог, поэтому особую важность принимает правильность выбора оптимальной стратегии управления перевозками. В статье представлены результаты моделирования процесса перевозок древесины потребителям при различных вариантах формирования комбинированного маршрута работы автопоезда, которые наглядно демонстрируют, на сколько увеличиваются транспортные затраты лесохозяйственного учреждения при принятии неверного управленческого решения о назначении рейсов.

Табл. 1. Ил. 1. Библиогр. – 1 назв.

УДК 630*36.001.6

Голякевич С. А. **Математическая модель для оценки нагруженности несущих конструкций многооперационных лесозаготовительных машин** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 65–71.

Публикация посвящена исследованию динамики работы многооперационных лесозаготовительных машин на различных операциях технологического цикла. Разработана пространственная математическая модель для оценки нагруженности многооперационных машин. Особое внимание уделено моделированию работы харвестеров на операции обрезки сучьев и форвардеров при выполнении погрузочно-разгрузочных операций. С помощью теста нормированных спектральных плотностей выполнена оценка адекватности модели.

Ил. 5. Библиогр. – 7 назв.

УДК 630*36.001.6

Голякевич С. А. **Анализ эксплуатационных режимов работы многооперационных лесозаготовительных машин** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 72–78.

Публикация посвящена анализу режимов работы многооперационных лесозаготовительных машин на различных операциях технологического цикла. Предложена комплексная методика обоснования рациональных режимов выполнения технологических операций многооперационных лесозаготовительных машин и энергетических параметров привода технологического оборудования для их реализации, учитывающая различные способы выполнения технологических операций, взаимовлияние показателей энергонасыщенности и производительности машин. Даны рекомендации по рациональным режимам выполнения операций и энергетическим параметрам технологического оборудования.

Ил. 7. Библиогр. – 11 назв.

УДК 630*363.7

Германович А. О. **Оценка параметров технологического и тягового модулей рубильной машины на самоходном шасси** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 79–82.

Работа посвящена оценке параметров технологического и тягового модуля рубильной машины на самоходном шасси. Приведены основные компоновочные схемы самоходных рубильных машин. Описана методика обоснования параметров технологического оборудования и базового шасси самоходной рубильной машины.

Ил. 7. Библиогр. – 2 назв.

УДК 625.711.84:625.731(252.6)

Драчиловский А. И. **Теоретические аспекты взаимодействия насыпей с грунтовыми основаниями** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 83–85.

В статье рассматриваются вопросы об изучении взаимодействия насыпей с основаниями, отсыпаемых на слабых грунтах. Разработаны и предложены новые способы устройства прослоек, позволяющих разделить насыпь и основание.

Ил. 5. Библиогр. – 4 назв.

УДК 629.73/614.842

Леонович И. И., Могилянец Р. И. **Роль авиации в лесном хозяйстве Республики Беларусь** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 86–88.

В статье рассмотрены история эксплуатации авиации в лесном хозяйстве, категории и способы борьбы с лесными пожарами при использовании авиационной техники.

Ил. 2. Библиогр. – 2 назв.

УДК 630.161,629.73

Мягков Д. Ю., Могилянец Р. И. **Применение беспилотных летательных аппаратов для мониторинга состояния лесного хозяйства** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. – С. 89–92.

В данной статье рассмотрен вопрос о применении беспилотных летательных аппаратов для мониторинга состояния лесного хозяйства при обнаружении лесных пожаров и оценки их последствий.

Библиогр. – 2 назв.

УДК 629.73

Могилянец Р. И. **Выбор участков автомобильных дорог для вынужденной посадки самолетов** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. – С. 93–96.

В статье рассматривается вопрос о выборе участков автомобильных дорог для вынужденной посадки самолетов по критериям габаритных размеров, несущей способности, ровности искусственных покрытий, наличию помех в полосах воздушных подходов.

Табл. 4. Ил. 3. Библиогр. – 1 назв.

УДК 625.711.84.001.76

Антонов Ю. В., Вырко Н. П., Леонович И. И. **Инновации в проектировании плана и продольного профиля лесных автомобильных дорог** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. – С. 97–98.

В статье рассмотрены современные методы автоматизированного проектирования плана и продольного профиля лесных автомобильных дорог, показаны основные принципы проектирования плана и продольного профиля, рассмотрены возможности обучающих уроков по системам автоматизированного проектирования.

Библиогр. – 3 назв.

УДК 625.7

Леонович И. И., Кришна Чакхун. **Местные дороги в горах Непала и их использование в сельском и лесном хозяйстве** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. – С. 99–101.

В публикации отражены существующие трудности в развитии дорожной сети, их взаимосвязь с экономической и социально-политической ситуацией в стране Непал, которая имеет горный ландшафт и сложные климатические условия, что обуславливает выбор поэтапного строительства дорог.

Табл. 3. Библиогр. – 7 назв.

УДК 625.7/8:620.191.33

Мельникова И. С. **Учет наличия трещин и определение трещиностойкости дорожных покрытий при диагностике автомобильных дорог** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. – С. 102–105.

Диагностика автомобильных дорог представляет собой мониторинг состояния дорог и включает в себя систематическое определение основных показателей их качества (прочность, сцепление, дефектность и др.). База полных и достоверных данных о состоянии дорог необходима для принятия управленческих решений по своевременному назначению ремонтных мероприятий, а также для обоснованного ведения инвестиционной политики в дорожном хозяйстве. Сбор объективных данных о состоянии дорожных покрытий требует применения инновационных методов диагностики дорог.

Статья посвящена оценке применяемых в Республике Беларусь технологий, используемых при диагностике автомобильных дорог, в частности при учете наличия трещин на дорожных покрытиях.

Библиогр. – 13 назв.

УДК 630.332.3:662.63

Вавилов А. В., Соколовский Ю. В. **Совершенствование системы машин по производству топлива, включая облагороженное, из древесной растительности, удаляемой с объектов строительства** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. – С. 106–111.

В настоящее время становится актуальным вопрос использования топливной щепы из древесно-кустарниковой растительности удаляемой с объектов строительного комплекса. Сложившаяся система машин, направленная на получение топливной щепы, предусматривала только ее удаление и уничтожение. Имеющийся опыт производства топливной щепы из древесно-кустарниковой растительности показал, что такая щепка отличается от щепы из дров и мало приспособлена для использования на уже эксплуатируемых энергоустановках. При более глубокой переработке из такой щепы возможно получать облагороженное топливо в виде пеллет или брикетов.

В статье предложена усовершенствованная система машин по заготовке древесного топлива на объектах строительного комплекса, позволяющая осуществить операции по удалению древесно-кустарниковой растительности на площадях с недостаточной несущей способностью грунта, на которых сосредоточены основные запасы неиспользуемой сегодня древесной растительности.

Табл. 3. Ил. 8. Библиогр. – 2 назв.

УДК 674-419.33: 674.2

Шетько С. В., Рапинчук Д. Л. **Инновационная технология конструкционных элементов для деревянного домостроения из пиломатериалов низших сортов** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 112–113.

Представлена новая современная технология стеновых клееных элементов для деревянного домостроения, сырьем для производства которых служат тонкомерные пиломатериалы низших сортов. Данный материал представляет собой плоское клееное изделие из натуральной древесины. Панель состоит из нескольких склеенных под прямым углом друг к другу слоев, образованных щитовыми элементами. В зависимости от применяемых клеевых материалов готовые панели могут эксплуатироваться как на открытом воздухе, т. е. из них можно формировать наружные стены построек, так и внутри помещений (межкомнатные перегородки, плиты перекрытий и т. п.).

Ил. 2. Библиогр. – 2 назв.

УДК 674.02

Игнатович Л. В., Утгоф С. С., Бут-Гусаим А. М. **Технология многослойных паркетных изделий с лицевым слоем из уплотненной древесины мягких лиственных пород** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 114–118.

В статье изложены результаты исследования процесса уплотнения древесины мягких лиственных пород, а также склеивания многослойных паркетных изделий с лицевым слоем из уплотненной древесины ольхи. В ходе исследования были определены физико-механические характеристики уплотненной древесины: твердость, износостойкость и степень уплотнения. Определен такой показатель, как прочность клеевого соединения. Сделаны выводы о влиянии режима прессования на физико-механические характеристики уплотненной древесины, вида клеевого материала и режима склеивания на прочность клеевого соединения в многослойных паркетных покрытиях.

Табл. 4. Библиогр. – 3 назв.

УДК 674.04

Прохорчик С. А., Гайдук С. С. **Модификация клеевого состава для клееных элементов деревянных дверных полотен** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 119–121.

Работа посвящена исследованию прочности, водостойкости и твердости клеевых соединений. Для проведения испытаний использовались карбамидоформальдегидный и поливинилацетатный клеи, а также композиции на их основе. Для определения прочности и водостойкости применялась европейская методика согласно DIN EN 204 и DIN EN 205, для определения твердости – принцип Виккерса. По результатам проведенных испытаний получена клеевая композиция, которая обладает оптимальными физико-механическими свойствами (прочность, водостойкость и жесткость клеевого соединения).

Табл. 2. Ил. 4. Библиогр. – 2 назв.

УДК 684.4.059.4

Бахар Л. М. **Влияние химической активности поверхности древесины на адгезионную прочность лакокрасочных покрытий** // Л. М. Бахар // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 122–123.

В статье представлены результаты исследований, отражающих влияние величины краевого угла смачивания и показателя кислотности поверхностного слоя строганного шпона древесины различных пород на адгезионную прочность лакокрасочного покрытия, образованного немецким полиуретановым лаком. Установлено влияние на адгезионную прочность покрытия операции шлифования поверхности древесины перед его созданием.

Ил. 2.

УДК 674.59

Влащенко Н. М., Пардаев А. С. **Исследование прочности деревянных конструкций методом конечных элементов** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 124–126.

Проведен анализ реализации метода конечных элементов при прочностном расчете деревянных изделий, в ходе которого выявлены расчетные схемы конструкций из древесины и древесных материалов. Дальнейшее исследование направлено на изучение механических свойств этих материалов для построения имитационной модели.

Библиогр. – 2 назв.

УДК 665.345.4: 621.763

Ширяев В. В., Шетько С. В. **Интенсификация процесса отверждения льняного масла при производстве композиционных материалов** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. – С. 127–129.

В статье рассмотрена технология производства экологически чистого композиционного материала на основе древесных отходов и льняного масла. Отмечена проблема длительности производственного процесса. Представлены методики введения эпоксидных групп в льняное масло. Приведены результаты отверждения эпоксидированного льняного масла, анализ которых показал, что время производственного процесса сокращается в несколько раз.

Табл. 2. Библиогр. – 3 назв.

УДК 621.792.053:678.061

Гайдук С. С. **Исследование тиксотропных свойств клеевых материалов на основе поливинилацетата** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. – С. 130–134.

Работа посвящена изучению тиксотропных свойств клеевых материалов. Данные исследования проводились с целью улучшения эксплуатационных свойств отечественных поливинилацетатных клеев до уровня европейских аналогов. В работе представлен комплексный анализ модифицированных клеевых материалов как с точки зрения свойств жидкого материала, так и свойств клеевого соединения на его основе. По результатам эксперимента были получены две клеевые композиции, которые можно рекомендовать к производственному применению.

Табл. 2. Ил. 8. Библиогр. – 4 назв.

УДК 674.048.5

Леонович О. К., Судникоич С. П. **Исследование прочностных и теплофизических свойств деревянных строительных конструкций** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. – С. 135–137.

Исследована прочность клеевых соединений бруса клееного многослойного после огнебиозащитной обработки его гидрофильными и гидрофобными средствами при различных температурах и определены теплотехнические характеристики деревянных строительных конструкций, склеенных меламино-мочевиноформальдегидными и фенолорезорциновыми клеями. В соответствии с СТБ EN 335-1-2009 исследована возможность применения деревянных строительных конструкций, подверженных постоянному намоканию. Установлено расчетное сопротивление ограждающей конструкции из древесины сосны. Предложен вариант многослойной наружной стеновой панели для домов каркасного типа.

Табл. 2. Ил. 2.

УДК 620.1,699.8

Федосенко И. Г. **Идентификация деградированной древесины по степени разрушения** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. – С. 138–140.

В статье рассмотрены и проанализированы основные способы идентификации степени разрушения древесины, которые применяются в мировой практике при обследовании деревянных объектов, а также планирования мероприятий по их защите и восстановлению.

Библиогр. – 4 назв.

УДК 699.8

Федосенко И. Г. **Укрепление древесины архитектурных памятников** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. – С. 141–142.

В статье рассмотрены и проанализированы основные способы укрепления древесины архитектурных памятников. Рассмотрены уникальные способы обработки крупных деревянных объектов без их разборки. Предложены специальные составы для укрепления структуры деградированной древесины, даны рекомендации по их применению.

Библиогр. – 2 назв.

УДК 674.048

Божелко И. К. **Моделирование ножа для накалывания шпал** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. – С. 143–145.

Рассматривается наколочный станок для глубокой пропитки шпал. Он состоит из вращающихся барабанов с ножами. Оптимальные геометрические параметры ножа определены с помощью компьютерного моделирования. Они позволяют накалывать шпалы повреждений, вырывов и трещин древесины. Накалывание существенно улучшает качество пропитки еловых шпал. Срок эксплуатации таких шпал увеличивается.

Табл. 1. Ил. 4. Библиогр. – 4 назв.

УДК 674.04.047.3

Рудак О. Г., Мазаник Н. В., Снопков В. Б. **Применение математического моделирования для определения продолжительности начального прогрева в ненасыщенной среде** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. – С. 146–149.

В статье приведены результаты эксперимента по прогреву древесины в ненасыщенной среде. На основе экспериментальных данных разработана математическая модель процесса прогрева. Показано, что использование модели позволяет существенно повысить достоверность определения продолжительности данной операции.

Табл. 4. Ил. 3. Библиогр. – 2 назв.

УДК 674.04.047.3

Рудак О. Г., Дорошко В. В., Мазаник Н. В. **Влияние технологических факторов на продолжительность начального прогрева замороженной древесины** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. – С. 150–152.

Проведено исследование влияния различных технологических факторов на продолжительность начального прогрева замороженной древесины. Получены уравнения, связывающие продолжительность прогрева с показателями базисной плотности, влажности и размерными характеристиками обрабатываемых пиломатериалов, их начальной и конечной температурой.

Табл. 4. Библиогр. – 2 назв.

УДК 674.023

Аникеенко А. Ф., Фридрих А. П., Сороченко Я. И. **Методика определения экономической эффективности обработки ламинированных ДСтП методом фрезерования** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. – С. 153–156.

В статье рассмотрены существующие методики расчета технологических режимов обработки фрезерования натуральной древесины и древесных композиций и их основные недостатки в разрезе современного производства, силообразования, затупления и качества поверхности при фрезеровании инструментов. Проведены исследования в направлении моделирования влияния основных переменных факторов на путь контакта резца в объекте обработки, длину без дефекта обработанных кромок ламинированных древесностружечных плит, продолжительность работы инструмента до потери его работоспособности и мощность, затрачиваемую на процесс резания. Предложены новые методика и алгоритм расчета рациональных режимов фрезерования древесностружечных ламинированных плит.

Табл. 2. Библиогр. – 1 назв.

УДК 674.055:621.934(043.3)

Гришкевич А. А., Гаранин В. Н., Бавбель И. И. **Особенности нанесения износостойких покрытий методом катодноионной бомбардировки на твердосплавные неплетачиваемые пластины** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. – С. 157–158.

Разработана программа проведения исследования дереворежущих инструментов с износостойкими режущими элементами. Проведен анализ способов упрочнения ножей фрезерного инструмента для обработки древесных плитных материалов и выбран один из наиболее эффективных способов с учетом имеющегося в наличии на кафедре оборудования. Разработаны методы восстановления режущих свойств изношенных двухлезвийных твердосплавных фрезерных ножей. Изготовлены и проверены на производстве образцы ножей для получения эффективности метода упрочнения. Упрочненные ионно-плазменными TiN-, ZrN-покрытиями импортные двухлезвийные ножи из WC-Co твердого сплава, применяемые для резания ламинированных ДСтП станками и центрами с ЧПУ, имеют период стойкости в 1,3–1,4 раза больше по сравнению с необработанными ножами, что является важным результатом проделанной работы.

Ил. 1. Библиогр. – 2 назв.

УДК 674.053

Лукаш В. Т., Гриневич С. А., Гришкевич А. А., Углыница А. Н. **Удельная работа резания при раскрое ламинированных древесностружечных плит (ЛДСП) дисковыми пилами** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. – С. 159–162.

Обеспечение качественного раскроя ламинированных древесностружечных плит дисковыми пилами с пластинами твердого сплава является серьезной проблемой в мебельной промышленности. Для ее решения разрабатываются новые профили зубьев пил, новые инструментальные материалы, оптимизируются режимы обработки. При этом внедрение каждого нового профиля требует проведения исследований сил резания, мощности, технологической стойкости инструмента и, как результат, разработки рекомендаций для производства.

В статье приведены результаты расчета по экспериментальным данным удельной работы резания при раскрое ламинированных древесностружечных плит твердосплавными пилами с плоскотрапециевидным профилем зуба. Удельная работа резания для тех же условий также была рассчитана по устоявшейся в деревообработке методике. Сравнительный анализ показал, что зависимости имеют идентичный характер, но существенно отличаются численными значениями.

Ил. 5. Библиогр. – 11 назв.

УДК 674.914:674.338

Раповец В. В., Гришкевич А. А., Гаранин В. Н. **Экспериментальные исследования периода стойкости ножей фрез для агрегатной обработки древесины** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. – С. 163–166.

В статье содержатся результаты экспериментальных исследований по определению периода стойкости двухлезвийных ножей, упрочненных методом КИБ, путем нанесения износостойких TiN-, ZrN-покрытий. Представлена методика проведения производственных испытаний ножей, рассчитаны значения приращения радиуса округления режущей кромки ножа при прохождении им пути резания в 1 м, которые позволяют прогнозировать период стойкости исследуемых ножей. Подтверждена целесообразность и эффективность применения упрочняющих технологий на ножах фрез для агрегатной обработки древесины.

Табл. 1. Ил. 3. Библиогр. – 7 назв.

УДК 674.05

Фридрих А. П., Костюк О. И. **Влияние пород древесины на мощность резания при шлифовании** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. – С. 167–170.

Статья посвящена особенностям обработки древесины методом шлифования. В данной статье рассматривается исследование влияния пород древесины на мощность резания при переменных режимах шлифования, таких как скорость резания, скорость подачи, припуск на обработку, длина шлифуемой поверхности и т. д.

В работе описан характер влияния различных пород древесины на показатель мощности.

Ил. 6. Библиогр. – 2 назв.

УДК 621.79:674.05

Алифанов А. В., Милюкова А. М., Бурносков Н. В. **Модернизированная конструкция биметаллической заготовки осевого режущего инструмента** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. – С. 171–173.

Разработаны и научно обоснованы новые конструкции биметаллических заготовок различного осевого дерево- и металлорежущего инструмента, получаемых совместным горячим выдавливанием из инструментальных сталей (Р6М5 и 40Х). Различие предлагаемых конструкций заготовок связано с назначением соответствующих инструментов. Применяемая ресурсосберегающая технология получения биметаллических заготовок инструмента позволяет уменьшить расход быстрорежущей стали, увеличить прочность соединения рабочей и хвостовой частей заготовок.

Ил. 3. Библиогр. – 5 назв.

УДК 621.7.001.573:004

Баршай И. Л., Глубокий А. С. **Моделирование и оптимизация формирования геометрической структуры поверхности деталей из стали при иглофрезеровании** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. – С. 174–176.

Данная работа относится к отрасли машиностроения. Рассматривается такой способ обработки, как иглофрезерование, которое имеет схожие черты с фрезерованием и шлифованием. Иглофрезерование может использоваться в качестве отделочной операции. Для того чтобы получить требуемые геометрические параметры поверхности, необходимо правильно выбрать режимы резания. Режимы резания в иглофрезеровании

являются: скорость резания, подача и натяг в системе инструмент – заготовка. В данной статье изучается влияние режимов резания на геометрические параметры. В частности, установлено, что рост скорости резания и снижение подачи ведут к увеличению значений параметров шероховатости. Также построена модель оптимизации для выбора оптимальных режимов резания при заданной величине конкретного параметра шероховатости.

Табл. 2. Библиогр. – 13 назв.

УДК 674.055:621.92

Казакова А. В., Корелин Д. В., Новосёлов В. Г. **Выбор шлифовального круга на основе пенополиуретана для обработки деревянных деталей по результатам исследования эксплуатационных свойств** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 177–179.

Задача исследования – определение наилучшего варианта круга по трем переменным параметрам: засаливаемости, удельному расходу круга и мощности резания. Эксперименты проводились на строганных сосновых заготовках. Для определения наилучшего из испытываемых образцов шлифовальных кругов была применена процедура дискретной оптимизации на пространстве исследуемых параметров. В качестве целевой функции принята сумма взвешенных рангов этих параметров. Значения рангов параметров каждого образца шлифовального круга вычислялись из условия максимизации целевой функции. Установлено, что максимальное значение целевая функция приобретает у образца шлифовального круга № 8, обладающего в соответствии с принятыми критериями и их весовыми коэффициентами наилучшим сочетанием исследованных параметров.

Табл. 2. Ил. 4. Библиогр. – 1 назв.

УДК 674.053:621.933.61:62-192

Кириченко В. М., Шабалин Л. А. **Напряженно-деформированное состояние пильных рамок** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 180–181.

Задача исследований – выявление причин поломок пильных рамок на выпускаемых тарных одношатунных лесопильных рамах. По результатам полученных исследований проектировщики и завод-изготовитель создали и выпустили принципиально новую тарную двухшатунную лесопильную раму с качанием пильной рамки и дальнейшим проведением на одном из ее образцов комплексных исследований напряженно-деформированного состояния и динамической нагруженности всех элементов кривошипно-шатунного механизма резания, в том числе и пильной рамки. По результатам полученных исследований заводу-изготовителю была предложена облегченная конструкция пильной рамки с измененными верхними захватами пил, что дало возможность увеличить частоту вращения коленчатого вала на 4%.

Ил. 2. Библиогр. – 1 назв.

УДК 674.055:621.92

Рогожников И. Т., Новосёлов В. Г. **Об участии лезвий многолезвийного инструмента в формировании поверхности при фрезеровании древесины** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 182–184.

Шероховатость получаемой поверхности при продольном цилиндрическом фрезеровании формируется совокупностью кинематической волнистости и неровностей разрушения древесины. При неодинаковых радиусах резания отдельные резцы могут не принимать участия в окончательном формировании поверхности. Важно знать, будут ли в этом случае лезвия с меньшим радиусом участвовать в процессе срезания стружки. Проведено теоретическое исследование и получена формула допускаемой разности радиусов резания резцов, сформулированы условия участия лезвий многолезвийного инструмента в формировании обработанной поверхности древесины: режут и формообразуют все резцы; все резцы режут, хотя формообразуют не все; некоторые резцы режут, хотя формообразует один; один резец режет и формообразует.

Ил. 2. Библиогр. – 4 назв.

УДК 674.05:621.914.1

Полякова Т. В., Новосёлов В. Г. **Влияние жесткости системы «станок – приспособление – инструмент – деталь» на точность продольного цилиндрического фрезерования древесины** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 185–187.

Для оценки влияния жесткости системы СПИД на точность обработки заготовок проведены исследования деформаций валов верхней и левой боковой ножевых головок четырехстороннего продольно-фрезерного станка «Beaver 523». Сила определялась динамометром сжатия, для измерения деформации использовалась стойка с индикатором часового типа. Измерения проводились при нагружении и разгрузке трехкратно, по усредненным значениям построены соответствующие графики зависимости силы и деформации. Расчет

определены возможные при работе станка средние и мгновенные силы резания. Установлено, что под действием максимальной мгновенной силы резания динамический прогиб на конце вала у верхней ножевой головки составит 0,023 мм, а у левой боковой 0,003 мм, что на порядок меньше, чем допускаемое по нормам точности отклонение размера детали. Следовательно, величиной динамического прогиба валов данного станка, влияющей на точность обработки, можно пренебречь.

Ил. 3. Библиогр. – 4 назв.

УДК 674.05+621.9

Щепочкин С. В., Пашков В. К. **Режимы пиления древесины в круглопильных станках по критерию теплостойкости материала инструмента** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 188–192.

Приведены результаты экспериментальных исследований по определению среднего значения коэффициента теплоотдачи зуба, распределению температуры по его высоте и зависимости температуры резания от мощности резания. Значения коэффициентов теплоотдачи зубьев пилы определены методом полного факторного эксперимента. Разработаны формулы для расчета скорости подачи в круглопильных станках с учетом температуры резания для продольного и поперечного пиления древесины. Применение режимов пиления круглыми пилами по теплостойкости материала инструмента позволит уменьшить аварийный расход круглых пил, оптимизировать режимы пиления, снизить затраты на подготовку инструмента.

Табл. 2. Ил. 2. Библиогр. – 5 назв.

УДК 674.055:621.914.28

Мухин А. А., Новосёлов В. Г. **Сборная фреза для обработки древесины с тангентальным расположением ножей** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 193–195.

При упрочнении лезвий режущего инструмента поверхностными методами (ХТО, лазерная, ионная, электроискровая обработка) возникает необходимость сохранения слоя упрочненного материала при переточках. Поскольку износ лезвий происходит в основном по задней грани, то при заточке инструмента по задней грани срезается и упрочненный слой. Заточка по передней грани сохраняет упрочненный слой материала лезвия, но резко снижает количество возможных переточек. Совместить требование сохранения упрочненного слоя и полного возможного количества переточек возможно изменением расположения лезвий с традиционного радиального на тангентальное. Проведено теоретическое исследование зависимостей и определено допустимое сочетание геометрических характеристик сборных фрез предлагаемой конструкции. Подана заявка и получено решение Роспатента о выдаче патента на полезную модель. Выполнено рабочее проектирование и изготовлены опытные образцы сборных фрез.

Табл. 1. Ил. 5. Библиогр. – 2 назв.

УДК 674.023

Глебов И. Т., Глебов В. В. **Шероховатость кромок фанеры, обработанных резанием** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 196–198.

Экспериментально показано, что глубина микронеровностей кромок фанеры, обработанных фрезерованием или строганием, зависит от толщины срезаемого слоя и угла перерезания волокон древесины лицевого слоя. Фрезерование кромок выполнялось на станке цилиндрической фрезой диаметром $D = 125$ мм при глубине фрезерования $t = 1$ мм и толщинах срезаемых слоев $a = 0,05; 0,08; 0,10; 0,15; 0,20$ мм.

Ил. 3. Библиогр. – 3 назв.

УДК 674.055: 621.914.2

Абдулов А. Р., Новосёлов В. Г. **Износостойкость стальных ножей при черновом фрезеровании древесины** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 199–201.

При изготовлении бруса, сращенного по длине, на первом этапе производится черновое фрезерование для вскрытия сучков и дефектов, подлежащих последующему выпиливанию. Такая обработка производится с минимальными припусками и, как правило, на засоренных пылью поверхностях, что сопровождается значительным трением и повышенным изнашиванием лезвий инструмента. С целью определения характеристик изнашивания инструмента и потребляемой электродвигателем мощности при таком виде обработки были проведены экспериментальные исследования на четырехстороннем строгальном станке. Для определения радиуса округления режущей кромки применялся метод слепков. Измерение мощности на резание производилось в одной из фаз электродвигателя с помощью клещей-ваттметра. Установлено, что произошло снижение периода стойкости инструмента в 10-30 раз по сравнению с обработкой не засоренной древесины. По мере затупления инструмента мощность, необходимая на резание, потребляемая электродвигателем, возросла с 0,94 до 1,24 кВт, то есть на 31%.

Ил. 4. Библиогр. – 3 назв.

УДК 537.525.7:621.762

Карпович Д. С., Дадько П. Д., Лилин А. Г., Карпович С. И. **Повышение эксплуатационных показателей ножей рубильных машин при заготовке топливной щепы и результаты их производственных испытаний** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообр. пром-сть. – С. 202–204.

В статье приведены результаты производственных испытаний ножей рубильных машин в лесхозах Республики Беларусь. По результатам испытаний ножей из низко- и среднелегированных сталей с применением технологии поверхностного упрочнения предложены комплексные мероприятия, направленные на улучшение эффективности процесса заготовки топливной щепы.

Ил. 3.

УДК 539.374

Макаревич С. С., Дорожко А. В. **Остаточные напряжения при упруго-пластическом внецентренном растяжении** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообр. пром-сть. – С. 205–207.

Предложена методика определения остаточных напряжений при упруго-пластическом внецентренном растяжении. Получены зависимости, позволяющие определить смещение нейтральной линии, величину растягивающей силы и остаточные напряжения, соответствующие заданным границам пластических деформаций.

Ил. 1. Библиогр. – 1 назв.

УДК 674.055

Рудак П. В., Ласовский Р. Н., Балтрушайтис А., Кятуракис Г. **Закономерности движения частиц стружки и пыли при выходе из зоны фрезерования плитных материалов** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 208–210.

В статье приводятся результаты моделирования процесса движения частиц стружки и пыли при выходе из зоны резания плитных древесных материалов в процессе фрезерования. Установлено влияние угла наклона кромки на угол схода стружки, скорость движения стружки вдоль лезвия и скорость выхода стружки из зоны резания, влияние частоты вращения фрезы на угол схода стружки.

Ил. 6. Библиогр. – 2 назв.

УДК 674.055

Рудак П. В., Рудак О. Г., Балтрушайтис А., Кятуракис Г. **Анализ фракционного состава стружки в зависимости от режимов фрезерования древесностружечных плит** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 211–213.

В статье приводятся методика и анализ результатов фракционного состава стружки в зависимости от режимов фрезерования древесностружечных плит на основе сухого ситового анализа с ручным просевом. Установлено, что при фрезеровании древесностружечных плит распределение размеров частиц стружки описывается кривыми, близкими к кривым нормального закона распределения.

Ил. 4. Библиогр. – 1 назв.

УДК 621.762.2

Свидунович Н. А., Окатова Г. П., Урбанович В. С., Рудак П. В., Товстыко Ю. А. **Особенности структурного состояния композита на основе нанокремнезема, полученного при термобарической обработке** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 214–215.

Из порошков углеродных материалов и карбонильного железа в соотношении С-90 мас. % методом высокотемпературной интенсивной пластической деформации изготовлены композиционные материалы, было изучено структурное состояние полученных материалов различными методами исследований.

Ил. 2. Библиогр. – 4 назв.

УДК 669.24/29.018:[539/25+539/26]

Куис Д. В., Свидунович Н. А., Окатова Г. П., Волочко А. Т., Ласковнев А. П., Лежнев С. Н. **Особенности структурного состояния лигатур Al-C** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 216–218.

В работе приведены результаты исследования структурообразования лигатур Al-C, полученных с использованием фуллеренов C₆₀, фуллеренсодержащей сажи, фуллереновой черни и микрокристаллического углерода.

Ил. 3. Библиогр. – 3 назв.

УДК 621.793

Соколов И. О., Газбан З. Э., Пискунова О. Ю. **Упрочнение деталей деревообрабатывающего оборудования газотермическим напылением** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревооб. пром-сть. – С. 219–222.

В статье проанализированы условия работы валов деревообрабатывающего оборудования, в результате выявлено, что лимитирующей ресурс валов является опорная поверхность, подвергающаяся фреттинг-коррозии. Результаты исследования позволили определить эффективный способ повышения ресурса опорной поверхности нанесением износостойкого газотермического покрытия при условии обеспечения достаточной прочности сцепления с основой.

Ил. 2. Библиогр. – 2 назв.

УДК 621.185.554

Царук Ф. Ф., Бельский С. Е., Блохин А. В. **Влияние химического состава графитизированных сталей на усталостные характеристики при высокочастотном нагружении** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревооб. пром-сть. – С. 223–224.

Показано использование высокочастотного циклического нагружения как метода ускорения усталостных испытаний материалов на примере исследования влияния содержания углерода, кремния и меди на характеристики графитизированных сталей. Установлено разнонаправленное влияние исследованных элементов на усталостные свойства данных сталей.

Ил. 4. Библиогр. – 2 назв.

УДК 674.023

Дулевич А. Ф., Киселёв С. В. **Определение напряжений в полотне ленточной пилы от действия направляющих устройств** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревооб. пром-сть. – С. 225–227.

В статье рассмотрен аналитический метод определения напряжений в полотне ленточной пилы от действия роликовых направляющих устройств. Разработана расчетная схема, составлены уравнения гибкой линии стержня и найдены их решения. Определены величины напряжений для различных параметров установки направляющих роликов.

Ил. 3. Библиогр. – 2 назв.

УДК 621.785.532

Пищов М. Н., Бельский С. Е., Сурус А. И. **Влияние остаточных напряжений после химико-термической обработки на износостойкость упрочненных поверхностей** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревооб. пром-сть. – С. 228–229.

Исследованы остаточные напряжения в упрочненном комплексным борированием слое деталей зубчатых колес трансмиссий лесных машин, а также их влияние на износостойкость поверхностного слоя. Результаты проведенных сравнительных стендовых испытаний на износ зубчатых колес подтверждают возможность упрочнения комплексным борированием с использованием разработанного состава рабочих поверхностей зубьев деталей трансмиссии трелевочных тракторов для повышения их износостойкости.

Ил. 2. Библиогр. – 2 назв.

УДК 621.185.532

Блохин А. В., Лось А. М., Царук Ф. Ф. **Расширение области применения вторичных литейных алюминиевых сплавов для изготовления деталей мобильных машин** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревооб. пром-сть. – С. 230–231.

В работе рассмотрена проблема расширения области применения вторичных алюминиевых сплавов. Предлагается использовать такие материалы для изготовления деталей, работающих в условиях циклического нагружения. Для повышения характеристик усталости на заготовке кронштейна педали тормозной была опробована термоциклическая обработка. Последующие испытания образцов-свидетелей, подвергнутых аналогичной обработке, показали, что их циклическая долговечность увеличилась в 1,4–1,5 раза по сравнению с образцами, подвергнутыми термической обработке по технологии T5.

Ил. 2. Библиогр. – 5 назв.

УДК [712.5(282.3):627.8.059.22]:[519.2:311]

Касперов Г. И., Левкевич В. Е., Пастухов С. М., Бузук А. В. **Состав и структура электронной базы гидротехнических сооружений водохранилищ Республики Беларусь** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревооб. пром-сть. – С. 232–233.

Приведены описание, а также состав и структура базы данных гидротехнических сооружений искусственных водных объектов, разрабатываемой с целью проведения дальнейшей оценки риска возможных аварийных ситуаций на этих объектах.

Табл. 4. Библиогр. – 2 назв.

УДК 634.0.323

Жарков Н. И., Гиль В. И. **Применение иглофрезерного инструмента для окорки круглых лесоматериалов** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. – С. 234–235.

Одним из важнейших видов работ на лесопромышленных и деревообрабатывающих предприятиях является окорка круглых лесоматериалов. Традиционные способы окорки и технологическое оборудование для них не всегда удовлетворяют потребителя, так как не позволяют регулировать степень удаления коры. Для устранения этих недостатков авторами предложен новый инструмент, работа которого основана на процессе иглофрезерования. Предложенная цилиндрическая иглофреза проста по устройству и отличается невысокой стоимостью, ее работоспособность подтверждается расчетами.

Ил. 2. Библиогр. – 1 назв.

УДК 544.54:674

Перетрухин В. В., Чернушевич Г. А. **Особенности мониторинга радиационной безопасности на ОАО «Ивацевичдрев»** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. – С. 236–237.

В статье приведен анализ степени радиоактивного загрязнения территории лесного фонда Республики Беларусь. Рассмотрены особенности организации и проведения радиационного мониторинга на ОАО «Ивацевичдрев» с целью оценки обеспечения норм радиационной безопасности работников и предотвращения ухудшения радиационной обстановки при использовании древесного сырья и местного топлива, загрязненных радионуклидами. Раскрыты направления решения этой проблемы путем измерения удельной активности цезия-137 в древесном сырье и изделиях из древесины, мощности дозы внешнего облучения и плотности потока бета-частиц на рабочих местах с помощью дозиметров и радиометров.

Табл. 1. Библиогр. – 2 назв.

УДК 630*332:331.45

Гармаза А. К. **Обеспечение безопасности при машинной заготовке древесины** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. – С. 238–239.

В статье приведен анализ травматизма в лесной отрасли. В связи с переходом на машинную заготовку древесины повышаются требования к квалификации работников, в том числе и по охране труда. Описаны основные требования, предъявляемые к машинистам многооперационной лесозаготовительной техники, а также требования охраны труда при выполнении технологических операций при машинной заготовке древесины.

Библиогр. – 1 назв.

УДК 613.6:674

Ладик Б. Р., Ермак И. Т. **Оценка условий труда при аттестации рабочих мест по вибра-акустическим факторам** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. – С. 240–241.

Измерение и оценка фактических уровней шума и вибрации при проведении аттестации рабочих мест имеют свои особенности. Оценка постоянного шума проводится как по уровням звукового давления в октавных полосах частот, так и по уровню звука (дБА). Оценка непостоянного шума проводится по результатам измерения эквивалентного уровня звука интегрирующим шумомером. При воздействии в течение рабочего времени на работника шумов с разными временными (постоянный, непостоянный – колеблющийся, прерывистый, импульсный) и спектральными (широкополосный, тональный) характеристиками в различных сочетаниях измеряют или рассчитывают эквивалентный уровень звука. Измерение и оценка параметров общей и локальной вибрации проводится методом интегральной оценки по частоте или частотным анализом нормируемого параметра.

Табл. 1. Библиогр. – 4 назв.

УДК 929(476)+625.7(092)

Вырко Н. П. **Более полвека рядом** // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. – С. 242–244.

Посвящается 60-летию работы в высшей школе профессора, доктора технических наук, заслуженного деятеля науки и техники БССР Леоновича Ивана Иосифовича. Дан анализ его педагогической, научной и административной работы. Отмечается огромный вклад И. И. Леоновича в решение проблемы лесопромышленного и дорожно-транспортного комплекса, развития высшей школы и среднего специального образования, подготовку инженерных кадров для лесной и дорожной отрасли, подготовку кадров высшей квалификации.

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ	3
ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС. ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ	3
Федоренчик А. С. Формирование мобильных систем машин для комплексной переработки древесного сырья	3
Федоренчик А. С. Оценка применимости лесных машин «Амкодор»	10
Гороновский А. Р., Мохов С. П., Пищов С. Н., Арико С. Е. Оценка напряженно-деформированного состояния ведущих мостов автотранспортной техники МАЗ	14
Лой В. Н., Германович А. О. Моделирование работы самоходной рубильной машины с автономным двигателем	18
Тумашик И. И. Вырко Н. П. Способы повышения несущей способности лесных дорог, устроенных на несвязных грунтах	22
Вырко Н. П., Леонович И. И., Демидко М. Н. Динамика развития водно-теплового режима грунта земляного полотна	25
Вавилов А. В., Моисеев А. О. Предпосылки создания мульчера для расчистки лесных площадей	26
Матвейко А. П. Инновационная технология производства древесного топлива для энергетических целей непосредственно на лесосеках	29
Насковец М. Т., Корин Г. С., Драчиловский А. И. Применение геотекстильного материала «Спанбел» при строительстве опытных объектов лесных дорог второстепенного значения и результаты их испытаний	31
Красковский С. В. Методика расчета на прочность конструкций лесных дорог, упрочненных объемными георешетками	34
Лыщик П. А., Науменко А. И. Требования к укрепленным дорожным грунтам	36
Лыщик П. А., Плышевский С. В., Науменко А. И. Использование комплексного вяжущего для укрепления грунтов земляного полотна лесных автомобильных дорог	39
Лыщик П. А., Бавбель Е. И. Современные подходы к проектированию и строительству лесных автомобильных дорог	43
Клоков Д. В. Оценка нагрузочных режимов трансмиссий погрузочно-транспортных машин «Беларус»	45
Пищов С. Н., Арико С. Е., Мохов С. П., Манько А. В. Результаты экспериментальных исследований устойчивости автомобиля МАЗ повышенной проходимости	47
Бавбель Е. И., Селезнева Т. С. Новые возможности применения наземного лазерного сканирования при изысканиях объектов строительства	49
Протас П. А. Завойских Г. И., Федоренчик А. С. Классификация ветровально-буреломных лесосек с учетом эксплуатационных особенностей их освоения	51
Протас П. А. Применение наследственной теории упругости Больцмана – Вольтерра для оценки напряженно-деформированного состояния лесотранспортных путей	53
Леонов Е. А. Повышение устойчивого обеспечения энергообъектов топливной щепой в течение года	55
Леонов Е. А. Оценка экономического эффекта от применения складов древесного топлива оптимальной вместимости	57
Арико С. Е., Мохов С. П., Симанович В. А., Федоров Д. А. Методика определения параметров харвестерной головки	59

Лось А. М., Блохин А. В. Расчет основных параметров кониковых устройств проектируемого сортиментовоза	61
Короленя Р. О. Оценка эффективности процесса перевозок древесины при организации работы лесовозного автотранспорта на комбинированных маршрутах	63
Голякевич С. А. Математическая модель для оценки нагруженности несущих конструкций многооперационных лесозаготовительных машин	65
Голякевич С. А. Анализ эксплуатационных режимов работы многооперационных лесозаготовительных машин	72
Германович А. О. Оценка параметров технологического и тягового модулей рубильной машины на самоходном шасси	79
Драчиловский А. И. Теоретические аспекты взаимодействия насыпей с грунтовыми основаниями	83
Леонович И. И., Могилянец Р. И. Роль авиации в лесном хозяйстве Республики Беларусь	86
Мягков Д. Ю., Могилянец Р. И. Применение беспилотных летательных аппаратов для мониторинга состояния лесного хозяйства	89
Могилянец Р. И. Выбор участков автомобильных дорог для вынужденной посадки самолетов	93
Антонов Ю. В., Вырко Н. П., Леонович И. И. Инновации в проектировании плана и продольного профиля лесных автомобильных дорог	97
Leonovich I. I., Krishna Chakhun. Local roads in hills of Nepal and their use in agriculture and forestry	99
Мельникова И. С. Учет наличия трещин и определение трещиностойкости дорожных покрытий при диагностике автомобильных дорог	102
Вавилов А. В., Соколовский Ю. В. Совершенствование системы машин по производству топлива, включая облагороженное, из древесной растительности, удаляемой с объектов строительства	106
ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ	112
Шетько, С. В. Рапинчук Д. Л. Инновационная технология конструкционных элементов для деревянного домостроения из пиломатериалов низших сортов	112
Игнатович Л. В., Утгоф С. С., Бут-Гусаим А. М. Технология многослойных паркетных покрытий с лицевым слоем из уплотненной древесины мягких лиственных пород	114
Прохорчик С. А., Гайдук С. С. Модификация клеевого состава для клеевых элементов деревянных дверных полотен	119
Бахар Л. М. Влияние химической активности поверхности древесины на адгезионную прочность лакокрасочных покрытий	122
Влащенко, Н. М., Пардаев А. С. Исследование прочности деревянных конструкций методом конечных элементов	124
Ширяев В. В., Шетько С. В. Интенсификация процесса отверждения льняного масла при производстве композиционных материалов	127
Гайдук С. С. Исследование тиксотропных свойств клеевых материалов на основе поливинилацетата	130
Леонович О. К., Судникович С. П. Исследование прочностных и теплофизических свойств деревянных строительных конструкций	135
Федосенко И. Г. Идентификация деградированной древесины по степени разрушения	138
Федосенко И. Г. Укрепление древесины архитектурных памятников	141
Божелко И. К. Моделирование ножа для накалывания шпал	143
Рудак О. Г., Мазаник Н. В., Снопков В. Б. Применение математического моделирования для определения продолжительности начального прогрета в ненасыщенной среде	146
Рудак О. Г., Дорожко В. В., Мазаник Н. В. Влияние технологических факторов на продолжительность начального прогрета замороженной древесины	150

ОБЩЕИНЖЕНЕРНЫЕ ВОПРОСЫ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА	153
Аникеев А. Ф., Фридрих А. П., Сороченко Я. И. Методика определения экономической эффективности обработки ламинированных ДСтП методом фрезерования	153
Гришкевич А. А., Гаранин В. Н., Бавбель И. И. Особенности нанесения износостойких покрытий методом катодно-ионной бомбардировки на твердосплавные неперетачиваемые пластины	157
Лукаш В. Т., Гриневиц С. А., Гришкевич А. А., Угляница А. Н. Удельная работа резания при раскрое ламинированных древесностружечных плит (ЛДСтП) дисковыми пилами	159
Раповец В. В., Гришкевич А. А., Гаранин В. Н. Экспериментальные исследования периода стойкости ножей фрез для агрегатной обработки древесины	163
Фридрих А. П., Костюк О. И. Влияние пород древесины на мощность резания при шлифовании	167
Алифанов А. В., Милюкова А. М., Бурносов Н. В. Модернизированная конструкция биметаллической заготовки осевого режущего инструмента	171
Баршай И. Л., Глубокий А. С. Моделирование и оптимизация формирования геометрической структуры поверхности деталей из стали при иглофрезеровании	174
Казакова А. В., Корелин Д. В., Новосёлов В. Г. Выбор шлифовального круга на основе пенополиуретана для обработки деревянных деталей по результатам исследования эксплуатационных свойств	177
Кириченко В. М., Шабалин Л. А. Напряженно-деформированное состояние пильных рамок	180
Рогожникова И. Т., Новосёлов В. Г. Об участии лезвий многолезвийного инструмента в формировании поверхности при фрезеровании древесины	182
Полякова Т. В., Новосёлов В. Г. Влияние жесткости системы «станок – приспособление – инструмент – деталь» на точность продольного цилиндрического фрезерования древесины	185
Щепочкин С. В., Пашков В. К. Режимы пиления древесины в круглопильных станках по критерию теплостойкости материала инструмента	188
Мухин А. А., Новосёлов В. Г. Сборная фреза для обработки древесины с тангентальным расположением ножей	193
Глебов И. Т., Глебов В. В. Шероховатость кромок фанеры, обработанных резанием	196
Абдулов А. Р., Новосёлов В. Г. Износостойкость стальных ножей при черновом фрезеровании древесины	199
Карпович Д. С., Дадько П. Д., Лилин А. Г., Карпович С. И. Повышение эксплуатационных показателей ножей рубильных машин при заготовке топливной щепы и результаты их производственных испытаний	202
Макаревич С. С., Дорошко А. В. Остаточные напряжения при упруго-пластическом внецентренном растяжении	205
Рудак П. В., Ласовский Р. Н., Балтушайтис А., Кятуракис Г. Закономерности движения частиц стружки и пыли при выходе из зоны фрезерования плитных материалов	208
Рудак П. В., Рудак О. Г., Балтушайтис А., Кятуракис Г. Анализ фракционного состава стружки в зависимости от режимов фрезерования древесностружечных плит	211
Свидуневич Н. А., Окатова Г. П., Урбанович В. С., Рудак П. В., Товстыко Ю. А. Особенности структурного состояния композита на основе нанокремнезема, полученного при термобарической обработке	214
Куис Д. В., Свидуневич Н. А., Окатова Г. П., Волочко А. Т., Ласковнев А. П., Лежнев С. Н. Особенности структурного состояния лигатур Al–C	216
Соколов И. О., Газбан З. Э., Пискунова О. Ю. Упрочнение деталей деревообрабатывающего оборудования газотермическим напылением	219
Царук Ф. Ф., Бельский С. Е., Блохин А. В. Влияние химического состава графитизированных сталей на усталостные характеристики при высокочастотном нагружении	223
Дулевич А. Ф., Киселёв С. В. Определение напряжений в полотне ленточной пилы от действия направляющих устройств	225
Пищов М. Н., Бельский С. Е., Сурус А. И. Влияние остаточных напряжений после химико-термической обработки на износостойкость упрочненных поверхностей	228
Блохин А. В., Лось А. М., Царук Ф. Ф. Расширение области применения вторичных литейных алюминиевых сплавов для изготовления деталей мобильных машин	230

Касперов Г. И., Левкевич В. Е., Пастухов С. М., Бузук А. В. Состав и структура электронной базы гидротехнических сооружений водохранилищ Республики Беларусь	232
Жарков Н. И., Гиль В. И. Применение иглофрезерного инструмента для окорки круглых лесоматериалов	234
Перетрухин В. В., Чернушевич Г. А. Особенности мониторинга радиационной безопасности на ОАО «Ивацевичдрев»	236
Гармаза А. К. Обеспечение безопасности при машинной заготовке древесины	238
Ладик Б. Р., Ермак И. Т. Оценка условий труда при аттестации рабочих мест по виброакустическим факторам	240
ЮБИЛЕИ	242
Вырко Н. П. Более полвека рядом	242
РЕФЕРАТЫ	245