Учреждение образования
«Белорусский государственный
технологический университет»

ТРУДЫ БГТУ

Научный журнал

Издается с июля 1993 года
Выходит один раз в месяц

№ 2 (149) 2012 год

ЛЕСНАЯ И ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Минск 2012

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
Корректор Р. М. Рябая

Подписано в печать 15.06.2012. Формат $60\times84^{1}/_{8}$.
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 31,4. Уч.-изд. л. 33,7.
Тираж 110 экз. Заказ 237.

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.

© УО «Белорусский государственный технологический университет», 2012

ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС. ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ

УДК 630*6

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

ИННОВАЦИОННОЕ ПРОИЗВОДСТВО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЩЕПЫ НА ЛЕСОСЕКЕ

Выполнена лесоэксплуатационная оценка лесосечного фонда ОАО «Витебскдрев». Показана целесообразность заготовки технологической щепы в насаждениях ольхи серой. Обоснованы технология и варианты систем машин для ее заготовки из целых или частей деревьев в условиях лесосеки.

Evaluation of «Vitebskdrev» enterprise forest fund is completed. The efficiency of harvesting wood chips in a gray alder plantations is considered. The foundations of technologies and options for machine systems harvesting of the whole or parts of trees in a logging site are provided.

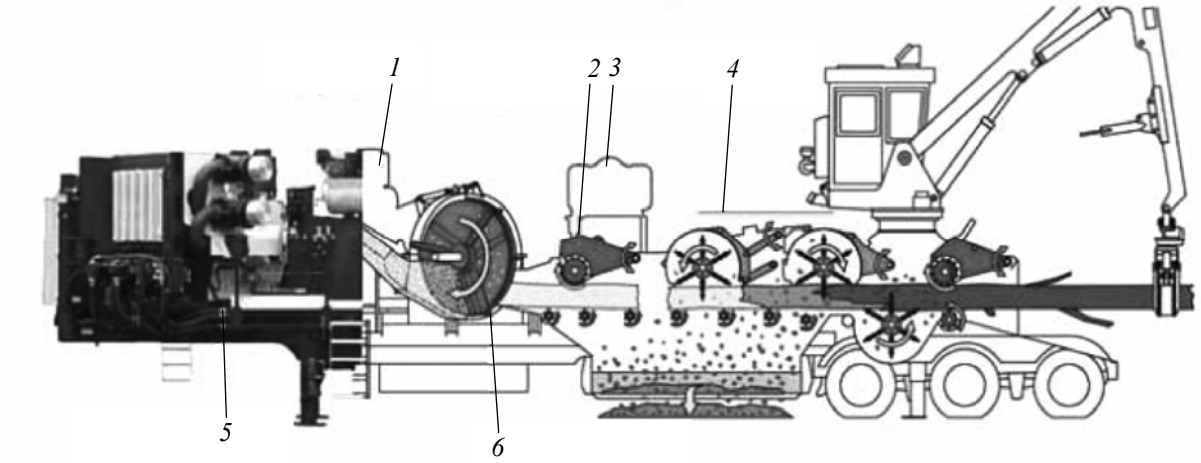
Введение. Внедрение рыночных отношений в лесном комплексе Республики Беларусь привело к тому, что лесозаготовители, независимо от формы собственности и подчиненности, и переработчики древесины конкурируют за долю дохода от государственных лесных ресурсов. Это выражается в установлении рыночных цен на круглые лесоматериалы. Для гарантированного обеспечения древесным сырьем в такой ситуации каждый переработчик решает задачу снижения рыночной неопределенности в поставках сырья как по цене, так и по объему.

Несмотря на ожидаемый в стране рост объема заготовки древесины к 2015 году по всем видам рубок более 170 000 тыс. м^3 [1] в связи со строительством и вводом в действие в данный период ряда крупных заводов по производству древесных плитных материалов (ДСП, МДФ, OSB, ДВП) в ОАО «Ивацевичдрев», ОАО «Витебскдрев», ОАО «ФанДОК», ОАО «Речицадрев», ОАО «Гомельдрев», ОАО «Мостовдрев» суммарной мощностью по переработке сырья 1030 тыс. м^3 [2], решение задачи гарантированного обеспечения сырьем современных заводов химико-механической переработки древесины, строящихся с привлечением значительных иностранных инвестиций, становится еще более актуальной. Положительное решение вопроса может быть обеспечено путем реализации двух стратегий. Стратегия 1: поддерживать заведомо более высокие закупочные цены, чем у конкурентов. Возможности данной стратегии ограничиваются прибыльностью производства. Стратегия 2: создавать вертикально-интегрированную структуру, в состав которой наряду с перерабатывающими предприятиями будут входить лесозаготовительные, обеспечивающие сырьем на длительный срок (например, с помощью механизма долгосрочной аренды лесов), или лесохозяйственные предприятия, обеспечивающие поставки сырья, выведенные из конкурентного поля.

Однако включение лесхозов в состав крупных перерабатывающих предприятий влечет необходимость для них нести дополнительные расходы на лесовосстановление, охрану и защиту леса – иными словами, на ведение лесного хозяйства. Все это отражается на себестоимости конечной продукции и с экономической точки зрения формирует единый технологический процесс от посадки леса до выпуска готовой продукции. В нашей стране первым таким предприятием стало ОАО «Витебскдрев», в состав которого вошли Городокский и Бешенковичский лесхозы с расчетной лесосекой 360 тыс. м^3.

Учитывая, что уже имеющиеся заводы ДСП, ДВП в объединении ОАО «Витебскдрев» и, особенно, строящийся завод ДВП с использованием немецкого оборудования с потребляемой мощностью 140 тыс. м^3 требуют больших инвестиций, логично рассматривать стоимость технологической щепы (исходного сырья для них) как один из существенных источников экономии, повышения конкурентоспособности готовой продукции по ценовому фактору и наращивания экспертного потенциала.

1. Системы производства технологической щепы. С целью снижения затрат на получение конечной продукции проанализируем взаимосвязанную технологическую цепочку от заготовки леса до получения технологической щепы.



Принципиальная схема работы сучкорезно-окорочно-рубительной машины:
1 – воздушный компрессор; *2* – точное регулирование подачи; *3* – водяной бак и насос;
4 – система привода цепей; *5* – двигатель; *6* – диск рубительной машины

В настоящее время в европейских странах наиболее широко распространена технология производства технологической щепы, включающая 14 этапов: 1) заготовка сортиментов харвестерами; 2) подвозка сортиментов на погрузочную площадку; 3) погрузка (штабелевка) сортиментов на лесовозный транспорт; 4) уборка порубочных остатков; 5) утилизация (сжигание) порубочных остатков; 6) доставка сортиментов на заводы потребителя; 7) сбор упавших круглых лесоматериалов; 8) выгрузка лесоматериалов; 9) складирование сортиментов; 10) перемещение бревен по складу к цеху; 11) поштучная выдача бревен на обработку; 12) окорка лесоматериалов; 13) измельчение бревен на технологическую щепу; 14) сортировка щепы.

Крупными и известными производителями бумаги и плит в США, Канаде, Австралии применяется технология производства высококачественной окоренной технологической щепы прямо на лесосеке из целых деревьев (хлыстов) [3].

Производство технологической щепы состоит всего из четырех этапов и на практике выглядит следующим образом. На первом и втором этапах осуществляется заготовка и трелевка деревьев (хлыстов) до промежуточного склада соответственно с помощью валочно-пакетирующих машин и скидеров. На третьем этапе на промежуточном складе устанавливается машина производства компании «Perterson Corp.» (рисунок), выполняющая операции обрезки сучьев, окорки, измельчения целых деревьев в щепу и загрузку технической щепы в щеповоз.

На четвертом этапе осуществляется транспортировка щепы щеповозами к потребителю. Не менее 95% от общего объема произведенной щепы в зимний период содержит коры до 1%, летом – до 0,8%. «Американская» система производства и поставок щепы от лесозаготовителей к переработчику сокращает целый ряд этапов технологического процесса, включая большое количество техники и людей, и позволяет использовать следующие преимущества:

– при выработке щепы из коротких балансов последние резы не позволяют получить щепу нужной длины, и она превращается в отходы, которые можно сократить при измельчении целых стволов;

– снижаются затраты на выработку щепы за счет совмещения операций, уменьшения переместительных операций, исключения трудоемкой работы по производству сортиментов;

– отсутствуют капитальные затраты на строительство цехов по подготовке сырья и измельчения на щепу;

– свежесрубленная древесина легче окаривается, нет проблем с утилизацией коры;

– за счет переработки крон и деревьев малого диаметра, которые раньше не перерабатывались, возрастает выход технологической щепы на 15–20%, отпадает необходимость в очистке лесосек, уменьшаются проблемы возникновения пожаров при их утилизации;

– улучшается экологическая ситуация и достигается экономия затрат при производстве щепы до 10%.

При организации работ системой машин в две смены по 12 ч, или 24 ч в сутки, удается произвести около 900 м^3 технологической щепы высокого качества [3].

2. Лесоэксплуатационная оценка лесосечного фонда ОАО «Витебскдрев». Проанализируем возможность применения «североамериканской» технологии производства щепы в нашей стране на примере ОАО «Витебскдрев». Расчетная лесосека предприятия характеризуется высокой долей мягколиственных пород – 78,2%. Особенно неблагоприятной породной структурой

отличается лесосечный фонд Городокского лесхоза, где на древостои березы, осины, ольхи черной и серой приходится 85% запаса расчетной лесосеки. При этом почти половина эксплуатационных запасов мягколиственных пород приходится на малоценные древостои осины и ольхи серой. Средняя площадь делянок сплошных рубок как для хвойных (2,1 га), так и лиственных (3,3 га) пород весьма мала по сравнению с аналогичными показателями для лесов страны (3,9 и 5,7 га соответственно). Среднее расстояние вывозки леса на нижний склад ОАО «Витебскдрев» составляет около 35 км.

При машинной валке и обрезке сучьев важное значение имеет диаметр ствола дерева, являющийся лимитирующим для пильной шины, величины раскрытия сучкорезных ножей и др. Установлено, что средний диаметр для всех пород, кроме ели, не превысил 26,3 см, для ольхи черной – 23,5 см и ольхи серой – 20,5 см. Количество стволов всех пород в процентах с диаметром 8–20 см для ольхи черной и серой составило соответственно 42,6 и 61,2, с диаметром 24–32 см по аналогии 51,6 и 36,2. В неизреженных древостоях 1–2-го классов бонитетов среднюю их высоту приблизительно можно принять равной среднему диаметру.

В соответствии с разработанной лесоэксплуатационной классификацией [4] распределение лесосечного фонда объединения по типам местности приведено в табл. 1.

Таблица 1

Распределение лесосечного фонда ОАО «Витебскдрев» по типам местности

Объект	Площадь по типам местности, %				
	I	II	III	IV.1	IV.2
Филиал «Бешенковичский лесхоз»	29,0	36,2	5,7	19,0	10,0
Филиал «Городокский лесхоз»	17,0	42,7	6,8	25,2	8,3
ОАО «Витебскдрев»	19,9	41,1	6,5	23,8	8,8
Витебская обл.	18,4	41,8	10,5	15,0	7,2

Как показано в таблице, лесосечный фонд отличается высокой долей (32,6%) четвертого типа местности, который представляет переувлажненные (глеевые) минеральные и торфяно-болотные почвы, наиболее неблагоприятные для лесоэксплуатации – как имеющие низкую несущую способность грунтов и высокий уровень залегания грунтовых вод. Отметим, что сероольховые насаждения произрастают преимущественно на таких почвах.

В этой связи при выборе машин для разработки серо- и черноольховых насаждений с учетом лесоэксплуатационной оценки природно-производственных условий объединения «Витебскдрев» приоритет должен отдаваться машинам:

– исключающим и минимизирующим ручной труд;

– с многоосным колесным движителем, позволяющим при необходимости устанавливать съемные гусеничные ленты для повышения проходимости;

– обеспечивающим, по возможности, заготовку лесоматериалов и утилизацию топливного сырья;

– имеющим срезающую головку и накопительное устройство для одновременного удержания нескольких тонкомерных деревьев.

3. Технология и система машин для производства технологической щепы. Целевым продуктом, получаемым при освоении сероольховых насаждений в объединении, могут быть сортименты, технологическая и топливная щепа. С учетом того, что выход деловых сортиментов при этом невелик, для предприятия наибольший интерес представляет технология заготовки и переработки ольховых насаждений на технологическую щепу. Разработанная и применяемая в странах Северной Америки технология производства окоренной технологической щепы прямо на лесосеке из целых хлыстов, несмотря на видимые преимущества, применительно к условиям ОАО «Витебскдрев» реализована быть не может. Основные причины: невозможность применения в четвертом типе местности тяжелых валочно-пакетирующих гусеничных машин экскаваторного типа и большегрузных скидеров; малые размеры лесосек и эксплуатационные запасы сырья на них, что приведет вследствие большой производительности данных машин к многочисленным их перебазировкам; на лесосеках отсутствуют места для работы сучкорезно-окорочно-рубительных машин; трелевка деревьев от места заготовки до места измельчения скидерами в полупогруженном состоянии приводит к дополнительному загрязнению кроны и части стволов минеральными примесями и ухудшает качество технологической щепы.

Так как в ОАО «Витебскдрев» заболоченные лесосеки чередуются с участками лесосечного фонда, имеющими хорошую несущую способность грунтов и позволяющими создать надежную транспортную сеть, местом работы сучкорезно-окорочно-рубительных машин должны стать промежуточные склады. Сырье, желательно в полностью погруженном состоянии, к ним должно доставляться с нескольких лесосек. Это позволит создать запасы чистого сырья и тем самым обеспечить фронт работы сучкорезно-окорочно-рубительной машины, а также надежную доставку

технологической щепы щеповозами на головное предприятие к цехам по производству плит. В качестве транспортных средств могут использоваться отечественные автопоезда-щеповозы МАЗ-5516 + + МАЗ-8561 или МАЗ-6501А5 + МАЗ-857102 с емкостью кузовов 70 м^3, а также автомобили с механизмом смены контейнеров емкостью 35 м^3 марки МАЗ-6501А3 [5].

Анализ современных конструкций лесных машин [5–7] и принятых к рассмотрению условий их применения показал, что для заготовки сероольховых насаждений, доставки сырья в виде деревьев (частей деревьев) и его измельчения на технологическую щепу могут применяться следующие системы машин.

I. Широкозахватная валочно-трелевочная машина со срезающим устройством ножевого действия с накопителем + сучкорезно-окорочно-рубительная машина.

II. Широкозахватная валочно-трелевочная машина с цепным срезающим устройством и прицепной тележкой + сучкорезно-окорочно-рубительная машина.

III. Широкозахватная валочно-трелевочная машина со срезающим устройством ножевого действия с накопителем и трелевочной лебедкой + бензопила + сучкорезно-окорочно-рубительная машина.

IV. Валочно-пакетирующая машина с накопительной срезающей головкой + скидер + сучкорезно-окорочно-рубительная машина

V. Валочно-сучкорезно-раскряжевочно-трелевочная машина (харвардер) с изменяемой геометрией грузовой платформы + сучкорезно-окорочно-рубительная машина.

С учетом низкой несущей способности грунтов и того, что порубочные остатки не всегда будут использоваться для укрепления трелевочных волоков, базой для данных машин должен являться движитель с колесной формулой 8К8, позволяющий для улучшения проходимости на каждую пару колес надевать гусеничные ленты. Вылет манипулятора с целью увеличения расстояния между трелевочными волоками должен быть не менее 9 м. На лесосеках, где подготовка трелевочных волоков требует больших трудозатрат, с целью их сокращения целесообразно использовать III систему машин. Возможность подтрелевки поваленных бензиномоторной пилой деревьев в зону вылета манипулятора позволит увеличить дополнительно расстояние между пасечными волоками до 60–75 м. Альтернативой предложенной системе машин могут явиться трелевочные канатные установки. Однако из-за большой доли ручного труда при эксплуатации их не рассматривали.

Применение в системах машин с колесным движителем позволяет увеличить эффективное расстояние подвозки сырья на промежуточные склады с нескольких лесосек до 1,5 км. В случае использования скидеров (IV система машин) расстояние может быть большим. Подвозка заготовленной древесины в полностью погруженном состоянии (за исключением IV системы машин) не загрязняет ее минеральными примесями и позволяет получать чистую щепу.

Для заготовки серольховых насаждений в связи с небольшими их диаметрами рекомендуем валочные головки, оборудованные накопителем. Ими возможно производить валку, пакетирование сразу нескольких деревьев или их частей, укладку сформированной пачки в кониковое устройство, погрузку, выгрузку и штабелевку сырья. Они могут агрегатироваться со специализированными (харвестерами, харвардерами, валочно-пакетирующими) или другими (погрузочно-транспортными, общего назначения) машинами. Как правило, головки крепятся на рукояти манипулятора базовой машины и оснащены ножами силового резания. В качестве захвата-накопителя служат от 3 до 7 рычагов. В положении срезания дерева головка обладает устойчивостью, что обеспечивает удержание пачки срезанных деревьев (их частей) в вертикальном положении. Такая конструкция позволяет в зависимости от высоты срезать сероольховые насаждения в два приема. Сначала, на середине дерева, – верхнюю, а затем, с удержанием верхней, оставшуюся часть дерева. Заготовка частей дерева дает возможность транспортировать их в полностью погруженном состоянии. Краткая техническая характеристика новых срезающих головок с накопителем приведена в табл. 2.

Таблица 2

Валочные головки с накопительным устройством

Марка	Основные параметры		
	Максимальный срезаемый диаметр, мм	Возможность подъема пачки деревьев с земли	Эксплуатационная масса, кг
Ponsse EH25	25	да	400
Moipu 400 E	30	да	540
Kesla 1500-40E	32	да	560
Silvatec 235 MD 35	45	нет	615
Log Max 4000	50	нет	620
AFM-45 Corona	50	нет	850

Базовыми машинами, максимально удовлетворяющими заданным условиям эксплуатации и обладающие высоким уровнем эксплуатационной надежности, могут являться: харвестеры фирм «Ponsse», «Entracon», «Silvatec», имеющие колесную формулу 8К8 и вылет манипулятора 9–11 м;

форвардеры фирм «Ponsse» – Wisent, Elk. Buffalo 10 W (колесная формула 10К8), имеющие возможность изменять геометрию грузовой платформы и обеспечивать перевозку частей дерева, а также других фирм: «Entracon», «John Deer», «Valmet», «Амкодор», «Rottne», «Logset» и пр. Все они должны быть оснащены срезающими головками с накопительным устройством и иметь колесную формулу 8К8.

Как правило, разработка сероольховых насаждений машинами следует проводить в зимний период или сухим летом. При петлевой схеме разработки делянки (III тип местности) ее ширину (B) и при кольцевой схеме (IV.1 тип местности) расстояние между магистралями волока (B_1) необходимо выбирать такими, чтобы они были равны кратному числу расстояний, которые необходимы для набора одной пачки:

$$B = B_1 = l + B_б = n\frac{10\,000Q_п}{bq} + B_б,$$

где l – путь, проходимый машиной при наборе пачки, м; $B_б$ – ширина зоны безопасности, м; n – количество пачек, формируемых на одной ленте; $Q_п$ – объем трелюемой пачки, м^3; b – ширина разрабатываемой ленты, м; q – средний запас леса на 1 га, м^3.

Ведущей в системах машин I–V является сучкорезно-окорочно-рубительная машина, которая на промежуточном складе выполняет обрезку сучьев, окорку, измельчение доставленных к ней деревьев (частей деревьев) и загрузку щепы в щеповозы. Конструкция такой машины компании «Peterson Pacific» модели DDC5000-G показана на рисунке. Машина, имеющая длину 15,8 м, выполнена на двухсекционной раме в виде трехосного прицепа. Рама также опирается на четыре гидравлические опоры, что позволяет ей занимать устойчивое рабочее положение. Подачу сырья на обработку в сучкорезно-окорочный отсек манипулятором осуществляет оператор из кабины с системой обогрева и кондиционирования.

Хлыст с помощью двойных подающих роликов, выполняющих функции обрезки сучьев и грубого окаривания, а также 6 роликов нижней подачи сначала перемещается в зону трех вращающихся барабанов, где и происходит его окорка путем нанесения многочисленных ударов по поверхности хлыста цепями, закрепленными на барабанах. Далее хлыст перемещается в рубильный отсек. Получение качественной щепы достигается за счет точной настройки пружинного подающего ролика и диска на определенную скорость и угол поворота ножей для обеспечения требуемой фракции щепы в зависимости от размеров измельченного сырья. Настройка и контроль осуществляются при помощи компьютера. Рубильный диск диаметром 1,67 м выполнен из прочной стали. Полученная технологическая щепа, очищенная сепаратором от загрязняющих веществ, мелких частиц и щепок, по выдвижному поворотному щепопроводу выбрасывается в кузов щеповоза. Установленная мощность двигателя машины 735 кВт, емкость топливного бака – 1048,6 л, емкость гидравлического бака – 1818 л. Сучкорезно-окорочно-рубительная машина конструктивно может состоять из двух самостоятельных блоков (сучкорезно-окорочного и рубительного), выполненных каждый на своей раме-прицепе, и иметь меньшие мощности и производительность.

Заключение. В связи с вводом в действие мощностей по химико-механической переработке в Республике Беларусь резко возрастает спрос на древесное сырье в виде технологической щепы. Сырьевым источником ее получения могут являться сероольховые насаждения, которых ежегодно можно заготавливать более 400 тыс. м^3. Предложенные системы машин и технологии производства технологической щепы в условиях лесосеки для ОАО «Витебскдрев» из сероольховых насаждений являются инновационными и могут быть реализованы в других регионах страны. Выбор варианта системы машин для заготовки 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. – Минск, 2010. – 28 с.

2. Программа социально-экономического развития концерна «Беллесбумпром» на 2011–2015 годы: утв. 05.01.2011. – Минск, 2011. – 45 с.

3. Технологическая щепа высокого качества с минимальными затратами? Гарантируем // ЛесПромИнформ. – 2009. – № 4. – С. 18–20.

4. 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 деревообраб. пром-сть. – 1999. – Вып. VII. – С. 8–12.

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

6. Лесосечные машины в фокусе биоэнергетики: конструкции, проектирование, расчет: учеб. пособие / В. С. Сюнев [и др.]. – Йоэнсуу: НИИ леса Финляндии METLA, 2011. – 143 с.

7. Проспекты зарубежных фирм, производящих лесозаготовительную технику. – 2010–2011.

Поступила 12.03.2012

УДК 630*36.001.6

С. А. Голякевич, аспирант (БГТУ);
А. Р. Гороновский, кандидат технических наук, доцент, проректор (БГТУ)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ МНОГООПЕРАЦИОННЫХ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН С УЧЕТОМ ОГРАНИЧИВАЮЩИХ ФАКТОРОВ

Публикация посвящена исследованию эффективности работы многооперационных лесозаготовительных машин. Предложен комплексный критерий оценки эффективности форвардеров и харвестеров. Проведена оценка эффективности использования форвардера МЛПТ-354 и харвестера МЛХ-414 в различных эксплуатационных условиях. Дан анализ эффективных приемов выполнения операции обрезки сучьев харвестером, а также рекомендации по эффективному использованию совмещения операций.

The work is devoted to the study of the effectiveness multioperational harvesting machines. A comprehensive evaluation of the effectiveness criterion forwarders and harvesters. The efficiency of the forwarder MLPT-354 and harvester MLH-414 in various operating conditions. The analysis of the effective methods of operation limbing harvester. The recommendations for the effective use of combining operations.

Введение. Эффективность параметров конструкции и привода многооперационных лесозаготовительных машин определяется возможностью их производительной, экономичной и безотказной работы в заданных эксплуатационных условиях. Для выбора параметров часто используют разрозненные методики оценки энергоемкости операций [1], производительности [2] и нагруженности машин при их выполнении. Однако условия эксплуатации, приемы выполнения операций и сами параметры машины оказывают различное, нередко противоположное влияние на названные показатели. Это делает затруднительным как раздельное, так и совместное их использование в качестве оценочных критериев.

Основная часть. Для оценки эффективности многооперационных лесозаготовительных машин разработан критерий энергетического потенциала производительности (ЭПП), который определяется как отношение полезно используемой мощности $N_{\text{полезн}}$ к продолжительности выполнения операций технологического цикла $T_{\text{ц}}$.

Ранее подобный критерий уже применялся для оценки эффективности одноопераціооных, транспортных дорожно-строительных машин [3]. Он определялся выражением полезной работы, совершенной трактором в единицу времени, с учетом доли рабочих операций в суммарном времени цикла.

Отметим, что харвестеры и форвардеры – машины многооперационные. Цикл работы форвардеров состоит из транспортных и технологических операций, продолжительность которых часто соизмерима. Харвестеры на операциях передвижения и вовсе не выполняют полезной работы.

Энергетические затраты на этих операциях разняться в широких пределах. Поэтому в исходное выражение для определения ЭПП величина полезно используемой мощности должна входить как произведение математических ожиданий ее составляющих. В случае работы форвардера функция ЭПП примет вид

$$\text{ЭПП} = \left(\begin{array}{l} \left(\begin{array}{l} M_1^{\text{ф}}\omega_1^{\text{ф}}\dfrac{t_1^{\text{ф}}}{T_{\text{р}}^{\text{ф}}} + M_2^{\phi}\omega_2^{\phi}\dfrac{t_2^{\text{ф}}}{T_{\text{р}}^{\text{ф}}} + \\ + M_3^{\text{ф}}\omega_3^{\text{ф}}\dfrac{t_3^{\text{ф}}}{T_{\text{р}}^{\text{ф}}} + M_4^{\text{ф}}\omega_4^{\text{ф}}\dfrac{t_4^{\text{ф}}}{T_{\text{р}}^{\text{ф}}} \end{array} \right)\dfrac{V_{\text{ф}}}{V_{\text{п}}} \\ + P_{\text{к}} v_{\text{гр}} \dfrac{t_1^{\text{ф}}}{T_p^{\text{ф}}} \end{array} \right) \frac{1}{T_{\text{ц}}^{\text{ф}}}, \quad (1)$$

где $t_1^{\text{ф}}$ – время на поднимание пачки сортиментов; $t_2^{\text{ф}}$ – время на поворот манипулятора с пачкой при погрузке; $t_3^{\text{ф}}$ – время на поворот манипулятора с пачкой при разгрузке; $t_4^{\text{ф}}$ – время на укладку пачки в штабель; $V_{\text{ф}}$ – объем перевозимых форвардером сортиментов; $V_{\text{п}}$ – объем поднимаемой пачки сортиментов; $M_1^{\text{ф}} - M_4^{\text{ф}}$ – подъемные и поворотные мометы развиваемые манипулятором при выполнении технологических операций; $\omega_1^{\text{ф}} - \omega_4^{\text{ф}}$ – соответствующие им угловые скорости; $T_{\text{р}}^{\text{ф}}, T_{\text{ц}}^{\text{ф}}$ – продолжительность рабочих операций и суммарное время цикла работы форвардера [2] соответственно; $P_{\text{к}}$ – касательная сила тяги, развиваемая движителем груженого форвардера в заданных условиях; $v_{\text{гр}}$ – скорость движения груженого форвардера.

Величина реализуемой касательной силы тяги $P_{\text{к}}$ для различных типов движителей и условий движения определяется при использовании методики [4], а реализуемые подъемный

и поворотный моменты манипулятора с использованием математической модели работы форвардера.

Эффективность работы форвардера МЛПТ-354 производства ПО «МТЗ» в различных эксплуатационных условиях отражена на рис. 1.

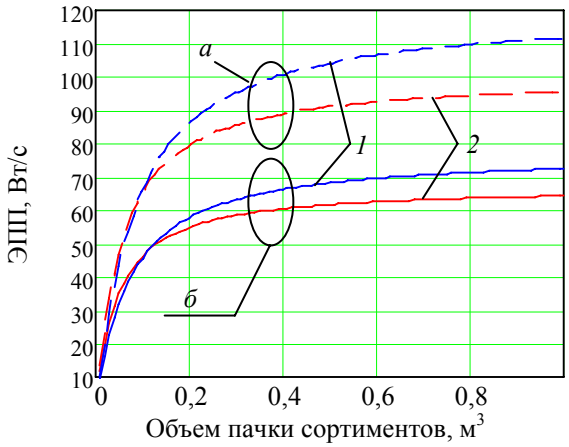


Рис. 1. Эффективность параметров форвардера МЛПТ-354 для различных условий эксплуатации: *а* – 3-й тип почвогрунтов; *б* – 1-й тип почвогрунтов; *1* – грузоподъемность форвардера 7 т; *2* – грузоподъемность форвардера 5 т

Из условия обеспечения прочности несущей конструкции скорость движения груженого форвардера в рассматриваемых условиях ограничена величиной 1,2 м/с, а скорость холостого хода – 2 м/с. В этой связи в условиях 1-го типа лесных почвогрунтов и заданных параметров микропрофиля поверхности движения форвардер значительно недоиспользует мощность установленного двигателя, равную 88 кВт.

С ухудшением условий движения с 1-го до 3-го типа лесных почвогрунтов энергоемкость технологического цикла работы форвардера возрастает, его производительность снижается. При этом ЭПП увеличивается, а следовательно, параметры конструкции и привода форвардера лучше реализуются в более сложных условиях эксплуатации.

Увеличение объема поднимаемой пачки сортиментов приводит к росту ЭПП, что объясняется более полным использованием мощности привода манипулятора и меньшим количеством холостых операций при погрузке и разгрузке. В рассматриваемых эксплуатационных условиях эффективность работы форвардера с пачками сортиментов 0,4 м^3 и 1 м^3 отличается не более чем на 7%. Малое различие в эффективности обусловлена незначительным влиянием времени погрузки на общую продолжительность технологического цикла, которая значительно зависит от ограниченных скоростей движения форвардера.

Критерий ЭПП позволяет также оценивать эффективность работы харвестеров. В этом случае ЭПП определяется следующим выражением:

$$\text{ЭПП} = \left(\begin{array}{l} M_1^{\text{x}} \cdot \omega_1^{\text{x}} \dfrac{t_1^{\text{x}}}{T_{\text{р}}^{\text{x}}} + M_2^{\text{x}} \cdot \omega_2^{\text{x}} \dfrac{t_2^{\text{x}}}{T_{\text{р}}^{\text{x}}} + \\ + F_{\text{пр}} \cdot v_{\text{пр}} \dfrac{t_{\text{пр}}}{T_{\text{р}}^{\text{x}}} + M_3^{\text{x}} \cdot \omega_3^{\text{x}} \dfrac{t_3^{\text{x}} \cdot n_1}{T_{\text{р}}^{\text{x}}} \end{array} \right) \frac{n_2}{T_{\text{ц}}^{\text{x}}}, \quad (2)$$

где t_1^{x} – время на срезание дерева; t_2^{x} – время на подтаскивание дерева к месту раскряжевки; $t_{\text{пр}}^{\text{x}}$ – время на очистку дерева от сучьев; t_3^{x} – время на раскряжевку; $M_1^{\text{x}}, \omega_1^{\text{x}}$ – поворотный момент надвигания пильной шины на дерево и ее угловая скорость при валке дерева; $M_2^{\text{x}}, \omega_2^{\text{x}}$ – поворотный момент манипулятора и его угловая скорость; $F_{\text{пр}}, v_{\text{пр}}$ – усилие и скорость протаскивания дерева в харвестерной головке; $M_3^{\text{x}}, \omega_3^{\text{x}}$ – поворотный момент надвигания пильной шины на дерево и ее угловая скорость при раскряжевке; $T_{\text{р}}^{\text{x}}, T_{\text{ц}}^{\text{x}}$ – продолжительность рабочих операций и суммарное время цикла работы харвестера соответственно; n_1 – количество пропилов для раскряжевки одного ствола дерева; n_2 – количество деревьев обрабатываемых с одной технологической стояки, зависящее от вида проводимой рубки и плотности древостоя.

Усилие $F_{\text{пр}}$, необходимое для протаскивания дерева при непосредственной подаче его вальцами харвестерной головки, определяется как сумма технологических сил сопротивления протаскиванию [5], силы сопротивления волочению $F_{\text{вол}}$ и силы инерции дерева $\Phi_{\text{дер}}$. Учет силы инерции дерева необходим при больших объемах ствола, где она значительно влияет на величину максимально достигаемой скорости протаскивания.

$$F_{\text{пр}} = \frac{P_{\text{р}}^{\text{c}} + \left(q + Q_{\text{д}}\right) \cdot \mu + F_{\text{ц}}}{2} + F_{\text{вол}} + \Phi_{\text{дер}}, \quad (3)$$

где $P_{\text{р}}^{\text{c}}$ – сила сопротивления срезанию сучьев в харвестерной головке; q – суммарное давление прижимных вальцов на обрабатываемое дерево; $Q_{\text{д}}$ – вес дерева; μ – коэффициент трения качения ствола по подающим вальцам головки; $F_{\text{ц}}$ – сила сопротивления в цапфах вальцов.

Возможность использования различных приемов выполнения технологических операций зависит от квалификации оператора. Так, к примеру, опытные операторы харвестеров на операции обрезки сучьев используют встречную подачу на дерево харвестерной головки.

В случае протаскивания дерева с совмещением операций силы $F_{\text{вол}}$ и $\Phi_{\text{дер}}$ не влияют на

общее усилие протаскивания, так как дерево покоится. Для определения затрачиваемой на очистку деревьев от сучьев мощности при совмещении операций целесообразнее рассчитывать поворотный момент манипулятора и угловую скорость его поворота. При этом необходимо учитывать момент инерции манипулятора при его ускоренном повороте на заданном вылете.

Сравнительная эффективность такого совмещения для харвестера МЛХ-414 отражена на рис. 2 (приведено сравнение при вылете манипулятора 5 м).

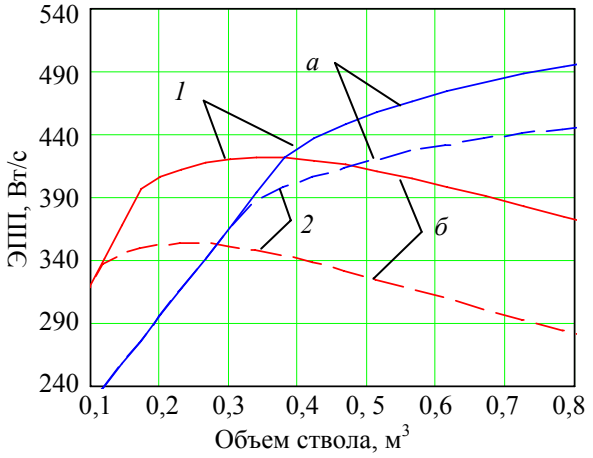


Рис. 2. Эффективность приемов выполнения технологической операции обрезки сучьев в различных эксплуатационных условиях:
а – с совмещением операций; *б* – без совмещения;
1 – мощность привода харвестерной головки 50 кВт;
2 – мощность привода харвестерной головки 40 кВт

Для функции ЭПП, описывающей работу харвестера с совмещением операций, учтено, что после встречной подачи харвестерной головки на дерево необходимо его повторное подтаскивание к месту раскряжевки, что не является полезной работой и приводит лишь к увеличению времени цикла.

Изменение эффективности работы в сосновых древостоях 2-го класса бонитета с объемом ствола от 0,1 до 0,8 м^3 имеет различный характер. Так, при объемах ствола меньше 0,17 м^3 эффективность использования харвестера резко падает. Интенсивное падение эффективности обусловлено введенным в функцию ЭПП ограничением по максимальной скорости протаскивания деревьев в харвестерной головке Kesla 20 RH, установленной на данном харвестере и равной 5 м/с. При использовании совмещения операций также наблюдается интенсивный спад эффективности, но уже при объемах меньше 0,4 м^3. Это обусловлено ограничением по скорости поворота манипулятора «Kesla 1395 H».

Функция ЭПП указывает на эффективность использования совмещения операций при работе в древостоях с объемом ствола больше 0,38 м^3. Работа в данной области характеризуется максимально допустимыми скоростями обрезки сучьев. При этом сила сопротивления волочению дерева и сила инерции дерева при разгоне значительны. Момент инерции поворота манипулятора, напротив, мал, а сила сопротивления волочению дерева при совмещении операций не влияет на затрачиваемую мощность.

Отметим, что при объемах ствола больше 0,75 м^3 использование данного харвестера затруднительно ввиду ограничений развиваемой силы тяги протаскивающих вальцов харвестерной головки величиной 18 кН.

Снижение мощности привода харвестерной головки значительно влияет на эффективность его работы при обычном выполнении технологических операций. Так, при работе в древостое с объемом хлыста 0,3 м^3 уменьшение мощности привода харвестерной головки с 50 до 40 кВт снижает эффективность работы харвестера до 13%. В случае работы с совмещением мощность привода головки никак не влияет на эффективность работы в древостое с объемом ствола до 0,32 м^3. Граница эффективного использования совмещения при этом снижается до объемов ствола 0,28–0,3 м^3.

Различное влияние мощности привода харвестерной головки на эффективность способов выполнения операции обрезки сучьев объясняется тем, что максимальная скорость очистки дерева при использовании совмещения зависит не только от мощности и скорости работы харвестерной головки, но и показателей привода поворота манипулятора.

Повысить эффективность работы харвестера при работе в древостоях с объемом ствола больше 0,17 м^3 возможно при увеличении максимальной мощности харвестерной головки и допускаемой силы тяги протаскивающих вальцов. Однако такой подход сопряжен с ростом нагруженности несущей конструкции харвестера и его привода.

Рассмотренные функции ЭПП (1) и (2) не учитывают вероятностного характера возникновения усилий в процессе выполнения каждой операции технологического цикла, а также распределения условий эксплуатации. Учет такого распределения позволит более точно использовать критерий ЭПП с целью установления эффективных параметров многооперационных машин для конкретных лесозаготовительных предприятий. Заметим, что функция ЭПП предназначена для оценки эффективности па-

раметров машин в заданных условиях, но не позволяет сравнивать эффективность заготовки древесины при их изменении.

Заключение. Рассмотренный критерий энергетического потенциала производительности позволяет выполнять комплексную оценку эффективности параметров конструкции и привода многооперационных лесозаготовительных машин (форвардеров и харвестеров) для различных природно-производственных условий.

Его особенностью является совместный учет энергетических и временных составляющих эффективности работы многооперационных машин и возможность введения технологических и конструкционных ограничивающих факторов.

Исследованиями установлено, что при работе харвестера МЛХ-414 в сосновых древостоях 2-го класса бонитета на операции обрезки сучьев эффективно использовать встречную подачу харвестерной головки манипулятором на дерево при объеме ствола больше 0,38 м^3. При меньших объемах ствола целесообразно использовать обычный способ обрезки сучьев. Уменьшение мощности харвестерной головки с 50 до 40 кВт приводит в рассмотренном случае к снижению эффективности харвестера на 13%. При работе с совмещением такое снижение мощности сказывается на эффективности работы лишь в древостоях с объемом ствола больше 0,32 м^3. Работа харвестера МЛХ-414 в древостоях с объемом хлыста более 0,78 м^3 без использования совмещения операций затруднительна ввиду ограничения по развиваемой силе тяги протаскивающих вальцов.

Использование данного харвестера в древостоях с объемом ствола менее 0,17 м^3 также не рационально. Значительный спад эффективности при этом обусловлен ограниченной до 5 м/с скоростью обрезки сучьев.

Рост эффективности работы форвардеров в рассмотренных эксплуатационных условиях значительно ограничивается допускаемыми по условию обеспечения прочности конструкции скоростями движения.

Для форвардера МЛПТ-354 ухудшение условий движения с 1-го до 3-го типа лесных почвогрунтов приводит к росту ЭПП, что указывает на лучшее соответствие параметров его конструкции и привода этим условиям. Однако в более сложных условиях эксплуатация данного форвардера затруднительна ввиду ограничений по возможности реализации требуемой касательной силы тяги.

Литература

1. Федоренчик, А. С. Сравнительная оценка работы лесных машин по показателям энергоемкости / А. С. Федоренчик, А. В. Жорин, Д. В. Клоков // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 1997. – Вып. V. – С. 20–26.

2. Матвейко, А. П. Технология и оборудование лесозаготовительного производства / А. П. Матвейко. – Минск: Техноперспектива, 2006.

3. Гинзбург, Ю. В. Промышленные тракторы / Ю. В. Гинзбург, А. И. Швед, А. П. Парфенов. – М.: Машиностроение, 1986.

4. Пищов, С. Н. Применение движителя комбинированного типа для повышения тягово-сцепных свойств лесных погрузочно-транспортных машин: дис. … канд. техн. наук: 05.21.01 / С. Н. Пищов. – Минск, 2008.

5. Федоренчик, А. С. Харвестеры: учеб. пособие / А. С. Федоренчик, И. В. Турлай. – Минск: БГТУ, 2002.

Поступила 15.03.2012

УДК 630*383.7

Н. П. Вырко, доктор технических наук, профессор (БГТУ);
И. И. Леонович, доктор технических наук, профессор (БНТУ);
С. С. Карпович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой (БНТУ)

ЗЕМЛЯНОЙ БУР С НАКОПИТЕЛЕМ ДЛЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ ГРУНТОВ ПО ТРАССЕ ДОРОГ

В статье рассмотрена конструкция земляного бура с накопителем для обследования грунтов по трассе дорог, позволяющая совершенствовать процесс бурения и отбора проб грунта для исследований. В настоящее время бурение скважин выполняют как ручными бурами, так и механическими. Одним из недостатков такого бурения является осыпание грунта в пробуренное отверстие при извлечении бура из отверстия. Для устроения данного недостатка предложена новая конструкция бура с накопителем.

The article it is considered the design of an earthen drill with the store for inspection ground on a line of the roads is considered, allowing to improve process of drilling and sampling of a ground for researches. Currently, drilling performed as hand drills and mechanical. One of the drawbacks of such drilling is shedding soil in the hole drilled for the extraction of the drill hole. For the dispensation of the lack of new design with auger drive.

Введение. Инженерно-геологическое изыскание по трассе дороги производят с целью получения необходимых исходных материалов для проектирования, строительства и эксплуатации дорог. Состав и содержание инженерно-геологических изысканий устанавливается техническим заданием с учетом сложности инженерно-геологических условий, мощности лесозаготовительного (лесохозяйственного) предприятия и конструктивных особенностей будущей дороги.

Техническим заданием предусматриваются следующие виды инженерно-геологических изысканий: сбор, изучение района строительства по изысканиям прошлых лет (если таковые есть), а также данных об опыте строительства и эксплуатации дорог; инженерно-геологическая съемка трассы дороги, промышленных площадок, мостовых переходов; поисковые и разведочные, полевые опытные работы; лабораторные исследования; камеральная обработка материала и составление технического отчета.

Основная часть. В состав инженерно-геологических работ при изысканиях лесных дорог входит: маршрутная инженерно-геологическая съемка; обследование участков глубоких выемок, высоких насыпей, косогорных участков, участков болот, участков мостовых переходов промышленных площадок, а также поиски и разведка залегания дорожно-строительных материалов.

Для полевых обследований грунтов широкое [1] распространение получили следующие виды выработок: расчистки, разведочные канавы, шурфы, полушурфы, прикопки, шахты, штольни, буровые скважины зондировки.

Бурение производится специальными буровыми наконечниками: змеевиком, ложкой, желонкой, долотом.

При полевом обследовании грунтов составляют следующую документацию: буровой журнал, или журнал шурфования, который является первичным исходным документом, геологические (грунтовые) колонки (рис. 1), план расположения скважин или шурфов; инженерно-геологические разрезы (рис. 2); отчет (пояснительная записка).

Разрез	Толщина грунтового слоя, м	Вид грунта и его описание
	0,5	Супесь легкая, средней плотности
	0,97	Среднезернистый песок, средней плотности, влажный на глубине 1,4 м насыщен водой
	0,53	Суглинок тяжелый, цвет – серо-желтый, консистенция – туго-пластичная, влажный

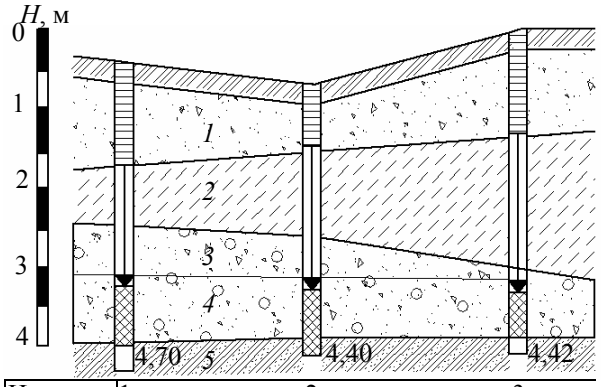
Рис. 1. Геологическая колонка

Инженерно-геологический разрез представляет собой вертикальный разрез толщи грунтов, напластования которых нанесены на чертежи в определенном масштабе. Он показывает последовательность залегания горных пород, выдержанность пластов, связь между отдельными пластами и их грунтами.

При обследовании дорожной трассы на всем ее протяжении составляется несколько упрощенный инженерно-геологический разрез, который наносят на продольный профиль проектируемой дороги.

Для строительства и ремонта дорог требуется большое количество природных строительных материалов: камня, песка, щебня, гравия и т. д. Для отыскания месторождений или карьеров дорожно-строительных материалов ведут поиски вдоль трассы дороги. Поиски месторождений и карьеров, как правило, производят одновременно с изысканиями дороги и грунтово-геологическим

обследованием трассы. При этом определяют примерные размеры месторождения, запасы и экономическую целесообразность его разработки [2].



Номер скважины	1	2	3
Расстояния, м	100	100	
Абсолют. метки	48,20	47,37	49,40

Рис. 2. Инженерно-геологический разрез:
1 – песок среднезернистый; *2* – супесь легкая;
3 – песок мелкозернистый с включением гальки;
4 – уровень грунтовых вод; *5* – супесь пылеватая

Экономическую целесообразность разработки месторождений определяют по отношению вскрышных работ к мощности полезного материала. Для этого рассчитывают геологический коэффициент:

$$k_r = \frac{H_1 + H_2}{h_1 + h_2},$$

где H_1 – вскрыша, слой грунта («пустая» порода) над полезным ископаемым (гравием, камнем и т. д.), м; H_2 – толщина прослойки пустых пород, м; h_1, h_2 – толщина слоев полезной породы (камня, гравия и т.д.).

Если $k_г < 1$ – месторождение рекомендуется к разработке.

При обследовании трассы дороги бурение скважин производят как ручными бурами, так и механическими.

Бур для сверления отверстий в грунте состоит из вертикальной штанги с рукояткой в верхней части для осуществления привода при выполнении работ вручную и режущего узла в нижней части, состоящей из рыхлителя в виде перового сверла и вышерасположенного шнека для перемещения разрыхленного грунта по вертикали. После накопления достаточного объема грунта бур извлекается из отверстия и со шнека стряхивается грунт. При выполнении данной операции часть рыхлого грунта, особенно песчаного, ссыпается обратно в отверстие, что снижает эффективность выполнения работы. Для устранения этого недостатка нами разработана конструкция земляного бура с накопителем.

В разработанной конструкции выше шнека установлена дополнительная цилиндрическая емкость – юбка, накопитель жестко закреплен на штанге, предотвращает самопроизвольное ссыпание грунта в отверстие. После извлечения бура из грунта для освобождения накопителя необходимо штангу переместить в горизонтальное положение или под углом более 90°, что требует затраты больших усилий и времени.

Для повышения эффективности работы при сверлении отверстий в грунте с помощью разработанной конструкции ручного бурава в отличие с существующим (описанным выше): цилиндрический накопитель шарнирно соединен со штангой, а вдоль цилиндрической поверхности накопителя сделан сквозной паз шириной больше диаметра штанги, что обеспечивает угловое смещение накопителя относительно штанги при удалении грунта, паз может быть несплошным на одной стороне накопителя, а на двух противоположных сторонах соответственно в верхней и нижней частях и на торце накопителя имеется режущая кромка – сплошная или зубчатая.

Конструкция земляного бура с накопителем представлена на рис. 3.

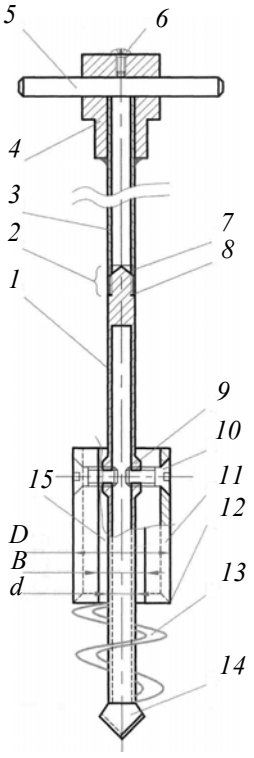


Рис. 3. Конструкция земляного бура с накопителем

Штанга состоит из нескольких частей *1*, *3*, соединенных между собой с помощью резьбового узла *2*, на верхней части штанги приварен кронштейн *4* для установки рукоятки *5*, винт *6* для фиксации рукоятки в кронштейне, резьбовое

соединение *2* с внутренней *7* и наружной 8 резьбой, буртика *9* с резьбой для вваривания винтов *10*, обеспечивающих шарнирное соединение накопителя *11* диаметром *D* с нижней частью штанги *1*, винты *10* расположены выше верхнего витка шнека, на высоте больше радиуса *R* режущая кромка *12* накопителя, шнек *13*, рыхлитель *14* в виде перового сверла.

На рис. 4, 5 показано положение накопителя при удалении грунта.

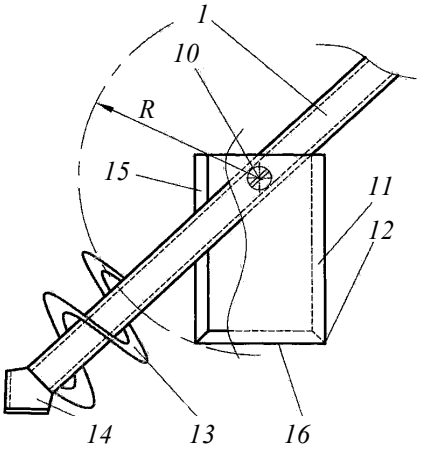


Рис. 4. Земляной бур со сплошной режущей кромкой

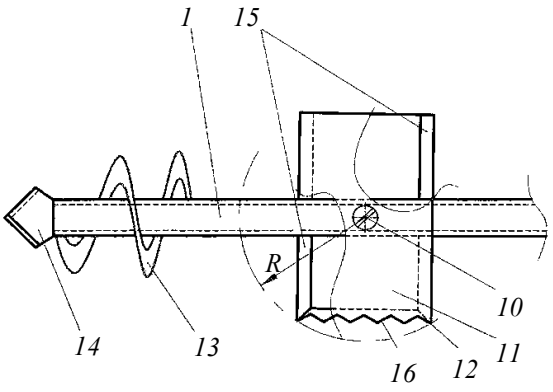


Рис. 5. Земляной бур с зубчатой режущей кромкой

Собранный земляной бур работает следующим образом. В месте сверления отверстия, взятии пробы грунта рыхлитель *14* вдавливается в почву рукоятью *5* и вращательным движением вручную углубляется в почву с усилием, соизмеримым с физическими возможностями работника. Разрыхленный рыхлителем *14* грунт по шнеку *13* перемещается вверх и дальше собирается в накопителе *11*, после чего извлекается со скважины вертикальным движением. Без накопителя грунт находился на шнековой поверхности *13* и при извлечении из скважины частично ссыпался обратно в скважину. Накопитель удерживает грунт на верхнем витке шнековой поверхности в цилиндрическом объеме накопителя и предотвращает его ссыпание обратно в скважину, тем самым повышая эффективность работы устройства.

После извлечения из скважины штанга бура наклоняется под углом к горизонту, а шарнирное соединение на винтах *10* обеспечивает перемещение накопителя *11* в вертикальную площадь относительно горизонта (рис. 4). Сквозной паз на боковой цилиндрической поверхности накопителя выполнен шириной *B*, большей диаметра штанги *d*. Это обеспечивает больший угол поворота накопителя относительно штанги и облегчает удаление грунта из него.

При глинистом грунте целесообразно обеспечить больший угол поворота накопителя, для чего паз на боковой цилиндрической поверхности накопителя делают с двух противоположных сторон на половину высоты накопителя, соответственно в верхней и нижней частях (рис. 3).

Для уменьшения усилия вращения бура на торце накопителя имеется сплошная режущая кромка *16* (рис. 4) или зубчатая (рис. 5).

После удаления грунта из накопителя бур возвращается в вертикальное положение, выполняется следующий рабочий цикл и дальше в такой последовательности до получения скважины необходимой глубины.

Для получения скважин глубиной более длины штанги в резьбовой узел *2* вворачивается дополнительный удлинитель. Накопитель съемный, и при необходимости работы могут выполняться и без него.

В разобранном состоянии бур компактен, что удобно при транспортировке и при выполнении работ в полевых условиях.

Выводы. 1. Разработанная конструкция бура с откидным накопителем, удерживающим грунт от осыпания при его извлечении, облегчает удаление плотного грунта из накопителя при окончании цикла работ, что значительно повышает эффективность работ при изыскании и обследовании грунтов по трассе дороги.

2. Откидной накопитель повышает эффективность работ при сверлении отверстий в сыпучих грунтах за счет предотвращения осыпания грунта в скважину при его извлечении.

3. Разработанный земляной бур с накопителем рекомендуется не только для обследования грунтов по трассе дороги, но и для других хозяйственных работ, где необходимо знать послойное залегание грунтов.

Литература

1. Вырко, Н. П. Строительство и эксплуатация лесовозных дорог: учеб. для студентов специальности «Лесоинженерное дело» / Н. П. Вырко. – Минск: БГТУ, 2005. – 446 с.

2. Руководство по строительству и эксплуатации временных автомобильных дорог с различными типами деревянных сборно-разборных покрытий / ЦНИИМЭ. – Химки, 1973. – 48 с.

Поступила 14.03.2012

УДК 630*36:519.23

С. А. Голякевич, аспирант (БГТУ);
А. Р. Гороновский, кандидат технических наук, доцент, проректор (БГТУ)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАГРУЖЕННОСТИ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ШАРНИРНО-СОЧЛЕНЕННЫХ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Работа посвящена экспериментальному исследованию нагруженности несущих конструкций харвестеров и форвардеров. Проведены тензометрические исследования нагруженности шарниров сочленения их полурам на различных операциях технологического цикла. Выполнена проверка адекватности разработанных математических моделей. Проанализирована взаимозависимость возникающих при работе силовых факторов. Даны рекомендации по снижению нагруженности несущих конструкций.

The work is devoted to experimental investigation of loading bearing structures harvesters and forwarders. Strain studies conducted hinge joint loading of half-frames in the various operations of the technological cycle. Performed the validation of the developed mathematical models. Analyzed the interdependence arising from the work force factors. Recommendations to reduce the loading of load-bearing structures.

Введение. Эксплуатация отечественных харвестеров и форвардеров выявила ряд недостатков, касающихся надежности их несущих конструкций. Согласно статистическим данным, с потерей прочности несущих конструкций связано около 15–20% эксплуатационных отказов. Их ремонт в условиях лесосеки затруднителен и требует транспортировки машин в специализированные мастерские, что приводит к длительным простоям в работе, недовыполнению плановых показателей предприятия и значительным экономическим потерям.

С целью проверки адекватности разработанных математических моделей реальным динамическим системам форвардеров и харвестеров и определения динамической нагруженности элементов их несущих конструкции проведены экспериментальные исследования.

Основная часть. Объектами экспериментальных исследований явились многооперационные лесозаготовительные машины производства ПО «МТЗ»: форвардер МЛПТ-354 и харвестер МЛХ-414.

Исследования форвардера МЛПТ-354 проводились на погрузочно-разгрузочных и транспортных технологических операциях. При выполнении транспортных операций регистрировались: вертикальные и продольные горизонтальные ускорения центра тяжести форвардера, вертикальные ускорения его заднего моста, время движения форвардера по экспериментальному участку дороги, величины деформаций на внешних гранях шарнира сочленения полурам. Предварительно для получения величин неровностей микропрофиля поверхности лесной дороги проведена нивелирная съемка экспериментального участка длиной 150 м

Регистрация вертикальных и горизонтальных ускорений производилась потенциометрическими датчиками МР-95. Их установка на заднем мосту и в центре тяжести порожней машины показана на рис. 1.

а *б* *в*

Рис. 1. Размещение датчиков ускорений на форвардере МЛПТ-354:
а – вертикально на заднем мосту; *б*, *в* – вертикально и продольно в центре тяжести машины

Деформации в элементах несущей конструкций регистрировались посредством единичных тензорезистеров и тензометрических прямоугольных розеток (рис. 2).

Рис. 2. Размещение прямоугольной тензометрической розетки на боковой грани шарнирного сочленения полурам

Датчики ускорений и тензорезистивные датчики подключались к 8-канальному усилителю «Spider8».

При переезде форвардером единичных неровностей и его движении по экспериментальному участку лесной дороги варьировались скорость движения (от 1 до 12 км/ч), масса погруженных сортиментов (от 0 до 5000 кг), длина сортиментов (4 и 6 м), высота препятствия (0,1; 0,15; 0,25 м). После каждого изменения количества погруженных сортиментов, с целью определения массы пачки, равномерности ее распределения в пределах погрузочной площадки и определения

местоположения центра тяжести машины, производилось поочередное измерение опорных реакций переднего и заднего мостов форвардера с помощью весов УД-1 (рис. 3).

а *б*

Рис. 3. Измерение опорных реакций переднего и заднего мостов форвардера

Движение форвардера осуществлялось с заблокированным и разблокированным шарниром полурам. При этом моменты возникновения максимальных значений нагрузок изгиба и кручения при переезде неровностей с заблокированным шарниром колесами одного борта не совпадают. Это объясняется различными моментами инерции рамы в продольной и поперечной плоскости, а также различными мгновенными значениями жесткостей блокировки шарнира и колес передней и задней оси. Отметим, что увеличение массы перевозимых сортиментов незначительно влияет на величину возникающих в шарнире моментов кручения. Максимальная разница для порожнего и полностью груженого форвардера составляет не более 1,3% при скорости движения 3 км/ч и не более 2,4% при скорости 12 км/ч при длине сортиментов от 4 до 6 м. Величины моментов кручения в шарнире для порожнего форвардера составляют 30,1 и 41,2 кН·м соответственно при переезде препятствий колесами задней и передней оси.

На рис. 4 показаны зависимости изменения моментов изгиба в шарнире, полученные после обработки показаний тензорезисторов и определения моментов сопротивления сечения в местах их установки.

Рис. 4. Моменты изгиба в шарнире при переезде единичной неровности высотой 0,25 м:
а – передние колеса, *б* – задние колеса;
1 – форвардер порожний; *2*, *3* – форвардер полностью груженый сортиментами длиной 4 и 6 м

Здесь и далее данные для изгибающих моментов приведены с учетом теоретически рассчитанных статических моментов при различной загруженности грузовой платформы сортиментами.

С увеличением загруженности грузовой платформы происходит некоторое уменьшение величины изгибающих моментов при переезде препятствия колесами задней оси. Это объясняется ростом пятна контакта шин низкого давления с опорной поверхностью и увеличением их сглаживающей и поглощающей способности.

Отключение блокировки шарнира разгружает раму от возникающих при движении моментов кручения, а также до 1,5% снижает максимальные моменты изгиба.

Исследования нагруженности форвардера при движении по экспериментальному участку лесной дороги проводились на режимах установившегося равномерного движения. Для оценки равномерности использовался датчик ускорений, располагавшийся продольно в центре тяжести машины (рис. 1, *в*).

При исследовании нагруженности шарнира на погрузочно-разгрузочных операциях помимо регистрации напряжений производилась запись показаний датчиков вертикальных ускорений в центре тяжести форвардера, вертикальных и горизонтальных ускорений в месте крепления ротатора грейферного захвата (рис. 5).

Рис. 5. Размещения датчиков ускорения MP-95 на манипуляторе форвардера

Масса сортиментов, используемых при проведении исследований, определялась предварительным взвешиванием при подвесе их к датчику измерения усилия U9B (рис. 6).

Рис. 6. Определение массы сортиментов

От массы поднимаемого сортимента, загруженности грузовой платформы (0–5000 кг) и длины погруженных сортиментов зависят величины статических крутящих и изгибающих моментов, действующих на шарнир форвардера МЛПТ-354 (рис. 7).

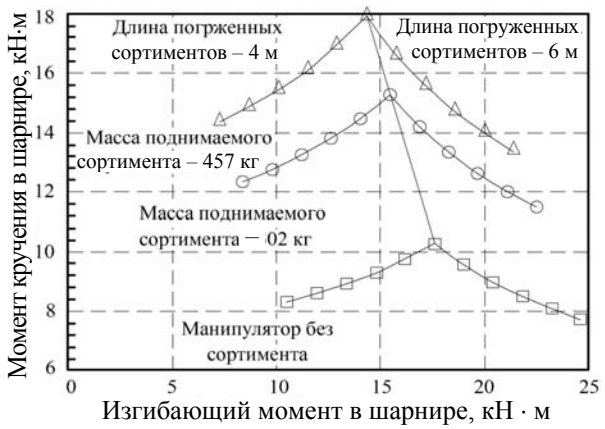


Рис. 7. Нагруженность шарнира на погрузочных операциях при вылете манипулятора 5,3 м и равномерном поднимании сортимента

Значительное смещение зависимостей (рис. 7) вдоль оси абсцисс объясняется консольным расположением центра тяжести энергетического модуля форвардера, что приводит к возникновению статического момента изгиба величиной 14–18 кН·м. Нелинейное уменьшение момента кручения в шарнире при увеличении загруженности форвардера вызвано ростом восстанавливающего момента технологического модуля и увеличением жесткости его колес.

Форвардер МЛПТ-354 и харвестер МЛХ-414 выполнены на базе унифицированного лесного шасси, поэтому важно исследовать нагруженность харвестера на операциях его технологического цикла.

Исследования нагруженности несущей конструкции харвестера проводились в реальных условиях его эксплуатации в ГЛХУ «Узденский лесхоз».

На несущей конструкции харвестера были расположены две прямоугольные тензометрические розетки (рис. 8).

Рис. 8. Размещение тензометрических розеток на раме харвестера МЛХ-414

На харвестерной головке был установлен потенциометрический датчик ускорений МР-95, который менял свою пространственную ориентацию в зависимости от транспортного или технологического положения головки.

При работе на больших вылетах манипулятора операторы часто складывают полурамы на угол до 15–30°, что значительно увеличивает устойчивость харвестера. Однако это также приводит к увеличению момента в поперечной плоскости технологической части шарнира на 8–11 кН. Изменение момента в продольной плоскости не превышает 2%.

При повороте порожнего манипулятора при вылете 9,3 м на угол 90° моменты в продольной и поперечной плоскостях шарнира изменяются, как показано на рис. 9.

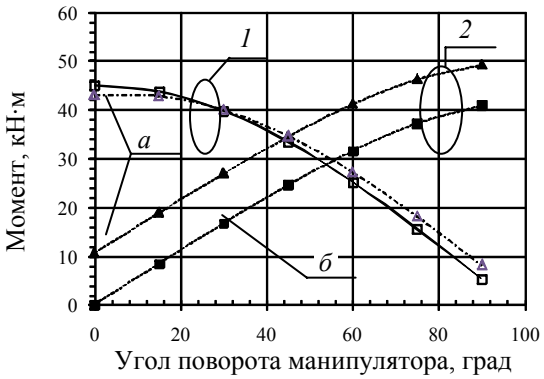


Рис. 9. Зависимости изменения моментов в продольной и поперечной плоскости шарнира:
а – при сложенных на 15° полурамах;
б – при соосном расположении полурам
в продольной (*1*) и в поперечной (*2*) плоскостях

Дальнейшими теоретическими исследованиями установлено, что нагруженность шарнира сочленения значительно зависит от величины жесткости механизма блокировки полурам.

Заключение. Проведенные экспериментальные исследования показали высокую нагруженность шарниров сочленения полурам харвестеров и форвардеров.

Установлено, что величина момента изгиба в шарнире форвардера при преодолении неровности задними колесами уменьшается с увеличением массы перевозимой пачки до 5 т. При этом большее снижение нагрузок изгиба при загруженности сортиментами длиной 4 м вызвано смещенным на 0,45 м к передней оси положением центра тяжести погруженной пачки. На погрузочно-разгрузочных операциях увеличение массы погруженной пачки до 5 т приводит к уменьшению моментов кручения на 2–4 кН·м, а их величина при равномерном подъеме сортимента массой 457 кг при вылете манипулятора 5,3 м не превышает 14,5 кН·м.

Исследования нагруженности харвестера МЛХ-414 показали, что при осуществлении предварительного натяга дерева нагруженность шарнирного сочленения полурам значительно зависит от квалификации оператора. При порожнем повороте манипулятора на угол до 90° и вылете 9,3 м момент в продольной плоскости шарнира уменьшается на 38 кН·м, а в поперечной плоскости возрастает до 41 кН·м. Складывание полурам в сторону работы манипулятора вызывает увеличение момента в поперечной плоскости на 8–11 кН.

Поступила 15.03.2012

УДК 630*36

С. П. Мохов, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой (БГТУ);
С. А. Голякевич, аспирант (БГТУ); **С. Н. Пищов**, кандидат технических наук, старший преподаватель (БГТУ); **С. Е. Арико**, ассистент (БГТУ)

АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ КОНСТРУКЦИЙ МНОГООПЕРАЦИОННЫХ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Работа посвящена анализу направлений развития отечественного и зарубежного лесного машиностроения. Рассмотрены направления совершенствования конструкций специализированных харвестеров и форвардеров. Выполнена оценка соответствия технических параметров многооперационной техники ПО «МТЗ» машинам ведущих мировых производителей. Указаны перспективные направления создания новых и модернизации существующих лесных машин.

The work is devoted to trends in the development of domestic and foreign forestry machinery. The directions of improvement of structures specialized harvesters and forwarders. The evaluation of compliance with the technical parameters of multioperational technique «MTZ» and the world's leading machines manufacturers. Indicated promising areas of new and modernization of existing forest machines.

Введение. Объем заготовки древесины организациями Министерства лесного хозяйства при проведении рубок главного пользования к 2015 году планируется увеличить до 5,7 млн. м^3 и тем самым обеспечить освоение расчетной лесосеки на 95%. В целом по всем видам рубок заготовка древесины организациями Министерства лесного хозяйства к 2015 году прогнозируется на уровне 9 млн. м^3, а с использованием многооперационной лесозаготовительной техники планируется заготавливать 70% от всего объема древесины.

Для этого в 2011–2015 годах планируется закупка 84 харвестеров для проведения рубок главного пользования, 121 харвестера для рубок ухода, 410 форвардеров и 180 сортиментовозов для вывозки древесины.

Одним из крупнейших производителей отечественных лесозаготовительных машин является ПО «Минский тракторный завод», который может создать конкуренцию зарубежным производителям не только на отечественном рынке, но и в России. В настоящее время осуществляется выпуск отдельных моделей лесных машин, предназначенных для проведения рубок главного и промежуточного пользования. Следующим шагом в развитии отечественного лесного машиностроения следует считать создание эффективного типажа лесозаготовительных машин, в полной мере отвечающего современным требованиям лесозаготовителей и мировым тенденциям развития.

Основная часть. Наиболее широкое распространение в нашей республике в последние годы получает сортиментная машинизированная заготовка древесины. В предприятиях Министерства лесного хозяйства доля сортиментной заготовки составляет около 85–90%, концерна «Беллесбумпром» – около 80%. В системе машин начали использовать, валочно-сучкорезно-раскряжевочные и погрузочно-транспортные машины, выпускаемые на отечественных машиностроительных предприятиях. Однако технические характеристики машин, входящих в одну систему, не согласованны друг с другом. Использование валочно-сучкорезно-раскряжевочной машины МЛХ-414 в системе с погрузочно-транспортной машиной МЛПТ-354М1 малоэффективно ввиду малой грузоподъемности последней. Поэтому перспективой создания систем машин для рубок ухода и главного пользования является разработка эффективных погрузочно-транспортных и валочно-сучкорезно-раскряжевочных машин.

Производительность погрузочно-транспортной машины во многом зависит от устанавливаемого на ней технологического оборудования. Зарубежные производители уделяют большое внимание правильному подбору и сочетанию параметров манипулятора с параметрами базовой машины, а также рациональному его размещению и удобству управления. Применяемые на современных форвардерах манипуляторы, в зависимости от параметров машины и условий ее эксплуатации, имеют грузовой момент от 85 до 145 кН·м и вылет стрелы 7,5–10 м. Особенностью современных манипуляторов для форвардеров является применение телескопического звена на рукояти, что позволяет расширить его рабочую зону. Привод манипулятора выполняется гидравлическим, причем питание элементов манипулятора и движителя (при использовании гидростатической трансмиссии) происходит, как правило, от одного гидронасоса. Рабочее давление современных гидравлических систем, установленных на форвардерах, находится в пределах 20–25МПа, а рабочий объем применяемых аксиально-поршневых насосов различен и варьируется от 100 до 190 см^3.

Мощность двигателей современных форвардеров в зависимости от собственной массы

машины колеблется от 75 до 180 кВт, при этом затраты мощности на тонну перевозимого груза находятся в пределах от 7,2 кВт/т для большегрузных машин до 13 кВт/т для машин с меньшей грузоподъемностью. Исключение составляет финский форвардер «Ponsse Buffalo» выпускаемый с двигателем 205 кВт, показатель удельной мощности для которого составляет 14,64 кВт/т.

Условия движения при работе на лесосеке постоянно меняются, и в связи с этим важно, чтобы на форвардере имелась возможность изменять крутящий момент, подводимый к ведущим колесам, в широком диапазоне. Его изменение может осуществляться как за счет регулирования оборотов двигателя, так и за счет изменения передаточных чисел трансмиссии. Двигатели зарубежных форвардеров имеют крутящий момент от 498 до 1100 Н·м, что позволяет им без затруднений перемещаться в сложных эксплуатационных условиях. Однако такая высокая величина крутящего момента реализуется довольно редко, что приводит к значительному недоиспользованию мощности, а в условиях необходимости экономии энергоресурсов актуализирует вопрос об обосновании параметров энергонасыщенности форвардеров, применяемых в конкретных эксплуатационных условиях.

Большинство зарубежных форвардеров оснащено механогидрастатическими трансмиссиями, гидравлическая часть которых представлена гидронасосом (как правило, аксиально-поршневым) и гидромотором, как центрально-расположенным, так и отдельным для каждого балансира. Механическая часть движителя представлена бортовыми редукторами либо ведущими мостами и карданными передачами. Изменение рабочих режимов осуществляется синхронно, как посредством воздействия на двигатель, так и с помощью управления гидронасосом. Использование такого способа синхронного управления позволяет форвардерам трогаться и перемещаться в условиях со слабой несущей способностью грунтов без буксования.

Практически все зарубежные колесные погрузочно-транспортные машины имеют грузоподъемность от 9,3 т до 22,8 т при собственной массе от 8,5 т до 20 т. При этом чем больше грузоподъемность, тем меньше собственная масса на тонну перевозимого груза. Отношение грузоподъемности к собственной массе для зарубежных машин с колесной формулой 8К8 находится в пределах от 0,70 до 1,03, а для машин 6К6 в пределах 0,71–1,07. Для форвардеров производства ПО «МТЗ» этот показатель находится в пределах от 0,70 до 0,82, что меньше в сравнении с зарубежными аналогами. Поэтому целесообразным является повышение грузоподъемности отечественных форвардеров и снижение их снаряженной массы за счет выбора рациональных параметров несущих конструкций.

Значительное уплотнение грунта колесами при движении след в след ведет к интенсивному образованию глубокой колеи и, как следствие, к увеличению силы сопротивления движению. Для снижения удельного давления применяются специальные лесные шины. Для улучшения проходимости чаще применяются цепи противоскольжения и эластичные гусеницы, которые монтируются соответственно на одинарную ось и балансирную тележку.

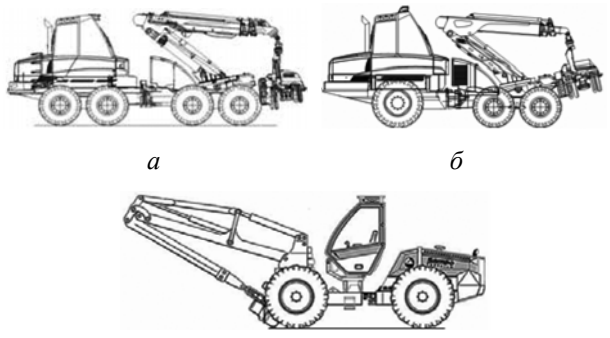
Так как операции перемещения являются основными в технологическом цикле работы форвардеров (в отличие от харвестеров), то большое внимание производителей уделено снижению давления на грунт. Для этих целей финской компанией «Ponsse» на грузовой полураме форвардера 10W применена дополнительная, независимая, неприводная, поддерживающая ось. В такой конструкции снижение удельного давления на грунт достигается путем увеличения площади опорной поверхности форвардера. Наибольший эффект от такой дополнительной оси достигается при применении съемной эластичной гусеницы.

Интенсификация процесса лесозаготовок по сортиментной технологии требует перехода от технологической схемы частичной машинной заготовки «бензиномоторная пила – форвардер» к более производительной машинной «харвестер – форвардер». В связи с этим целесообразно рассмотреть основные компоновочные параметры и технико-эксплуатационне показатели работы валочно-сучкорезно-раскряжевочных машин (харвестеров).

ПО «Минский тракторный завод» в настоящее время выпускает 3 модели харвестеров: МЛХ 1221, МЛХ-414 и МЛХ-424. Харвестер МЛХ 1221 имеет жесткую полурамную конструкцию и предназначен для рубок осветления и, частично, для рубок прочистки. МЛХ-414 основан на специализированном двухосном шарнирно-сочлененном шасси и предназначен для прореживания и проходных рубок. Харвестер МЛХ-424 построен на трехосном шарнирно-сочлененном шасси и эффективен при работе на рубках главного пользования.

Крупнейшими производителями харвестеров являются фирмы: «Ponsse», «John Deere», «Valmet», «HSM», «Caterpillar», «Logset» и др. Около 80% всех моделей специализированных харвестеров имеют колесный тип движителя. Они базируются на полноприводном колесном шасси с колесными формулами 4К4, 6К6 и 8К8

(рисунок). Харвестеры на шасси 4К4 и легкие варианты 8К8, как правило, применяются на рубках ухода, где большую роль играет низкое давление на грунт. Шасси 6К6 и тяжелые варианты 8К8, напротив, используются для харвестеров, предназначенных для рубок главного пользования. Следует отметить, что ряд крупных зарубежных предприятий, выпускающих харвестеры, постепенно отказываются от использования шасси 8К8 для машин, работающих на рубках ухода. Главная причина этого – низкие показатели маневренности таких машин ввиду значительной длины базового шасси. В эксплуатационных условиях рубок ухода, где маневренность и возможность работы под пологом леса играют ключевую роль, они не выдерживают конкуренции с более легкими и маневренными харвестерами 4К4.



а *б*

в

Специализированные харвестеры
с различными колесными формулами

Рамы колесных харвестеров состоят из 2 модулей (энергетического и технологического), соединенных между собой шарниром, который служит для поворота харвестера. Управление шарниром осуществляется посредством двух гидроцилиндров, расположенных по его бокам. Угол поворота составляет до ±(40–45)°. Харвестеры 6К6 и 8К8 оборудованы балансирными тележками. Они позволяют легче преодолевать препятствия в виде поваленных деревьев, пней и других неровностей, встречающихся на лесосеках, и наряду с применением качающихся мостов создают более комфортные условия для работы оператора.

Харвестеры компаний «Caterpillar», «ECO LOG» и харвестер H8 фирмы «Rottne» оборудованы ходовой системой с независимой маятниковой подвеской каждого колеса и каждой балансирной тележки с гидравлическим управлением. Данная подвеска обеспечивает высокую проходимость в условиях сложного рельефа местности. Наряду с выравниванием харвестера как в продольной, так и в поперечной плоскости маятниковый ход может создавать высокий дорожный просвет до 115 см для преодоления единичных препятствий.

Привод движителя колесного харвестера осуществляется с помощью механической, гидродинамической и гидростатической трансмиссии. Механические и гидродинамические трансмиссии, выигрывая у гидростатических в цене, уступают им по ряду эксплуатационных показателей. Такие трансмиссии имеют дискретные передаточные числа и, соответственно, дискретное изменение крутящего момента.

Невозможность плавного регулирования крутящего момента на малых скоростях движения также является существенным недостатком таких трансмиссий, так как большую часть времени харвестер передвигается со скоростями, не превышающими 3 км/ч. Это актуализирует задачу использования в трансмиссии гидростатического звена, позволяющего плавно регулировать скорость движения харвестера и бесступенчато изменять крутящий момент, подводимый к колесам. Такой привод движителя имеет, как правило, 2 диапазона передаточных чисел, которые соответствуют технологическим от 0 до 8–10 км/ч и транспортным от 0 до 18–27 км/ч скоростям.

Заключение. Анализируя рынок существующей лесозаготовительной техники отечественного и зарубежного производства, а также требования к ней лесозаготовителей можем заключить, что значительным спросом у отечественных и российских потребителей пользуются погрузочно-транспортные машины с колесной формулой 4К4. Спрос на данную технику поддерживается, даже несмотря на общемировые тенденции к снижению ее производства. Такие машины более маневренны ввиду меньших габаритов и больших углов складывания полурам в сравнении с форвардерами 8К8 и 6К6, обладают лучшей проходимостью и меньшей стоимостью. Недостатком существующих форвардеров 4К4 производства ПО «МТЗ» является их небольшая удельная грузоподъемность, что значительно снижает производительность, а следовательно, и эффективность лесозаготовительных работ.

Одним из путей совершенствования данной техники следует считать увеличение ее рейсовой нагрузки. Однако изменение этого параметра обязательно приведет к снижению проходимости, росту расхода топлива, изменению тягово-сцепных свойств форвардера и увеличению динамических нагрузок на его несущую конструкцию. В этой связи названные показатели требуют детальной проработки.

Для эффективности последующей работы эксплуатационные параметры разрабатываемой погрузочно-транспортной машины должны соответствовать перспективным параметрам валочно-сучкорезно-раскряжевочной машины, с которой планируется ее совместная работа.

Поступила 15.03.2012

УДК 630*363.7:630×79

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

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ НА ЭНЕРГОНАСЫЩЕННОСТЬ РУБИЛЬНОЙ МАШИНЫ

Измельчение древесинного сырья в щепу – сложный процесс, зависящий от различных факторов. Изучение процесса измельчения усложняется не только из-за наличия большого числа этих факторов, но и в связи с возможностью многочисленных их сочетаний. В качестве критерия, определяющего степень и характер влияния этих факторов на процесс измельчения, выступает мощность резания.

Shredding woody materials into chips a complex process that depends on various factors. Study of the grinding process is complicated not only because of the large number of these factors, but also because of the possibility of many combinations. As a criterion for determining the extent and nature of the influence of these factors on the grinding process acts as the power cut.

Введение. Основным источником древесного сырья в Республике Беларусь являются местные лесные ресурсы. Общий объем растущего леса в стране составляет 1495 млн. м^3, средний запас спелых древостоев на 1 га – 248 м^3. Преобладающими породами являются сосна (50,2%); береза (22,6%); ель (9,8%). Земли лесного фонда (9,39 млн. га) занимают 44% территории страны. Лесистость составляет 38,1% [1]. На данный момент лесопользование 1 га покрытой лесом площади составляет 1,5–1,7 м^3. Сопоставляя величину текущего прироста (32 млн. м^3 в год) и ее утилизацию (41%), можно заметить, что интенсивность лесопользования невысока. Неполное использование древесного потенциала сегодня объясняется, прежде всего, отсутствием возможности использования мелкотоварной древесины, которая пока не востребована рынком. Таким рынком могут стать оптовые потребители топливно-энергетических ресурсов – в основном предприятия-производители энергопродукции (тепла и электроэнергии) малой и средней мощности [1]. Так, в республике построено порядка 16 энергоисточников (мини-ТЭЦ), работающих на древесном и других местных видах топлива: в концерне «Беллесбумпром» – 3, Минжилкомхозе – 3 и Минэнерго – 10 с годовой потребностью 1,2 млн. м^3 древесного топлива.

Для обеспечения работы этих мини-ТЭЦ необходимы рубильные машины, при помощи которых получают древесное топливо. Такие машины являются наиболее энергоемкими, сложными, дорогостоящими из цепочки системы машин для производства топливной щепы. Поэтому одним из важнейших аспектов при проектировании рубильных машин является грамотное обоснование мощности энергетического модуля.

Основная часть. Мобильная рубильная машина представляет сложную конструкцию взаимосвязанных между собой узлов и механизмов (рис. 1). Все они, как правило, приводятся в действие от автономного двигателя через механические (ножевой барабан, вентилятор, винтовой конвейер) и гидравлические (механизм подачи (подающий транспортер, вальцы)) передачи.

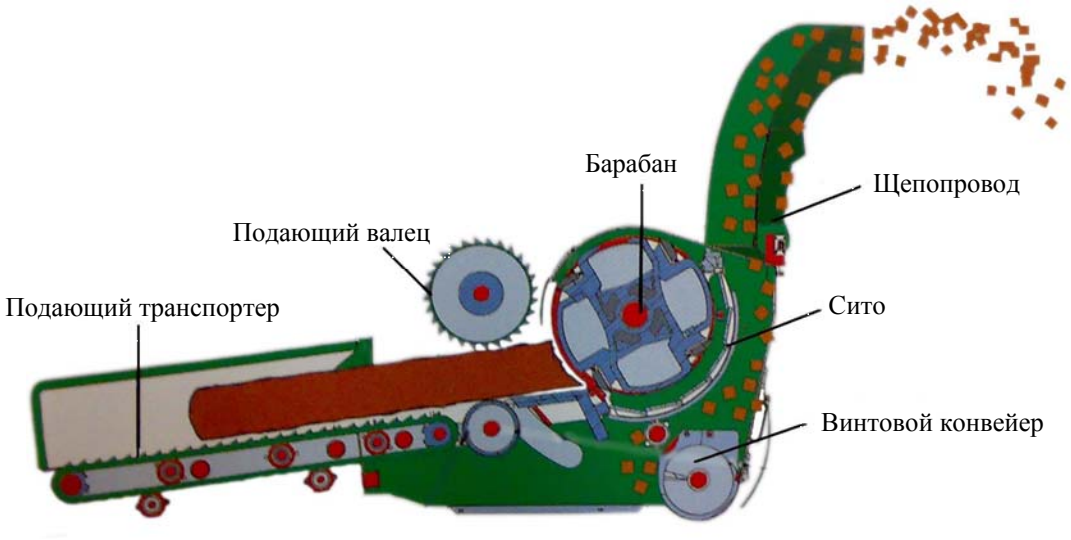


Рис. 1. Схема рубильного модуля

Процесс измельчения древесины является трудоемкой технологической операцией. По этой причине необходимо, прежде всего обращать внимание на размерную и физическую характеристику измельчаемого сырья. От правильного обоснования энергетических параметров рубильной машины зависит производительность труда, качество щепы, себестоимость продукции и в конечном счете рентабельность производства.

По расчетной методике Денфера [2, 3] были получены значения мощностей резания при изменении различных параметров, в качестве которых выступали геометрические параметры загрузочного окна (b), коэффициент удельного сопротивления резанию (K) (рис. 2), диаметр измельчаемой древесины (d) (рис. 3). Данные значения дали возможность построить зависимости, которые наглядно позволяют оценить изменение мощности при увеличении сопротивлении резанию и выбрать рациональный диапазон мощности.

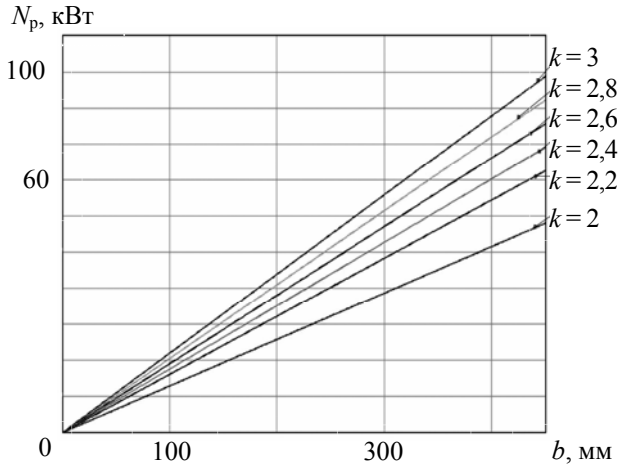


Рис. 2. Зависимости изменения мощности резания от изменения ширины загрузочного окна при различном коэффициенте удельного сопротивления резанию

Проанализировав полученные зависимости, можно установить, что при увеличении коэффициента удельного сопротивления резанию от 2 до 3 мощность резания возрастает до 100 кВт. Максимальная мощность наблюдается при наихудших условиях измельчения древесины, а именно когда коэффициент удельного сопротивления резанию максимален (ширина загрузочного окна составляет 45 см), который учитывает влияние породы и влажность древесины, степень заострения резца. Такой режим резания при долговременном измельчении древесины является нерациональным в связи с топливной неэкономичностью. Коэффициент удельного сопротивления резанию можно понизить до 2, проводя своевременную заточку режущего инструмента и используя воздушно-сухую древесину. Также при увеличении коэффициента заполнения сечения загрузочного окна и его ширины наблюдается повышение мощности резания древесины до 75 кВт.

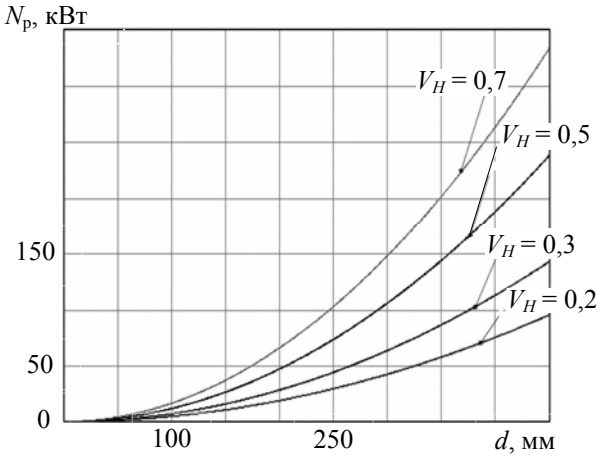


Рис. 3. Зависимости изменения мощности резания от изменения диаметра измельчаемой древесины при различной скорости подачи

Измельчению в барабанной рубильной машине могут подвергаться не только ветви, сучья, горбыли, но и некачественная стволовая древесина. В этой связи были получены корреляционные зависимости изменения мощности резания от диаметра измельчаемого лесоматериала.

При измельчаемом диаметре более 40 см рост мощности довольно высок, при этом оптимальное значение мощности наблюдается при измельчении лесоматериала диаметром 20–30 см. Значительный рост мощности происходит также при увеличении скорости подачи лесоматериала. Исходя из предыдущих зависимостей рациональная скорость подачи находиться в диапазоне 0,45–0,25 м/с.

Полученные зависимости позволяют сделать вывод о том, что при проектировании мощности рубильной машины нужно учитывать рассмотренные переменные, так как они прямо пропорционально влияют на производительность.

Для передвижения тягового органа транспортера рубильной машины нужно приложить тяговое усилие, необходимое для преодоления сопротивлений, которые препятствуют этому движению. При установившемся движении в транспортных установках наблюдаются два вида сопротивления движению: сопротивление от трения об опору и сопротивление от подъема. Первое из них зависит от рода опор и коэффициента трения. Второе находится в зависимости от изменения высоты подъема груза и частей тягового органа.

На рис. 4 представлена основная расчетная схема транспортера, у которого обе ветви тягового

органа, верхняя и нижняя, поддерживаются опорами, ведущее тяговое колесо находится справа, груз лежит на верхней ветви и движется вперед к тяговому колесу. Путь, проходимый тяговым органом, состоит из четырех участков, из них два прямолинейных: 1–2 и 3–4 и два криволинейных: 2–3 и 4–1.

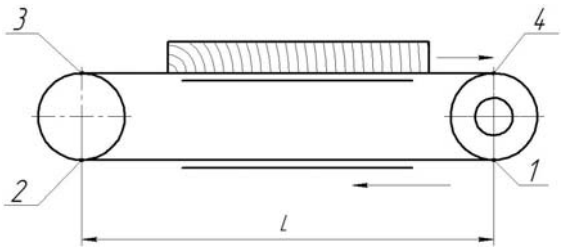


Рис. 4. Расчетная схема транспортера

Исходя из расчетной методике обхода по контору были получены значения мощности привода подающего транспортера (рис. 5). Анализ зависимости мощности, затрачиваемой подающим транспортером, при различных диаметре (радиусе R) и длине (H) измельчаемого лесоматериала показал, что увеличение рассматриваемых варьирующихся параметров изменяет мощность привода подающего транспортера в сторону увеличения. Так, максимальная мощность, затрачиваемая на перемещение измельчаемого лесоматериала диаметром 0,5 м и длиной 2,5 м, не превышает 1 кВт.

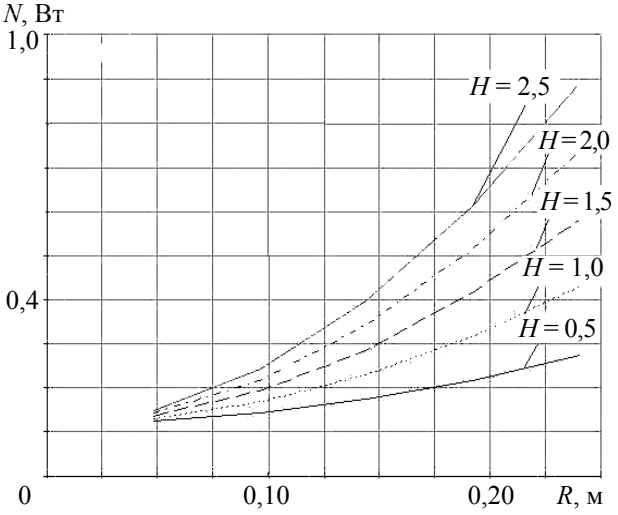


Рис. 5. Зависимости изменения мощности привода подающего транспортера от изменения радиуса (R) и длины (H) измельчаемого лесоматериала

Современные высокопроизводительные рубильные машины оснащены вальцовыми механизмами подачи древесного сырья.

На рис. 6 приведены зависимости мощности затрачиваемыми подающими вальцами также при различном диаметре (радиусе R) и длине (H) измельчаемого лесоматериала. При изменении диаметра измельчаемого лесоматериала от 0,1 до 0,5 м увеличение мощности для этих зависимостей колеблется в пределах от 0,8 до 2,5 кВт.

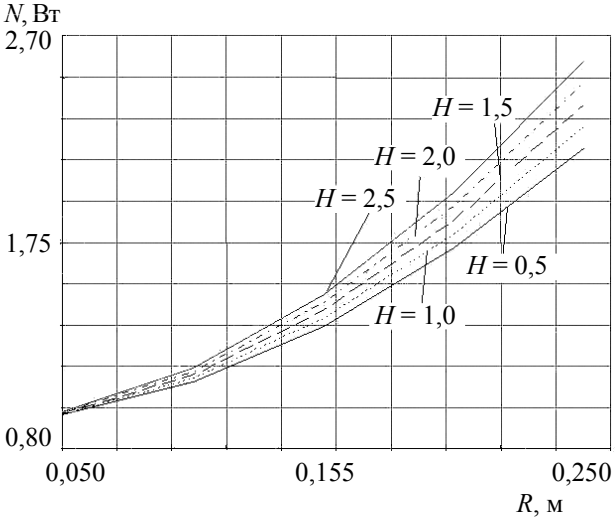


Рис. 6. Зависимости изменения мощности привода подающих вальцов от изменения радиуса (R) и длины (H) измельчаемого лесоматериала

В рубильных машинах винтовые конвейеры применяют для транспортирования измельченной древесины к вентилятору, который непосредственно и производит верхний выброс щепы. В винтовых конвейерах перемещение груза осуществляется с помощью винта, сообщающего при своем вращении поступательное движение грузу, соприкасающемуся с его винтовой поверхностью.

В зависимости от физического состояния измельченной древесины мощность на привод винтового конвейера изменяется (рис. 7).

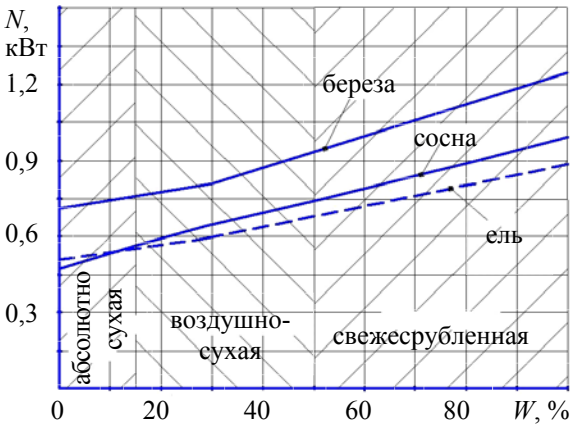


Рис. 7. Зависимости изменения мощности привода винтового конвейера рубильного модуля от изменения влажности (W) и породы измельчаемого лесоматериала

Так, при атмосферной сушке древесины мощность снижается от 1, 3 до 0,7 кВт. Анализ зависимости изменения мощности привода винтового конвейера от породы древесины

показывает, что наиболее энергоемкое транспортирование является для такой породы, как береза, ввиду ее большей плотности, чем у других рассматриваемых пород. Так, например, для свежесрубленной березы мощность составляет 1,25 кВт, а для сосны – 1 кВт.

В рубильных машинах имеют место два способа удаления щепы из кожуха: 1) с помощью лопаток, смонтированных на ободе ножевого барабана, щепа гонится по трубопроводу в циклон или бункер); 2) под воздействием составляющей силы резания и силы тяжести щепа падает на расположенный снизу транспортер или бункер, при этом лопатки на ободе барабана отсутствуют. Широкое распространение получил первый способ из-за возможности транспортирования щепы без дополнительных механизмов.

При механическом удалении щепы из кожуха рубильной машины в бункер-накопитель энергия затрачивается на подъем материала из нижней части кожуха в его верхнюю часть и на создание кинетической энергии при сходе частиц с лопаток вентилятора.

При измельчении сырой древесины происходит увеличение мощности привода вентилятора почти в 2 раза по сравнению с абсолютно сухой (рис. 8). Максимальное значение мощности достигается при выбрасывании свежесрубленной березы, которая составила 41 кВт.

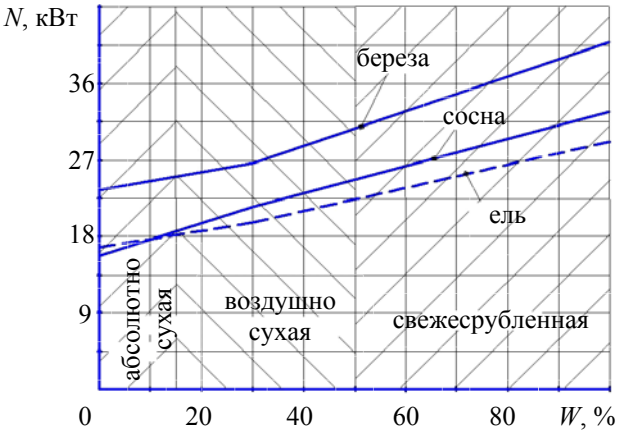


Рис. 8. Зависимости изменения мощности привода вентилятора рубильного модуля от изменения влажности (*W*) и породы измельчаемого лесоматериала

Проанализировав полученные зависимости, можно отметить, что мощность, затрачиваемая на привод вентилятора рубильного модуля, довольно велика. По этой причине можем предположить, что в рубильных машинах, с верхним выбросам цепы, имеет место и механическое выбрасывание щепы лопатками вентилятора, а воздушный поток только способствует этому явлению. Вращаясь лопатки вентилятора захватывают щепу из нижней части кожуха рубильного модуля и выбрасывают ее в щепопровод, расположенный, как правило, сверху кожуха под некоторым углом. Движение частиц щепы в трубопроводе происходит в стесненных условиях и сопровождается их ударами между собой, ударами некоторой их части о стенки трубы; наконец, все они воспринимают сопротивление воздушного потока, так как скорости схода этих частиц с лопаток значительно больше скорости воздушного потока.

Мощность автономного двигателя будет расходоваться не только на основные операции рубильной машины, которые состоят из измельчения, подачи сырья посредством транспортера и вальцов, транспортирования щепы к вентилятору и выброс щепы, но и на вспомогательные.

Заключение. Факторы определяющие процесс резания древесины, могут относиться к подвергающейся резанию древесине, к режущим инструментам, машинам. Изучение процесса резания древесины усложняется не только из-за наличия большого числа этих факторов, но и в связи с возможностью многочисленных их сочетаний. Эти комбинации создают различные условия стружкообразования. Чтобы установить степень и характер влияния этих факторов на процесс резания древесины, нужен общий для них критерий. Таким критерием избирают обычно величину усилия (или мощности) резания с учетом качества обработки и величину производительности. Порода древесины и ее физико-механические свойства оказывают существенное влияние на процесс стружкообразования, усилие резания и расход энергии. Величина скорости резания оказывает влияние на чистоту среза и качества щепы. С увеличением скорости резания чистота среза улучшается.

Проанализировав полученные данные, можно сделать вывод, что наиболее энергоемкой операцией является непосредственно само измельчение древесного сырья, а также его выброс при помощи вентилятора.

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

3. Рахманов, С. И. Машины и оборудование лесоразработок / С. И. Рахманов, К. Ф. Гороховский. – М.: Лесная пром-сть, 1967. – 532 с.

Поступила 15.03.2012

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)

ОПЫТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО ЛЕСНЫХ ДОРОГ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ГЛХУ «ТЕЛЕХАНСКИЙ ЛЕСХОЗ»

В статье изложен опыт строительства экономичных дорожных конструкций с использованием геосинтетических материалов, местных грунтов и отходов лесозаготовок. Предложены новые дорожные конструкции для использования в различных грунтово-гидрологических условиях местности. Рассмотрены последовательность технологических операций по устройству дорожных покрытий и применяемые при этом дорожно-строительные машины.

The article experience of building of economic road designs with use of geosynthetic materials, local ground and a waste of timber cuttings is stated. Proposed new road construction for use in various soil-hydrological conditions of the area. Shows the sequence of technological operations on pavements, and the device used in this road-building machines.

Введение. Одним из методов снижения затрат и ускорения строительства лесных дорог является применение геосинтетических материалов для сооружения дорожных покрытий. Особый эффект достигается в случае, когда наряду с геосинтетическими материалами используются древесные отходы и пригодные для строительства местные грунты. На кафедре транспорта леса БГТУ разработаны новые дорожные конструкции, использование которых в различных грунтово-гидрологических условиях позволит обеспечить круглогодовую вывозку древесины. Особенностью предложенных конструкций является низкая стоимость и сравнительно простая технология строительства, не требующая использования дорогостоящей дорожно-строительной техники.

Основная часть. Для изучения условий эксплуатации лесных автомобильных дорог с целью улучшения их работоспособности в Телеханском лесхозе проведено обследование состояния лесотранспортной сети Мало-Плотницкого лесничества, изучены гидрологические условия местности и выбрана лесная грунтовая дорога в кварталах № 4 и № 8, на которой предполагалось устройство двух опытных участков со строительством новых экономичных дорожных конструкций и использованием древесных отходов из геосинтетического материала. Для исследования использовался геосинтетический материал «Typar SF-40».

Грунты являются основным местным материалом для строительства лесных дорог. Их используют в качестве оснований дорожных конструкций, из них возводят земляное полотно. Пригодность грунтов для дорожных целей, устойчивость земляного полотна и долговечность дорожной одежды в значительной степени зависят от их зернового состава, физико-механических свойств.

Основным местным дорожно-строительным материалом, пригодным для использования при строительстве опытных объектов, является песчаный мелкий грунт. Его можно использовать при сооружении земляного полотна и основания дорожной одежды.

Гранулометрический состав грунта определен ситовым методом. Результаты определения приведены в таблице.

По результатам определения грунт относится к песчаному мелкому.

Отвод участков под карьеры для содержания лесных дорог осуществлен в соответствии со статьей 54 Кодекса Республики Беларусь о земле и статьей 30 Кодекса Республики Беларусь о недрах. Исходя из положений, указанных в статьях, местные исполнительные комитеты по обоснованному ходатайству государственных лесохозяйственных учреждений могут разрешить им использовать земельные участки лесного фонда для добычи открытым способом глубиной разработки до 2 м.

Результаты определения гранулометрического состава грунта

Наименование показателей	Диаметр отверстий сита, мм									Поддон
	10	7	5	3	2	1	0,5	0,25	0,1	
	Размер фракции грунта, мм									
	>10	10…7	7…5	5…3	3…2	2…1	1…0,5	0,5…0,25	0,25…0,1	<0,1
Содержание фракций, %	–	–	–	–	0,075	0,300	0,215	2,275	90	6,64

Такое разрешение было получено от Бобриковского сельского исполнительного комитета 26.09.2011, № 77.

Песчаные карьеры были заложены в кварталах № 4, 8, 9, 11. Расстояние транспортировки грунта до 1 км.

В зависимости от несущей способности оснований, имеющихся на каждом из участков, следует рекомендовать следующие конструкции дорожных одежд. Для применения на торфяных заболоченных участках как наиболее эффективная предлагается конструкция, включающая укладку порубочных остатков в основание с последующим размещением поверх образовавшейя хворостяной выстилки поперечного настила, соединенного между собой продольными полосами нетканоного геосинтетического материала (рис. 1).

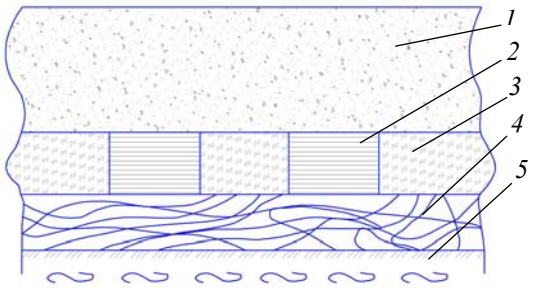


Рис. 1. Поперечный разрез дорожной конструкции для заболоченных торфяных участков местности: *1* – покрытие; *2* – поперечные деревянные элементы; *3* – продольные полосы геосинтетического материала; *4* – хворостяная выстилка из порубочных остатков; *5* – слабое торфяное основание

В данном случае дорога конструктивно выглядит следующим образом. Основание дорожной конструкции представляет собой слабый торфяной грунт. Вторым ее конструктивным элементом является хворостяная выстилка из порубочных остатков, которая расстилается на поверхности слабого основания. Следующей основной составляющей конструкции служит настил из поперечных деревянных элементов, уложенных в разнокомелицу и соединенных между собой продольными полосами из геотекстильного материала, которые поочередно охватывают каждый деревянный элемент, образуя таким образом достаточно жесткую прослойку, одновременно предотвращающую просыпание поверх отсыпаемого грунта дорожной одежды.

В качестве второго наиболее рспространенного варианта, предназначенного для устройства на лесных дорогах с различного рода грунтовыми основаниями, как правило песчаными и супесчаными, предлагается весьма простая и наиболее пригодная для исполнения на предприятиях лесного комплекса конструкция дороги с использованием отходов лесозаготовительного производства, геосинтетических материалов и местных грунтов (рис. 2).

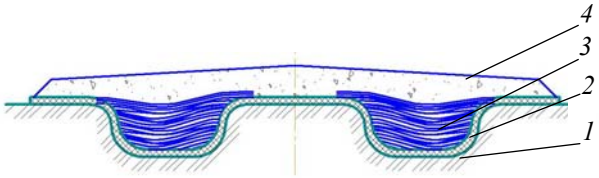


Рис. 2. Колейная дорожная одежда с геосинтетическими материалами и хворостяной выстилкой для лесных автомобильных дорог: *1* – слабое грунтовое основание; *2* – геосинтетических материал; *3* – хворостяная выстилка из порубочных остатков; *4* – покрытие

Устройство дорожной конструкции на основе хворостяной выстилки и геосинтетического материала показано на рис. 3. На участке дороги, где образовалась колея *3*, по всей ширине проезжей части *1* укладывают порубочные остатки с последующим уплотнением, затем поверх образовавшейся хворостяной выстилки *2* раскатывают прослойку из нетканого синтетического материала *4* с закреплением по краям проезжей части. Далее на подстилающий слой из хворостяной выстилки и прослойки из НСМ производят отсыпку слоя насыпного грунта *5* с последующим разравниванием и уплотнением.

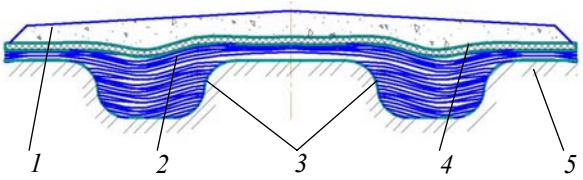


Рис. 3. Поперечный разрез временной дороги на заболоченном участке: *1* – земляное полотно; *2* – хворостяная выстилка; *3* – колея; *4* – гибкая прослойка из НСМ; *5* – насыпной грунт

Строительство опытных объектов осуществлялось в следующей последовательности:

- разрубка просеки шириной 10 м. При разрубке просеки использовались бензопилы «Husqvarna». Затраты на разрубку просеки составили 15,6 человеко-дня, 7,8 бензопило-смены;
- планировка грунтового основания с укладкой порубочных остатков на спланированное основание. Объем работ составил 32 скл. м^3, затраты – 1,1 человеко-дня.

Земляные работы включали разработку карьера фронтальным погрузчиком «Амкодор» и транспортировку грунта на полотно дороги, объем работ составил 480 м^3. Транспортировка грунта также осуществлялась трактором МТЗ-1221 с полуприцепом самосвальным ПСТ-9 (рис. 4) на расстояние до 1 км. Объем работ составил 140 м^3.

Рис. 4. Транспортировка и отсыпка грунта

Планировка грунта по уложенным порубочным остаткам для выравнивания грунтового основания под укладку геосинтетического материала – 1008 м^2.

Укладка геосинтетического материала (рис. 5) вручную составила 698 м^2.

Рис. 5. Опытный участок с использованием гесинтетики и хворостяной выстилки

Формирование настила из круглых лесоматериалов хвойных пород (рис. 6) длиной 4,0 м, диаметром в верхнем отрезе от 6 до 13 см, переплетенного геосинтетическим материалом, осуществлялось вручную и составило 310 м^2.

Рис. 6. Опытный участок с устройством поперечного настила, переплетенного геосинтетическим материалом

Доставлялся грунт к полотну дороги трактором МТЗ-1221 с полуприцепом самосвальным ПСТ-9 для засыпки поверх геосинтетического материала.

Разравнивание и окончательная планировка дороги фронтальным погрузчиком «Амкодор» (рис. 7) составляют 1008 м^2.

Рис. 7. Разравнивание покрытия погрузчиком «Амкодор»

Уплотнение дорожного покрытия погрузчиком «Амкодор» составляет 700 м^2.

Заключение. Как показывают результаты производственных испытаний дорожных конструкций, на опытных участках проезжая часть находится в удовлетворительном состоянии.

В процессе испытаний определялась фактическая прочность покрытия, интенсивность колееобразования и деформативные показатели. По сравнению с участками без использования геосинтетических материалов опытные объекты показали высокую работоспособность и обеспечили запланированный объем вывозки, который составил более 2000 м^3 древесины.

Таким образом, применение экономичных дорожных конструкций с прослойкой из геосинтетических материалов значительно уменьшает потребность в дорожно-строительной технике, ускоряет процесс строительства за счет снижения объемов работ. Наибольший эффект геосинтетики проявляется на слабом и неравнопрочном основании.

Поступила 14.03.2012

УДК 630*323.1

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

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ СИЛОВЫХ ФАКТОРОВ НА ПРОЦЕСС ПАДЕНИЯ ДЕРЕВА

Рассмотрены процессы падения деревьев с различными средними объемами хлыста и упругодемпфирующими свойствами крон. Проведены исследования влияния усилия предварительного натяга дерева, взаимодействия сучьев крон, ветровой нагрузки и воздушной среды на реакцию в шарнире наклона захватно-срезающего устройства. Выполнена оценка влияния внешних силовых факторов на процесс падения дерева.

The processes of falling trees with different volumes of medium and whip elastic-damping properties crowns. Investigated the influence of preload force tree twigs interaction crowns, wind and air to the reaction in the hinge slope capture-shearing device. The influence of external force factors on the process of falling tree.

Введение. Процесс машинизации рубок главного и промежуточного пользования сопровождается созданием и внедрением в производство современных высокопроизводительных валочных, валочно-пакетирующих, валочно-трелевочных и других многооперационных машин. Выбор параметров данной техники необходимо осуществлять с учетом динамических нагрузок, возникающих в элементах конструкции при выполнении технологических приемов и операций [1]. Для моделирования процесса взаимодействия деревьев с лесозаготовительными машинами первоочередной задачей является изучение свойств предмета труда и исследование влияния внешних силовых факторов на данный процесс.

1. Обоснование упругодемпфирующих параметров крон деревьев. Существенное влияние на динамику процесса взаимодействия кроны дерева с землей оказывают ее жесткость и коэффициент демпфирования, величины которых колеблются в значительных пределах. По данным В. Ф. Полетайкина [2], для древостоя диаметром от 0,36 м до 0,80 м в зависимости от разряда высот жесткость изменяется в пределах 1185–4890 Н/м, при этом коэффициент демпфирования составляет 0,26–0,57 от величины жесткости. П. С. Бурмак [3] в исследованиях принимал жесткость кроны равной 4365 Н/м, а коэффициент демпфирования – 260 Н·с/м. М. К. Асмоловским [4], при моделировании работы узкозахватной валочной машины для рубок промежуточного пользования, приводятся данные об изменении жесткости от 1700 Н/м до 6000 Н/м, при этом коэффициент демпфирования составлял 0,1–0,2 от величины жесткости.

Для теоретических исследований выбор значений жесткости c и коэффициента демпфирования k кроны производился на основе анализа возникающих усилий в шарнире наклона харвестерной головки F_Z при взаимодействии кроны дерева, имеющего объем хлыста 0,27 м^3, с землей и варьировании c и k. Данные процессы представлены на рис. 1 и 2.

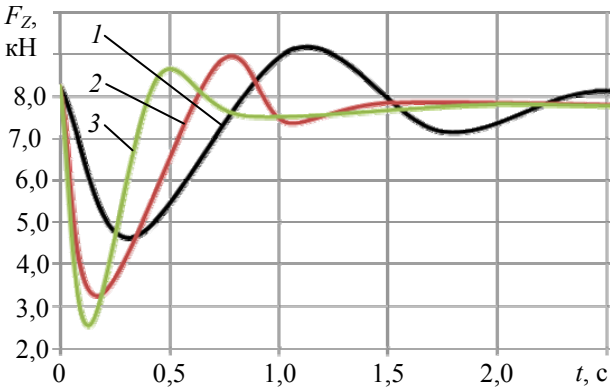


Рис. 1. Процесс взаимодействия кроны дерева с землей при коэффициенте демпфирования кроны, соответствующем 0,1 ее жесткости: *1* – 1000 Н/м; *2* – 3000 Н/м; *3* – 5000 Н/м

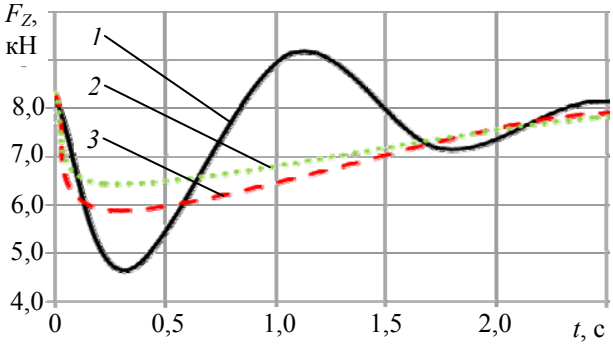


Рис. 2. Процесс взаимодействия кроны дерева с землей при ее жесткости 1000 Н/м: *1* – k = 100 Н·с/м; *2* – k = 300Н·с/м; *3* – k = 500 Н·с/м

Представленные зависимости свидетельствуют, что к увеличению динамической нагрузки в шарнире наклона захватно-срезающего устройства (ЗСУ) приводит снижение жесткости и коэффициента демпфирования кроны. При жесткости

5000 Н/м реакция достигает 8467,5 Н. Снижение жесткости до 1000 Н/м, при аналогичном соотношении между жесткостью и коэффициентом демпфирования, сопровождается увеличением возникающего усилия в шарнире на 7,6% (рис. 1).

При рассмотрении процесса взаимодействия кроны с землей (рис. 2) следует отметить, что на динамику процесса существенное влияние оказывает величина коэффициента демпфирования. Увеличение данного параметра с 100 Н·с/м до 500 Н·с/м приводит к снижению вертикальной составляющей реакции в шарнире на 14,6%. Так как снижение c и k приводит к увеличению продолжительности и амплитуды колебательного процесса, в дальнейших исследованиях принимались значения c и k, равные 1000 кН/м и 100 кН·с/м соответственно.

2. Исследование влияния среднего объема хлыста и полноты насаждения на динамику процесса падения дерева. На рис. 3 и 4 представлены не учитывающие действие ветровой нагрузки зависимости изменения усилий, возникающих в шарнире наклона харвестерной головки при обработке древостоя, имеющего различный средний объем хлыста и полноту насаждения.

При работе харвестера на валке деревьев первоначально должен быть обеспечен предварительный натяг при захвате ЗСУ дерева. На представленных графиках (рис. 3 и 4) операция натяга выражена линейной зависимостью и по времени составляет примерно одну секунду. Необходимо отметить, что величина натяга с увеличением объема дерева возрастает. Так, при среднем объеме хлыста 0,1 м^3 величина усилия составляет 7,43 кН, для объемов 0,21 м^3 и 0,27 м^3 величины сил натяга равны 8,81 кН и 9,56 кН соответственно.

Процесс срезания дерева за один проход для указанных объемов отличается временем и составляет 0,79 с, 2,15 с и 1,38 с соответственно. В дальнейшем процесс падения дерева по характеру изменения динамических величин примерно одинаков для различных объемов дерева.

На динамику роста вертикальной составляющей усилия в шарнире наклона харвестерной головки F_Z значительное влияние оказывает полнота. Так, при объеме хлыста 0,1 м^3 и полноте 0,70 и 0,85 усилие достигает 7014,1 Н и 7022,7 Н соответственно. Максимальная реакция в шарнире соответствует 7430,0 Н в момент создания предварительного натяга.

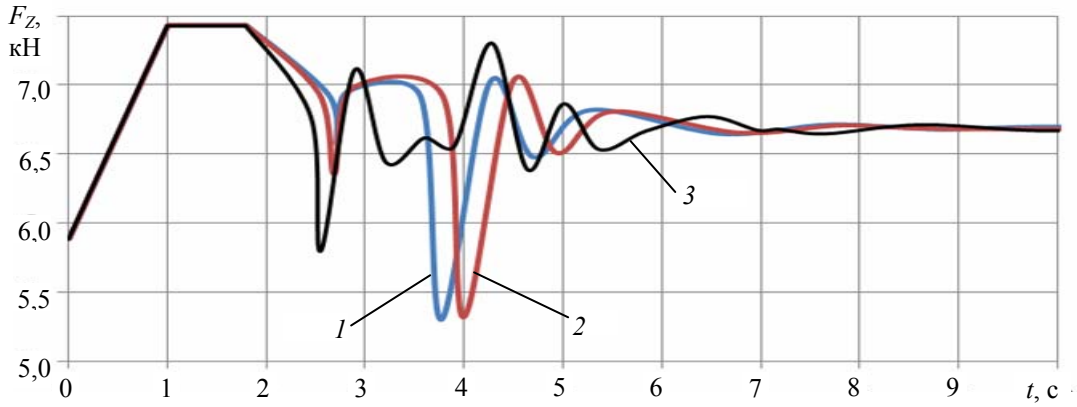


Рис. 3. Изменение усилия F_Z в шарнире наклона ЗСУ при среднем объеме хлыста 0,1 м^3: *1* – полнота 0,70; *2* – полнота 0,85; *3* – полнота 1,00 (зависание дерева)

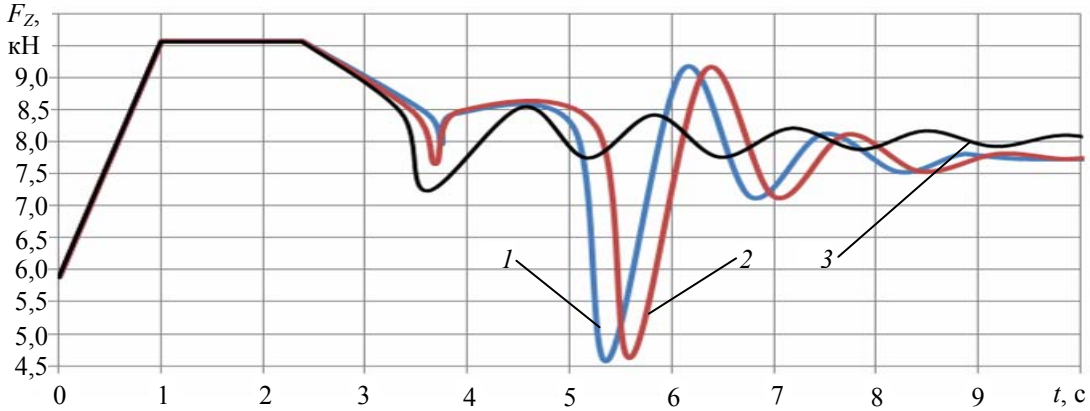


Рис. 4. Изменение усилия в шарнире наклона ЗСУ F_Z при среднем объеме хлыста 0,27 м^3: *1* – полнота 0,70; *2* – полнота 0,85; *3* – полнота 1,00 (зависание дерева)

Увеличение полноты до 1,0 приводит к зависанию дерева, при этом максимальное значение вертикальной составляющей усилия в шарнире наклона ЗСУ достигает значения 7303,9 Н. Эта величина составляет 98,3% от усилия, возникающего при создании предварительного натяга дерева. При горизонтальном расположении дерева усилие F_Z равно 6689 Н.

Сравнительный анализ процессов падения дерева объемом 0,21 м^3 показал, что эта операция сопровождается увеличением времени падения на 0,94–0,98 с, а максимальных возникающих усилий в шарнире наклона при создании предварительного натяга – в 1,19 раза. Реакция при горизонтальном статическом положении дерева увеличилась до 7371,0 Н.

Процесс падения дерева объемом 0,21 м^3 и 0,27 м^3 (рис. 5) при зависании его имеет типичный затухающий характер, что указывает на меньшее влияние веса харвестерной головки на данный процесс. При этом динамическая составляющая возникающего усилия в шарнире наклона ЗСУ не превышает значений F_Z, передаваемых на лесную машину в процессе создания предварительного натяга. Величина статической составляющей реакции для дерева с объемом хлыста 0,21 м^3 превышает возникающую при горизонтальном расположении дерева реакцию на 157,5 Н, а при объеме 0,27 м^3 – на 305,3 Н.

Для объема хлыста 0,27 м^3 продолжительность падения увеличивается на 0,50–0,53 с и 1,47–1,48 с (рис. 4), а время затухания колебаний на 1,5–3,0 с по сравнению с объемом 0,1 м^3 и 0,21 м^3 соответственно. Данный процесс сопровождается повышением усилия F_Z до значения 9564,0 Н при предварительном натяге, 9119,6 Н и 7737,0 Н в случаях падения и статичного горизонтального положения предмета труда.

Анализ приведенных на рис. 3 и 4 зависимостей показал, что при полноте древостоя 1,0, независимо от среднего объема хлыста, происходит его зависание при падении, что требует от оператора дополнительных затрат времени на сталкивание.

Исследованиями подтверждено, что величина предварительного натяга существенного влияния на процесс падения дерева не оказывает. При ее изменении в диапазоне 1,2–1,4 от веса обрабатываемого дерева значения возникающих реакций отличаются не более чем на 5,82% при натяге и 2,52% в процессе падения дерева и последующего взаимодействия кроны с землей. Увеличение данного параметра позволяет уменьшить необходимую для срезания дерева мощность и повысить качество торцевого среза за счет снижения вероятности образования трещины и скола [5].

3. Исследование влияния внешних силовых факторов на процесс падения дерева. Горизонтальная составляющая реакции F_Y в шарнире наклона ЗСУ составляет до 44,8 Н при объеме хлыста 0,1 м^3, до 49,6 Н при объеме 0,21 м^3, до 60,8 Н при объеме 0,27 м^3. В случае валки дерева против ветра, скорость которого 9,5 м/с, величина горизонтальной составляющей в шарнире увеличивается в 3,5–4,1 раза. При валке дерева по ветру, скорость которого составляет 10 м/с, F_Y достигает 7,2% от общей величины реакции в шарнире наклона ЗСУ. В связи с этим существует необходимость учета данной величины при рассмотрении устойчивости лесозаготовительной машины в критических случаях нагружения.

Ветровая нагрузка оказывает существенное влияние на продолжительность процесса падения дерева. В случае совпадения ее направления с направлением валки происходит сокращение времени падения на 0,8 с, однако данный процесс сопровождается увеличением амплитуды нагрузочных колебаний. При этом максимальное значение реакции в шарнире наклона не превышает усилия, создаваемого при предварительном натяге. Осуществление валки дерева против ветра, скорость которого превышает 9,5 м/с, приводит к падению дерева по направлению ветра, при скорости ветра от 8,5 м/с до 9,5 м/с и полноте насаждения 0,85 происходит зависание деревьев.

На рис. 5 представлены зависимости, отражающие влияние внешних силовых параметров на процесс падения и возникающие нагрузки в шарнире наклона харвестерной головки. При этом процесс падения дерева, учитывающий действие всех внешних сил, имеет ярко выраженный участок взаимодействия крон, приводящий к снижению инерционных сил и возникающих динамических реакций. Максимальное значение усилия F_Z, возникающее при взаимодействии кроны с землей, составляет 9542,3 Н и достигается в случае рассмотрения процесса падения дерева по ветру без учета воздействия крон стоящих деревьев и воздушной среды.

Увеличение времени процесса валки на 0,1 с происходит при действии воздушной среды, на 0,2 с – при взаимодействии крон деревьев. Ветровая нагрузка уменьшает продолжительность процесса на 0,6 с в случае ее совпадения с направлением валки.

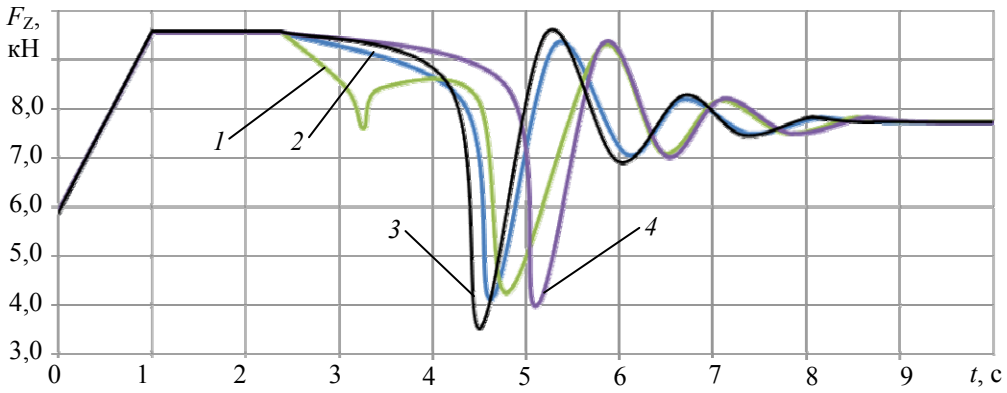


Рис. 5. Изменение усилия F_Z в шарнире наклона ЗСУ при среднем объеме хлыста 0,27 м^3 и скорости ветра 10,0 м/с, направление которого совпадает с направлением валки:
1 – учитываются все действующие усилия; *2* – не учитывается взаимодействие крон деревьев; *3* – не учитывается взаимодействие крон деревьев и действие сил сопротивления воздушной среды; *4* – действие всех сил, оказывающих сопротивление падению дерева, не учитывается

Анализ приведенных на рис. 3–5 зависимостей показал, что наименьшее влияние на вертикальную составляющую реакции в шарнире F_Z при рассмотрении процесса падения дерева в динамике оказывает взаимодействие крон, учет которго снижает динамику процесса до 3,1%. Амплитуда колебательного процесса уменьшается на 2,6–17,7% за счет действия воздушной среды. Ветровая нагрузка оказывает наибольшее влияние среди рассматриваемых внешних силовых факторов на величину горизонтальной составляющей реакции в шарнире наклона харвестерной головки F_Y. Данная величина достигает 289,4 Н при объеме хлыста в 0,27 м^3.

При рассмотрении критического случая нагружения технологического оборудования и базового шасси лесозаготовительных машин манипуляторного типа следует учитывать значение и направление ветровой нагрузки, увеличение которой изменяется по параболическому закону от скорости ветра. При оценке эксплуатационных свойств данной лесозаготовительной техники скорость ветра принимают равной 10 м/с [5], при этом ветровая нагрузка для древостоя с объемом хлыста 0,1 м^3 составила 128 Н, для объема 0,21 м^3 – 215 Н, для 0,27 м^3 – 290 Н. Поскольку высота приложения данного усилия составляет 0,80–0,87 от высоты дерева, создаваемый момент способствует преодолению сопротивлений, возникающих при взаимодействии крон, и снижает вероятность зависания дерева при полноте древостоя, равной единице, совпадения направления ветра и направления валки. В случае их противоположного направления появляется вероятность падения дерева в направлении ветра.

Заключение. Процесс валки дерева состоит из отдельных операций и приемов работы, взаимовлияние которых необходимо рассматривать в комплексе факторов, присущих для технологического процесса. При работе машин валочного типа на рубках промежуточного пользования представляется необходимым учет усилий, возникающих от взаимодействия крон, действия ветровой нагрузки и воздушной среды. Учет перечисленных величин приводит к изменению возникающих реакций в шарнире наклона ЗСУ до 17,7%. Максимального значения указанные величины достигают при создании предварительного натяга, которые для деревьев со средним объемом хлыста 0,10 м^3, 0,21 м^3 и 0,27 м^3 составляют 7,43 кН, 8,81 кН и 9,56 кН соответственно.

Литература

1. Мохов, С. П. Оценка параметров валочно-сучкорезно-раскряжевочной машины для рубок промежуточного пользования / С. П. Мохов, С. Е. Арико // Труды БГТУ. – 2011. – № 2 (140): Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 45–48.

2. Полетайкин, В. Ф. Обоснование параметров расчетных деревьев при проектировании лесопогрузчиков / В. Ф. Полетайкин // Химия растительного сырья. – 1998. – № 2. – С. 87–90.

3. Бурмак, П. С. Исследование устойчивости валочно-пакетирующих машин против опрокидывания: дис. … канд. техн. наук: 05.06.02 / П. С. Бурмак. – Химки, 1975. – 140 л.

4. Асмоловский, М. К. Выбор и обоснование динамических параметров узкозахватной валочной машины: дис. … канд. техн. наук: 05.21.01 / М. К. Асмоловский. – Минск, 1993. – 170 л.

5. Люманов, Р. Машинная валка леса / Р. Люманов. – М.: Лесная пром-сть, 1990. – 280 с.

Поступила 14.03.2012

УДК 625.711.83

Н. П. Вырко, доктор технических наук, профессор (БГТУ);
И. И. Леонович, доктор технических наук, профессор (БНТУ);
А. С. Федькин, аспирант (БГТУ)

РОВНОСТЬ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ – ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ РАБОТЫ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

В статье рассмотрены вопросы влияния ровности дорожного покрытия на эксплуатационно-технические показатели, такие как скорость движения автомобилей, производительность их на вывозке леса, безопасность движения, износостойкость и работоспособность дороги, срок службы и прочность дорожной одежды.

The article considers the impact of pavement smoothness on the operational and technical indicators such as vehicle speed, performance, hauling them to the woods, safety, durability and serviceability of the road, durability and strength of the pavement.

Введение. Техническое и эксплуатационное состояние автомобильных дорог, эффективность работы транспорта характеризуются:

1) эксплуатационными показателями, к которым относят годовой объем вывозки, интенсивность, состав и скорость движения, пропускная способность дороги, производительность лесовозного автопоезда, себестоимость вывозки, удельные трудозатраты и др.;

2) техническими показателями, определяющими состояние, ровность, шероховатость, сцепные качества, износостойкость и работоспособность дороги;

3) показателями надежности, проезжаемости, безопасности движения, сроком службы и прочностью дорожной одежды.

Из всех перечисленных показателей важнейшим является ровность покрытия, от которого зависит скорость движения лесовозных автопоездов по дороге, динамика воздействия колес подвижного состава на дорогу, расход топлива и смазочных материалов, себестоимость вывозки древесины. Поэтому обеспечение ровности дорожного покрытия является одной из наиболее главных проблем дорожников-эксплуатационников.

Основная часть. Ровность дорожного покрытия оценивается коэффициентом ровности $k_р$, который есть отношение предельно допустимых значений ровности ($S_{доп}$) к фактической ($S_{факт}$), см/км:

$$k_р = \frac{S_{доп}}{S_{факт}}. \quad (1)$$

Покрытие по ровности удовлетворяет условиям эксплуатации, если $k_р \geq 1$.

Предельно-допустимые значения ровности для переходных типов покрытий составляют 340 см/км, а для низших – 510 см/км.

Образование неровностей покрытий проезжей части происходит в результате возникновения необратимых деформаций в слоях дорожной одежды; выбоин на покрытии (из-за усталостных явлений в слое покрытия и местного разрушения их в связи с плохим сцеплением вяжущего с каменным материалом) и из-за неравномерного износа покрытия.

Неровности приводят в колебательное состояние автомобиль. При колебаниях кузова 0,7–4,0 Гц пассажиры испытывают неприятное ощущения, а при 5–20 Гц создаются опасные ситуации [1].

В практике эксплуатации автомобильных дорог неровности подразделяются на периодические и случайные. Неровности периодического характера можно аппроксимировать в виде следующих функций: а) синусоиды; б) параболы; в) треугольной кусочно-прерывистой; г) прямоугольной кусочно-прерывистой.

Большинство же неровностей дорожных покрытий носит случайный характер. Для определения применяются различные приборы и методы статистической обработки полученных результатов. Среди приборов используются мерные рейки, профилометры, колесные рейки, динамометрические прицепы, виографы, толчкомеры, акселерометры (рис. 1).

Рис. 1. Динамометрический прицеп типа ПКРС

Таблица 1

Нормативные требования к ровности различных категорий дорог по IRI

Страна, место использования показателя IRI	Характеристика ровности	Значение IRI, м/км
Международный эксперимент (Мировой банк, Бразилия, 1982 г.)	Взлетно-посадочные полосы в аэропортах и высокоскоростные автомобильные дороги	От 0,8 до 1,3
	Новые дорожные покрытия	От 1,3 до 3,3
	Эксплуатируемые автомобильные дороги	От 2,3 до 5,5
Бельгия, 1984 г.	Класс А. Очень хорошая ровность	До 2
	Класс В. Хорошая ровность	От 2 до 4
	Класс С. Хорошая ровность	От 4 до 6
	Класс D. Плохая ровность	От 6 до 8
	Класс Е. Очень плохая ровность	Более 8
	Порог вмешательства	Более 6
Швеция, 1988 г.	Очень хорошая ровность	До 1,5
	Хорошая ровность	От 1,5 до 2,5
	Средняя ровность	От 2,5 до 3,5
	Удовлетворительная ровность	От 3,5 до 4,5
	Неудовлетворительная ровность	> 4,5
Международный эксперимент FILTER (PIARC, Нидерланды, Германия, 1998 г.)	Хорошая ровность	До 1,5
	Средняя ровность	От 1,5 до 3,5
	Плохая ровность	Более 3,5

Измерение неровностей производят при движении автомобиля со скоростью 50 км/ч. При обработке данных устанавливаются следующие характеристики: число выступов на участке протяженностью в 1 км; суммарная величина выступов на данном участке; средняя величина выступов; среднеквадратическое отклонение выступов (впадин); математическое ожидание величины неровностей; коэффициент вариации; дисперсия и д. р.

В зарубежной практике для характеристики ровности дорожного покрытия используют индекс ровности IRI (табл. 1).

Индекс ровности определяют путем математической обработки результатов измерения просветов под рейкой или использования ПКРС-2У, ТХК-2 (установки, работающие по методу толчкомера, являются недорогими и доступными, широко применяются для определения эксплуатационной ровности дорожных покрытий и являются основными приборами для определения ровности при диагностике автомобильных дорог), для которых установлена корелляционная зависимость связи их показаний с показаниями ровности под рейкой:

$$S = 20 + 7{,}1 \cdot h^{1{,}7}, \qquad (2)$$

где S – показания толчкомера, мм; h – средний размер просвета под рейкой, мм.

Международный показатель ровности IRI имеет единицу измерения м/км. Его значение для дорог с усовершенствованным и облегченным типом покрытий составляет 1,5–2,5 м/км, а для грунтовых и гравийных дорог, находящихся в отличном состоянии, – 3–4 м/км. При неровном твердом покрытии IRI составляет 12 м/км, а для грунтовых и гравийных дорог IRI равен 15 м/км и более.

Получена математическая зависимость изменения скорости движения автопоезда от степени ровности покрытия [1, 2]:

$$V = 50{,}35 - 4{,}66 \cdot G_H, \qquad (3)$$

где G_H – степень ровности покрытия.

Также получена графическая зависимость изменения скорости движения автопоезда от величины повреждения покрытия, которая описывается выражением:

$$V = \frac{V_{\text{р}} \cdot V_{\min}}{V_{\min} + p \cdot V_{\text{р}}}, \qquad (4)$$

где $V_{\text{р}}$ – расчетная скорость движения автопоезда на вывозке леса, м/с; $V_{\min}$ – минимальная скорость движения на второй передаче, составляет 3–5 м/с); p – процент повреждения дорожного покрытия, доли.

В результате проведенных исследований установлены закономерности изменения скорости движения лесовозных автопоездов от степени ровности покрытия гравийных дорожных одежд; установлена интенсивность изменения

скорости движения от состояния (повреждения) дорожного покрытия (рис. 2).

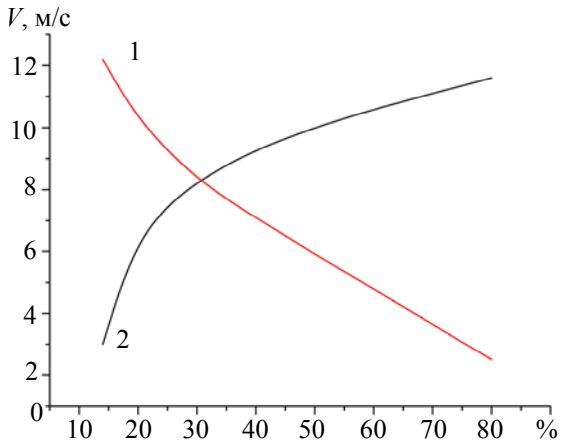


Рис. 2. Изменение скорости движения (*1*) и ее интенсивности (*2*) от процента повреждения дорожного покрытия

Так, при повреждении покрытия на 10% скорость движения (при расчетной скорости движения 16,7 м/с) составит 12,5 м/с (уменьшение на 25%), а при повреждении покрытия на 20% – 10 м/с (уменьшение на 40%), при повреждении покрытия на 50% скорость движения составит 6,25 м/с [1, 2]. Производительность автомобилей на вывозке леса снижается на 45–50% в зависимости от категории дороги и типа покрытия.

Транспортная составляющая себестоимости вывозки заготовленного леса прямо пропорциональна состоянию лесных автомобильных дорог. Не менее важными показателями являются дополнительные затраты мощности и расход топлива на преодоление неровностей. Также установлено, что указанные затраты зависят не только от высоты неровностей, но и от их длины.

Зависимость скорости движения автомобилей от состояния лесных автомобильных дорог можно описать следующим выражением:

$$V_r = \frac{1}{A + B \cdot r}, \qquad (5)$$

где A и B – параметры, устанавливаемые опытным путем, ч/км; r – отношение площади деформированных участков дорожной одежды к общей площади на рассматриваемом участке, доли единицы.

Значения A и B, определенные для лесных автомобильных дорог, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения параметров *A* и *B*

Категория лесной автомобильной дороги	Параметры	
	A	*B*
I	0,018	0,059
II	0,020	0,066
$III_а$	0,025	0,083
$III_б$	0,033	0,090
Ветки	0,050	0,100

Проведенные расчеты мощности, затрачиваемой на преодоление неровностей дорожного покрытия в зависимости от степени ровности и скорости движения, показывают, что с увеличением длины неровностей ее дополнительные затраты резко возрастают.

Заключение. Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы.

1. Установлена связь между расходом мощности, скоростью движения автопоездов и степенью ровности дорожного покрытия.

2. На дорогах с неровной поверхностью средняя скорость движения лесовозных автопоездов снижается на 40–50%, межремонтный пробег уменьшается на 35–40%, производительность снижается на 48–50%, расход топлива увеличивается на 20–40%.

3. Наибольшее влияние на образование неровностей оказывают прочность земляного полотна и дорожной одежды, тип покрытия, погодно-климатические условия, грунтово-гидрологиические факторы, динамическое воздействие автотранспортных систем, которое увеличивается в 1,5–3 раза.

4. Ровность дорожного покрытия является аккумулятивным показателем эксплуатационного состояния покрытия и, как следствие, оказывает существенное влияние на экономическую составляющую работы автотранспорта в целом.

Литература

1. Абрамович, К. Б. Влияние степени ровности дорожного покрытия на технико-эксплуатационные показатели работы автотранспорта / К. Б. Абрамович, Н. П. Вырко // Технология и оборудование заготовки и переработки древесины: сб. – Минск: Выш. шк., 1988. – Вып. 3. – С. 16–19.

2. Перкявичюс, Э. Обеспечение требуемой ровности покрытий автомобильных дорог / Э. Перкявичюс, Э. Лауринавичюс // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. промсть. – 2009. – Вып. XVII. – С. 148–149.

Поступила 14.03.2012

УДК: 630*03

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

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛЕСОТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

ГИС-технологии и программный комплекс CREDO состоят из нескольких крупных автономных систем и ряда дополнительных задач, объединенных в единую технологическую линию обработки информации. Каждая из систем комплекса позволяет автоматизировать обработку информации в разных областях (инженерно-геодезических, инженерно-геологических изысканий, проектирования и пр.), а также дополнить своими данными единое информационное пространство (модели рельефа, ситуации, геологии) и проектные решения создаваемого объекта.

GIS-technologies and program complex CREDO consist of several large independent systems and of some the additional functions united in a uniform technological line of processing of the information. Each of complex systems allows to automate information processing in different areas (engineering-geodetic, engineering-geological researches, designing and etc.), and also to add with the data a uniform information field (models of a relief, a situation, geology) and design decisions of created object.

Введение. Лесной фонд заготовительного предприятия включает в себя лесопокрытые площади, лесные и нелесные земли, болота, ручьи, реки и т. д. Для учета лесоводственно-таксационных характеристик лесонасаждений и особенностей реальной местности, влияющих на размещение транспортных путей, разработана специальная цифровая модель местности (ЦММ), которая позволяет оперативно оценивать и устанавливать параметры лесотаксационного описания. Концепция послойного представления графической информации была заимствована из САПР, однако в ГИС она получила новое качественное развитие, так, например, тематические слои в ГИС могут быть представлены не только в векторной, но и в растровой форме.

В основу разработанного программного обеспечения прогнозирования расположения лесотранспортных сетей положены четыре принципа: универсальность (возможность моделировать произвольные по конфигурации и площади участки реальных территорий с трассируемыми лесотранспортными путями), гибкость (удобство пополнения программного обеспечения за счет включения в его состав новых компонентов, а также корректировки отдельных его частей без изменения целого), быстродействие и диалоговый режим.

Основные положения. Прогнозирование расположения лесотранспортных сетей на больших территориях (лесхозы) достигается разбиением исходной ЦММ на отдельные сегменты (лесничества), решением оптимизационной задачи на каждом сегменте (лесничестве) и последующим синтезом (склейкой) рационального варианта лесотранспортной сети.

Программное обеспечение по прогнозированию расположения лесотранспортных путей на долгосрочную перспективу включает в себя систему построения возможных вариантов лесотранспортной сети и выбора оптимальной.

1. *Анализ исходных данных.* В основе проведения анализа и формирования исходных данных лежат технологии геоинформационного моделирования. В. Я. Цветков [1, 2] определил геоинформационное моделирование как класс моделирования пространственно-временных данных, использующий их организацию в ГИС, согласно которой каждый графический объект тесно взаимосвязан с одной или несколькими таблицами базы данных. Таким образом, геоинформационное моделирование представляет собой класс моделирования графических объектов, взаимосвязанных с базами данных.

При разработке специальной цифровой модели с непосредственным использованием ГИС выделены следующие слои (макеты):

– природно-климатические условия района проектирования (климат, рельеф, гидрография, растительность и почвы, инженерно-геологические и гидрологические условия);

– лесотранспортная сеть района тяготения (автомобильные дороги и железные дороги);

– состояние сети автомобильных дорог (годы постройки, категория дорог);

– состояние дорожных покрытий, земляного полотна, обочин, мостов, путепроводов;

– водопропускные трубы и малые мосты, системы поверхностного водоотвода;

– обстановка и принадлежности дорог и т. д.;

– экономика района тяготения (промышленность, сельское хозяйство, транспорт и т. д.);

– грузооборот, пассажирооборот, грузонапряженность на существующей лесотранспортной сети в существующих условиях;

– распределение общего объема грузоперевозок по видам грузов (промышленные, сельскохозяйственные, строительные, лесные).

Одной из главных задач при обосновании параметров лесотранспортных сетей на основе ГИС-технологий является обеспечение автоматизированного согласования принципиальных проектных решений в системе CREDO ДОРОГИ (план трассы, продольный и поперечные профиля, параметры земляного полотна и дорожной одежды). Векторные данные в ГИС обязательно являются объектными, т. е. несут информацию об объектах, а не об отдельных их элементах, тематические слои в ГИС являются определенными типами цифровых картографических моделей, построенных на основе объединения пространственных объектов, имеющих общие свойства или функциональные признаки. Совокупность тематических слоев образует интегрированную основу графической части ГИС, в которых объединяющей основой (подложкой) являются цифровые и электронные карты.

Функционирование системы проектирования лесотранспортной сети условно можно разделить на два этапа: анализ и подготовка исходных данных к расчету и проведение непосредственно самой оптимизации.

Определяется наличие эксплуатационных лесов (леса II группы) в конкретном лесничестве. В данном случае для Слободского лесничества ГОЛХУ «Борисовский опытный лесхоз» I группа лесов занимает 22,1%, а II группа – 77,9% при общей лесопокрытой площади 5711,5 га.

Устанавливаются по группам возраста лесонасаждений эксплуатационные леса, в которых необходимо построить лесотранспортную сеть (т. е. в перестойных, спелых, и если необходимо – в приспевающих лесах).

Проектирование опорной лесотранспортной сети включает: многовариантное размещение сети лесных дорог с учетом лесоводственно-таксационных характеристик насаждений и особенностей реальной местности (наличие рек, болот, существующей сети дорог и т. д.), а также определение очередности строительства лесных дорог (рис. 1).

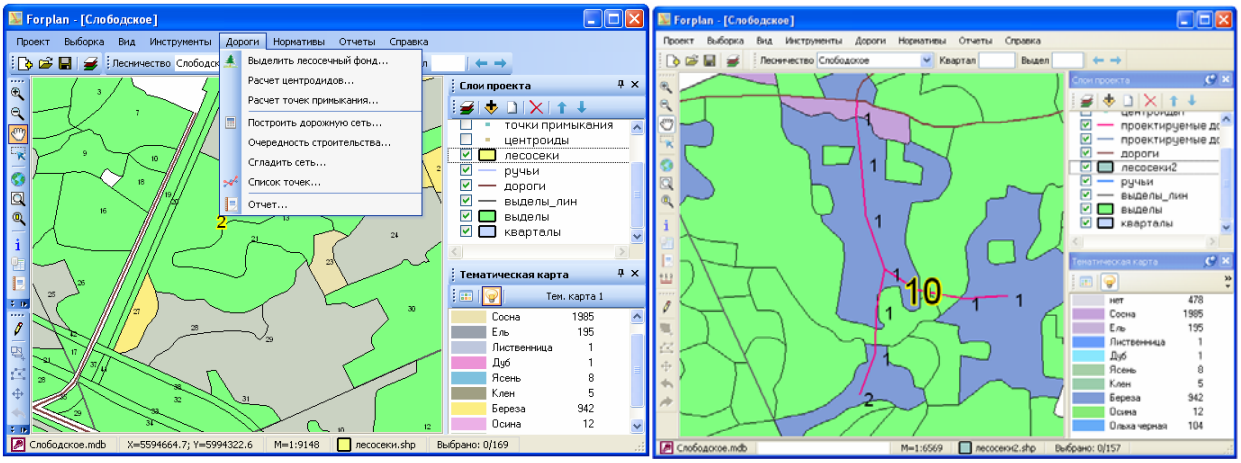
При этом опорная лесотранспортная сеть обеспечит непрерывность и неистощительность пользования лесом в пределах оборота рубки с учетом возрастной структуры лесов, наличия спелых насаждений, сохранения биологического разнообразия лесов. Затем формируются отчетные показатели по запроектированной лесотранспортной сети, исходящие из двух методов определения очередности освоения лесных массивов: стоимость строительства лесотранспортной сети по периодам освоения лесных массивов, объем вывозки по каждому участку, протяженность участков сети и т. д.

Показатели лесотранспортной сети

Показатель	Период строительства				Итого
	I	II	III	IV	
Длина строительства лесных дорог, км	4,52 2,65	4,26 3,77	2,79 4,91	6,44 6,68	18,0 18,0
Стоимость строительства лесных дорог, млрд. руб.	0,62 0,34	0,62 0,52	0,43 0,83	1,06 1,04	2,73 2,73
Объем вывозки, тыс. м^3	21,4 21,2	22,8 21,0	21,7 19,0	22,0 23,7	87,9 87,9

Примечание. В числителе данные, полученные по критерию наступления спелости; в знаменателе – по минимуму затрат.

Из представленного отчета (таблица) видно, что для полного транспортного освоения лесных массивов Слободского лесничества необходимо построить 18,0 км лесных дорог. При этом объем вывозки в целом по запроектированной лесотранспортной сети составит 87,9 тыс. м^3, а общая стоимость строительства – 2,73 млрд. руб.



а *б*

Рис. 1. Интерфейс программы:
а – порядок проектирования лесотранспортной сети; *б* – запроектированная лесная дорога

Программа позволяет извлекать большое количество важных данных, таких как средний породный состав всей территории; общий запас древесины; средний породный состав интересующих выделов; общий запас древесины на этих выделах; распределение по классу возраста; вычисление прироста; распределение по приросту.

Технология проектирования в CREDO ДОРОГИ. Проектирование трассы лесной автомобильной дороги в системе CREDO ДОРОГИ представляет собой определенный технологический цикл и выполняется в заданной последовательности, так как решения, полученные на предыдущем этапе проектирования, являются исходными данными для его продолжения [1].

Процесс создания проекта трассы лесной дороги состоит из нескольких этапов.

Подготовка картографического материала. В программе ТРАНСФОРМ сканируются и трансформируются фрагменты топографического плана с горизонталями, затем накладываются контуры видимости и сохраняются для использования в качестве подложки в системе CREDO ДОРОГИ.

Создание цифровой модели рельефа на основе картографического материала. В системе CREDO ДОРОГИ таким представлением является нерегулярная сеть треугольников (триангуляция Делоне), построенная с учетом дополнительных условий, накладываемых используемыми структурными линиями на поле точек, которые имеют пространственные координаты и высоту.

Создание цифровой модели ситуации. Цифровая модель ситуации включает в себя площадные (участки земельных угодий, водоемы, населенные пункты, отдельные здания и сооружения и т. д.), линейные (дороги, водотоки, линии побережья, линии электропередач и др.) и точечные объекты. В данном случае отражались квартальная сеть лесничества, выдела, существующая сеть лесных дорог, гидрология участков лесного фонда, контур болот, противопожарные разрывы.

Проектирование плана трассы лесной дороги. При проектировании плана трассы соблюдались основные требования СНБ 2.05.07-91 «Промышленный транспорт»: минимальные радиусы кривых в плане, максимальный продольный уклон; природные условия района проложения трассы; ситуационные особенности района проектирования; варианты пересечения крупных водотоков, устройство разъездов.

Проектирование продольного профиля лесной автомобильной дороги методом оптимизации. Данный метод предусматривает программный контроль соблюдения требований проектировщика по минимально допустимым радиусам, максимально допустимому продольному уклону и контрольным точкам.

В разрабатываемом проекте продольный профиль выполнен методом оптимизации по эскизной линии в соответствии со СНБ 2.05.07-91. Основными принципами положения проектной линии продольного профиля, независимо от метода проектирования, являются: соблюдение технических норм проектирования (максимальный продольный уклон, минимальные радиусы вертикальных кривых); обеспечение минимальных объемов земляных работ и рационального распределения земляных масс; прохождение проектной линии через контрольные точки (водопропускные трубы, мосты, путепроводы); ограничение длин участков с предельными уклонами; ограничение минимальных длин вертикальных кривых одного знака во избежание получения «неспокойной» проектной линии, а также обеспечение зрительной плавности и ясности трассы, удобства и безопасности движения (рис. 2).

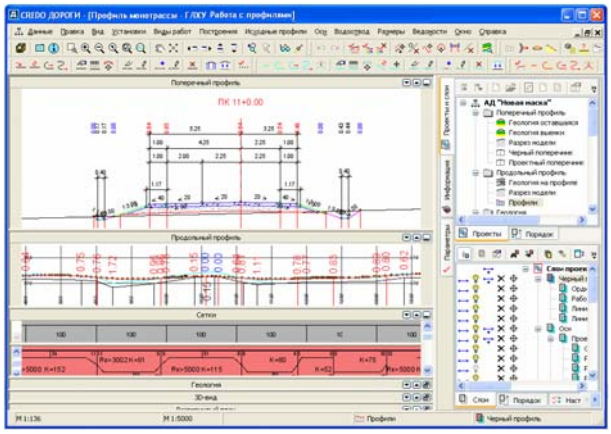


Рис. 2. Продольный профиль лесной дороги

Проектирование земляного полотна. Земляное полотно – наиболее разнообразный по конструкции элемент лесной автомобильной дороги. При его проектировании необходимо обеспечить его прочность и устойчивость под многократным воздействием нагрузок от подвижного состава и природных факторов. Требования к земляному полотну в различных дорожно-климатических зонах нашли свое отражение в типовом проекте конструкций земляного полотна. Случаи разработки индивидуальных проектов земляного полотна с проверкой его устойчивости определены в СНБ 2.05.07-91 «Промышленный транспорт».

При проектировании земляного полотна лесной дороги были установлены параметры проезжей части (однополосная дорога с разъездами),

обочин (грунтовая часть обочины), откосов земляного полотна, рассчитаны объемы земляных работ (рис. 3).

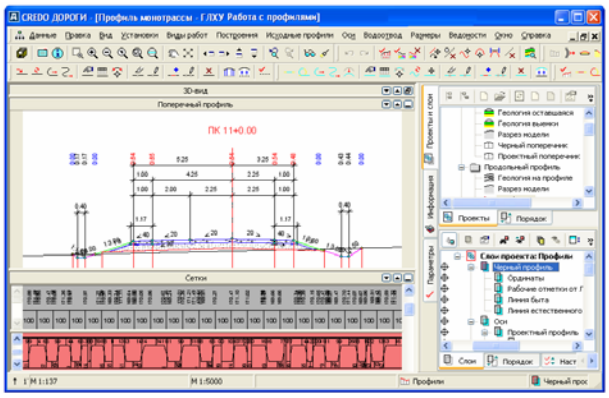


Рис. 3. Поперечный профиль однополосной дороги с разъездом

Оформление и вывод чертежей и ведомостей. Это заключительная часть проекта лесотранспортной сети Хуторского лесничества ГЛХУ «Червенский лесхоз» и включает в себя оформление и вывод чертежей плана трассы лесной дороги, продольного и поперечного профилей, а также вывод ведомостей по объемам работ.

Выводы. Разработанное математическое и информационное обеспечение с применением геоинформационных технологий позволило перейти к новой технологии непрерывного лесоустройства с внесением текущих изменений и актуализацией лесного фонда, ежегодно получать актуализированную информацию о лесном фонде для учета лесов, планирования лесохозяйственных мероприятий. При этом ГИС выступает как основная среда для проектирования и анализа лесотранспортной сети.

Основные задачи картографического интерфейса как компоненты ГИС:

– построение картографического изображения по информации, поступающей из картографической и фактографической базы данных, т. е. пространственная визуализация информации;

– обеспечение доступа к объектам этих баз данных, т. е. пространственные запросы. Такой запрос обеспечивает возможность указывать, отбирать и получать доступ к данным, манипулируя непосредственно графическими образами на экране дисплея.

Для того чтобы пользователь-эксперт мог сам свободно разрабатывать свой язык карты как знаковую систему, методы изображения картографических данных сделаны независимыми от пространственных данных. Это позволяет одно и то же содержание пространственных данных многократно применять для построения лесотранспортной сети в соответствии с поставленными задачами.

Главные требования – модели должны использовать для своей работы в качестве исходных данных стандартную информацию, получаемую в лесном хозяйстве, быть легко настраиваемыми на конкретные физико-географические условия и иметь «дружественный интерфейс». Базовую информацию в лесном хозяйстве создают лесоустроительные предприятия, которые на основе дешифрирования аэрофотоснимков, полевых работ, материалов геодезической съемки и топографических карт изготавливают планшеты и другие лесные карты, а также лесотаксационные базы данных [1, 2, 3].

Лесоустроительное предприятие проводит новое лесоустройство с использованием базовых информационных технологий, разрабатывает проект организации и ведения лесного хозяйства. Все материалы вводятся, обрабатываются и хранятся в специализированных базах данных: в повыдельной лесотаксационной базе данных, картографической базе данных планово-картографических материалов (геодезические материалы, планшеты, другие лесные карты) или в геоинформационной системе.

В лесозаготовительных и лесохозяйственных предприятиях выполняются все запроектированные мероприятия: по рубкам различного пользования, по лесовосстановлению и т. п., при производстве которых меняются характеристики лесного фонда, с использованием при этом запроектированной лесотранспортной сети.

Для практической реализации лесохозяйственной деятельности на этом уровне необходимо иметь систему, позволяющую, во-первых, осуществлять всевозможные запросы и их визуализацию с выдачей картографических и других документов для производства работ; во-вторых, вносить текущие изменения в ГИС; в-третьих, готовить отчетные документы как по атрибутным, так и по картографическим данным.

Литература

1. Бавбель, Е. И. Разработка проекта строительства лесной дороги / Е. И. Бавбель // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. – 2010. – Вып. 4 (39). – С. 81–89.

2. 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.

3. Бавбель, Е. И. Обоснование размещения лесотранспортных сетей / Е. И. Бавбель, П. А. Лыщик // Известия вузов. Лесной журнал. – 2009. – Вып. 4. – С. 82–88.

Поступила 14.03.2012

УДК 630*377.4

В. С. Исаченков, ассистент (БГТУ);
В. А. Симанович, кандидат технических наук, доцент (БГТУ)

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КАНАТНО-ЧОКЕРНОГО ПРИЦЕПНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В статье представлены математические модели движения колесной трелевочной машины при различном компоновочном решении канатно-чокерного прицепного технологического оборудования. Проведена оценка динамической нагруженности колесной трелевочной машины. Обоснованы весовые и геометрические параметры прицепного технологического оборудования.

The paper presents the mathematical model of the skidding wheel machines with different layout solution cant-chalkier trailing technological equipment. The estimation of dynamic loading of wheel skidding car. Substantiated by weight and the geometric parameters of trailer manufacturing of equipment.

Введение. Условия эксплуатации лесных транспортных средств можно отнести к постоянно изменяющимся процессам динамического характера, природа возникновения и функционирования которых во времени зависит от внешних и внутренних факторов. В настоящее время этап проектирования колесных агрегатных машин характеризуется многообразием их конструкций, позволяющих выполнять различные технологические операции и приемы с предметом труда. Выбор основных параметров лесных машин на стадии проектирования связан с динамическими явлениями в узлах и агрегатах транспортного средства [1].

Поставленная задача может быть решена разработкой математического аппарата синтеза динамических звеньев, входящих в систему. Выбор расчетно-кинематических и весовых параметров сравниваемых систем может быть проведен на основе анализа показателей, оказывающих преимущественное влияние на динамику поведения всей транспортной системы [2]. В качестве таких показателей в работе нами взяты статистические величины вертикальных ускорений в центре тяжести прицепного модуля, водителя и сиденья.

Выбор расчетной схемы транспортного средства для исследования показателей эксплуатационного характера и эргономических величин в центре тяжести канатно-чокерного прицепного технологического оборудования (КЧПТО), водителя и сиденья проводился на моделях, имеющих принципиальное конструктивное отличие. В качестве основной модели принимался базовый трактор МТЗ-82.1 с серийным трелевочным технологическим оборудованием, дооснащенным осями качения.

Математические модели процесса движения колесной трелевочной машины с прицепным технологическим оборудованием. Принципы построения расчетных схем и допущения при составлении математических моделей движения колесной трелевочной машины (КТМ) с КЧПТО аналогичны математическому аппарату, представленному в работе [3], и предполагает нахождение независимых, изменяющихся во времени координат (степеней свободы), определяющих положение всех масс машины при рассмотрении переходных и установившихся режимов движения. Расчетные динамические схемы определяются следующими обобщенными координатами: вертикальным, угловым и продольным перемещением центра тяжести тягового трактора – y_1, y_2, y_3; вертикальным перемещением центра тяжести переднего моста тягового трактора – y_4; вертикальным, угловым и продольным перемещением центра тяжести прицепного технологического оборудования – y_5, y_6, y_7; углом поворота коленчатого вала двигателя – y_8; углами поворота колес тягового трактора – y_9 и y_{10}; вертикальными и продольными перемещениями дискретных масс пачки деревьев – y_{11}, y_{12}, y_{13}; вертикальным перемещением центра тяжести водителя и сиденья – y_{14}; угловым перемещением балансирной тележки осей ПТО – y_{15}.

В расчетные схемы (рис. 1) входят следующие параметры: $M_Д$ – момент двигателя; $I_Д$ – момент инерции вращающихся масс двигателя и ведущих частей сцепления; I_{K1} и I_{K2} – моменты инерции элементов трансмиссии и соответственно колес тягового трактора; $I_Т$ и $I_Щ$ – моменты инерции тягового трактора и прицепного трелевочного оборудования; $I_Б$ – момент инерции балансирной тележки осей ПТО; $M_Т$ – масса тягового трактора; $m_М$ – подрессоренная масса переднего моста тягового трактора; $m_Щ$ – масса прицепного трелевочного оборудования; m_1, m_2 и m_3 – дискретные массы пачки хлыстов; $m_В$ – подрессоренная масса водителя и сиденья; c_2, k_2 и c_3, k_3 – вертикальная жесткость и сопротивление шин переднего и заднего мостов тягового трактора; c_{41}, k_{41} и c_{42}, k_{42} – вертикальная и горизонтальная жесткость и сопротивление сцепки тягового трактора и прицепа; c_{51}, k_{51}, c_{52}, k_{52}, c_{53} и k_{53} – вертикальные жесткости и сопротивления

шин осей прицепного технологического оборудования; c_{61}, k_{61} и c_{62}, k_{62} – продольные жесткости и сопротивления шин и почвогрунта, приведенные к точкам контакта колес соответственно переднего и заднего мостов трактора с опорной поверхностью; c_7, k_7 и c_8, k_8 – угловая жесткость и сопротивление валов привода переднего и заднего мостов тягового трактора; c_9, k_9 и c_{10}, k_{10} – продольная и вертикальная жесткость и сопротивление узла связи пачки с трактором; c_{11} и k_{11} – вертикальная жесткость и сопротивление пачки хлыстов; c_{12} и k_{12} – вертикальная жесткость и сопротивление сиденья водителя; i_1 и i_2 – передаточные числа приводов переднего и заднего мостов тягового трактора; a, b и h_T – координаты центра тяжести тягового трактора; l_B – горизонтальная координата центра тяжести водителя; $l_Щ$, h_1 – координаты центра тяжести прицепного трелевочного оборудования; $l_{СЦ}$, $h_{СЦ}$, h_2 – координаты точек сцепки тягового трактора и прицепа; L_X – длина пачки хлыстов; l_1, l_2 – координаты центра тяжести пачки древесины; l_3 – расстояние от оси прицепного трелевочного оборудования до горизонтальной координаты точки касания комлевой части пачки в щит; l_4 – расстояние от горизонтальной координаты оси до центра тяжести прицепного трелевочного оборудования; l_6, l_7 – расстояния от горизонтальных координат осей до центра тяжести прицепного трелевочного оборудования; l_8 – расстояние от центра тяжести прицепного трелевочного оборудования до горизонтальной координаты точки касания комлевой части пачки в щит; l_9 – расстояние от горизонтальной координаты центра балансирной тележки до центра тяжести ПТО; l_{10} и l_{11} – плечи балансирной тележки осей ПТО, l_{12} – расстояние от горизонтальной координаты третьей оси до центра тяжести ПТО; h_3 – расстояние от опорной поверхности до канатоведущего ролика арки; h_4 – расстояние от опорной поверхности до точки касания комлевой части пачки в щит прицепного трелевочного оборудования; r_1, r_2 и r_3 – радиусы качения колес тягового трактора и шин оси прицепного трелевочного оборудования; P_{K1} и P_{K2} – касательные силы тяги передних и задних колес трактора; P_{F1}, P_{F2}, P_{F3}, P_{F4}, и P_{F5} – силы сопротивления качению колес тягового трактора и шин осей прицепного трелевочного оборудования; P_V – сила сопротивления волочения пачки; q_1, q_2, q_3, q_4 и q_5 – текущие значения неровностей под колесами тягового трактора и осей прицепного трелевочного оборудования.

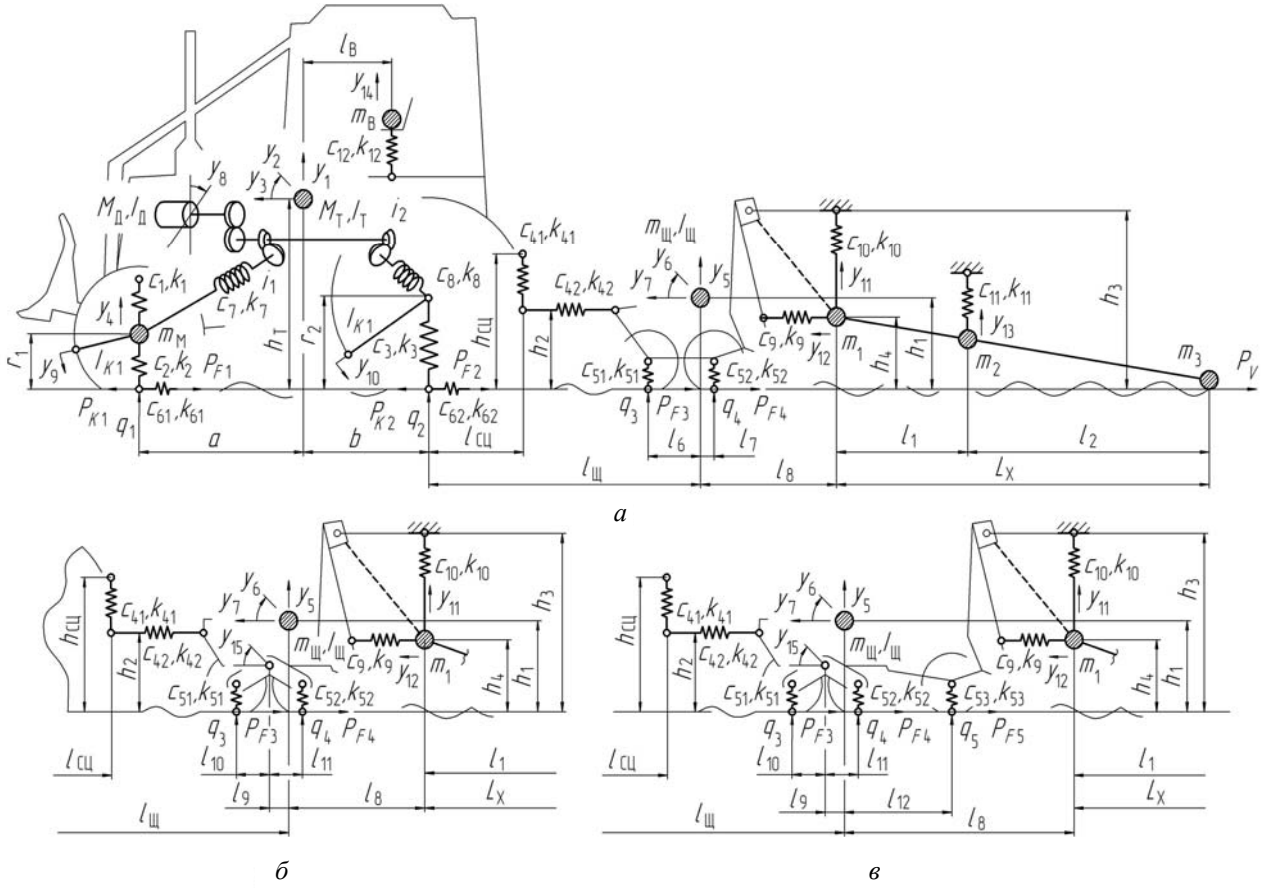


Рис. 1. Расчетные схемы динамической системы колесной трелевочной машины, оснащенной канатно-чокерным прицепным технологическим оборудованием

Для описания исследуемых динамических систем были взяты массово-геометрические параметры, моменты инерции, силы сопротивления и касательные силы тяги, аналогичные работе [3].

На рис. 1 приведены расчетные схемы динамической системы КТМ с КЧПТО различных компоновочных решений, разработанные с учетом ряда принятых допущений, на основе анализа ее конструкции и кинематики движения звеньев:

а – двухосное КЧПТО (схема имеет четырнадцать степеней свободы);

б – КЧПТО на двухосной балансирной тележке (схема имеет пятнадцать степеней свободы);

в – трехосное КЧПТО (схема имеет пятнадцать степеней свободы).

Разработанный математический аппарат дал возможность получить в системе высокоуровневого программирования *MatLab R*2006*a* матрицы численных значений отклонений степеней свободы моделей, первые производные этих отклонений и соответствующие им моменты времени протекания процесса, что позволило определить все необходимые параметры оценки динамической нагруженности КТМ, оснащенной различным по компоновочному решению КЧПТО (для одноосного КЧПТО математический аппарат представлен в работе [3]).

Изменения вертикальных ускорений по времени в центре тяжести КЧПТО определялись по следующим зависимостям:

а) для одноосного КЧПТО:

$$\ddot{Y}_5 = \Big[c_{41}\left(Y_1 - \left(b + l_{\text{СЦ}}\right)Y_2 - Y_5 - \left(l_{\text{Щ}} - l_{\text{СЦ}}\right)Y_6\right) + k_{41}\left(\dot{Y}_1 - \left(b + l_{\text{СЦ}}\right)\dot{Y}_2 - \dot{Y}_5 - \left(l_{\text{Щ}} - l_{\text{СЦ}}\right)\dot{Y}_6\right) - c_5(Y_5 - l_4 Y_6 - Q_3) - k_5\left(\dot{Y}_5 - l_4\dot{Y}_6 - \dot{Q}_3\right) - c_{10}(Y_5 - \left(l_4 + l_3\right)Y_6 - Y_{11}) - k_{10}\left(\dot{Y}_5 - \left(l_4 + l_3\right)\dot{Y}_6 - \dot{Y}_{11}\right)\Big] / m_{\text{Щ}};$$

б) для двухосного КЧПТО:

$$\ddot{Y}_5 = \Big[c_{41}\left(Y_1 - \left(b + l_{\text{СЦ}}\right)Y_2 - Y_5 - \left(l_{\text{Щ}} - l_{\text{СЦ}}\right)Y_6\right) + k_{41}\left(\dot{Y}_1 - \left(b + l_{\text{СЦ}}\right)\dot{Y}_2 - \dot{Y}_5 - \left(l_{\text{Щ}} - l_{\text{СЦ}}\right)\dot{Y}_6\right) - c_{51}(Y_5 + l_6 Y_6 - Q_3) - c_{52}(Y_5 - l_7 Y_6 - Q_4) - k_{51}(\dot{Y}_5 + l_6\dot{Y}_6 - \dot{Q}_3) - k_{52}(\dot{Y}_5 - l_7\dot{Y}_6 - \dot{Q}_4) - c_{10}(Y_5 - l_8 Y_6 - Y_{11}) - k_{10}\left(\dot{Y}_5 - l_8\dot{Y}_6 - \dot{Y}_{11}\right)\Big] / m_{\text{Щ}};$$

в) для КЧПТО на балансирной тележке:

$$\ddot{Y}_5 = \Big[c_{41}\left(Y_1 - \left(b + l_{\text{СЦ}}\right)Y_2 - Y_5 - \left(l_{\text{Щ}} - l_{\text{СЦ}}\right)Y_6\right) + k_{41}\left(\dot{Y}_1 - \left(b + l_{\text{СЦ}}\right)\dot{Y}_2 - \dot{Y}_5 - \left(l_{\text{Щ}} - l_{\text{СЦ}}\right)\dot{Y}_6\right) - c_{51}(Y_5 + l_{10}Y_{15} + (l_9 + l_{10})Y_6 - Q_3) - k_{51}(\dot{Y}_5 + l_{10}\dot{Y}_{15} + (l_9 + l_{10})\dot{Y}_6 - \dot{Q}_3) - c_{52}(Y_5 - l_{11}Y_{15} + (l_9 - l_{11})Y_6 - Q_4) - k_{52}(\dot{Y}_5 - l_{11}\dot{Y}_{15} + (l_9 - l_{11})\dot{Y}_6 - \dot{Q}_4) - c_{10}(Y_5 - l_8 Y_6 - Y_{11}) - k_{10}\left(\dot{Y}_5 - l_8\dot{Y}_6 - \dot{Y}_{11}\right)\Big] / m_{\text{Щ}};$$

в) для трехосного КЧПТО:

$$\ddot{Y}_5 = \Big[c_{41}\left(Y_1 - \left(b + l_{\text{СЦ}}\right)Y_2 - Y_5 - \left(l_{\text{Щ}} - l_{\text{СЦ}}\right)Y_6\right) + k_{41}\left(\dot{Y}_1 - \left(b + l_{\text{СЦ}}\right)\dot{Y}_2 - \dot{Y}_5 - \left(l_{\text{Щ}} - l_{\text{СЦ}}\right)\dot{Y}_6\right) - c_{51}(Y_5 + l_{10}Y_{15} + (l_9 + l_{10})Y_6 - Q_3) - k_{51}(\dot{Y}_5 + l_{10}\dot{Y}_{15} + (l_9 + l_{10})\dot{Y}_6 - \dot{Q}_3) - c_{52}(Y_5 - l_{11}Y_{15} + (l_9 - l_{11})Y_6 - Q_4) - k_{52}(\dot{Y}_5 - l_{11}\dot{Y}_{15} + (l_9 - l_{11})\dot{Y}_6 - \dot{Q}_4) - c_{53}(Y_5 - l_{12}Y_6 - Q_5) - k_{53}(\dot{Y}_5 - l_{12}\dot{Y}_6 - \dot{Q}_5) - c_{10}(Y_5 - l_8 Y_6 - Y_{11}) - k_{10}\left(\dot{Y}_5 - l_8\dot{Y}_6 - \dot{Y}_{11}\right)\Big] / m_{\text{Щ}}.$$

Изменение вертикальных ускорений центра тяжести водителя и сидения по времени определялось по формуле

$$\ddot{Y}_{14} = [- c_{12}\left(Y_{14} - Y_1 + l_{\text{В}}Y_2\right) - k_{12}\left(\dot{Y}_{14} - \dot{Y}_1 + l_{\text{В}}\dot{Y}_2\right)] / m_{\text{В}}.$$

В данных уравнениях заглавные буквы степеней свободы означают полученные при моделировании матрицы результатов, обработка которых позволила построить графики нормированных спектральных плотностей ускорений центра тяжести КЧПТО, центра тяжести водителя и сиденья, и их изменение в зависимости от параметров применяемого технологического оборудования (рис. 2, 3).

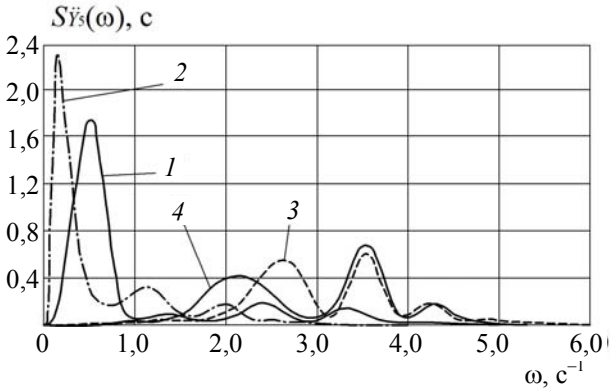


Рис. 2. Нормированные спектральные плотности вертикальных ускорений центра тяжести КЧПТО при движении по трелевочному волоку:
1 – одноосное; *2* – двухосное; *3* – на балансирной тележке; *4* – трехосное

Результаты моделирования динамических процессов для различных конструктивных схем прицепного звена проводились при транспортировке пачки деревьев объемом 1,0 м^3 и скорости перемещения 4,26 км/ч по микропрофилю

трелевочного волока, характеристики которого определялись методами математической статистики.

На рис. 2 представлены нормированные спектральные плотности ускорения центра тяжести КЧПТО для различных компоновочных решений оборудования.

Для одноосной конструкции максимум нормированной спектральной плотности проявляется при частоте 0,5 $с^{-1}$ и достигает значения 1,73 с. В то же время максимум спектральной плотности для двухосной системы проявляется при частоте 0,22 $с^{-1}$. Процесс снижения статистических величин ускорений затухает более интенсивно для одноосной системы.

В случае применения балансирной тележки в прицепном модуле максимумы спектральных плотностей ускорений проявляются дважды при частоте 2,68 $с^{-1}$ и 3,51 $с^{-1}$. Трехосная конструкция прицепного оборудования имеет более растянутый частотный диапазон, максимумы которого проявляются при частоте 2,10 $с^{-1}$ и 3,53 $с^{-1}$.

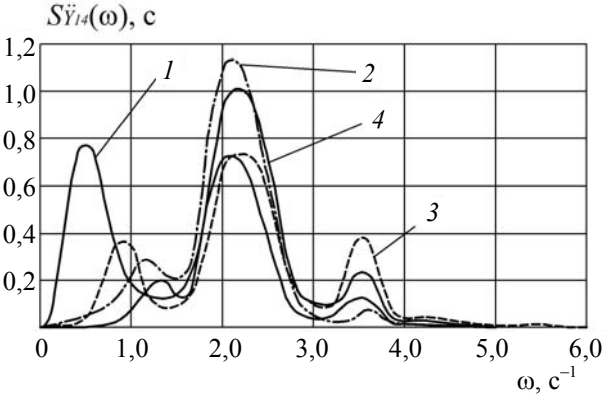


Рис. 3. Нормированные спектральные плотности вертикальных ускорений центра тяжести водителя и сиденья при движении по трелевочному волоку:
1 – одноосное; *2* – двухосное;
3 – на балансирной тележке; *4* – трехосное

Из графиков нормированных спектральных плотностей ускорения центра тяжести водителя и сиденья (рис. 3) видно, что максимальные значения лежат в диапазоне частот от 0,5 $с^{-1}$ до 3,5 $с^{-1}$ и проявляются трижды.

Частотные диапазоны и абсолютные величины максимумов спектральных плотностей ускорения центра тяжести водителя и сиденья зависят от изменения количества и соединения опорных осей КЧПТО. При увеличении количества опарных осей с одной до двух происходит смещение частотного диапазона в сторону увеличения с 0,5 $с^{-1}$ до 2,2 $с^{-1}$, при этом абсолютный максимум увеличивается в 1,51 раза. Замена одной опорной оси на балансирную тележку приводит к тому, что частотный диапазон смещается в сторону увеличения до 2,3 $с^{-1}$, где просматривается пиковое значение, при этом абсолютный максимум уменьшается в 1,08 раза. Увеличение количества опорных осей в КЧПТО до трех приводит к изменениям в максимальных значениях спектральной плотности в сторону увеличения в 1,43 раза.

Весовые и геометрические размеры КЧПТО были определены изменением входящих в динамическую систему параметров, которые влияют на процессы движения КТМ по трелевочному волоку. За критерий оптимизации были приняты значения максимумов спектральных плотностей.

Заключение. Результаты математического моделирования позволили определить диапазон варьирования параметров канатно-чокерного прицепного технологического оборудования: масса – 0,5…0,9 т; высота центра тяжести – 0,7…1,1 м; расстояние от заднего колеса тягача до центра тяжести – 0,8…1,1 м; длина подвеса пачки хлыстов – 0,4….0,6 м; расстояние от центра тяжести до центра балансирной тележки – – 0,3…0,1 м; расстояние плеч балансирной тележки – 0,65…0,75 м.

Литература

1. Жуков, А. В. Теория лесных машин / А. В. Жуков. – Минск: БГТУ, 2001. – 640 с.

2. Силаев, А. А. Спектральная теория подрессоривания транспортных машин / А. А. Силаев. – М.: Машиностроение, 1972. – 192 с.

3. Исаченков, В. С. Математическая модель колесной трелевочной машины / В. С. Исаченков, В. А. Симанович // Труды БГТУ. – 2011. – № 2 (140): Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 75–81.

Поступила 16.03.2012

УДК 625.7/8+539.376

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ СЛОИСТЫХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

В статье автором предлагается решение задачи по определению деформаций дорожных одежд и земляного полотна с учетом реологических свойств материалов на основе решения задач математической теории упругости и задач теории ползучести исходя из математических моделей исследуемых процессов. Рассматриваемая задача решена методом интегральных преобразований по временной координате.

The author suggests in his article the solution to the deformation determination problem of pavement surfacing and road subgrade with reference to materials rheologic characteristics based on problem solutions of mathematical theory of elasticity and creep theory problems considering mathematical models of processes under investigation. The problem under review was solved by intergal transformation method on time coordinate.

Введение. В опубликованных работах В. Ф. Бабкова, А. К. Бирули, Н. Н. Иванова, Б. И. Когана, М. Б. Корсунского и других даны различные решения вопросов расчета слоистых дорожных одежд. Однако расчету дорожных одежд с учетом ползучести материалов уделено недостаточное внимание. Так, в 1961 г. М. Б. Корсунский [1] указал пути учета ползучести материалов при расчете дорожных одежд. Исходя из предположений о том, что известна функциональная зависимость изменений величины модуля упругости от скорости нагружения и продолжительности действия нагрузки, он сумел свести задачу теории ползучести к известным задачам теории упругости. Позже Б. С. Радовским [2] дана постановка задачи о напряженно-деформированном состоянии многослойного упруго-вязкого полупространства и получено решение для однородного упруго-вязкого полупространства в интегральном виде. Ползучесть материалов учтена И. А. Медниковым [3] в 1969 г. при решении задачи об изгибе бесконечно длинной упруго-вязкой балки на упруго-вязком основании, причем, как указывает автор, при некоторых принятых допущениях можно свести данную задачу к расчету дорожных одежд. Поэтому задача исследования изменения напряжений и перемещений в слоистой системе с учетом реологических свойств материалов, применяемых в дорожном строительстве, является актуальной.

Основная часть. Анализ показал, что в литературных источниках в недостаточной мере проведено исследование напряженно-деформированного состояния слоистых систем с учетом ползучести материалов при математически строгой постановке задачи.

На основании экспериментально полученных кривых ползучести и сравнения решений дифференциальных уравнений, полученных на АВМ, нами был выбран и обоснован закон деформирования с учетом временной координаты для наиболее распространенных дорожно-строительных материалов.

Установлено, что для материалов, используемых в дорожном строительстве, с достаточной точностью для практических целей, может быть принята следующая зависимость:

$$En\frac{d\varepsilon}{dt}+H\varepsilon=n\frac{d\sigma}{dt}+\sigma, \qquad (1)$$

где E – мгновенный модуль упругости; n – коэффициент времени релаксации, зависящий от упруго-вязких свойств материала и вида нагружения; ε – деформация; H – длительный модуль упругости; σ – напряжение.

Расчетной математической моделью дорожной одежды и земляного полотна может служить многослойное квазистатическое упруго-вязкое полупространство, на поверхность которого действует нагрузка, равномерно распределенная по площади круга. Каждый i-й слой характеризуется параметрами: E_i, H_i, n_i, коэффициентом Пуассона μ_i и толщиной h_i.

Обозначим компоненты тензора перемещения вдоль оси z в цилиндрической системе координат – w, а вдоль оси r – u.

Решение задачи сводится к отысканию системы бигармонических функций $\varphi_i(r,z)$, с которой горизонтальные и вертикальные деформации тензора перемещения связаны следующими зависимостями:

$$w_i=\frac{1+\mu_i}{E_i}\{[2(1-\mu_i)\nabla^2\varphi_i-\frac{\partial^2\varphi_i}{\partial z^2}]+\frac{E_i-H_i}{E_in_i}\times$$

$$\times\int_0^t[\,2(1-\mu_i)\nabla^2\varphi_i-\frac{\partial^2\varphi_i}{\partial z^2}\,]\,e^{-\frac{H_i(t-\tau)}{E_in_i}}\,d\tau\},$$

$$u_i=-\frac{1-\mu_i}{E_i}[\frac{\partial^2\varphi_i}{\partial z\partial r}+\frac{E_i-H_i}{E_in_i}\int_0^t\frac{\partial^2\varphi_i}{\partial z\partial r}e^{-\frac{H_i(t-\tau)}{E_in_i}}\,d\tau]. \qquad (2)$$

Как известно, искомая функция $\varphi_i(r,z)$ приемлема, если она удовлетворяет уравнению

$$\nabla^2\nabla^2\varphi_i(r,z)=0, \qquad (3)$$

где ∇^2 – символ, аналогичный оператору Лапласа и граничным условиям.

В пределах каждого слоя искомая функция $\varphi_i(r,z)$ непрерывна и для любого *i*-го слоя может быть представлена аналитической зависимостью вида:

$$\varphi_i(r,z)=\int_0^\infty\{A+B[\alpha(\eta-1)+2\mu_i]+\sum_{k=2}[C_k[(1-2\mu_i)(1-e^{-2\lambda_k})+\lambda_k(1+e^{-2\lambda_k})]+D_k[2\mu_i(1+e^{-2\lambda_k})-\lambda_k(1-e^{-2\lambda_k})]\}\}e^{-\alpha\eta}J_0(\rho\alpha)d\alpha, \qquad (4)$$

где $\eta = z/h$; $\rho = r/h$; $\lambda_k = (h_{k-1}-z)/h$; h_i – суммарная толщина слоев лежащих выше *i*-го; $J_0(\rho\alpha)$ – функция Бесселя первого рода нулевого порядка. Коэффициенты A, B, C_k, D_k, входящие в формулу (3), представляют собой неопределенные функции, зависящие от нагрузки, параметра α и времени действия нагрузки. Для определения данных функций используются следующие граничные условия:

на поверхности, при $z = 0$

$$\sigma_z=\begin{cases}-P(r), & R\ge r,\\ 0, & R<r;\end{cases} \qquad (5)$$

на границе между $i-1$ и i-слоями

$$\sigma_z^i=\sigma_z^{i-1},\ w_i=w_{i-1},\ u_i=u_{i-1}; \qquad (6)$$

на бесконечности, при $z\to\infty$

$$\sigma_z\to 0,\ w\to 0,\ u\to 0. \qquad (7)$$

Система функций (4) удовлетворяет бигармоническому уравнению в цилиндрических координатах (3), а поэтому составляющие компоненты тензора перемещений могут быть определены из следующих зависимостей:

$$w_i=-\frac{1+\mu_i}{E_ih^2}\int_0^\infty\{A+B(2+2\mu_i-\eta)+\sum_{k=2}\{C_k[(1-2\mu_i)(1-e^{-2\lambda_k})-\lambda_k(1+e^{-2\lambda_k})-D_k[2(1-2\mu_i)\times(1+e^{-2\lambda_k})-\lambda_k(1-e^{-2\lambda_k})]\}\}\alpha^2e^{-\alpha\eta}J_0(\rho\alpha)d\alpha-\frac{(1+\mu_i)(E_i-H_i)}{E_i^2h^2n_i}\int_o^t\int_0^\infty\{A+B(2+2\mu_i-\eta)+\sum_{k=2}\{C_k[(1-2\mu_i)(1-e^{-2\lambda_k})-\lambda_k(1+e^{-2\lambda_k})]-D_k[2(1-\mu_i)(1+e^{-2\lambda_k})-\lambda_k(1-e^{-2\lambda_k}))]\}\}\times\alpha^2e^{\frac{-H_i(t-\tau)}{E_in_i}-\alpha\eta}J_0(\rho\alpha)d\alpha\,d\tau; \qquad (8)$$

для горизонтальных перемещений:

$$u_i=-\frac{1+\mu_i}{E_ih^2}\int_0^\infty\{A-B(1-2\mu_i+\eta)+\sum_{k=2}\{C_k[2(1-\mu_i)(1+e^{-2\lambda_k})+\lambda_k(1-e^{-2\lambda_k})]+D_k[(2\mu_i-1)\times(1-e^{-2\lambda_k})]-\lambda_k(1+e^{-2\lambda_k})]\}\}\alpha^2e^{-\alpha\eta}J_1(\rho\alpha)d\alpha-\frac{(1+\mu_i)(E_i-H_i)}{E_i^2h^2n_i}\int_0^t\int_0^\infty\{A-B(1-2\mu_i+\eta)+\sum_{k=2}\{C_k[2(1-\mu_i)(1+e^{-2\lambda_k})+\lambda_k(1-e^{-2\lambda_k})]+D_k[(2\mu_i-1)(1-e^{-2\lambda_k})-\lambda_k(1+e^{-2\lambda_k})]\}\}\times\alpha^2e^{-\frac{\alpha\eta+H_i(t-\tau)}{E_in_i}}J_1(\rho\alpha)d\alpha\,d\tau, \qquad (9)$$

где $\beta = R/h$; $J_1(\rho\alpha)$ – функция Бесселя первого рода первого порядка. Как было показано выше, функции $A(\alpha,t)$, $B(\alpha,t)$, $C_k(\alpha,t)$, $D_k(\alpha,t)$ определяются из граничных условий.

Число таких уравнений равно $2(2n-1)$, но при принятой в приводимом решении форме записи функции напряжений $\varphi_i(r,z)$ граничные условия на бесконечности и условия неразрывности напряжений σ_z на поверхности контакта выполняются тождественно.

В результате интегральных преобразований получены аналитические выражения для определения значений компонент тензора перемещений в любой точке упруго-вязкого слоистого полупространства с учетом ползучести используемых материалов. Данные зависимости обобщены для однородного, двухслойного и трехслойного упруго-вязких полупространств. На основании граничных условий (5), (6) получены системы линейных уравнений с переменными коэффициентами для определения значений функций $A(\alpha, t)$, $B(\alpha, t)$, $C_k(\alpha, t)$, $D_k(\alpha, t)$.

Доказана единственность решения систем при фиксированных параметрах α и t.

Рассмотрим случай, когда на однородное упруго-вязкое полупространство, характеризующееся параметрами E, H, n и μ, действует постоянная во времени вертикальная нагрузка, равномерно распределенная по площади круга радиуса R, которую удобно представить через интеграл Фурье – Бесселя:

$$P(r)=P_0\beta\int_0^\infty J_1(\beta\alpha)J_0(\rho\alpha)d\alpha. \qquad (10)$$

Если в формулах (8) и (9) положим $i = 1$, то данная задача по определению всех составляющих тензора перемещения в любой точке изотропного упруго-вязкого полупространства

является частным случаем рассмотренной выше задачи. Опуская промежуточные преобразования, представим окончательный результат:

вертикальные перемещения:

$$w = -\frac{1+\mu}{E}\int_0^\infty \{ A + B[2(1-\mu)+\alpha(z-$$

$$-1)]\}e^{-\alpha z}\,\alpha^2 J_0(\alpha r)d\alpha - \frac{(1+\mu)(E-H)}{E^2 n}\times$$

$$\times \int_o^t \int_0^\infty \{ A + B[2(1-\mu)+\alpha(z-1)]\}\alpha^2 \times$$

$$\times e^{\frac{-H(t-\tau)}{En}-\alpha z} J_0(\alpha r)\, d\alpha\, d\tau; \qquad (11)$$

горизонтальные перемещения:

$$u = -\frac{1+\mu}{E}\int_0^\infty \{ A - B[(1-2\mu)-\alpha(z-$$

$$-1)]\}e^{-\alpha z}\,\alpha^2 J_1(\alpha r)d\alpha + \frac{(1+\mu)(H-E)}{E^2 n}\times$$

$$\times \int_o^t \int_0^\infty \{ A - B[2(1-2\mu)-\alpha(z-1)]\}\alpha^2 \times$$

$$\times e^{\frac{-H(t-\tau)}{En}-\alpha z} J_1(\alpha r)\, d\alpha\, d\tau. \qquad (12)$$

Произвольные коэффициенты A и B, содержащиеся в (11) и (12), определяем на основании граничных условий (5) на поверхности ($z = 0$).

В результате вышеуказанных условий получаем следующие формулы для определения неизвестных коэффициентов:

$$A = -PR\alpha^{-2}J_1(R\alpha);$$
$$B = -PR\alpha^{-3}J_1(R\alpha). \qquad (13)$$

Подставив известные значения A и B в выражения (11) и (12), получаем расчетные формулы для определения компонент тензора перемещения любой точки изотропного упруговязкого полупространства:

вертикальные перемещения:

$$w = -\frac{PR(1+\mu)}{H}\left(1+\frac{H-E}{E}e^{-\frac{Ht}{En}}\times\right.$$

$$\left.\times\int_0^\infty\left(z+\frac{2(1-\mu)}{\alpha}\right)e^{-\alpha z}J_0(\alpha r)J_1(\alpha R)d\alpha;\right. \qquad (14)$$

горизонтальные перемещения:

$$w = -\frac{PR(1+\mu)}{H}\left(1+\frac{H-E}{E}e^{-\frac{Ht}{En}}\times\right.$$

$$\left.\times\int_0^\infty\left(z+\frac{2(1-\mu)}{\alpha}\right)e^{-\alpha z}J_0(\alpha r)J_1(\alpha R)d\alpha.\right. \qquad (15)$$

Для определения максимального значения функции $w(r)$ воспользуемся методом дифференциального исчисления. Взяв производную функции $w(r)$ по r и приравняв ее к нулю, имеем, что для любого значения α наибольшее значение вертикального перемещения вдоль оси z будет при $r = 0$, т. е. в центре круга произвольного радиуса R. При этом условии формула (11) для определения просадки в центре круга упрощается в связи с тем, что

$$\int_0^\infty\left(z+\frac{2(1-\mu)}{\alpha}\right)e^{-\alpha z}J_0(\alpha r)J_1(\alpha R)d\alpha = 2(1-\mu),$$

получаем расчетную формулу для определения просадки под центром круга, на который действует постоянная во времени вертикальная сплошная нагрузка P:

$$w(t) = \frac{PR(1-\mu^2)}{H}\left(1+\frac{H-E}{E}e^{-\frac{Ht}{En}}\right). \qquad (16)$$

Заключение. Данные решения обобщены для однородного, двухслойного и трехслойного упруго-вязких полупространств, для которых разработаны алгоритмы и составлены программы по определению численных значений компонент тензора перемещений.

Разработанные алгоритмы и комплекс программ приняты Госфондом алгоритмов и программ (РГ П0015) для использования в проектных организациях.

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

Литература

1. Корсунский, М. Б. Деформации дорожных одежд и фактор времени / М. Б. Корсунский // Автомобильные дороги. – 1961. – № 7. – С. 25–27.

2. Радовский, Б. С. Поведение дорожной конструкции как слоистой вязкоупругой среды под действием подвижной нагрузки / Б. С. Радовский // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1975. – № 4. – С. 141–146.

3. Медников, И. А. К теории изгиба многослойных и армированных плит / И. А. Медников // Труды Союздорнии. – М.: Транспорт, 1969. – Вып. 7. – С. 90–103.

Поступила 19.03.2012

УДК 630*6

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

ПЕРСПЕКТИВЫ ЗАГОТОВКИ В БЕЛАРУСИ КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ МОБИЛЬНЫМИ СУЧКОРЕЗНО-РАСКРЯЖЕВОЧНЫМИ АГРЕГАТАМИ

Показана целесообразность применения на заготовке сортиментов мобильных сучкорезно-раскряжевочных агрегатов вместо бензиномоторных пил. Описана технология и организация работ на заготовке сортиментов этими агрегатами. Предложена формула для расчета производительности сучкорезно-раскряжевочных агрегатов и машин.

The efficiency of the impltmentation of mobile delimbing-bucking units instead of gasolinemotor saws is shown. The technology and organization of these units work is given. The formula for calculation the producing capacity of delimbing-bucking units and machines in proposed.

Введение. В настоящее время в основном круглые лесоматериалы заготавливаются на рубках главного и промежуточного пользования с применением бензиномоторных пил на валке деревьев, очистке их от сучьев и раскряжевке хлыстов на сортименты. Применение бензиномоторных пил на перечисленных операциях неэффективно, так как требуются затраты ручного труда, следствием чего является низкая производительность и повышенная опасность травматизма рабочих. Поэтому в последние годы отдельные предприятия и лесохозяйственные учреждения начали применять на заготовке круглых лесоматериалов валочно-сучкорезно-раскряжевочные машины. Такие машины достаточно производительны, исключают ручной труд, но имеют очень высокую стоимость – 350–500 тыс. дол. и более в зависимости от производителя. Чтобы снизить себестоимость заготовки 1 м^3 древесины, такие машины стремятся эксплуатировать в две смены.

Внедрение валочно-сучкорезно-раскряжевочных машин на заготовке сортиментов идет медленно, так как на их приобретение требуются большие капиталовложения. До 2015 г. планируется закупить 84 валочно-сучкорезно-раскряжевочные машины для рубок главного пользования и 121 – для рубок промежуточного пользования, что крайне недостаточно для широкого внедрения машинной заготовки древесины. Между тем объемы машинной заготовки сортиментов можно значительно увеличить уже в ближайшее время, если, например, наполовину сократить количество планируемых к приобретению валочно-сучкорезно-раскряжевочных машин и за высвободившиеся финансовые средства приобрести мобильные сучкорезно-раскряжевочные агрегаты, которые достаточно производительны и в несколько раз дешевле валочно-сучкорезно-раскряжевочных машин. Такие сучкорезно-раскряжевочные агрегаты производятся и применяются в скандинавских странах и Российской Федерации.

1. Особенности конструкций сучкорезно-раскряжевочных агрегатов. Производительность. В скандинавских странах производятся и находят применение мобильные навесные сучкорезно-раскряжевочные агрегаты «Хипро 755», «Хипро 450» и др., а в Российской Федерации – сучкорезно-раскряжевочные машины СМ-35.

Скандинавские сучкорезно-раскряжевочные агрегаты состоят из базовой машины и навесного технологического оборудования. Базовой машиной может служить колесный трактор с мощностью двигателя не менее 60 кВт, и в частности «Беларус МТЗ-82Л», «Беларус МТЗ-1221» и др., на приобретение которых не потребуются валютные средства, что очень важно. Навесное технологическое оборудование агрегата состоит из рамы, гидравлической однобарабанной реверсивной лебедки, гидроманипулятора, сучкорезной головки с ножами силового резания, механизма протаскивания дерева через сучкорезную головку, механизма раскряжевки хлыстов на сортименты, механизма отмера длин выпиливаемых сортиментов и учета заготовленной древесины, гидросистемы, панели управления агрегатом и дистанционного пульта управления [1].

Механизм протаскивания дерева через сучкорезную головку выполнен в виде двух реверсивных вертикально расположенных цилиндрических вальцов.

Механизм отмера длин выпиливаемых сортиментов и учета заготовленной древесины состоит из широкого вращающегося валика и миникомпьютера. Валик, вращаясь при протаскивании ствола дерева через сучкорезную головку, измеряет длину выпиливаемого сортимента, а вальцы протаскивающего механизма – диаметр. Данные замеров поступают на миникомпьютер, и по ним определяются объем каждого заготовленного сортимента и в целом, которые передаются по назначению или хранятся в памяти миникомпьютера. Комли поваленных деревьев в зависимости от удаленности их от сучкорезно-раскряжевочного агрегата подаются в него гидроманипулятором или лебедкой. Уборка сучьев

и вершин от агрегата производится, при необходимости, гидроманипулятором. Диаметр обрабатываемых деревьев до 50 см. Обслуживается такой агрегат одним рабочим.

В скандинавских странах находят применение также сучкорезно-раскряжевочные машины грейферного типа. Их производительность не намного выше сучкорезно-раскряжевочных агрегатов, но они значительно дороже этих агрегатов.

Российская сучкорезно-раскряжевочная машина СМ-35 выполнена на базе гусеничного трактора ТТ-4М-01 [2]. Навесное технологическое оборудование состоит из гидроманипулятора, установленного за кабиной трактора, сучкорезно-раскряжевочного агрегата, расположенного шарнирно на заднем мосту трактора, системы управления и гидросистемы. Все узлы машины конструктивно выполнены аналогично, как и в зарубежных сучкорезно-раскряжевочных агрегатах, но механизм протаскивания дерева через сучкорезную головку гусеничный. Гидроманипулятор имеет максимальный вылет до 8 м. Машина предназначена для заготовки сортиментов на верхних складах и может обрабатывать деревья диаметром до 65 см. На ней в автоматизированном (программном) режиме можно без переналадки выпиливать не менее 6 длин сортиментов в любом наборе. Управление технологическим оборудованием дистанционное из кабины машины.

Производительность сучкорезно-раскряжевочной машины (СРМ, агрегата) в обобщенном виде выражается формулой

$$П = \frac{(T - t_{п\text{-}з})\varphi_1\varphi_2 V_{хл}}{t_1 + t_2 + t_3}, \qquad (1)$$

где T – продолжительность смены, с; $t_{п\text{-}з}$ – время на подготовительно-заключительные операции, с; φ_1 – коэффициент использования рабочего времени; φ_2 – коэффициент загрузки сучкорезно-раскряжевочного механизма на обработке деревьев; $V_{хл}$ – средний объем хлыста, м^3; t_1 – время на захват комля дерева и подачу его в сучкорезно-раскряжевочный механизм, с; t_2 – время на протаскивание дерева через сучкорезную головку, с; t_3 – время на раскряжевку хлыста на сортименты, с.

Формулу (1) необходимо детализировать с учетом природно-производственных факторов и технологических параметров СРМ, влияющих на производительность.

Время t_1 на захват комля дерева и подачу его в сучкорезно-раскряжевочный механизм наиболее целесообразно определять по данным фотохронометражных наблюдений, так как устройства для выполнения этой операции имеют различную конструкцию. В среднем можно принимать в расчетах $t_1 = 20$ с при обработке деревьев на верхнем складе.

Время t_2 на протаскивание дерева через сучкорезную головку зависит от скорости протаскивания u и средней длины L обрабатываемых деревьев за вычетом части длины комля $l_к$ (примерно 1 м) и вершины $l_в$, длина которой зависит от породы и при диаметре 3 см составляет в среднем 1,5 м. Средняя длина обрабатываемых деревьев может быть определена по материалам отвода насаждения в рубку. Тогда

$$t_2 = \frac{L - l_к - l_в}{u}. \qquad (2)$$

Время t_3 на раскряжевку хлыста на сортименты зависит от длины хлыста, числа пропилов $m_р$ (резов) на один хлыст, среднего диаметра $d_{ср}$ пропилов, производительности чистого пиления пильного механизма $П_{пил}$.

На число пропилов влияет длина хлыста и средняя длина выпиливаемых сортиментов $l_{ср}$:

$$m_р = \frac{L - l_в}{l_{ср}}.$$

Производительность чистого пиления зависит от конструкции пильного механизма, мощности двигателя и средней скорости надвигания $u_н$ пильного механизма на хлыст. Тогда с учетом изложенного выше

$$t_3 = \frac{d_{ср} m_р}{u_н} \text{ или } t_3 = \frac{\pi d_{ср}^2 (L - l_в)}{4 П_{пил} \varphi_п l_{ср}}, \qquad (3)$$

где $\varphi_п$ – коэффициент использования производительности чистого пиления пильного механизма.

Подставив полученные значения t_1 и t_3 из формул (2) и (3) в формулу (1), получим, что

$$П = \frac{(T - t_{п\text{-}з})\varphi_1\varphi_2 V_{хл}}{t_1 + \dfrac{L - l_к - l_в}{u} + \dfrac{\pi d_{ср}^2 (L - l_в)}{4 П_{пил} \varphi_п l_{ср}}}. \qquad (4)$$

Формула (4) представляет собой математическое описание процесса заготовки сортиментов этой техникой на лесосеке и верхнем складе.

2. Технология и организация работ на заготовке древесины мобильными сучкорезно-раскряжевочными агрегатами. Сначала на лесосеке должны быть проведены необходимые подготовительные работы, а именно, убраны опасные деревья, лесосека разбита на пасеки и намечены трелевочные волоки, устроен верхний склад, проложен лесовозный ус, как показано на рисунке.

С учетом возможности подтаскивания поваленных деревьев агрегатом со стороны ширину пасеки целесообразно принять равной 40–45 м. Трелевочные волоки должны быть расположены по границам пасек.

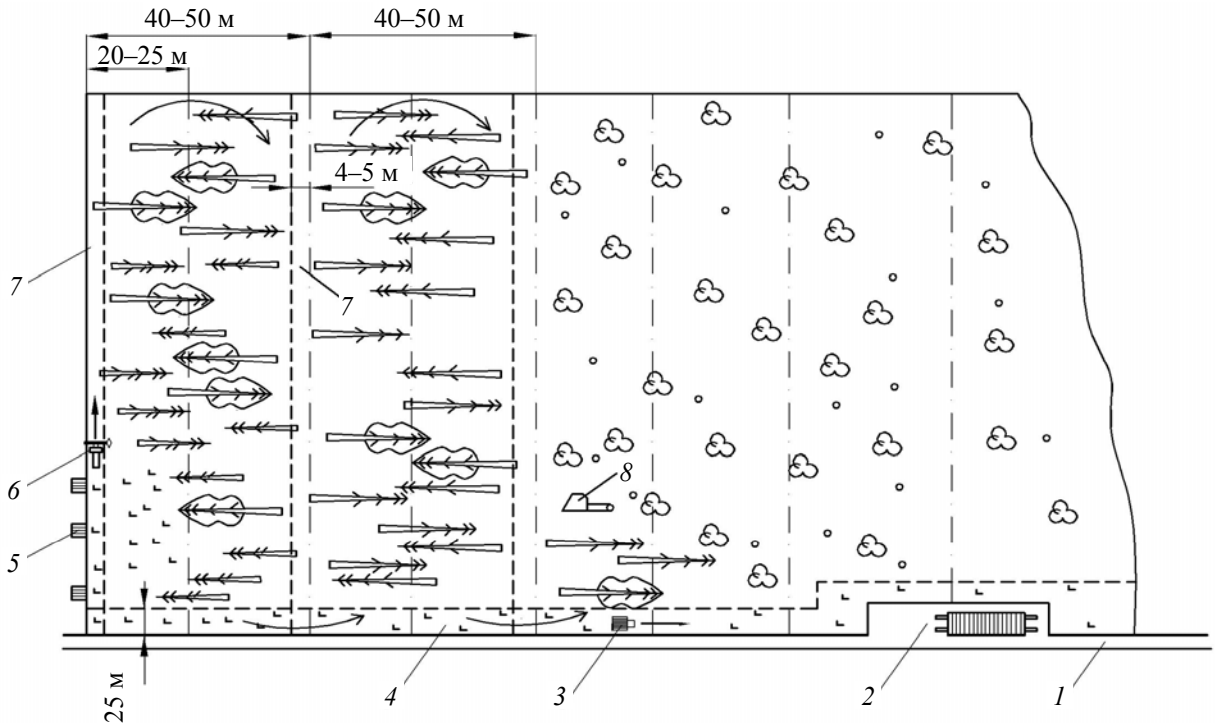


Схема разработки лесосеки системой машин бензиномоторная пила + процессор + форвардер:
1 – лесосечный ус; *2* – верхний склад; *3* – форвардер; *4* – зона безопасности; *5* – сортименты;
6 – процессор типа Хипро 755 В; *7* – трелевочный волок; *8* – бензиномоторная пила

Разработка лесосеки начинается с заготовки сортиментов в зоне безопасности, вдоль лесовозного уса и вокруг верхнего склада. Для этого на каждой полупасеке в зоне безопасности сначала производят валку деревьев перпендикулярно трелевочному волоку комлями в сторону волока. Затем по достижении безопасного расстояния начинают обработку деревьев процессором и далее сбор, подвозку сортиментов на верхний склад и укладку в штабеля погрузочно-транспортной машиной.

После зоны безопасности приступают к заготовке сортиментов последовательно на пасеках с ближнего к лесовозному усу конца, начиная с крайней пасеки.

Деревья валят бензопилой перпендикулярно трелевочному волоку, с левой половины пасеки и к левому волоку, с правой – к правому волоку. Далее по достижении безопасного расстояния приступают к обработке деревьев сучкорезно-раскряжевочным агрегатом, который перемещается по волоку задним ходом. Затем заготовленные сортименты погрузочно-транспортной машиной собираются, попутно подсортировываются, подвозятся на верхний склад и укладываются в штабеля.

Заключение. 1. Заготовка сортиментов бензиномоторными пилами на лесосеках неэффективна. Поэтому ведется целенаправленная работа по замене бензиномоторных пил валочно-сучкорезно-раскряжевочными машинами (ВСРМ). Однако на приобретение такой техники требуются большие капиталовложения и время.

2. Ускорить процесс перехода на машинную заготовку круглых лесоматериалов можно, если наряду с ВСРМ в пределах выделенных ассигнований использовать мобильные сучкорезно-раскряжевочные агрегаты, навешиваемые на колесные тракторы с мощностью двигателя не менее 60 кВт. Такие агрегаты в несколько раз дешевле ВСРМ и сучкорезно-раскряжевочных машин грейферного типа, их производительность почти такая же, и они широко применяются на заготовке сортиментов в скандинавских странах.

3. Предложенная формула для расчета производительности сучкорезно-раскряжевочных машин и агрегатов при их работе на лесосеке и верхнем складе является математическим описанием процесса заготовки сортиментов этой техникой и показывает, какие факторы и как влияют на производительность.

Литература

1. The HYPRO tractor processor range // Hypro AB [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: www.hypro.se. – Дата доступа: 04.01.2012.

2. Матвейко, А. П. Технология и оборудование лесозаготовительного производства: учебник / А. П. Матвейко. – Минск: Техноперспектива, 2006. – 447 с.

Поступила 14.03.2012

УДК 634.377

С. Н. Пищов, кандидат технических наук, старший преподаватель. (БГТУ);
С. П. Мохов, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой (БГТУ);
А. Р. Гороновский, кандидат технических наук, доцент, проректор (БГТУ)

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОБИЛЬНОЙ КАНАТНОЙ ТРЕЛЕВОЧНОЙ МАШИНЫ

В статье представлены результаты теоретических исследований и анализа общетехнических параметров канатных трелевочных машин отечественного и зарубежного производства. Выполнены расчеты, по результатам которых рекомендованы основные рациональные параметры трелевочной машины и тяговых лебедок. Проанализированы и выбраны требуемые параметры базового шасси канатной трелевочной машины.

The article dwells on the theoretical results and general specification analysis of domestic and imported rope skidding machines. On the basis of the calculations made the principal rational parameters of skidding machines and puffers have been recommended. The required parameters of basic chassis and process equipment of rope skidding machine are analyzed and selected.

Введение. С каждым годом все острее становится вопрос эффективного освоения труднодоступных лесосек, или лесосек с низкой несущей способностью грунтов, которые составляют около 30% всех лесосек на территории Республики Беларусь. Применение колесных трелевочных тракторов при освоении таких лесосек либо затруднено вследствие невыполнения условий движения трактора, либо вообще не представляется возможным. Вследствие этих факторов существует необходимость создания и внедрения такой техники, которая бы позволяла осваивать труднодоступные лесосеки. К таким видам техники относятся канатные установки.

Основная часть. Для трелевки леса в труднодоступных условиях в тех случаях, когда невозможно или затруднено применять трелевочные тракторы, используют канатные установки [1]. Они состоят из лебедки, тяговых и несущих канатов, мачт, стрел, оттяжек, прицепных приспособлений и специальных кареток. С их помощью деревья, хлысты или сортименты перемещаются волоком, в полуподвесном или подвесном положении. Выбор способа трелевки зависит от рельефа местности, физико-механических свойств почвогрунта, типа и параметров технологического оборудования. По назначению и характеру выполняемой работы канатные установки могут быть трелевочными (УТК), трелевочно-транспортными (УТТ), трелевочно-погрузочными (ТПУ) и погрузочными (УП). Канатные трелевочные установки предназначены для трелевки леса от пня к лесовозной дороге или волоку при погрузке леса на автопоезд. Трелевочно-транспортные установки выполняют трелевку древесины от пня к несущему канату (не менее 30 м) и последующую транспортировку его в подвешенном положении. Для транспортировки леса в подвешенном положении и погрузки его на подвижной состав лесовозных дорог используют транспортные установки.

Различают также подвесные трелевочные установки: с несущим, тяговым и возвратным канатами; с несущим и тяговым канатами; с тягово-несущим непрерывно движущимся канатом (конвейеры).

Для выполнения грузоподъемных и тяговых операций в канатных установках используются лебедки. Они состоят из двигателя, барабанов, редуктора, муфты включения барабанов, тормоза, устройства для управления лебедкой и рамы, на которой установлены все узлы. Основными рабочими механизмами лебедки являются барабаны, на которые наматываются канаты. Лебедки различают по числу барабанов, их канатовместимости, тяговым усилиям на основном грузовом канате, скорости движения канатов. Число барабанов лебедки зависит от числа выполняемых операций. Обычно на выполнение каждой операции требуется два барабана, из которых рабочий барабан перемещает груз, а второй служит для подачи прицепного оборудования к месту захвата груза (возвратный барабан). На трелевке леса применяют одно-, двух- и многобарабанные лебедки с приводом от двигателя внутреннего сгорания.

Для привода канатных установок современные лебедки имеют высокие тягово-скоростные характеристики, для чего они снабжены коробками перемены передач. Для облегчения управления барабанами лебедки оснащены пневматическими фрикционными муфтами сцепления и тормозами.

Анализ конструкций канатных установок и состояния лесозаготовок Республики Беларусь показал, что для эффективного освоения труднодоступного лесосечного фонда целесообразно использовать мобильные канатные установки на базе колесного трактора с применением трелевочной лебедки и искусственной мачты в роли технологического оборудования.

Общий вид мобильной канатной установки представлен на рисунке.

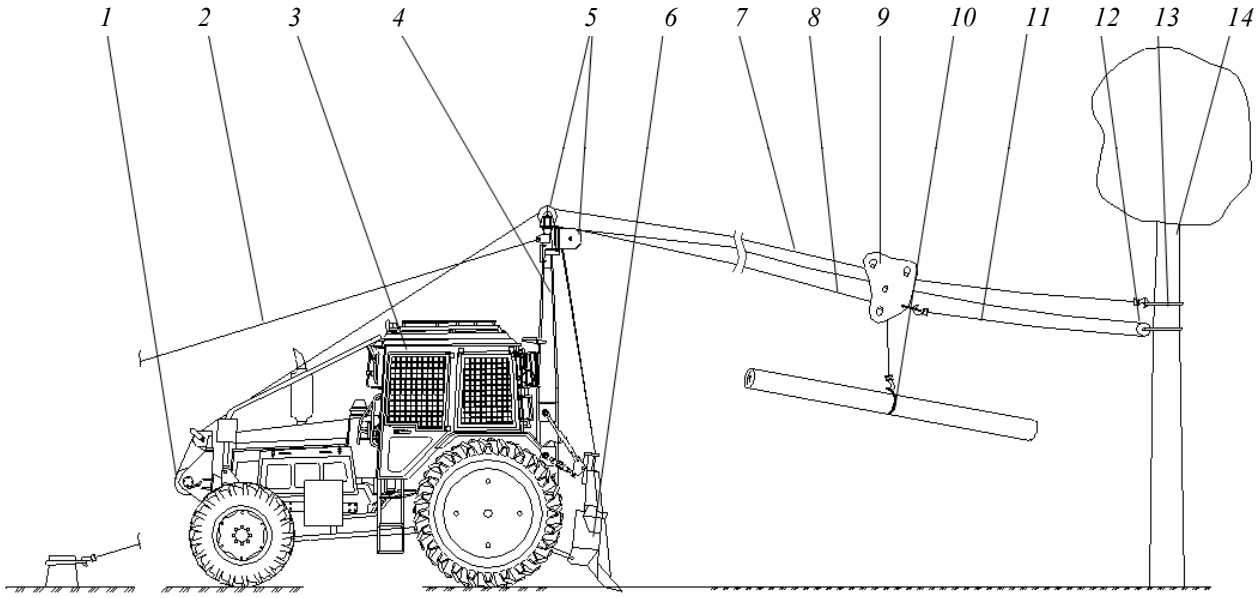


Схема мобильной канатной установки:
1 – лебедка для несущего троса; *2* – растяжка; *3* – базовый трактор; *4* – мачта; *5* – блоки; *6* – трелевочный щит; *7* – несущий трос; *8* – тянущий трос; *9* – каретка; *10* – чокер; *11* – возвратный трос; *12* – переносной блок; *13* – пояс для дерева; *14* – тыловая мачта

Для обеспечения высоких показателей эксплуатационных свойств проектируемой машины определены рациональные параметры базового шасси и технологического оборудования.

Тяговое усилие лебедки и диаметр грузового каната зависят от объема трелюемой пачки древесины, типа канатной установки и условий трелевки. Проектируемая мобильная канатная установка относится к типу однопролетных с несущим канатом, предназначена для трелевки древесины в полностью подвешенном состоянии, со средним объемом пачки 1,15–1,20 м^3.

Для определения тягового усилия лебедки $F_т$ применялась следующая зависимость [2]:

$$F_т = F_{тр} + G_п \cdot \cos\alpha + Ф ,$$

где $F_{тр}$ – сила трения роликов каретки по канату; $G_п$ – вес трелюемой пачки; α – угол прогиба тягово-несущего каната; Ф – усилие предварительного натяжения.

В результате выполнения расчетов получены численные значения тягового усилия лебедки, которое должно находиться в пределах 50–55 кН. С учетом численного значения скорости движения каната, равного 1,2 м/с, определена необходимая мощность привода лебедки, которая составила 55–60 кВт.

При проведении теоретических исследований по обоснованию параметров мобильной канатной установки, согласно справочной литературе, определены диаметры канатов.

Выполненные расчеты для тягово-несущего каната позволили установить его диаметр, который должен составлять не менее 13 мм.

Диаметр возвратного каната должен быть не менее 6 мм.

Для повышения устойчивости проектируемой машины необходимо применять растяжки. В результате выполненных расчетов приняты 2 растяжки, установленные под углом 120° относительно продольной оси базового трактора. Диаметр каната растяжек должен составлять не менее 6 мм.

Заключение. Выполнен обзор конструктивных особенностей существующих канатных установок и тяговых лебедок, в результате которого рекомендованы компоновочная схема канатной трелевочной машины с тягово-несущим канатом.

Для эффективной эксплуатации машины высота мачты должна находиться в пределах 4–6 м, тяговое усилие лебедки – не мене 50 кН, диаметр тягово-несущего каната – 14–16 мм, возвратного каната – 6 мм.

Расчет растяжек мачты позволил установить их диаметр, который должен составлять не менее 6 мм (две растяжки, установленные под углом 120° относительно продольной оси базового трактора).

Литература

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

2. Александров, М. П. Подъемно-транспортные машины / М. П. Александров. – М.: Машиностроение, 1984. – 504 с.

Поступила 14.03.2012

УДК 630*307

С. Е. Арико, ассистент (БГТУ)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ШИН ЛЕСНЫХ МАШИН

В статье на примере харвестера МЛХ-414 рассмотрено влияние жесткости шин на распределение реакций между колесами лесозаготовительной техники, устойчивость технологического и энергетического модулей, а также многооперационной машины в целом. Определены номинальные жесткости шин для харвестеров, предназначенных для проведения различных видов рубок промежуточного пользования.

In this paper, the example harvester MLH-414, the influence of tires stiffness on the distribution of responses between the wheels of logging equipment, process stability and energy units, as well as multistage machine as a whole. Determined by the nominal rigidity of tires for harvesters designed for various types of intermediate felling.

Введение. В настоящее время для проведения лесозаготовительных работ существует большое количество машин различного назначения и компоновки. Среди них широкое распространение получила колесная техника, на которую устанавливаются специализированные шины. Они имеют различные диаметры, ширину, протектор, слойность корда, внутреннее давление и ряд других показателей, которые изменяют их упругодемпфирующие свойства. Выбор устанавливаемых шин должен осуществляться исходя из назначения, условий эксплуатации и обеспечения требуемых свойств.

1. Исследование влияния жесткости шин на распределение нагрузок между колесами валочно-сучкорезно-раскряжевочной машины МЛХ-414. Теоретическими и экспериментальными исследованиями установлено, что на процесс взаимодействия валочно-сучкорезно-раскряжевочной машины (ВСРМ) с деревом существенное влияние кроме внешних силовых факторов оказывает выбор устанавливаемых шин. На рис. 1–3 представлен процесс падения дерева на максимальном вылете гидроманипулятора при его повороте на 90° относительно продольной оси харвестера в правую сторону.

Установлено, что увеличение жесткости шин приводит к повышению реакции под разгружаемым в процессе выполнения технологических операций колесом энергетического модуля (рис. 1). Применение шин с жесткостью 500 кН/м вместо 200 кН/м повышает реакцию под колесом в 1,54 раза, которая достигает значения 9022,0 Н. При жесткости 1250–2500 кН/м минимальное значение реакции под колесом составляет 9938–10214 Н.

Уменьшение жесткости шин ниже 500 кН/м и увеличение свыше 1250 кН/м приводит к снижению устойчивости технологического модуля и сопровождается увеличением продолжительности отрыва колеса (рис. 2). При жесткости 1250 кН/м происходит четыре отрыва левого колеса общей продолжительностью 2,87 с. Аналогичный характер колебательных процессов наблюдаются при использовании шин жесткостью 200 кН/м и 500 кН/м.

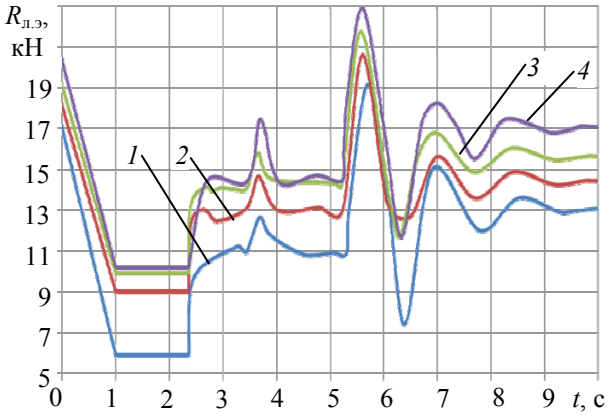


Рис. 1. Изменения реакции под левым колесом энергетического модуля в процессе падения дерева с жесткостью шин:
1 – 200 кН/м; *2* – 500 кН/м; *3* – 1250 кН/м; *4* –2500 кН/м

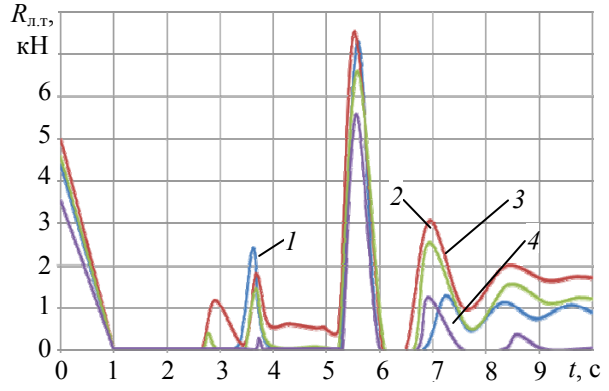


Рис. 2. Изменения реакции под левым колесом технологического модуля при падении дерева с жесткостью шин:
1 – 200 кН/м; *2* – 500 кН/м; *3* – 1250 кН/м; *4* – 2500 кН/м

Потеря устойчивости технологического модуля при жесткости 2500 кН/м в процессе падения дерева наступает шесть раз, а реакция под разгружаемым колесом отсутствует даже после падения дерева.

Оценка устойчивости лесозаготовительной машины осуществляется на основе рассмотрения изменения суммарной реакции под разгружаемым бортом МЛХ-414. Следует отметить, что минимального значения в 5861,0 Н реакция достигает при эксплуатации харвестера с шинами жесткостью 200 кН/м. Использование шин с жесткостью 500 кН/м повышает устойчивость в 1,54 раза, а с жесткостью 1250–2500 кН/м – в 1,70–1,74 раза.

2. Исследование влияние жесткости шин на устойчивость харвестера МЛХ-414. Установление массовых и габаритных параметров ВСРМ проводилось с целью обеспечения безопасности работы лесозаготовительной техники на различных видах рубок промежуточного пользования, а также уточнения рекомендуемого значения жесткости устанавливаемых шин. При этом в качестве эксплуатационного показателя лесозаготовительной машины, на основе которого проводилась оценка и выбор параметров, рассматривалась устойчивость, для оценки которой Р. Люманов [1] рекомендует использовать коэффициент грузовой устойчивости, определяемый по формуле [1–3]:

$$К = \frac{M_{вост} - M_{опр}}{M_{гр}},$$

где $M_{вост}$ – востанавливающий момент, Н·м; $M_{опр}$ – опракидывающий момент без учета дерева, Н·м; $M_{гр}$ – момент, создаваемый деревом, Н·м.

Коэффициент грузовой устойчивости должен превышать 1,15 при учете действия инерционных сил и динамических процессов, а в случае рассмотрения процесса в статике – 1,4 [1–5]. Г. Ш. Гамысовым установлено, что коэффициент динамичности при подъеме зависших деревьев составляет 1,08–1,22, а в режиме подъема (опускания) дерева стрелой манипулятора – 1,18–1,37 [6].

Е. В. Шувалов для шарнирно-сочлененных машин выделяет следующие признаки потери устойчивости [7, с. 65]: отрыв от плоскости склона одного из колес; необратимая потеря устойчивости и опрокидывание одной из секций трактора на ограничительные упоры другой секции; необратимая потеря устойчивости всей машины и ее опрокидывание.

Из рассмотренных видов потери устойчивости в качестве критического признака выделяют случай отрыва одного из колес, так как при работе на склонах невозможно гарантировать безопасность работы ВСРМ.

Проведенными исследованиями были получены зависимости изменения коэффициентов грузовой устойчивости энергетического и технологического модулей ($К_1$, $К_2$) и харвестера МЛХ-414 ($К_3$) от жесткости шин при обработке древостоя объемом 0,27 м^3 на вылете 7,3 м (рис. 3).

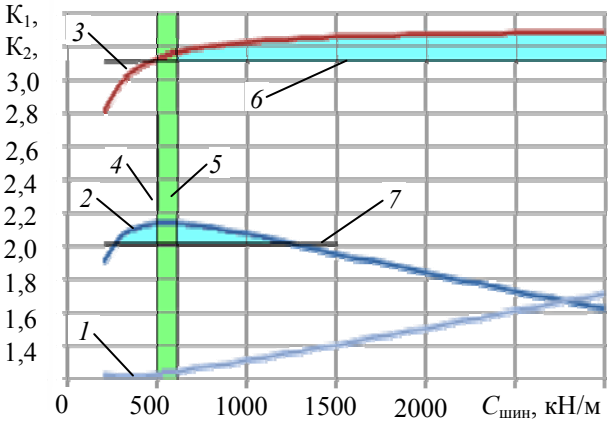


Рис. 3. Зависимость изменения устойчивости харвестера МЛХ-414 от жесткости шин: *1* – коэффициент устойчивости энергетического модуля ($К_1$); *2* – коэффициент устойчивости технологического модуля ($К_2$); *3* – коэффициент устойчивости лесозаготовительной машины ($К_3$); *4* – 90% от эффективной жесткости шин; *5* – 110% от эффективной жесткости шин; *6* – 95% от коэффициента $К_3$; *7* – 95% от коэффициент $К_2$

Применение шин с жесткостью свыше 465 кН/м снижает коэффициент $К_3$ менее чем на 5% от максимального значения 3,49. При использовании шин с жесткостью в диапазоне от 260 кН/м до 1230 кН/м обеспечивается устойчивость технологического модуля свыше 95% от возможной, а харвестера в диапазоне 80–99%. Уменьшение жесткости приводит к снижению устойчивости технологического модуля и лесозаготовительной машины. Увеличение жесткости свыше 1230 кН/м снижает устойчивость технологического модуля при незначительном росте устойчивости ВСРМ.

В результате теоретических исследований установлено, что эффективная жесткость шин для харвестера МЛХ-414 составляет 550 кН/м. При этом изменение жесткости шин в 20%-ном диапазоне (495–605 кН/м) не снижает устойчивости технологического модуля и обеспечивает нахождение общей устойчивости машины в 5%-ном диапазоне от максимальной.

Проведенными исследованиями установлено, что работа харвестера в древостое со средним объемом хлыста до 0,27 м^3 на полном вылете гидроманипулятора возможна с отрывом колеса технологического модуля при коэффициенте запаса грузовой устойчивости МЛХ-414, равном 1,63. Наличие воды в шинах технологического модуля позволяет увеличить общий вес машины, жесткость шин и обеспечить коэффициент запаса грузовой устойчивости технологического модуля в условиях эксплуатации до 1,51, а самой лесозаготовительной машины – 2,38. В случае наполнения четырех колес жидкостью их значения составят 1,28 и 3,03 соответственно.

3. Определение номинальной жесткости шин харвестеров для рубок промежуточного пользования. Проведение определенного вида рубки требует применения современных валочно-сучкорезно-раскряжевочных машин, отличающихся высокими эксплуатационными показателями. Они в значительной степени зависят от устанавливаемого технологического оборудования, что приводит к изменению параметров базового шасси и лесозаготовительной машины в целом, масса которой изменяется в значительном диапазоне. В зависимости от соотношения между массой харвестера и его шириной требуется применение шин различной жесткости, что подтверждается рис. 4.

Для лесозаготовительных машин, применяющихся на прочистке и прореживании, с увеличением их ширины требуемая жесткость уменьшается до 415 кН/м при ширине 2,7 м и максимальной массе устанавливаемого технологического оборудования. В случае минимальной массы технологического оборудования номинальная жесткость устанавливаемых шин снижается до 460 кН/м при ширине машины 2,2 м. Увеличение ширины харвестера требует увеличения жесткости для повышения устойчивости энергетического модуля.

Доказано, что при увеличении ширины харвестера требуется повышение жесткости шин, выбор которой осуществляется исходя из обеспечения максимума коэффициента грузовой устойчивости энергетического модуля. При уменьшении ширины валочно-сучкорезно-раскряжевочной машины номинальная жесткость шин и минимальная эксплуатационная масса определяются по коэффициенту устойчивости технологического модуля. Лесозаготовительная техника для рубок ухода и проходной рубки, оснащенная технологическим оборудованием минимальной массы, имеют ярко выраженный минимум эффективной жесткости шин, где коэффициенты грузовой устойчивости энергетического и технологического модуля имеют аналогичные значения.

Лесные машины, применяемые на выборочных санитарных рубках, в отличие от техники для проходных рубок, должны иметь на 10,9–20,5% более высокую жесткость шин. В ряде случаев, при минимальной массе устанавливаемого оборудования и ширине ВСРМ 3,1 м, она должна быть на 24,7% ниже и составлять 365 кН/м.

Зависимость изменения требуемой жесткости шин от ширины машины имеет близкий к параболическому характер, а минимальное значение соответствует случаю достижения коэффициента грузовой устойчивости энергетического и технологического модулей величины 1,15. В реальных условиях эксплуатации номинальная жесткость шин зависит от ряда факторов: динамических режимов нагружения, формы опорной поверхности, температуры материала шин и давления в них.

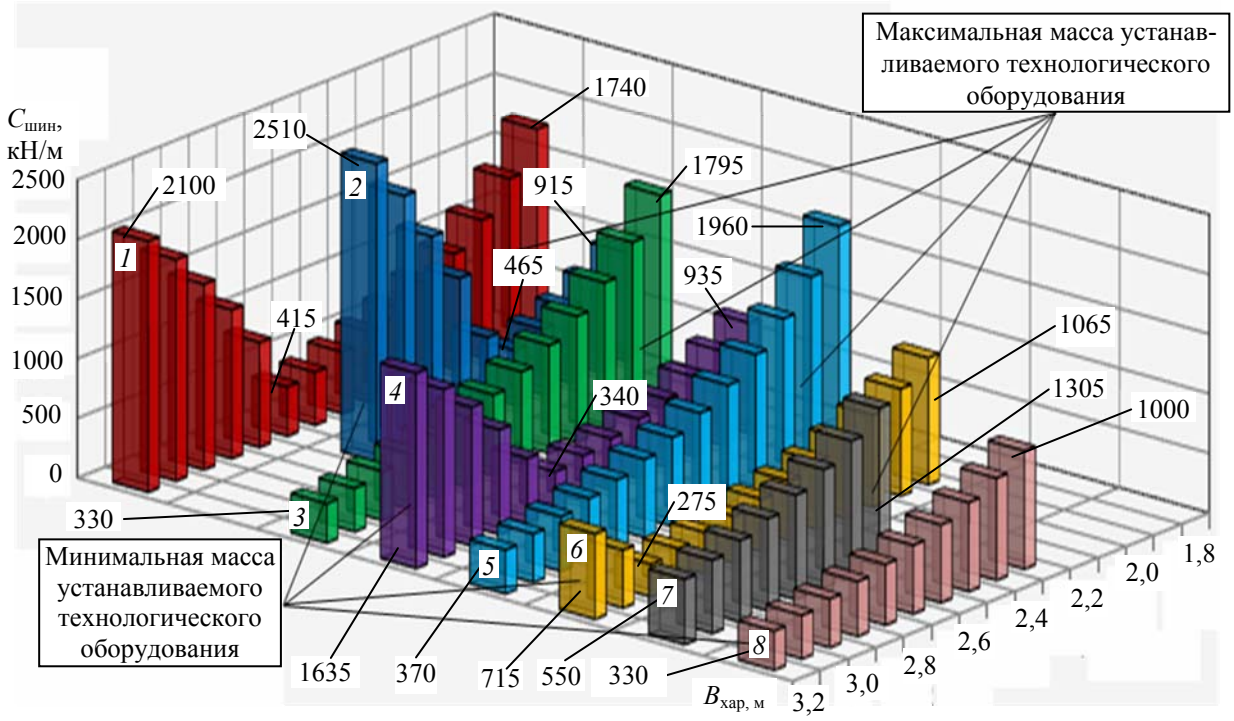


Рис. 4. Изменения рекомендуемой жесткости шин харвестеров, эксплуатирующихся на:
1, *2* – прочистке и прореживании; рубках: *3*, *4* – ухода в типичных для Республики Беларусь условиях; *5*, *6* – проходной; *7*, *8* – выборочной санитарной

В. И. Кнорозом [8] приводятся данные о том, что в различных сечениях жесткость шин может колебаться в пределах 10%, а в области резонансных частот номинальная жесткость радиальных и диагональных шин повышается на 18–25%. При этом у шин с диагональным расположением корда номинальная жесткость, при одинаковом давлении воздуха, на 10–20 % выше, чем у радиальных. Применение широкопрофильных шин с жесткостью не менее 200 кН/м позволяет повысить курсовую устойчивость и управляемость лесозаготовительных машин с шарнирно-сочлененной рамой [9].

В результате проведенных исследований для различных видов рубок были определены диапазоны изменения рекомендуемых жесткостей, которые находятся в пределах 90–110% от величины номинальной жесткости.

При сравнении зависимостей изменения рекомендуемых жесткостей шин для различных видов рубок определено, что увеличение массовых параметров устанавливаемого технологического оборудования сопровождается смещением минимума жесткости шин в сторону увеличения ширины лесозаготовительной машины. Это отчетливо видно при рассмотрении жесткостей шин, применяемых на харвестерах для проведения прочистки и прореживания. Потеря устойчивости технологического модуля харвестеров для рубок ухода (при максимальной массе технологического оборудования и объеме хлыста свыше 0,18 м^3) и выборочных санитарных рубок (объем хлыста свыше 0,24 м^3) независимо от массы технологического модуля наступает раньше, чем энергетического.

Следует отметить, что увеличение массы технологического оборудования и базового шасси, при аналогичных размерных величинах, требует применения шин, имеющих большую жесткость. На ВСРМ, имеющих технологическое оборудование максимальной (минимальной) массы, рекомендуется применение шин с жесткостью: 730–1275 кН/м (410–675 кН/м) при проведении прочистки и прореживания; 550–1335 кН/м (280–720 кН/м) в случае выполнения рубок ухода со средним объемом хлыста 0,18 м^3; 520–1310 кН/м (300–735 кН/м) при эксплуатации на проходных рубках; 485–970 кН/м (290–565 кН/м) в случае проведения выборочных санитарных рубок.

Заключение. Проведенными исследованиями установлено, что применение одинаковых шин на лесозаготовительных машинах различного назначения часто приводит к снижению ряда эксплуатационных свойств. Для ВСРМ наиболее важным свойством является устойчивость, оценку которой производят на основе коэффициента грузовой устойчивости.

На данный параметр значительное влияние оказывает жесткость устанавливаемых шин. Она, в зависимости от массы технологического оборудования, базового шасси и ширины лесозаготовительной машины, изменяется в широком диапазоне. Для харвестеров, оснащенных технологическим оборудованием минимальной массы, номинальная жесткость изменяется от 290 кН/м, на выборочных санитарных рубках – до 735 кН/м, на рубках ухода, имеющих средний объем хлыста, – 0,18 м^3.

Литература

1. Люманов, Р. Машинная валка леса / Р. Люманов. – М.: Лесная пром-сть, 1990. – 280 с.

2. Перфилов, М. А. Многооперационные лесосечные машины / М. А. Перфилов. – М.: Лесная пром-сть, 1974. – 208 с.

3. Проектирование и расчет специальных лесных машин: учеб. пособие / М. И. Зайчик [и др.]. – М.: Лесная пром-сть, 1976. – 208 с.

4. Бурмак, П. С. Исследование устойчивости валочно-пакетирующих машин против опрокидывания: дис. … канд. техн. наук: 05.06.02 / П. С. Бурмак. – Химки, 1975. – 140 л.

5. Полищук, А. П. Валка леса / А.П. Полищук. –2-е изд., перераб. – М.: Лесная пром-сть, 1972. – 176 с.

6. Гасымов, Г. Ш. Повышение эффективности валочно-пакетирующих машин на выборочных рубках леса: автореф. дис. … д-ра. техн. наук: 05.21.01 / Г. Ш. Гасымов; С.-Петерб. гос. лесотехн. акад. им. С. М. Кирова. – Йошкар-Ола, 2011. – 39 с.

7. Трактор «Кировец». Описание и расчет / Е. А. Шувалов [и др.]. – Л.: Машиностроение, 1974. – 168 с.

8. Работа автомобильных шин / В. И. Кнороз [и др.]; под ред. В. И. Кнороза. – М.: Транспорт, 1976. – 238 с.

9. Герис, М. І. Поліпшення курсової стійкості та керованості колісних лісотранспортних машин із шарнірно-зчленованою рамою: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.05.04 / М. І. Герис; Нац. лісотехн. ун-т України. – Львів, 2010. – 21 с.

Поступила 14.03.2012

УДК 630*2:502.174

П. А. Протас, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);
А. С. Федоренчик, кандидат технических наук, профессор (БГТУ);
А. В. Ледницкий, кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой (БГТУ);
Г. И. Завойских, кандидат технических наук, доцент (БГТУ)

СОСТОЯНИЕ ВЕТРОВАЛЬНО-БУРЕЛОМНОГО ЛЕСФОНДА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ И ПРОБЛЕМЫ ЕГО ОСВОЕНИЯ

В статье выполнен анализ состояния ветровально-буреломного лесфонда в Республике Беларусь, определены основные проблемные вопросы его освоения. Приведены критерии оценки эффективности применения различных технологий и систем машин для разработки ветровально-буреломных лесосек.

In the article the analysis of fallen and broken by the wind woodstands of Belarus Republic is made, the basic problem questions of their development are defined. Criteria of an estimation of efficiency of various technologies and machine systems application for logging of fallen and broken by the wind forests are resulted.

Введение. Ежегодно в мире исчезает около 7 млн. га лесных насаждений, одной из причин при этом являются природные катаклизмы – ветровалы и буреломы.

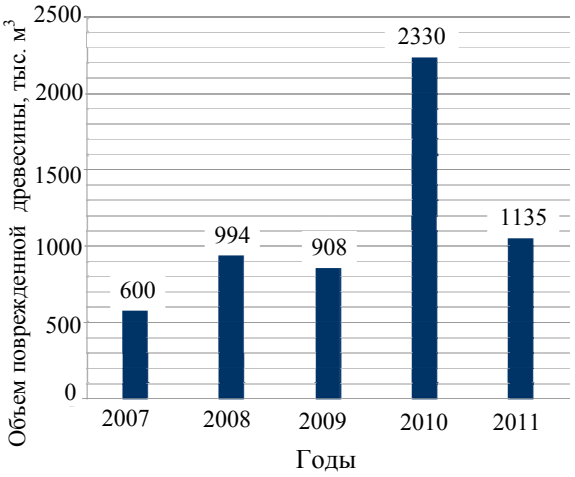
Сильные ураганные ветры наносят существенный урон лесному хозяйству, так как кроме значительных экономических потерь, связанных с ликвидацией последствий и восстановлением лесов, обостряется и экологическая ситуация вследствие нарушения лесной экосистемы (почвенного покрова, древостоя, всех ярусов растительности, фауны и т. д.). Однако из-за дальнейшего изменения климата прогнозируется увеличение частоты и интенсивности лесных пожаров, бурь и ураганов.

Принимая во внимание масштабы стихии, сжатые сроки для устранения последствий, к работам на ветровально-буреломных лесосеках привлекаются силы лесхозов, лесозаготовительные бригады концерна «Беллесбумпром», воинские подразделения и др. Непроходимые ветровально-буреломные лесосеки являются наиболее сложными объектами для разработки, подчас сопряженные со значительными травмами и летальными исходами даже при использовании квалифицированной рабочей силы.

С целью своевременной организации и качественного выполнения в Республике Беларусь работ по ликвидации последствий ветровалов и буреломов, выполнения основных задач развития лесозаготовительного производства в системе Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь необходимо разработать и внедрить ресурсосберегающие технологии освоения ветровально-буреломных лесосек на базе современных отечественных и перспективных зарубежных систем машин, для чего требуется выполнить объективную оценку состояния таких лесосек и изучить проблематику их освоения.

Основная часть. Состояние ветровально-буреломного лесфонда.

В Беларуси ежегодно объемы поврежденной ураганами древесины составляют от 500 до 2300 тыс. м^3. За 2007–2011 гг. объемы поврежденной от ураганов древесины составили более 5960 тыс. м^3 (рисунок).



Динамика повреждения лесов
в Республике Беларусь от ветровалов

В 2010 г. ураганы повредили леса в 76 лесхозах, на освоении поврежденных участков было задействовано 5800 человек, 1712 единиц техники. При этом затраты по Министерству лесного хозяйства Республики Беларусь составили 62,8 млрд. руб, а выручка – 49,3 млрд. руб., из республиканского бюджета было выделено в качестве дотаций и помощи 15,2 млрд. руб. Нормы выработки на освоении ветровально-буреломных лесосек снизились до 30–50%. В 2011 г. объем поврежденной древесины составил 1135 тыс. м^3, что соответствует 14% от объема расчетной лесосеки.

Для объективного анализа эффективности передовых технологических процессов освоения ветровально-буреломных лесосек необходимо знать факторы, влияющие на степень и характер повреждения древостоев, а также устойчивость различных древесных пород с учетом условий их произрастания.

На практике различают понятия «ветровал» и «бурелом». В случае ветровала деревья вырываются с корнями, а при буреломе ветер сламывает ствол на высоте. Степень подобного воздействия, помимо силы ветра, зависит и от анатомической структуры ствола, характера корневой системы, подготовки деревьев к противостоянию действия ветра, а зимой – от промерзания ствола. От бурелома меньше страдают породы с хорошо развитым слоем луба. Особенно опасны зимние ветровалы и буреломы, когда ствол промерзает и становится хрупким. Ветровал в лесу открывает путь проникновению ветра вглубь леса, что вызывает новые ветровалы.

Древесные породы по-разному устойчивы к механическому воздействию ветра. Например, ель на подзолистых почвах, имея поверхностную корневую систему, является ветровальной породой, обычно ветер выворачивает диски корней ели. Но на глубокой почве ель хорошо выдерживает потоки ветра даже на открытых местах. Сосна, поскольку у нее довольно глубокие корни, представляет собой буреломную породу, ветер часто не может вывернуть ее с корнем, а переламывает ствол. Хотя на неглубоких почвах сосну иногда, как и ель, ветер вырывает с корнем. Из лиственных пород весьма устойчив дуб с его глубокой корневой системой. Береза обычно ветровальная порода, а осина – буреломная из-за непрочной древесины.

Ветровалу также подвержены взрослые деревья, выросшие в лесу, но затем, после рубки леса, оказавшиеся на открытом месте. Такие деревья уже не могут приспособиться к новым условиям. От бурелома чаще страдают деревья, пораженные грибными болезнями. Наиболее уязвимы спелые и перестойные древостои.

Проблематика освоения ветровально-буреломных лесосек. На практике разработку ветровально-буреломных лесосек как в Республике Беларусь, так и за рубежом проводят в основном с применением двух систем машин и оборудования «бензиномоторная пила – форвардер» и «харвестер – форвардер».

Освоение любого ветровала усложняет технологический процесс лесозаготовок, так как деревья находятся под напряжением, образуются завалы, вывороты корней и пр., снижающие эффективность разработки лесосек. Поэтому к таким работам привлекаются наиболее опытные исполнители.

К проблемным вопросам при освоении ветровально-буреломных лесосек относятся:

– повышенный расход шин и цепей (иногда по 2 шины за 20 ч на машинный комплекс);

– экстремальный режим работы харвестерной головки и манипулятора (ударные, знакопеременные нагрузки), разрывы шлангов, маслопроводов;

– тяжелый по условиям труда режим работы операторов бензиномоторной пилы (даже при освоении лесосек харвестером 5–20% деревьев обрабатывается бензопилой);

– снижение производительности труда (на 30–50%);

– повышенный травматизм (на 25–40%);

– сложности при транспортировке древесины из-за высоких пней, сломов, увеличенных расстояний трелевки и других факторов;

– ограниченные сроки разработки лесосек с целью максимального получения качественных лесоматериалов и создания условий для лесовозобновления.

Критерии оценки эффективности технологических процессов освоения ветровально-буреломных лесосек. С целью объективной оценки проведения рубок леса на поврежденных участках в систему должен входить комплекс критериев, позволяющих учесть экономические, производственно-технические, экологические и социальные факторы.

Основными критериями для оценки эффективности технологических процессов освоения ветровально-буреломных лесосек являются:

– сроки освоения лесосек;

– выполнение плановых показателей по объему заготовки древесного сырья;

– максимальный выход деловой древесины в объемном выражении;

– максимальный выход продукции в стоимостном выражении (по сортам, заказу потребителя и др.);

– степень использования древесной биомассы;

– отсутствие травматизма;

– комплексная выработка на ведущий механизм;

– производительность труда;

– уровень машинизации труда (процент применения специализированной лесозаготовительной техники и техники общего назначения);

– соответствие условий труда и отдыха требованиям ТНПА;

– соответствие требованиям лесной сертификации;

– условия для лесовозобновления и биоразнообразия;

– степень повреждения лесных экосистем;

– обеспечение идентификации лесной продукции;

– экологическая замкнутость участков, загрязненных радиацией;

– применение систем машин с минимальными энергетическими затратами (удельные затраты энергии на 1 м^3 заготовленной древесины или на 1 га разработанного участка);

– себестоимость проведения работ (по всему циклу, по операциям, на 1 м^3 заготовленной древесины или на 1 га разработанного участка);

– коэффициент использования оборудования на основных работах;

– коэффициент технической готовности оборудования.

Для оценки эффективности технологических процессов освоения ветровально-буреломных лесосек необходимо определить значения и диапазоны, установить приоритетность предложенных критериев, что, в совокупности, позволит на стадии выбора технологии и системы машин принимать обоснованные решения.

Рекомендации по эффективному применению систем машин в различных природно-производственных условиях. На основании анализа состояния ветровально-буреломного лесфонда, применяемых технологий и систем машин в Республике Беларусь и за рубежом разработаны рекомендации по эффективному применению систем машин в различных природно-производственных условиях, которые будут также дополнены в процессе проведения натурных исследований:

– для объективного анализа эффективности передовых технологических процессов освоения ветровально-буреломных лесосек необходимо знать факторы, влияющие на степень и характер повреждения древостоев, а также устойчивость различных древесных пород с учетом условий их произрастания;

– разработку ветровально-буреломных лесосек целесообразно проводить по сортиментной технологии с применением двух систем машин и оборудования «бензиномоторная пила – форвардер» и «харвестер – форвардер»;

– на грунтах с низкой несущей способностью при освоении лиственных насаждений целесообразно применять бензиномоторные пилы и трелевочные тракторы с канатно-чокерным оборудованием и длиной собирающего каната до 60 м. При этом заготовка сортиментов производится на верхнем складе;

– к работам должны привлекаться наиболее опытные специалисты, имеющие опыт разработки таких насаждений;

– древостой на поврежденном участке начинают разрабатывать харвестером со стороны направления ветра;

– наиболее сложные участки, где деревья сплетены или лежат в разных направлениях, оператор разрабатывает в последнюю очередь;

– ввиду значительных нагрузок на элементы машин и оборудования при разработке лесосек харвестером следует использовать по возможности машины с предельным или близким к нему сроком эксплуатации;

– биомассу, из которой невозможно получить деловые сортименты из-за ее значительной концентрации, целесообразно использовать для производства топливной щепы;

– в зимний сезон при наличии глубокого снежного покрова разработку ветровально-буреломных лесосек по возможности следует переносить на бесснежный период;

– при разработке лесосек необходимо создавать условия для снижения вероятности ветровалов и повышения устойчивости будущих или оставляемых на доращивание древостоев. Для чего рубку необходимо назначать с подветренной стороны или против ветра, и заблаговременно устанавливать строгую в ней последовательность операций.

Заключение. При исследовании данной проблематики определены сложившиеся технологии освоения ветровально-буреломных лесосек в республике и за рубежом, проблемные вопросы и направления их решения. Выполнен анализ и статистическая обработка данных прошедших ветровалов в республике, определены размеры и форма повреждений лесонасаждений в зависимости от природных условий, характер поломок и расположения поврежденного древесного сырья. С учетом специфики и характера повреждений древостоев разработаны безопасные и рациональные приемы выполнения технологических операций различным оборудованием, разработаны комплекты технологических схем с использованием различных машинных комплексов и технологических схем с использованием бензиномоторных пил применительно к типовым (наиболее часто встречающимся) видам повреждений древостоев, а также установлены основные критерии оценки эффективности применения различных технологий и систем машин. Разработаны рекомендации по эффективному применению систем машин при освоении ветровально-буреломных лесосек в различных природно-производственных условиях.

Поступила 15.03.2012

УДК 674.093.4

Е. А. Леонов, ассистент (БГТУ);
А. С. Федоренчик, кандидат технических наук, профессор (БГТУ)

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СКЛАДА ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА

В статье произведено имитационное моделирование, позволяющее 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.

The article produced imitation modeling which allows to determine the optimum value was significantly off-season supply of fuel wood as a user stock, and at intermediate warehouses of the enterprises in the light of uneven supply and consumption of raw materials during the year, humidity, and loss of wood substance during long-term open-cumulus storage covering areas such as warehouse and used a system of machines. With the use this method is possible to solve design problems between seasons storage of firewood without capital construction costs, the definition of load-store and used machines for a year.

Введение. Республика Беларусь в среднем за год потребляет энергии в эквиваленте 35 млн. тонн условного топлива (т у. т.) и лишь на 16% обеспечивается собственными ресурсами. Годовые затраты на импорт топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) превышают 2 млрд. дол. США. Повышение энергетической безопасности республики от внешних поставщиков ТЭР – стратегическая задача развития страны на ближайшую пятилетку. Реализация потенциала древесного топлива Беларуси, 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, 2].

Решение данной проблемы усложняется в связи с неравномерностью и стохастичностью процессов заготовки и потребления древесного сырья, отсутствием практического опыта совместной заготовки деловой и топливной древесины и необходимостью 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 складов межсезонного хранения древесного топлива.

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, 4].

1. Имитационное моделирование функционирования межсезонных складов древесного топлива. С целью комплексной оценки процессов сбора, транспортировки, хранения, измельчения и потребления древесного топлива, характеризующихся стохастичностью протекания, необходимостью эксплуатации различных систем машин в отличающихся природно-производственных условиях, а также изменением во времени характеристик древесного топлива при открытом хранении разработан алгоритм расчета вероятностей состояния склада древесного топлива и общих удельных эксплуатационных затрат, учитывающий вышеперечисленные факторы [5].

Для оценки функционирования межсезонных складов предприятий, имеющих различные мощности и годовой объем потребления сырья, введено понятие относительной вместимости склада. Данный параметр является безразмерной величиной и выражает возможность размещения межсезонного запаса древесного топлива в количестве среднемесячных объемов производства [5].

В целях обоснования оптимальной вместимости межсезонного склада древесного топлива разработана математическая модель, в которой склад рассматривается как система «поставщик (транспортное средство) – склад древесного топлива – потребитель (котельная или мини-ТЭЦ)» с ограниченной относительной вместимостью. Для такой системы состояния основных фаз на конец каждого месяца характеризуются месячными коэффициентами неравномерности поставки и потребления. Предлагаемая модель работает с допущением, что суммы объемов поставок древесного топлива и его потребления за год равны между собой.

Выведена целевая функция удельных эксплуатационных затрат по содержанию межсезонного склада древесного топлива, которая учитывает вероятности отсутствия сырья на складе и его переполнения, зависящие от величины относительной вместимости склада, параметров поставки и потребления древесного топлива, применяемой системы машин и инфраструктуры; выбран критерий оптимальности.

2. Результаты имитационного моделирования функционирования межсезонных складов древесного топлива. В качестве примера, с учетом установленных ранее законов и функций распределения коэффициентов неравномерности поставок ($K^{\text{п}}$) и сжигания ($K^{\text{с}}$) древесного сырья, для складов предприятий ЖКХ Витебской обл., Городокского ЖКХ и Вилейской мини-ТЭЦ при помощи имитационной модели функционирования склада древесного топлива на ЭВМ рассчитаны вероятности отсутствия древесного сырья на складе ($P_{\text{отс}}$) и его переполнения ($P_{\text{пер}}$) в зависимости от относительной вместимости склада межсезонного хранения древесного топлива ($W_{\text{скл}}$). Для получения результата с достоверностью 0,99 произведен расчет необходимого числа итераций. Число повторов для каждого значения составило 1200, что соответствовало 100 годам работы межсезонного склада.

Результаты расчетов представлены графически на рис. 1.

Из рис. 1 видно, что вероятности переполнения склада древесинным топливом ($P_{\text{пер}}$) и отсутствия его на складе ($P_{\text{отс}}$) для рассматриваемых предприятий резко снижаются с ростом относительной вместимости склада до 3,5–4,5 среднемесячных объемов поступления на него сырья, независимо от его производственной мощности и месторасположения. В дальнейшем это снижение незначительно.

Так, увеличение относительной вместимости складов $W_{\text{скл}}$ ЖКХ Витебской обл. и Городокского ЖКХ с 0,5 до 4,5 среднемесячных объемов производства приводит к снижению $P_{\text{отс}}$ с 0,45 до 0,08 (на 82%) и с 0,45 до 0,11 (на 75%) соответственно и к снижению $P_{\text{пер}}$ с 0,45 до 0,03 (на 93%) и с 0,43 до 0,04 (на 90%) соответственно. При дальнейшем увеличении $W_{\text{скл}}$ до 6,0 среднемесячных объемов производства величины $P_{\text{отс}}$ и $P_{\text{пер}}$ снижаются только до 0,05, 0,09, 0,01 и 0,01 соответственно (на 7, 5, 5 и 7%).

Увеличение относительной вместимости склада $W_{\text{скл}}$ Вилейской мини-ТЭЦ с 0,5 до 3,5 среднемесячных объемов производства приводит к снижению $P_{\text{отс}}$ и $P_{\text{пер}}$ с 0,41 до 0,07 (на 83%) и с 0,41 до 0,08 (на 80%) соответственно. При дальнейшем увеличении $W_{\text{скл}}$ до 6,0 среднемесячных объемов производства величины $P_{\text{отс}}$ и $P_{\text{пер}}$ снижаются только до 0,01 и 0,02 соответственно (на 14% и 15%).

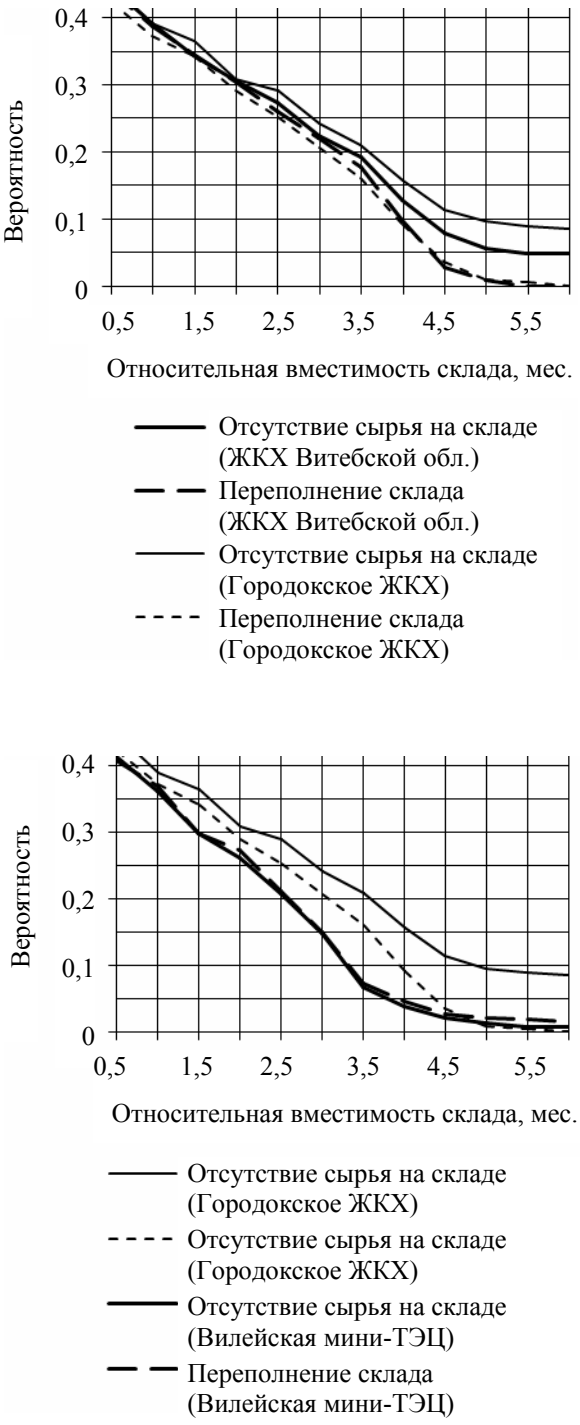


Рис. 1. Зависимости вероятностей отсутствия сырья на складе и его переполнения от относительной вместимости склада

Существенное влияние на данные предельные вероятности ($P_{\text{отс}}$ и $P_{\text{пер}}$) оказывают грузооборот склада древесного топлива и его территориальное расположение. На основании приведенных исследований установлено, что для более крупных поставщиков и потребителей древесного топлива *юга республики* эти вероятности значительно ниже, чем для более мелких *севера республики*. Так, при

величине $W_{скл}$, равной 4,5 среднемесячных объемов производства, значения вероятностей $P_{отс}$ и $P_{пер}$ Городокского ЖКХ на 27% и 25% соответственно выше, чем ЖКХ Витебской области, и на 82% и 25% соответственно выше, чем Вилейской мини-ТЭЦ.

Значения вероятностей отсутствия сырья на складе ($P_{отс}$) и его переполнения ($P_{пер}$) позволили на основании целевой функции определить оптимальные вместимости складов древесного топлива рассматриваемых предприятий, рассчитанных с помощью ЭВМ.

В состав целевой функции помимо вероятностных параметров, изменяющихся в зависимости от относительной вместимости склада древесного топлива, входят также постоянные экономические параметры его функционирования (взяты как средние производственные по Беларуси).

На рис. 2 на основании разработанной математической модели и расчетов, выполненных на ЭВМ, представлены оптимальные значения относительной вместимости различных межсезонных складов древесного топлива.

Из рис. 2 видно, что устойчивая и эффективная работа межсезонных складов древесного топлива достигается в зависимости от производственной мощности и месторасположения при их относительной вместимости в пределах 3,5–4,5 среднемесячных объемов производства.

Для ЖКХ Витебской области и Городокского ЖКХ при увеличении относительной вместимости склада древесного топлива с 0,5 до 4,5 среднемесячных объемов производства удельные эксплуатационные затраты снижаются на 33% и 29% соответственно. Дальнейшее увеличение относительной вместимости складов с 4,5 до 6,0 среднемесячных объемов производства приводит к росту удельных эксплуатационных затрат на 19% и 18% соответственно прежде всего за счет роста эксплуатационных затрат по содержанию площадки склада. Для Вилейской мини-ТЭЦ при увеличении относительной вместимости склада древесного топлива с 0,5 до 3,5 среднемесячных объемов производства удельные эксплуатационные затраты снижаются на 38%. Дальнейшее увеличение относительной вместимости склада с 3,5 до 6,0 среднемесячных объемов производства приводит к росту удельных эксплуатационных затрат на 31% по аналогичной причине.

Для потребителей древесного топлива *юга республики* требуются склады меньшей относительной вместимости (3,5 среднемесячных объемов производства) по сравнению с потребителями *севера республики* (4,5 среднемесячных объемов производства) республики. При этом годовые удельные эксплуатационные затраты потребителей *юга* Беларуси до 15–20% ниже, чем *севера* Беларуси.

Крупные потребители (мини-ТЭЦ) древесного топлива, расположенные, например, в областных или крупных районных центрах, сталкиваются с проблемой отсутствия необходимых площадей под строительство склада требуемой вместимости (3,5–4,5 среднемесячных объемов производства). Решением данной проблемы является использование промежуточных складов, которые располагаются за городом, но имеют надежное транспортное сообщение со складом потребителя. При этом часть древесного топлива хранится на промежуточных складах, а часть – на складе потребителя.

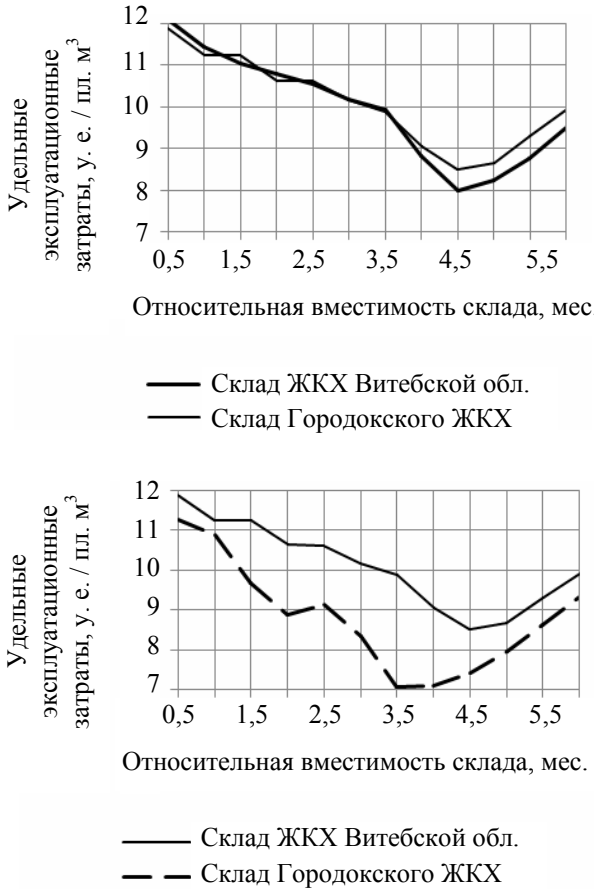


Рис. 2. Значение целевой функции удельных эксплуатационных затрат при организации запаса древесного топлива без промежуточных складов

Для определения оптимальных значений межсезонного запаса древесного топлива при различных соотношениях (промежуточный склад / склад потребителя) доли размещаемого сырья, в рамках разработанной математической модели, нами был проведен ряд исследований. Результаты, применительно к Вилейской мини-ТЭЦ, представлены на рис. 3.

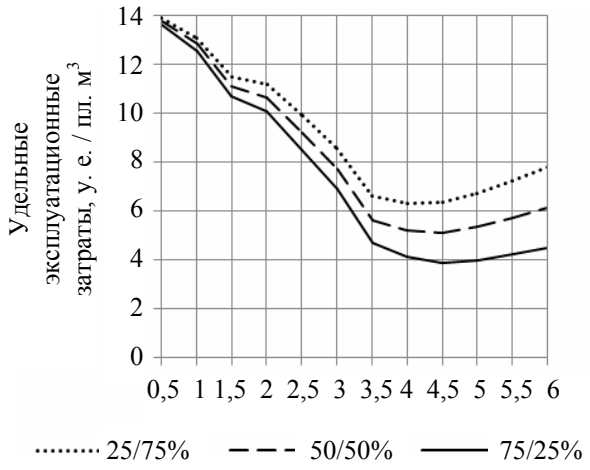


Рис. 3. Значение целевой функции годовых удельных эксплуатационных затрат при организации запаса древесного топлива с промежуточными складами в условиях Вилейской мини-ТЭЦ

Из рис. 3 видно, что для эффективной организации устойчивой поставки древесного топлива целесообразно основной запас сырья размещать на промежуточных складах у дорог круглогодового пользования. При этом возможно существенное снижение (в 2–2,2 раза) годовых удельных эксплуатационных затрат.

Важным практическим значением целевой функции является отсутствие ярко выраженного минимума. Это позволяет широко регулировать диапазон вместимости склада древесного топлива без риска существенного роста денежных затрат. Этот диапазон регулирования имеет предпочтительную направленность в сторону увеличения относительной вместимости склада $W_{скл}$, когда складские затраты относительно невелики.

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, применяемых систем машин, вида покрытия площадки склада, особенностей хранения древесного топлива.

2. На основании результатов теоретических и экспериментальных исследований выполнено имитационное моделирование функционирования межсезонного склада древесного топлива (с учетом наличия промежуточных складов), которое позволило установить, что:

– вероятности переполнения склада древесным топливом и отсутствия его на складе резко снижаются с ростом относительной вместимости склада до 3,5–4,5 среднемесячных объемов поступления на него сырья, при которой практически обеспечивается устойчивая и эффективная работа энергообъекта;

– экстремальное значение целевой функции удельных эксплуатационных затрат также достигается при наличии межсезонного запаса более 3,5 среднемесячных объемов производства;

– для мини-ТЭЦ, расположенных на юге Беларуси, оптимальная относительная вместимость склада древесного топлива будет меньше на 15–20%, чем для котельных отраслевых или региональных предприятий;

– с учетом существенных затрат на содержание склада потребителя основную часть межсезонного запаса целесообразно размещать на промежуточных складах, что позволит в 2–2,2 раза снизить годовые затраты на его содержание.

Литература

1. Государственная программа строительства энергоисточников на местных видах топлива в 2010–2015 годах: утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь 19.07.2010. – Минск, 2010. – 33 с.

2. Республиканская программа энергосбережения на 2011–2015 годы: утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь 24.12.2010. – Минск, 2010. – 80 с.

3. Официальный сайт Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.mlh.by. – Дата доступа: 07.10.2011.

4. Леонов, Е. А. Модель склада древесного топлива / Е. А. Леонов // Труды БГТУ. – 2011. – № 2: Лесная и деревообр. пром-сть. – С. 135–139.

5. 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. евразийского симпоз. / под науч. ред. В. Г. Новоселова. – Екатеринбург, 2008. – С. 62–66.

Поступила 15.03.2012

УДК 630*614

А. И. Хотянович, ассистент (БГТУ)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПТИМИЗАЦИИ ОСВОЕНИЯ ЛЕСОСЕЧНОГО ФОНДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В статье рассматриваются этапы экспериментальных исследований по оптимизации освоения лесосечного фонда с использованием разработанного автором ГИС-приложения для формирования рациональных условий лесопользования. В разделах публикации отражены этапы анализа условий проведения сплошных и несплошных рубок главного пользования в лесхозе с 2005 по 2011 г., в процессе многовариантного анализа условий совместного осуществления в одном квартале сплошных и несплошных рубок главного пользования сформирована результирующая таблица для последующей оптимизации схемы организации территории лесосечного фонда Берестовицкого лесничества, раскрыт смысл расчета ожидаемого экономического эффекта от внедрения применяемого в исследованиях программного комплекса.

The article discusses the stages of pilot studies to optimize the development of forest fund developed by the author using a GIS application for the formation of rational conditions for forest management. In the above sections of the publication reflects the stages of the analysis conditions of continuous and noncontinuous felling user-Bani in forestry from 2005 to 2011, during the multivariate analysis of the conditions of co-joint in the same quarter of solid and non-continuous felling of user-generated result table for further optimization schemes of area of forest fund Berestovitsa forestry, discovered the meaning of the calculation of the expected economic benefits from the introduction of applied research in the software package. The article deals with author's program system for effective logging planning.

Введение. Возрастающие потребности народного хозяйства республики в древесных ресурсах, выгодные условия экспорта лесоматериалов и продукции деревообработки, развитие национальной системы лесной сертификации, актуализация экологической роли лесов, укрепление экономики отрасли путем развития глубокой переработки древесины и использования вторичных древесных ресурсов в энергетических целях создают привлекательные условия для инвестирования в производственные и образовательные процессы.

Инновационное направление развития лесного комплекса в целом и лесозаготовительной отрасли в частности подтверждается масштабным внедрением в процессы заготовки и последующей переработки лесоматериалов высокотехнологичных машин и оборудования с компьютеризированными системами управления и диагностики.

Переход на машинную заготовку древесины направлен на решение ряда экономических, социальных и экологических проблем как отраслевого, так и республиканского значения: интенсификация лесопользования; увеличение экспорта лесопродукции; повышение степени комплексного использования древесины; создание безопасных, высокопроизводительных условий труда.

Создание конкурентных условий по заготовке, переработке лесоматериалов, реализации пилопродукции на внутреннем и внешнем рынках, предоставление предприятиям свободы выбора машин и оборудования позволит повысить уровень эффективности планируемых и осуществляемых мероприятий.

Во многом этому способствует формирование современной нормативной базы утилизации древесных ресурсов взамен правилам и принципам, изложенным в Указе 214 от 7 мая 2007 г. с последующими изменениями [1].

Результаты теоретических исследований, отраженные в работах [2–5], было решено оценить в реальных производственных условиях, а местом для этого, по решению Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь, было выбрано государственное лесохозяйственное учреждение «Волковысский лесхоз». В начале ревизионного периода лесосечный фонд по главному пользо-ванию Берестовицкого и Росского лесничества данного лесхоза были переданы в аренду ОАО «Мостовдрев» сроком на 7 лет. Выбранный объект исследований в этой связи представляет интерес как с позиции самостоятельного функционирования, так и в роли арендодателя.

В рамках реализации в республике крупных инвестиционных проектов, предусматривающих комплексное использование древесных ресурсов, с целью обеспечения сырьем данных производств, находящихся в структуре концерна «Беллесбумпром», существует практика передачи им в аренду лесосечного фонда по главному пользованию. В настоящее время в аренде находится около 20% расчетной лесосеки Минлесхоза [6].

Характеристика объекта исследований. ГЛХУ «Волковысский лесхоз» имеет в своем составе 7 лесничеств, в которых выполняется намеченный проектом организации и ведения

лесного хозяйства комплекс мероприятий по проведению рубок главного и промежуточного пользования с 2010 по 2019 г.

Ежегодная расчетная лесосека по лесхозу составляет 82 тыс. м^3, из которых в лесах I группы – 13,8 тыс. м^3, II группы – 68,2 тыс. м^3. Характерной чертой лесосечного фонда данного предприятия является отсутствие труднодоступных выделов. С 2005 г. в частности, для планирования лесопользования используются автоматизированные рабочие места (АРМ), по информации из которых удобно выполнять анализ деятельности всего предприятия и его структурных подразделений и прогнозировать результат планируемых мероприятий.

Методика эксперимента. С целью разработки решений по организации территории лесосечного фонда для его последующего эффективного освоения выполнен анализ аналогичной деятельности предприятия в прошлом. На основании информации, взятой из АРМ «Лесопользование» с 2005 по 2011 г., создана таблица, содержащая данные сплошных и несплошных рубок главного пользования по всем лесничествам (рис. 1).

Впоследствии в разработанном ГИС-приложении выполнен расчет показателей, характеризующих организацию территории лесопользования каждого лесничества, и вычислены средние значения каждого параметра (рис. 2).

В таблице, изображенной на рис. 2, название полей имеет следующий смысл:

Число_лет – количество лет ревизионного периода, в течение которых информация по рубкам главного пользования содержится в АРМ «Лесопользование»;

Конц_зап – коэффициент концентрации лесосек по запасу;

Зап_1 кв – запас главной породы, в среднем в одном квартале;

Конц_площ – коэффициент концентрации лесосек по площади;

Площ_1 кв – площадь рубок в среднем в одном квартале;

Вд_год – среднее число лесосек в лесничестве в год;

Вд_1 кв – среднее число лесосек в одном квартале в год;

Кв_год – средне число кварталов в год, в которых планировались рубки;

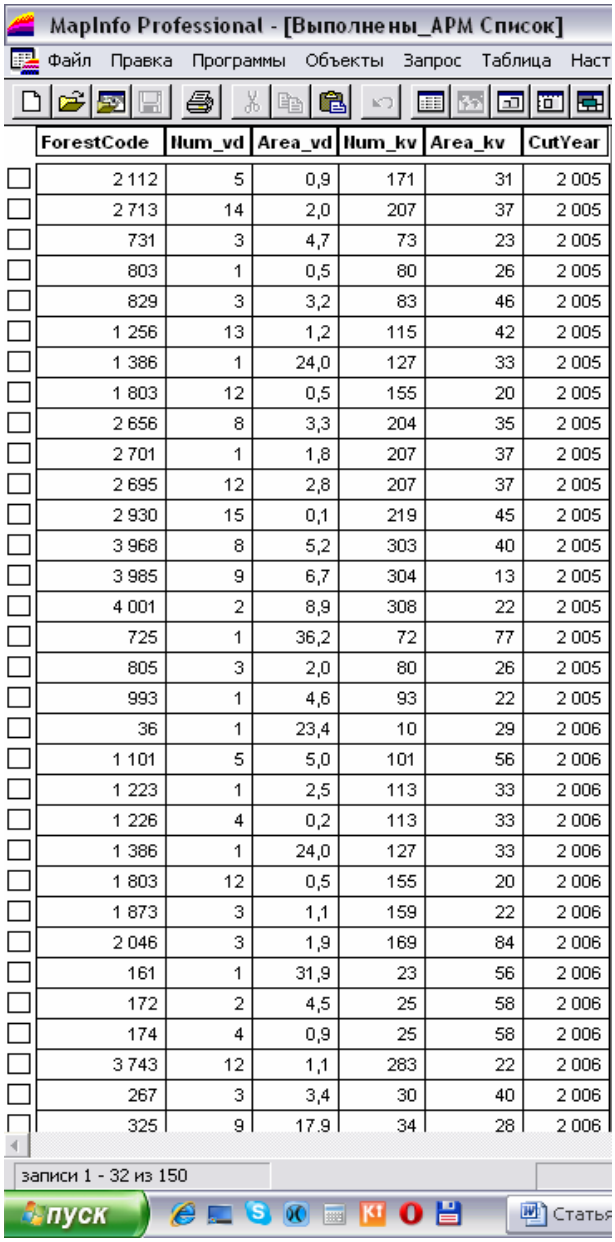
Посещ_кв – количество посещений одного квартала в год;

Откл_зап – сумма квадратов отклонения ежегодных запасов главных древесных пород в лесничестве от среднего объема рубок;

Откл_площ – сумма квадратов отклонения ежегодных площадей рубок в лесничестве от средней площади рубок;

Лесничество – название лесничества.

Таким образом, на основании данных рассматриваемой таблицы имеется возможность выполнять сравнительную оценку лесозаготовительной деятельности в различных лесничествах.



ForestCode	Num_vd	Area_vd	Num_kv	Area_kv	CutYear
2 112	5	0,9	171	31	2 005
2 713	14	2,0	207	37	2 005
731	3	4,7	73	23	2 005
803	1	0,5	80	26	2 005
829	3	3,2	83	46	2 005
1 256	13	1,2	115	42	2 005
1 386	1	24,0	127	33	2 005
1 803	12	0,5	155	20	2 005
2 656	8	3,3	204	35	2 005
2 701	1	1,8	207	37	2 005
2 695	12	2,8	207	37	2 005
2 930	15	0,1	219	45	2 005
3 968	8	5,2	303	40	2 005
3 985	9	6,7	304	13	2 005
4 001	2	8,9	308	22	2 005
725	1	36,2	72	77	2 005
805	3	2,0	80	26	2 005
993	1	4,6	93	22	2 005
36	1	23,4	10	29	2 006
1 101	5	5,0	101	56	2 006
1 223	1	2,5	113	33	2 006
1 226	4	0,2	113	33	2 006
1 386	1	24,0	127	33	2 006
1 803	12	0,5	155	20	2 006
1 873	3	1,1	159	22	2 006
2 046	3	1,9	169	84	2 006
161	1	31,9	23	56	2 006
172	2	4,5	25	58	2 006
174	4	0,9	25	58	2 006
3 743	12	1,1	283	22	2 006
267	3	3,4	30	40	2 006
325	9	17,9	34	28	2 006

Рис. 1. Фрагмент таблицы в ГИС MapInfo с информацией о рубках главного пользования, выполненных с 2005 по 2011 г. в Берестовицком лесничестве

С целью получения объективных результатов сравниваемые лесничества должны характеризоваться однотипными или близкими условиями лесопользования. Признаком однотипности сравниваемых условий может являться, например, одинаковое число лет ревизионного периода.

MapInfo Professional - [Выполены_общ Список]

Файл Правка Программы Объекты Запрос Таблица Настройки Список Окно Справка Волковыск Трелевка

Число_лет	Конц_зап	Зап_1кв	Конц_площ	Площ_1кв	Вд_год	Вд_1кв	Кв_год	Посещ_кв	Откл_зап	Откл_площ	Лесничество
7	0,61	1 167	0,16	5,5	20,1	1,3	15,6	1,41	1 525 807 151,25	24 542,78	Берестовицкое
6	0,68	1 435	0,13	5,5	9,2	1,5	6,2	1,16	236 025 109,25	2 526,60	Волковысское
7	0,58	1 104	0,12	4,0	8,3	1,3	6,4	1,40	389 025 298,25	5 003,62	Коревичское
2	0,77	3 323	0,16	12,0	13,5	1,7	8,0	1,14	155 091 272,00	2 436,34	Подоросское
6	0,91	1 655	0,15	6,7	6,2	1,5	4,2	1,13	347 640 198,00	4 845,14	Порозовское
6	0,70	1 150	0,16	4,8	19,7	1,2	16,3	1,29	995 727 396,00	6 196,91	Росское
7	0,39	1 125	0,08	4,0	13,3	1,3	10,4	1,74	624 142 085,00	8 901,47	Свислочское
6	0,66	1 566	0,14	6,1	12,9	1,4	9,6	1,33	610 494 072,82	6 806,61	СРЕДНЕЕ ЗНАЧЕНИЕ

Рис. 2. Таблица показателей оценки организации территории лесосечного фонда в разрезе лесничеств Волковысского лесхоза

Признаком однотипности сравниваемых условий может являться, например, одинаковое число лет ревизионного периода. Так как приведенные лесничества относятся к одному лесхозу, в случае появления в лесозаготовительной деятельности лесхоза различного рода инноваций, например приобретение харвестера (форвардера), необходимо скорректировать сравниваемые условия. Как было отмечено выше, в связи с арендой ОАО «Мостовдрев» двух лесничеств Волковысского лесхоза, интерес представляет сравнение результатов самостоятельной деятельности этих двух предприятий.

Результаты эксперимента. В процессе многовариантного анализа условий совместного осуществления в одном квартале сплошных и несплошных рубок главного пользования по аналогии с таблицей рис. 2 была сформирована результирующая таблица для последующей оптимизации схемы организации территории лесосечного фонда Берестовицкого лесхоза (рис. 3).

MapInfo Professional - [Таблица2 Список]

Файл Правка Программы Объекты Запрос Таблица Настройки Список Окно Справка Волковыск Трелевка

RowNumber	Число_лет	Конц_зап	Зап_1кв	Конц_площ	Площ_1кв	Выд_год	Выд_1кв	Кв_год	Посещ_кв	Откл_зап	Откл_площ
1	2	0,7622	1 327	0,1295	4,7	57,5	1,3	45,5	1,0964	225 781 250,00	2 184,85
2	3	0,8199	1 496	0,1406	5,6	38,3	1,3	30,3	1,0964	1 587 339 563,00	19 057,25
3	3	0,8410	1 078	0,1210	4,0	38,3	1,3	30,3	1,0964	1 732 030 291,00	21 013,25
4	3	0,8239	1 285	0,1338	4,8	38,3	1,3	30,3	1,0964	1 524 053 291,00	18 153,89
5	3	0,8410	1 078	0,1210	4,0	38,3	1,3	30,3	1,0964	1 732 030 291,00	21 013,25
6	4	0,8645	1 267	0,1315	4,8	28,8	1,3	22,8	1,0964	2 308 820 948,00	28 019,97
7	3	0,8411	1 034	0,1009	3,6	38,3	1,3	30,3	1,0964	1 747 626 283,00	21 456,99
8	3	0,8232	1 264	0,1246	4,6	38,3	1,3	30,3	1,0964	1 538 657 683,00	18 565,07
9	3	0,8406	1 058	0,1097	3,8	38,3	1,3	30,3	1,0964	1 681 095 979,00	20 495,07
10	3	0,8258	1 202	0,1236	4,4	38,3	1,3	30,3	1,0964	1 476 389 779,00	17 674,19
11	4	0,8804	921	0,1017	3,3	28,8	1,3	22,8	1,0964	2 467 485 652,00	30 390,43
12	4	0,8670	1 093	0,1195	4,1	28,8	1,3	22,8	1,0964	2 260 648 252,00	27 534,03
13	3	0,8411	1 034	0,1009	3,6	38,3	1,3	30,3	1,0964	1 747 626 283,00	21 456,99
14	4	0,8646	1 234	0,1164	4,5	28,8	1,3	22,8	1,0964	2 323 921 140,00	28 447,43
15	4	0,8804	921	0,1017	3,3	28,8	1,3	22,8	1,0964	2 467 485 652,00	30 390,43
16	4	0,8676	1 076	0,1113	3,9	28,8	1,3	22,8	1,0964	2 261 144 052,00	27 550,31
17	3	0,8406	1 058	0,1097	3,8	38,3	1,3	30,3	1,0964	1 681 095 979,00	20 495,07
18	4	0,8642	1 252	0,1230	4,7	28,8	1,3	22,8	1,0964	2 259 522 036,00	27 521,03
19	3	0,8411	1 034	0,1009	3,6	38,3	1,3	30,3	1,0964	1 747 626 283,00	21 456,99
20	4	0,8646	1 234	0,1164	4,5	28,8	1,3	22,8	1,0964	2 323 921 140,00	28 447,43
21	4	0,8804	921	0,1017	3,3	28,8	1,3	22,8	1,0964	2 467 485 652,00	30 390,43
22	4	0,8676	1 076	0,1113	3,9	28,8	1,3	22,8	1,0964	2 261 144 052,00	27 550,31
23	4	0,8804	921	0,1017	3,3	28,8	1,3	22,8	1,0964	2 467 485 652,00	30 390,43
24	5	0,8913	1 103	0,1139	4,1	23,0	1,3	18,2	1,0964	2 731 152 165,00	33 455,59
25	3	0,8411	1 034	0,1009	3,6	38,3	1,3	30,3	1,0964	1 747 626 283,00	21 456,99
26	4	0,8646	1 234	0,1164	4,5	28,8	1,3	22,8	1,0964	2 323 921 140,00	28 447,43

Рис. 3. Таблица показателей оценки организации территории лесосечного фонда в Берестовицком лесничестве Волковысского лесхоза, сформированная в ГИС-приложении

Анализ данной таблицы показал, что для каждого варианта лесопользования значения в колонках «*Вд_1кв»* и «*Посещ_кв»* остаются одинаковыми и равны 1,300 и 1,096 соответственно. Выявленный факт позволяет сделать вывод о том, что оптимальная схема формирования территории лесосечного фонда конкретного лесничества может быть выбрана пользователем по экстремуму одного или нескольких отличных от приведенных выше показателей и, тем самым, результат по показателю «*Посещ_кв*» будет лучше среднего за исследуемые 2005–2011 гг. (последняя строка таблицы на рис. 1). На основании этого был предложен расчет эффективности планируемых мероприятий в Берестовицком лесничестве на 2012–2019 гг. Так, за счет сокращения числа переездов одной лесозаготовительной бригады в рассматриваемом лесничестве в год с 29 до 11 и увеличения в этой связи объема заготовки древесины на 158 м^3 ожидаемый экономический эффект от внедрения рекомендаций автора составил один миллион семьсот восемьдесят пять тысяч четыреста рублей на декабрь 2011 года.

Заключение. Таким образом, такая предлагаемая область поиска внутренних резервов повышения эффективности освоения лесосечного фонда, как организация территории объекта лесопользования, позволяет с применением разработанного автором программного обеспечения значительно сократить число посещений кварталов в лесничествах и при выполнении проектных объемов заготовки древесины повысить выработку на списочную лесозаготовительную машину.

Литература

1. О некоторых вопросах регулирования деятельности в сфере лесного хозяйства: Указ Президента Респ. Беларусь, 7 мая 2007 г., № 214: с изм.: текст по состоянию на 1 марта 2010 г. – Минск, 2010.

2. Хотянович, А. И. Показатели оценки эффективности лесопользования с применением геоинформационных систем / А. И. Хотянович // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – Минск: БГТУ, 2007. – Вып. XV. – С. 42–46.

3. Федоренчик, А. С. Теория и методика концентрации лесосечного фонда / А. С. Федоренчик, А.И. Хотянович // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – Минск: БГТУ, 2008. – Вып. XVI. – С. 20–26.

4. Хотянович, А. И. Формирование лесосечного фонда с использовнием географических информационных систем / А. И. Хотянович // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – Минск: БГТУ, 2009. – Вып. XVII. – С. 134–142.

5. Хотянович, А. И. Программный комплекс для формирования рациональных условий лесопользования / А. И. Хотянович, А. С. Федорнечик // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – Минск: БГТУ, 2009. – Вып. XVIII. – С. 27–32.

6. Состояние и использование лесов Республики Беларусь. Ежегодный обзор / М-во лесного хоз-ва. – Минск, 2011. – 75 с.

7. Расчет экономического эффекта (ожидаемого) от внедрения комплексной системы оптимизации и повышения эффективности освоения лесосечного фонда на основе экологизированных и ресурсосберегающих технологий и систем лесных машин с использованием ГИС в ГЛХУ «Волковысский лесхоз» / Белорус. гос. технол. ун-т. – Минск: БГТУ, 2011. – 3 с.

Поступила 16.03.2012

УДК 634.0.30

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

МОДЕЛИ РАБОТЫ ЛЕСНЫХ МАШИН С УЧЕТОМ НАДЕЖНОСТИ

Предложены новая модель функционирования лесопромышленных систем с учетом технических и технологических отказов на различных стадиях работы, формулы для установления эффективности работы систем по критериям вероятностей состояний с определением рациональных параметров функционирования: интенсивности подачи сырья, его обработки и ремонта оборудования.

A new model of forestry systems taking into account technical and technological failures at various stages of work is proposed, the formulas to determine the effectiveness of systems according to the criteria determining the probabilities of states with rational parameters of operation (flow rate of raw materials, their processing and repair of equipment) are offered.

Введение. В современном лесном комплексе практически все лесные машины и оборудование, с учетом сильного влияния природно-производственных факторов, работают с запасами. Соответственно модели и принятие рациональных решений должны базироваться на данных условиях [1].

Основная часть. Решение для системы с запасом в m единиц продукции представлено на рис. 1.

$$P_0 = \left[1 + \frac{\lambda_1}{\mu_1} + \frac{\lambda_2}{\mu_2}\frac{\lambda_1}{\mu_1} + \left(\frac{1}{2} + \frac{\lambda_2}{\mu_2}\right)\sum_{i=2}^{m+2}\left(\frac{1}{2}\right)^{i-2}\left(\frac{\lambda_1}{\mu_1}\right)^{i}\right]^{-1};$$

$$P_i = \left(\frac{1}{2}\right)^{i-1}\left(\frac{\lambda_1}{\mu_1}\right)^{i} P_0, \quad P_{i1} = P_{i2} = \frac{\lambda_2}{\mu_2} P_i.$$

Рассмотрим модель функционирования системы из трех производственных систем с запасом в 2 единицы продукции (рис. 2).

Здесь S_0 – свободное состояние системы, обработка предметов труда не ведется; S_1 – одна производственная система осуществляет обработку предмета труда, две – простаивают; S_{11} – состояние технического отказа работающей производственной системы, наступившего в состоянии S_1; S_2 – две производственные системы осуществляют обработку предметов труда, одна – простаивает; S_{21} – состояние технического отказа одной из работающих производственных систем, наступившего в состоянии S_2; S_{22} – состояние технического отказа двух работающих производственных систем, наступившего в состоянии S_2; $S_{3,4,5}$ – все три производственные системы осуществляют обработку предметов труда; $S_{31,41,51}$ – состояние технического отказа одной из производственных систем, наступившего в состоянии $S_{3,4,5}$; $S_{32,42,52}$ – состояние технического отказа двух производственных систем, наступившего в состоянии $S_{3,4,5}$; $S_{33,43,53}$ – состояние технического отказа всех трех производственных систем, наступившего в состоянии $S_{3,4,5}$.

Параметры в модели остаются прежними.

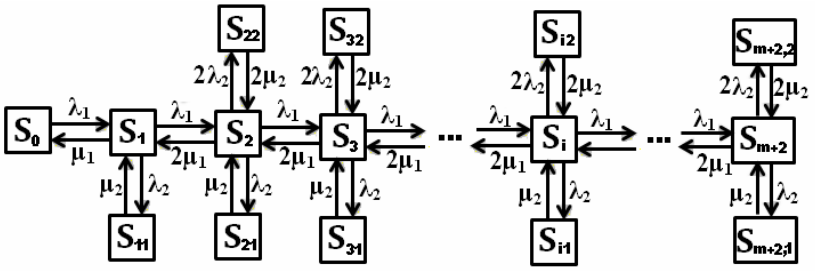


Рис. 1. Размеченный граф состояний работы двухмашинной производственной системы с запасом в m единиц продукции

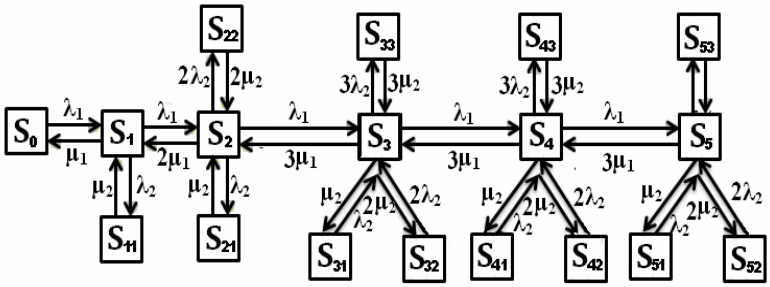


Рис. 2. Размеченный граф состояний работы трех производственных систем с запасом в 2 единицы продукции

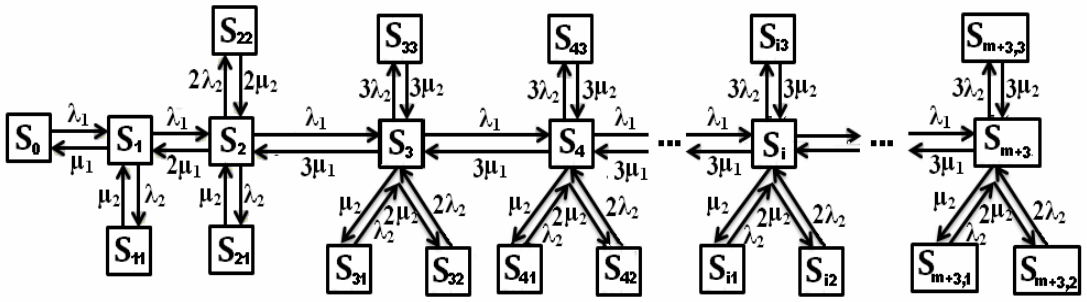


Рис. 3. Размеченный граф состояний работы трех производственных систем с запасом в m единиц продукции

Математическая модель функционирования системы представляется системой уравнений:

$$\frac{dP_0}{dt} = -\lambda_1 P_0 + \mu_1 P_1;\ \frac{dP_1}{dt} = -(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1) P_1 +$$

$$+ \lambda_1 P_0 + \mu_2 P_{11} + 2\mu_1 P_2;\ \frac{dP_{11}}{dt} = \mu_2 P_{11} + \lambda_2 P_1;$$

$$\frac{dP_2}{dt} = -(\lambda_1 + 3\lambda_2 + 2\mu_1) P_1 + \lambda_1 P_1 + \mu_2 P_{21} +$$

$$+ 2\mu_2 P_{22} + 3\mu_1 P_3;\ \frac{dP_{21}}{dt} = -\mu_2 P_{21} + \lambda_2 P_2;$$

$$\frac{dP_{12}}{dt} = -2\mu_2 P_{22} + 2\lambda_2 P_2;\ \frac{dP_3}{dt} = -(\lambda_1 + 6\lambda_2 + 3\mu_1) \times$$

$$\times P_3 + \lambda_1 P_2 + \mu_2 P_{31} + 2\mu_2 P_{32} + 3\mu_2 P_{33} + 3\mu_1 P_4;$$

$$\frac{dP_{31}}{dt} = -\mu_2 P_{31} + \lambda_2 P_3;\ \frac{dP_{32}}{dt} = -2\mu_2 P_{32} + 2\lambda_2 P_3;$$

$$\frac{dP_{33}}{dt} = -3\mu_2 P_{33} + 3\lambda_2 P_3;\ \frac{dP_4}{dt} = -(\lambda_1 + 6\lambda_2 + 3\mu_1) \times$$

$$\times P_4 + \lambda_1 P_3 + \mu_2 P_{41} + 2\mu_2 P_{42} + 3\mu_2 P_{43} + 3\mu_1 P_5;$$

$$\frac{dP_{41}}{dt} = -\mu_2 P_{41} + \lambda_2 P_4;\ \frac{dP_{42}}{dt} = -2\mu_2 P_{42} + 2\lambda_2 P_4;$$

$$\frac{dP_{43}}{dt} = -3\mu_2 P_{43} + 3\lambda_2 P_4;\ \frac{dP_5}{dt} = -(6\lambda_2 + 3\mu_1) P_5 +$$

$$+ \lambda_1 P_4 + \mu_2 P_{51} + 2\mu_2 P_{52} + 3\mu_2 P_{53};\ \frac{dP_{51}}{dt} = -\mu_2 P_{51} + \lambda_2 P_5;$$

$$\frac{dP_{52}}{dt} = -2\mu_2 P_{52} + 2\lambda_2 P_5;\ \frac{dP_{53}}{dt} = -3\mu_2 P_{53} + 3\lambda_2 P_5.$$

Решение эквивалентной линейной системы уравнений будет следующее:

$$P_0 = \left[1 + \frac{\lambda_1}{\mu_1}\left(1 + \frac{\lambda_2}{\mu_2}\right) + \frac{\lambda_1^2}{\mu_1^2}\left(\frac{1}{2} + \frac{\lambda_2}{\mu_2}\right) + \right]^{-1} +$$

$$+ \left[\frac{1}{2}\left(\frac{1}{3} + \frac{\lambda_2}{\mu_2}\right)\left(\frac{\lambda_1^3}{\mu_1^3} + \frac{1}{3}\frac{\lambda_1^4}{\mu_1^4} + \frac{1}{9}\frac{\lambda_1^5}{\mu_1^5}\right)\right]^{-1};$$

$$P_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1} P_0;\ P_{11} = \frac{\lambda_2}{\mu_2}\frac{\lambda_1}{\mu_1} P_0;\ P_2 = \frac{1}{2}\frac{\lambda_1^2}{\mu_1^2} P_0;$$

$$P_{21} = P_{22} = \frac{1}{2}\frac{\lambda_2}{\mu_2}\frac{\lambda_1^2}{\mu_1^2} P;\ P_3 = \frac{1}{6}\frac{\lambda_1^3}{\mu_1^3} P_0;$$

$$P_{31} = P_{32} = P_{33} = \frac{1}{6}\frac{\lambda_2}{\mu_2}\frac{\lambda_1^3}{\mu_1^3} P_0;$$

$$P_4 = \frac{1}{18}\frac{\lambda_1^4}{\mu_1^4} P_0;\ P_{41} = P_{42} = P_{43} = \frac{1}{18}\frac{\lambda_2}{\mu_2}\frac{\lambda_1^4}{\mu_1^4} P;$$

$$P_5 = \frac{1}{54}\frac{\lambda_1^5}{\mu_1^5} P_0;\ P_{51} = P_{52} = P_{53} = \frac{1}{54}\frac{\lambda_2}{\mu_2}\frac{\lambda_1^5}{\mu_1^5} P_0.$$

Обобщив полученные результаты, получим решение для системы с запасом в m единиц продукции (рис. 3).

$$P_0 = \left[1 + \frac{\lambda_1}{\mu_1}\left(1 + \frac{\lambda_2}{\mu_2}\right) + \left(\frac{\lambda_1}{\mu_1}\right)^2\left(\frac{1}{2} + \frac{\lambda_2}{\mu_2}\right)\right]^{-1} +$$

$$+ \left[+\frac{1}{2}\left(\frac{1}{3} + \frac{\lambda_2}{\mu_2}\right)\sum_{i=3}^{m+3}\left(\frac{1}{3}\right)^{i-3}\left(\frac{\lambda_1}{\mu_1}\right)^i\right]^{-1};$$

$$P_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1} P;\ P_{11} = \frac{\lambda_2}{\mu_2}\frac{\lambda_1}{\mu_1} P_0;\ P_2 = \frac{1}{2}\frac{\lambda_1^2}{\mu_1^2} P_0;$$

$$P_{21} = P_{22} = \frac{1}{2}\frac{\lambda_2}{\mu_2}\frac{\lambda_1^2}{\mu_1^2} P_0;\quad P_i = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{3}\right)^{i-2}\left(\frac{\lambda_1}{\mu_1}\right)^i P_0;$$

$$P_{i1} = P_{i2} = P_{i3} = \frac{\lambda_2}{\mu_2} P_i;\qquad i = 3, 4, \ldots, m+3.$$

Заключение. В практическом плане разработанные модели позволяют при заданных характеристиках исследуемых машин и оборудования получить рациональные режимы подачи сырья на обработку и ремонта оборудования в случае технических отказов. Это приведет к росту производительности оборудования без существенных финансовых затрат.

Литература

1. Игнатенко, В. В. Моделирование и оптимизация процессов лесозаготовок: учеб. пособие для студентов специальностей лесотехнического профиля / В. В. Игнатенко, И. В. Турлай, А. С. Федоренчик. – Минск: БГТУ, 2004. – 180 с.

Поступила 16.03.2012

УДК 634.0.323

Н. И. Жарков, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);
В. И. Гиль, кандидат технических наук, ассистент (БГТУ); **В. С. Исаченков**, ассистент (БГТУ)

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ЛЕСОТРАНСПОРТЕРОВ

Одним из важных видов работ на складах сырья лесопромышленных предприятий является сортировка круглых лесоматериалов. Транспортировка и сортировка бревен на предприятиях Республики Беларусь осуществляется в основном продольными сортировочными транспортерами. Основные показатели технических характеристик этих транспортеров не отвечают требованиям белорусских лесозаготовительных предприятий по ряду параметров. Замена устаревших конструкций и закупка нового оборудования сопряжена со значительными капиталовложениями. В результате анализа существующих конструкций предложена схема автоматизированной линии для сортировки круглых лесоматериалов. Новая схема компоновки позволит значительно уменьшить длину транспортера, а уменьшение скорости тягового органа позволит применить привод меньшей мощности и снизить металлоемкость конструкции.

One of the important types of work in the warehouses of raw timber companies is a sort of round timber. Transport and sorting of logs in the enterprises of the Republic of Belarus is carried out mainly by longitudinal sorting conveyors. Main indicators of the technical characteristics of these transporters do not meet the requirements of the Belarusian forestry enterprises in a number of parameters. Replacement of obsolete design and procurement of new equipment associated with considerable capital investment. An analysis of existing structures proposed scheme is an automated line to sort of round timber. A new scheme of arrangement will significantly reduce the length of the conveyor and the speed reduction will apply traction body drive lower power and lower the metal structure.

Введение. Заготовкой и поставкой древесины в Республике Беларусь занимаются лесозаготовительные предприятия концерна «Беллесбумпром» и частично лесхозы. Заготовленная древесина поступает на нижние склады предприятий или непосредственно к потребителю, где производится первичная обработка древесины. В Беларуси в настоящее время преобладают нижние склады с годовым грузооборотом до 100 тыс. м^3. Объемы заготовительных лесоматериалов в лесхозах находятся в пределах 22–177 тыс. м^3 (средний объем 93 тыс. м^3).

Основная часть. Технология работы на нижних складах основана на базе систем машин с продольной подачей хлыста (сортимента) и индивидуальной обработкой. Такая же технология работ применяется и в лесхозах. Транспортировка и сортировка бревен осуществляется продольными сортировочными транспортерами.

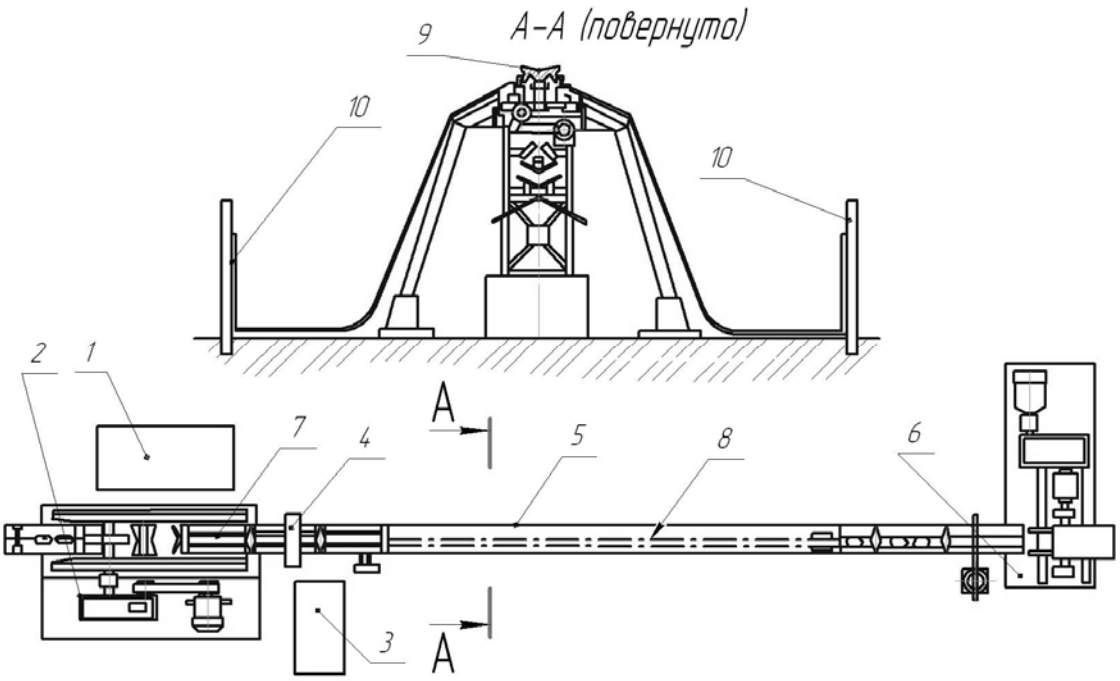
В Республике Беларусь сортировочные транспортеры не выпускаются. На большинстве предприятий используются приобретенные во время СССР транспортеры типа Б-22У-1 и ТТС, а также несколько автоматизированных сортировочных линий на базе транспортеров ЛТ 86.

Все продольные транспортеры выполнены, как правило, горизонтальными и по одной функциональной схеме [1].

В таблице приведены основные параметры технологических характеристик сортировочных транспортеров, выпускавшихся ранее и выпускаемых в настоящее время в России [2].

Основные параметры сортировочных лесотранспортеров

Показатели	ТТС	Б-22У1	ЛТ44	ЦТ-1А	ЛТ86	ТС7	ЛТ-182	ЛТ-173
Длина, м	300	120	130	240	130	120	75	130
Тип тягового органа	канат	круглозвенная цепь	цепь					лента
Скорость движения, м/мин	0,65	0,6	0,65–0,80	0,7	0,8–1,2	2,7	1,2	1,2
Мощность электродвигателя, кВт	16	17	17	22	30–40	39	33	18
Тип привода сбрасывания бревен	индивидуальный силовой	от привода тягового органа			гравитационный			электрогидравлический
Производительность	–	340 м^3 в смену	–	–	–	340 м^3 в смену	87 м^3 в час	70 м^3 в час



Автоматизированная линия для сортировки круглых лесоматериалов

Все указанные в таблице лесотранспортеры автоматизированы или поддаются автоматизации.

Анализируя показатели технических характеристик лесотранспортеров, необходимо отметить, что они не отвечают требованиям белорусских предприятий по некоторым параметрам. Это высокая производительность и большая дробность сортировки.

Замена устаревших конструкций и закупка нового оборудования сопряжена со значительными капиталовложениями. Отсутствие унификации и агрегатно-блочного принципа компоновки технологических схем не позволяет создать унифицированные ряды оборудования для сортировки круглых лесоматериалов.

В результате анализа существующих конструкций предложена следующая схема автоматизированной линии для сортировки круглых лесоматериалов, приведенная на рисунке.

В ее состав входит: установка поштучной подачи типа УППЗ (поз. *1*), приемный транспортер *2* (тяговый орган – круглозвенная цепь), кабина оператора *3*, измерительное устройство *4*, лесотранспорт *5*, состоящий из привода *6* и натяжного устройства *7*.

Транспортер состоит из отдельных секций *8*, каждая из которых представляет собой металлическую сварную раму. Конструкции секций отличаются только длиной, которая зависит от длины сортимента, сбрасываемого секцией. Под стыками секций расположены сварные металлические опоры на бетонных подушках. В качестве тягового органа *8* выбрана цепь тягово-разборная. На цепи устанавливаются гравитационные сбрасыватели *9* двухстороннего действия (разрез А-А.). Вдоль фронта транспортера с обеих его сторон, напротив каждой секции, установлены накопители *10*. На каждой секции *8* транспортера установлены два механизма опрокидывания, обеспечивающие сброску бревна на правую или левую сторону транспортера.

Заключение. Предложенная схема автоматизированной линии сортировки круглых лесоматериалов на базе продольного транспортера, выполненного по агрегатно-блочному принципу, может служить основой для разработки технического задания на проектирование.

Литература

1. Строительное дорожное и коммунальное машиностроение. Сер. 16: Машины и оборудование для лесозаготовок, лесосплава и добычи торфа: обзор. информ. – Минск, 1984. – Вып. II: Механизация и автоматизация сортировки древесины на лесных складах.

2. Матвейко, А. П. Технология лесозаготовительного производства / А. П. Матвейко. – Минск: Техноперспектива, 2006.

Поступила 16.03.2012

УДК 625.75

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

УКРЕПЛЕНИЕ ДОРОЖНЫХ ГРУНТОВ ШЛАКОВЫМИ ДОБАВКАМИ

В настоящее время при строительстве автомобильных дорог общего пользования применяются конструкции дорожных одежд из укрепленных материалов, что позволяет увеличить сроки их службы и обеспечить повышение транспортно-эксплуатационных показателей.

Now at building of highways of the general using designs of road clothes from the strengthened materials that allows to increase terms of their service are applied and to provide increase of transportno-operational indicators. At designing of road clothes of wood roads it is necessary to consider specificity of their work taking into account increase in weight of lorry convoys and experience of improvement of properties road soils.

Введение. Одним из направлений увеличения прочности дорожных одежд следует считать улучшение свойств исходных дорожно-строительных материалов. Это возможно осуществлять на основе использования отходов промышленных производств. В Республике Беларусь имеются предприятия черной металлургии, на которых при производстве металла в больших количествах образуются отходы – это шлаки различных свойств и состава. При выплавке разных марок стали на Белорусском металлургическом заводе (БМЗ) образуются следующие виды шлаков: верхний, гранулированный, длинный, доменный, карбидный, конвертерный, короткий. Шлак, как правило, является побочной продукцией, используемой в качестве вторичного сырья для получения строительных материалов (например шлакоситаллов), известковых и фосфорных удобрений, а также является оборотным продуктом в ряде металлургических процессов.

Из сталеплавильного шлака изготавливают щебень для дорожного строительства. Кроме того, его используют в аглодомерных и ваграночных производствах для извлечения содержащихся в них Fe, Mn и CaO.

Основные положения. Металлургические шлаки и продукты их переработки используются в дорожном и гидротехническом строительстве, производстве строительных материалов, в том числе облицовочных плит, сельском хозяйстве, химической промышленности, медицине и других отраслях промышленности.

Шлаки – побочные продукты, получаемые при плавке черных и цветных металлов, сжигании твердых видов топлива, а также при электротермической возгонке фосфора.

Шлак представляет собой сплав оксидов переменного состава. Главными компонентами шлака являются: кислотный оксид SiO_2 и основные оксиды CaO, FeO, MgO, а также нейтральные оксиды $A1_2O_3$ и (реже) ZnO. В зависимости от преобладания тех или иных оксидов шлак может быть кислым и основным.

Свойства доменных шлаков исследованы достаточно полно, они широко используются в строительстве, в том числе и автомобильных дорог. Однако большая группа предприятий, таких как БМЗ, при производстве основной продукции образуют электросталеплавильные шлаки, свойства которых резко отличаются от свойств шлаков доменного производства. Электросталеплавильные негранулированные саморассыпающиеся шлаки в связи со слабой изученностью не находят широкого применения в дорожном строительстве, поэтому на этих предприятиях скопились огромные их запасы.

Металлургические шлаки – эффективные заменители природных каменных материалов, они рекомендуются для строительства и ремонта автомобильных дорог. По свойствам щебень из шлака не уступает продукту, полученному из твердых пород, а иногда и превосходит его.

С учетом физико-механических свойств щебень, песок и их смеси применяют для устройства конструктивных слоев дороги всех видов – покрытий, оснований, дополнительных слоев оснований и т. д. [2, 3].

Порошкообразные сталеплавильные и доменные шлаки являются низкомарочными вяжущими и предназначены для создания монолитных оснований дорог, прочность которых значительно повышаются при небольших добавках цемента и извести в качестве активизатора (до 10% по массе).

Достаточно прочные основания автомобильных дорог получают из смеси щебня из активного шлака и слабых известняков. Щебень из мартеновских шлаков с успехом используют для заклинки дорожного основания, изготовленного из гранитного щебня. Особенность асфальтобетонных покрытий, полученных с применением сталеплавильных шлаков – отсутствие деформаций сдвига даже при

интенсивном движении тяжелого транспорта. Шлаковый щебень содержит некоторое количество мелочи, которое значительно возрастает при укатке во время сооружения дорожного полотна.

Особенность асфальтобетонных покрытий, полученных с применением сталеплавильных шлаков, – отсутствие деформаций сдвига даже при интенсивном движении тяжелого транспорта.

При хранении отходов происходят процессы, изменяющие свойства исходной отвальной массы, химический, минеральный и гранулометрический составы, прочность, плотность и др.

Металлургические шлаки и продукты их переработки используются в металлургии, строительстве дорожном, гидротехническом, производстве строительных материалов, в том числе облицовочных плит и тюбингов при строительстве метро, сельском хозяйстве, кораблестроении, коммунальном и газовом хозяйствах, атомной энергетике, химической промышленности, медицине и других отраслях промышленности. С учетом сегодняшних цен на каменные строительные материалы, которые на большей территории Республики Беларусь распространены незначительно либо вообще отсутствуют, необходимо решать вопрос эффективной замены дорогостоящих каменных строительных материалов на отходы промышленного производства. В данном случае предлагается замена гравийных и щебеночных материалов на шлак БМЗ.

Для более полного обоснования целесообразности улучшения свойств гравийных материалов проводятся исследования по определению прочностных характеристик смеси с различным процентным содержанием шлака.

Гранулометрический состав шлака и песчано-гравийной смеси определяется ситовым методом [1, 2, 3]. Испытуемый шлак предварительно был измельчен в лабораторных условиях в специальном барабане. Так как выделенные частицы обладают размерами 0,14–20 мм, то анализ ведется без промывки водой [4, 5].

Наиболее важными показателями прочности дорожной одежды является модуль упругости. Для определения модуля упругости необходимо учитывать такие параметры, как максимальная плотность и оптимальная влажность смеси.

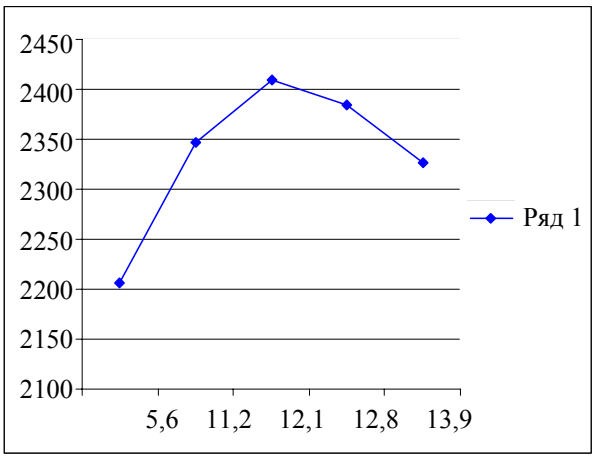


Рис. 1. График зависимости $\gamma_{ск} = f(W)$

Из полученного графика: оптимальная влажность $W_{оп}$ = 12,1 %; максимальная плотность грунта γ_{max} = 2409 кг/м^3. С использованием полученных данных проведен расчет дорожной одежды по методу упругого прогиба при помощи компьютерной программы «Радон» [6].

Максимальную плотность и оптимальную влажность грунта устанавливают по графику зависимости плотности от влажности (рис. 1), построенному по экспериментальным данным, приведенным в таблице.

На рис. 2 приведен расчет дорожной конструкции, анализ которой позволяет сделать вывод о целесообразности замены гравийных и щебеночных материалов на песчано-гравийную смесь с 25%-ным содержание шлака БМЗ.

Результаты исследований

Показатели	Определения				
	1-е	2-е	3-е	4-е	5-е
Масса пустого цилиндра P_2, кг	5,05	5,05	5,05	5,05	5,05
Масса цилиндра с уплотненным грунтом P_1, кг	7,38	7,66	7,70	7,75	7,74
Объем цилиндра V, м^3	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Объемная масса влажного грунта γ_0, кг/ м^3	2330	2610	2700	2690	2700
Влажность грунта W, %	5,6	11,2	12,1	12,8	13,9
Масса бюксы $q_б$, г	14,40	14,35	13,39	14,40	13,39
Масса бюксы с влажным грунтом $q_в$, г	24,52	28,45	28,21	27,34	28,69
Масса бюксы с сухим грунтом $q_с$, г	23,98	27,03	27,42	25,94	26,82
Объемная масса скелета грунта $\gamma_{ск}$, кг/ м^3	2206	2347	2409	2385	2327

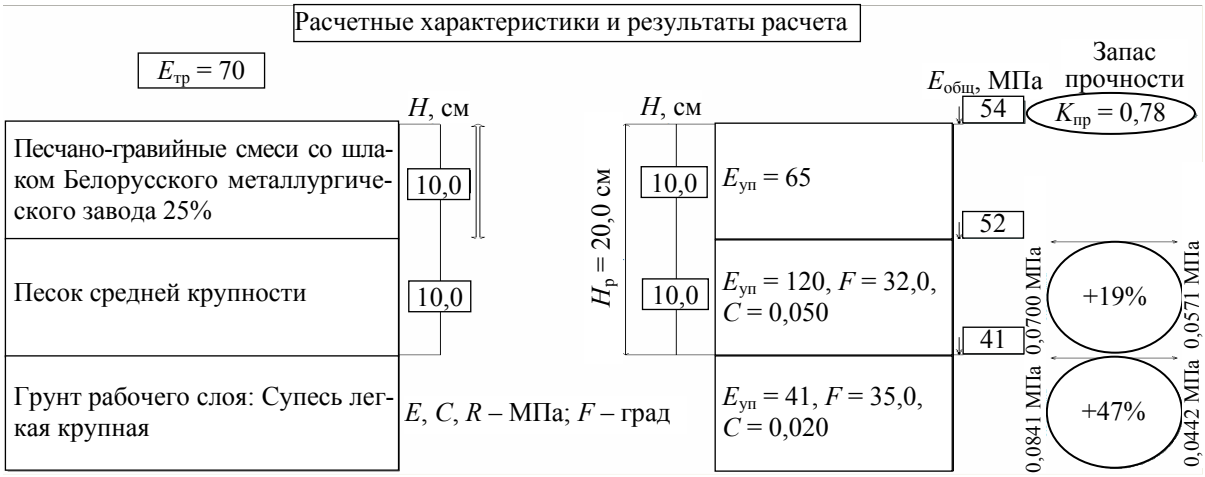


Рис. 2. Расчетные характеристики и результаты расчета дорожной одежды на основе использования шлаков Белорусского металлургического завода

Выводы. Для дорожно-строительных целей шлак пригоден преимущественно второго слива, кристаллической структуры, не содержащей заметного количества зерен пережога извести. Кристаллически плотный мартеновский шлак обладает прочностью более 100 МПа, малой водопоглощаемостью, морозостойкий. Физико-механические свойства шлака характеризуются объемной массой 3100–3300 кг/м^3, водопоглощением 0,5–2%; морозоустойчивостью свыше 100, прочностью при сжатии 80–120 МПа. Смесь прочного щебня со шлаковой мукой используется для устройства оснований дорожных одежд по типу шлакобетона.

Насыпная плотность гранулированного шлака колеблется в широких пределах – 600–1200 кг/м^3. Это связано с тем, что в зависимости от свойств шлакового расплава и технологии грануляции зерна шлака могут получаться плотными или пористыми. Пустотность гранулированных шлаков велика – до 60...70%.

Гранулированные доменные шлаки потребляются главным образом в производстве шлакопортландцемента, но в значительном объеме они используются также в качестве заполнителя для бетонов.

При сравнении двух вариантов дорожных одежд на основе использования металлургического шлака и песчано-гравийной смеси видно, что конструкция с применением шлаков не уступает песчано-гравийному покрытию по прочностным характеристикам, а с экономической точки зрения является наиболее выгодной и целесообразной, так как стоимость шлака значительно меньше, чем стоимость гравия. Расход материала также будет меньшим за счет толщины верхнего слоя (рис. 2).

В настоящее время разработаны составы новых вяжущих материалов на основе Белорусского металлургического завода. Шлаки должны все шире использоваться взамен природного песка и гравия. Для упрочнения грунта достаточно слоя шлака 20–30 см, для дороги длиной 1 км и шириной проезжей части 3,5 м требуется 600–900 т шлака (в зависимости от толщины засыпки). При применении шлаков в качестве оснований дорожных покрытий можно подобрать оптимальный гранулометрический состав, который обеспечит повышение прочности на 7% и экономию в применяемых материалах порядка 10–12%.

Кроме того, по результатам испытаний образцов следует отметить быстрый набор прочности укрепляемого материала. Так, на седьмые сутки затворения водой прочность составила 70%. Данный показатель особенно важен при строительстве лесных дорог, поскольку позволяет сократить время между началом и окончанием дорожно-строительных работ и вводом в эксплуатацию новых дорожных конструкций.

Литература

1. Материалы и изделия для строительства дорог: справочник / Н. В. Горелышев [и др.]. – М.: Транспорт, 1986. – 288 с.

2. Прокопец, В. С. Производство и применение дорожно-строительных материалов на основе сырья, модифицированного механической активацией / В. С. Прокопец, В. С. Лесовик. – Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова, 2005. – 264 с.

3. Бабаскин, Ю. Г. Дорожное грунтоведение и механика земляного плотна дорог / Ю. Г. Бабаскин. – Минск: БГПА, 2001. – 223 с.

4. Вырко, Н. П. Практикум по дорожному грунтоведению / Н. П. Вырко, И. И. Леонович. – Минск: Выш. шк., 1980. – 255 с.

5. Казарновский, В. Д. Основы инженерной геологии, дорожного грунтоведения и механики грунтов / В. Д. Казарновский. – М., 2007. – 284 с.

6. РАДОН 2.2. Расчет дорожных одежд. Руководство пользователя. – Минск.: ООО СП «Кредо Диалог», 2006. – 125 с.

Поступила 14.03.2012

УДК 625.7

Кришна Ш. Чакхун, аспирант (БНТУ)

ОБОСНОВАНИЕ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ СЕТИ И ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ РЕСПУБЛИКИ НЕПАЛ

Развитие дорожной сети Непала всегда было достаточно сложным вопросом. Наличие таких факторов, как горный пейзаж, не имеющее выхода к морю географическое положение, ограниченные ресурсы и т. д., добавляют больше трудностей, чем возможностей на пути развития. В то же самое время просматривается необходимость наличия дорог в самых труднодоступных местах. В публикации показаны существующие трудности в развитии дорожной сети в стране, их взаимосвязь с экономической и социально-политической ситуацией и то, как, несмотря на бедственную ситуацию, страна прилагала и продолжает прилагать все усилия, чтобы увеличить протяженность дорожной сети, которая является главной транспортной инфраструктурой. В этом контексте правительство Непала (DON) осуществляет различные долгосрочные и краткосрочные планы развития.

In Nepal road development has been a big challenge. Factors like mountainous landscape, fragile geology, land-locked geographical position, limited resources etc add more difficulties on its way to development. At the same time wide spread population in almost all corners of the country demands for a reasonable vehicular access and the population conceives this idea as an element of the development. The article explains about the existing difficulties in the development of road network in the country. The difficulties are related to the physical features as well as the economic and social situation. The country cannot afford all road networks in demand. Therefore it is imperative to have a proper strategy of the road network development. Based on the experiences and lessons learnt, certain specific strategy for the development of road network has been suggested in the article. On the other hand, despite all adversities, the country has been making efforts to enhance its road network which is the main infrastructure for transportation in the nation. In this context, the Government of Nepal (GON) has implemented various long term as well as short term development plans. Key parts of such plans have been briefly incorporated in the article. The government plans are apparently match with the strategies suggested in this article.

Введение. Непал – это небольшая азиатская страна. Занимает площадь 147 181 км^2 и расположена между Китаем и Индией. Протяженность с востока на запад составляет в среднем 885 км, в то же время ширина с севера на юг колеблется от 133 до 255 км. Административно страна разделена на 5 регионов развития, которые затем подразделяются на 14 зон, 75 районов, 58 муниципалитетов и 3913 деревенских комитетов. Население страны составляет около 27 млн.

Первая автострада в стране была построена в 1924 г. в районе Катманду. В 1951 г. длина дорог составляла только 376 км. Строительство первой 115-километровой дороги Трибхуван Разпатх (*Tribhuvan Rajpath*), связавшей Катманду с Тэраи (*Terai*), было осуществлено в 1953 г. после отмены режима Рана. Темп развития дорожного строительства оставался медленным еще в течение нескольких десятилетий. Так, в 1970 г. протяженность дорог составляла только 2504 км, в 1990 – 7330 км. Общая длина дорог в 2006 г. составляла 18 828 км. К концу 2010 протяженность дорог достигла 41 875 км, из которых дороги длиной 22 000 км были определены как сельские и, главным образом, сезонные. 71 из 75 окружных районов связан со стратегической дорожной сетью, построено 1313 мостов. Работы в данном направлении продолжаются и в настоящее время.

Экономическое развитие страны является ключевым вопросом в повестке дня правительства. Одним из главных аспектов экономического развития является транспортная коммуникация. Из всех способов транспортировки автострада играет главную роль в Непале. Поэтому экономическое развитие страны полностью зависит от развития ее дорожной сети. Однако много отдаленных участков страны все еще остаются неизведанными.

Страна обладает большим потенциалом для развития гидроэнергетики. Считается, что Непал может производить до 83 000 МВт гидроэлектричества, что является вторым результатом по объему производства после Бразилии. Но в данном направлении также существует большое количество вопросов, на которые правительство не обращает должного внимания по той или иной причине.

Одно время страна имела богатые лесные ресурсы, особенно на равнине Тэрай. Но из-за бесконтрольной и незапланированной вырубки лес больше не является надежным экономическим ресурсом. Благодаря естественной красоте страны и исторической ценности Катманду, туризм является одним из ключевых направлений экономики, и это – один из секторов, который правительство пытается развивать. Страна далека от того,

чтобы быть индустриальной, однако ее кустарная промышленность и изделия народного промысла пользуются широкой популярностью в мире.

Основные положения. Страна находится на постоянно движущейся тектонической пластине (*tectonic plate*). Из-за этого 83% ландшафта покрыто молодыми волнообразными горами (*young fold mountains*): от низких холмов Чурия (*Churiya*) на юге до переходящих в высокие Гималаи на севере. Только около 17% территории в южном поясе представляют собой равнинную область, которая известна как Тэраи. Почти 65% от общей площади страны в ее середине занимают горы, называющиеся Махабхарат (*Mahab-harat)*. Среди этих гор находится несколько больших долин – Катманду (*Kathmandu*), Покхара (*Pokhara*), Данг (*Dang*) и другие. Основная часть населения проживает на равнине Тэраи и в долинах, но это не означает, что остальная часть страны остается безлюдной. Люди проживают на всех подходящих для жизни местах. Это, в свою очередь, диктует необходимость обеспечения дорожной сетью каждого уголка страны, где есть населенный пункт. Средний уклон ландшафта по ширине страны составляет примерно 5%, от 60 м над уровнем моря на юге до 8848 м на севере. Более пологий ландшафт на юге; чем дальше на север, тем круче уклон. Чем больше высота, тем более холодный климат. В среднем каждые 300 м подъема способствуют понижению температуры воздуха на 1 градус по Цельсию. Вся окружающая среда постепенно изменяется, начиная от субтропиков на юге к тундре на севере. Изменяется среда обитания, происходит изменение флоры и фауны. Таким образом, особенности ландшафта способствуют разнообразию в природе и людях, хотя страна и является небольшой. Естественно, что это разнообразие вносит свои корректировки в требования дорожного строительства [1].

Муссонные ветры, дующие с Индийского океана, являются причиной сильных ливневых дождей. В зависимости от мест ежегодное количество выпадающих осадков колеблется от 2500 мм до 5000 мм. Около 90% дождей приходится на 3 месяца (середина июня – середина сентября). Фактически, в пиковые дождливые месяцы дороги становятся почти непроходимыми во многих отдаленных сельских районах. Питаемые снегом реки, берущие свое начало в Гималаях, являются постоянными по своей природе. Также некоторые реки, имеющие постоянный источник грунтовых вод и берущие начало среди холмов, являются постоянными. В то же время много рек, берущих свое начало на холмах Чурия, являются сезонными. Благодаря особенностям наклонного ландшафта все реки имеют быстрое течение, но в сезон дождей все они максимально наполняются водой. Это приводит к тому, что большие участки равнинной части территории страны оказываются затопленными. Климатический режим и особенности ландшафта диктуют необходимость сложной геометрии дорог с многочисленными мостами, часто большой протяженности. При этом необходимо учитывать, что большую часть года поймы сезонных рек остаются сухими, а следовательно, это тоже необходимо максимально использовать.

Молодые горы имеют слабые поверхности, что существенно увеличивает риск оползней. С другой стороны, бесконтрольная вырубка леса, так же как и культивирование почв на горных склонах, приводит к их большей уязвимости. Все это способствует возникновению проблем в строительстве дорог и появлению оползней в сезон дождей. По этой причине ключевым аспектом дорожного сектора является формирование стабильного уклона при строительстве дороги.

Как было указано выше, Непал не имеет достаточного количества экономических ресурсов для обеспечения реализации дорожно-строительных программ, поэтому большинство из них реализуются при помощи дружественных стран. В таких случаях приходится жестко соблюдать различные условия договоров.

Несмотря на то, что в стране имеется достаточно образованный кадровый состав по вопросам дорожного строительства, его недостаточно по сравнению с тем объемом работ, который необходимо выполнить. Явно ощущается нехватка квалифицированных специалистов. Кроме того, многочисленные специалисты выехали за границу в связи с поиском лучших возможностей для жизни и реализации своего потенциала. Все это создает предпосылки для необходимости подготовки дополнительных кадров – не только инженерных, но и управленческих и других.

В свою очередь горный ландшафт затрудняет транспортировку строительного оборудования к месту проведения работ.

Не так давно страна пережила большой переворот, в результате которого королевство преобразовано в республику. Но до стабильности и покоя еще далеко. Часто возникают политические демонстрации, забастовки и т. д. Некоторые группировки пытаются использовать такие моменты для личной выгоды и часто саботируют как строительные, так и другие мероприятия.

С учетом состояния дорожного хозяйства и накопленного опыта строительства дорог в

предыдущие годы стратегией на данном этапе дорожного строительства можно считать дальнейшее развитие сети автомобильных дорог и оптимизацию строительства с учетом имеющихся материально-технических и трудовых ресурсов. Руководствуясь этой стратегией, необходимо обосновать и решить ряд теоретических и практических задач [2]:

а) в области выбора конструкции и использования системы стадийного строительства. Первая стадия – грунтовая дорога, используемая в качестве сезонной. Вторая стадия – дорога со щебневым покрытием или гравийная. Может использоваться в течение всего года. Третья стадия – дорога с асфальтовым покрытием, обеспечивающая основной минимум сооружений и необходимых знаков и имеющая небольшую пропускную способность автотранспорта. Четвертая стадия – дорога, соответствующая всем действующим стандартам для автомобильных дорог государства. Стадийная система строительства позволяет использовать дорогу на любой стадии. Это дает возможность перехода к строительству следующей стадии по мере появления такой необходимости и ресурсов для ее реализации;

б) продление дорожных сетей в направлении выбранных конечных пунктов. Это основная необходимость для развития государства, т. к. позволяет улучшать качество жизни и способствует ускорению решения административных вопросов людей тех населенных пунктов, до которых продлена дорога;

в) улучшение и расширение дорожной сети с учетом нагрузки. Проектирование дорожной сети имеет непосредственную связь с нагрузкой. Это является техническим требованием. Многочисленные дороги, которые были построены достаточно давно, могут не соответствовать настоящим требованиям и подлежат улучшению и расширению;

г) максимальное использование местных ресурсов и труда, что является достаточно экономичным и всегда оказывает положительный эффект на строительство. Такая стратегия подходит для осуществления строительства всех видов дорог, но особенно местных, где жители могут иметь возможность принимать участие в строительстве, а затем в обслуживании и управлении. Это дает многократные преимущества, т. к. в некоторой степени правительство может передать ответственность регулярного обслуживания дорог организациям местных жителей или местному органу власти. В то же время значительная часть инвестиций остается в местном распоряжении. Участие населения в процессе строительства также значительно уменьшает стоимость проекта;

д) улучшение кадрового обеспечения. Это касается не только обеспечения строительства специалистами, но и тех, кто занимается управлением организации строительства, для того чтобы появилась возможность применения прогрессивных методов работы, внедрения новейшей техники и технологий управления.

Для качественного управления строительством и обслуживанием дороги разделены на две главные категории – стратегическая дорожная сеть (SRN) и местная дорожная сеть (LRN). Управление сетью дорог SRN осуществляет департамент дорог (DOR), а управление сетью LRN осуществляется департаментом местного развития инфраструктуры и сельскохозяйственных дорог (DOLIDAR).

Правительством Непала (GON) был принят трехлетний план развития (TYIP, 2007–2010) с целью повышения жизненного уровня населения. Это позволило установить высокий приоритет для дорожного сектора, для его вкладов и видимой роли в достижении реализации целей плана. Дорожное развитие сектора, предсказанное TYIP, не было ограничено усилением сети проселочных дорог, оно также включало и постепенное развитие транспортных коридоров между севером и югом для обеспечения торговли и маршрутов транзита между Китаем и Индией, а в дальнейшем – развитие коридоров восток – западное шоссе и приведение их к уровню «Азиатского шоссе». На основании оценки результатов деятельности плана TYIP и для того, чтобы обеспечить его непрерывность, правительством был принят новый трехлетний план развития (TYP, 2010–2013). Это обеспечивает высокий приоритет развитию дорожного строительства. Принятие плана потребовало, чтобы DOR установил свое видение развития дорожного сектора, свои цели и стратегии их достижения. Одной из целей развития дорожного сектора является сокращение масштабов нищеты, что соответствует основному направлению социально-экономического развития страны. Департамент DOR, под своей юрисдикцией, составил долгосрочный план относительно сетей SRN. В нем он обязывает SRN оказывать жизнеспособную и эффективную дорожную услугу, управляя стратегическими дорогами; обеспечить связи с сетью LRN; повысить возможность связи менее развитых населенных пунктов с областями с более высокой экономичной значимостью; максимально использовать все возможности для развития маршрутов транзита и международной торговли.

Это достигается путем предоставления справедливой, безопасной и доступной дорожной инфраструктуры.

В 2007 г. принята и работает в настоящее время программа развития дорожной сети. Эта программа представляет собой 10-летний приоритетный инвестиционный план (PIP 2007–2017). В ней предусмотрены технико-экономические обоснования разработки восьми маршрутов транзитных и торговых север – юг коридоров между соседними странами Индией и Китаем, завершение строительства и работ по модернизации в существующей части этих дорог под предлогом различных проектов и программ.

Все вышеуказанные программы являются частью двадцатилетнего генерального плана для сети SRN (2002–2022). Результаты, предусматриваемые этим планом, включают в себя: увеличение длины существующей сети SRN с целевой плотностью дороги 15 км на 10 000 населения; обеспечение содержания более чем 95% дорог SRN в хорошем (пригодном для эксплуатации) состоянии; сокращение расстояния пеших переходов с 13 до 3 дней в удаленных районах, чтобы достигнуть конечной (начальной) точки дороги (*High Himalayas & Mountains*), и сокращение расстояния пешего перехода до 4 ч, чтобы достигнуть конечной (начальной) точки дороги на холмах, и 2 ч – в Тэраи [3, 4].

Создано и функционирует агентство «Отономус-Роуд» для управления центральной дорожной сетью с увеличенным уровнем причастности пользователя; учреждены и функционируют системы мониторинга для эффективного предоставления услуг через исследование степени удовлетворенности независимого ежегодного пользователя и существенного сокращения количества несчастных случаев [5].

Выводы. Из вышесказанного можно отметить, что стратегия развития дорожной сети в Республике Непал в первую очередь основана на той реальности, в которой находится страна, ее уровене экономического развития, технических возможностях и планах. Страна имеет горный ландшафт и сложные климатические условия, что обусловливает выбор поэтапного строительства дорог. Этому также способствует довольно сложное состояние экономики и нестабильная политическая ситуация. Однако такая стратегия имеет и свои положительные стороны. Возможность эксплуатации дорог после каждого этапа позволяет оценить правильность выбора места для строительства, т. к. показывает, какую нагрузку испытывает данная дорога, есть ли смысл к переходу на следующий этап, какие вложения средств потребуются для дальнейшего строительства и появляется ли возможность использования местных (подручных) материалов для проведения работ. Следует отметить, что поэтапное (или стадийное) строительство применяется как в проектах сети дорог SRN, так и в проектах сети дорог LRN. При таком строительстве есть возможность полной или частичной передачи ответственности за дальнейшую эксплуатацию и обслуживание построенных дорог местным советам управления, что существенно снижает стоимость самого проекта и является немаловажным аспектом для экономики государства. Как было указано выше, стратегия развития дорожной сети совпадает с планами государства по развитию дорожного строительства в целом, что позволяет быть уверенным в правильности выбранного направления, однако не исключает детальной проверки каждого осуществляемого проекта. Проверки осуществляются через определенные промежутки времени и должны оценивать выполненные планы, а также принятые направления.

Литература

1. Business Plan Department of Roads 2010-13 (FY-2067/68-2069/70), ADB TA 7158-NEP: Strengthening Capacity for Managing for Development Results, July, 2011.

2. Nepal Twenty Year Road Plan – NEPECON for Ministry of Physical Planning and Work, Department of Roads. – Nepal, 2002.

3. Country Status Paper on Road Safety in Nepal – Keshab Kumar Sharma, Senior Divisional Engineer, MOPPW. – Nepal, May, 2007.

4. Strategic Approach for North South Connectivity, Economic Policy Paper / I. R. Onta. – Nepal, September, 2005. – No. 8.

5. Krishna, Chakhun. Новые подходы к строительству сельских дорог в Непале / Chakhun Krishna // Автомобильные дороги и мосты. – 2011. – № 2 (8).

Поступила 14.03.2012

УДК 630*383.4

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

УСЛОВИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СБОРНО-РАЗБОРНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ВРЕМЕННЫХ ЛЕСНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ

В статье изложены условия и эффективность применения сборно-разборных покрытий лесных автомобильных дорог, таких как железобетонные плиты, деревянные щиты, ленточные покрытия и другие. Рассмотрены их преимущества и недостатки. Сборно-разборные покрытия нашли широкое применение при транспортном освоении лесных массивов, расположенных на заболоченных участках. Они обладают высокими технико-экономическими показателями. Удельное сопротивление движению транспортных средств в 2–3 раза ниже, чем на грунтовых дорогах, также снижается расход топливосмазочных материалов, финансовых средств на содержание дороги.

The article are stated conditions and efficiency of application of collapsible coverings of forest roads such, as ferro-concrete plates, wooden boards, tape coverings and others are stated. Their advantages and lacks considered. Collapsible cover are widely used in the development of the transport of forest located in the wetlands. They have a high technical and economic indicators. The resistivity of the movement of vehicles is 2–3 times lower than on dirt roads, and reduced consumption of SCI, funds for road maintenance.

Введение. Лесные автомобильные дороги имеют ряд особенностей в сравнении с дорогами общего пользования. Одной из основной особенности является ограниченный срок эксплуатации, определяемый окончанием ликвидного запаса древесины в данном лесном массиве, односторонний грузопоток, разнообразие грунтов, имеющих низкую несущую способность. В связи с этим на строительстве лесных автомобильных дорог применяются различные типы дорожных одежд, покрытий. Как показывает практика одним из наиболее экономичных покрытий является сборно-разборные покрытия [1].

Основная часть. Для строительства лесных автомобильных дорог применяют различные типы покрытий: гравийное; щебеночное; грунт, укрепленный скелетными добавками; грунт, укрепленный органическим и минеральным вяжущими; оптимальные грунтовые и гравийные смеси [1]. Однако одним из наиболее экономичных является сборно-разборное покрытие (железобетонные плиты, деревянные щиты и др.) [2].

Широкое применение сборно-разборных покрытий можно объяснить высокими технико-экономическими и эксплуатационными показателями. Так, удельное сопротивление движению в 2 – 3 раза меньше, чем по грунтовым дорогам, в результате увеличивается скорость движения автотранспорта, снижается расход топливосмазочных материалов, уменьшаются расходы на содержание автомобильного парка. К достоинствам сборно-разборных покрытий следует отнести их высокую работоспособность и долговечность, возможность максимального использования для изготовления указанного покрытия местных строительных материалов, обеспечение ускоренных темпов строительства покрытия в течение всего года.

Преимуществом сборно-разборных покрытий также является возможность немедленного открытия движения автотранспорта и упрощение технологического процесса строительства, т. е. строительные работы в основном сводятся к монтажным.

Из всех сборно-разборных покрытий покрытия из железобетонных плит обладают наиболее высокими эксплуатационными качествами. Они могут быть 3- или 6-метровой длины и шириной 1 м. По конструкции они сплошные, ячеистые и решетчатые. Практика показывает, что наилучшими эксплуатационными характеристиками обладают шестиметровые плиты с предварительно-напряженной арматурой. Однако производство их сдерживает слабая производственная база, дефицит цемента, металла, щебня. Поэтому применение таких плит в строительстве лесных автомобильных дорог рекомендуется в районах, где отсутствуют местные дорожно-строительные материалы (гравий, щебень и другие материалы). Такие покрытия, несмотря на относительно высокие первоначальные инвестиции, высокорентабельны, сокращают сроки строительства дорог, резко повышают их надежность, улучшают эксплуатационные показатели использования автотранспорта. Железобетонные плиты перекладывают 8–10 раз, поэтому первоначальная стоимость их в 8–10 раз уменьшается, естественно, снижается и стоимость строительства последующих лесных автомобильных дорог.

Снижение веса сборных конструкций, а также изготовление дорожных плит без применения каменных материалов (щебня) является одной из проблем. Решение ее можно осуществить, если вместо крупного заполнителя (щебня) при их изготовлении использовать искусственный заполнитель –

аглопорит, который получают путем обжига глины или суглинка. Применение аглопорита в качестве заполнителя позволяет снизить вес железобетонной плиты на 20–25%. Производственные испытания показали хорошую работоспособность таких плит в колесопроводах автомобильных дорог под воздействием подвижных нагрузок.

В лесной отрасли удельный вес (до 80%) составляет строительство временных дорог со сроком службы от 1 месяца до 5 лет. Опыт работы лесозаготовительных и лесохозяйственных предприятий показывает, что грунтовые временные дороги не гарантируют ритмичную работу автотранспорта.

В связи с этим возникает необходимость применения таких конструкций, которые бы требовали минимальных затрат на строительство и содержание временных дорог и обеспечивали движение современных автопоездов большой грузоподъемности с расчетной скоростью. С учетом вышеизложенного, кафедрой транспорта леса БГТУ разработан ряд конструкций сборно-разборных покрытий: ленточное покрытие БГТУ; сплошное рулонное; комбинированное; щитовое сборно-разборное; колейное щитовое сборно-разборное. Широкое распространение в лесной промышленности нашли такие покрытия, как ЛВ-11, нагельные щиты, ленточное покрытие ЛД-5, деревогрунтовые колейные покрытия. Техническая характеристика их приведена в табл. 1.

Выбор конструкции временных лесных автомобильных дорог можно производить в зависимости от типа автопоезда и местности по увлажнению (табл. 2) и на основе технико-экономических расчетов.

Экономическая целесообразность строительства лесных автомобильных дорог должна осуществляться с помощью дисконтирования (приведения к начальному моменту) или компундирования (приведение к конечному моменту).

Приведение затрат и результатов к базисному моменту времени осуществляется путем их умножения на коэффициент дисконтирования α_t, определяемый для постоянной нормы дисконта E по формуле

$$\alpha_t = \frac{1}{(1+E)^t}, \qquad (1)$$

где t – порядковый номер временного периода получения доходов; E – постоянная норма дисконта (ставка дисконтирования).

Таблица 1

Техническая характеристика деревянных покрытий для устройства временных лесных автомобильных дорог

Показатели	Тип покрытия					
	Комбинированный	Рулонный	Щиты ЛВ-11	Нагельные щиты	Гибкая лента	Ленточное БГТУ
1. Размеры щита, м: длина	6,0	10,0	6,1	6,0	0,7	11,0
ширина	1,0	3,5	1,1	1,0	1,1	0,98
толщина	0,18	0,16-0,18	0,18	0,20	0,12	0,14
2. Расход древесины (бруса) на 1 км дороги, $м^3$	350	550	345	371	248	280
3. Расход металла на 1 км дороги, т	6,0	8,0	13,0	4,4	27,5	6,0
4. Масса одного щита, кг	750	4000	750–800	750–800	60	100–120
5. Количество перекладок	До 6	до 6	более 10	8	10	6
6. Число щитов на 1 км дороги, шт.: основных	334	100	328	334	2666	200
соединительных	–	–	–	–	–	–

Таблица 2

Выбор конструкции лесных автомобильных дорог

Вид покрытия	Вид основания в зависимости от типа местности			Автопоезд на базе автомобиля
	I	II	III	
Железобетонные плиты	Спланированный грунт	Земляное полотно	Хворостяная выстилка или сплошной настил с засыпкой грунтом	ЗИЛ, МАЗ, КрАЗ
Деревянные щиты	–	Шпалы	Продольные лаги и шпалы	–
Деревянные ленты ЛД-5 и др.	–	Хворостяная выстилка	Хворостяная выстилка по сплошному настилу из мелкотоварной древесины	ЗИЛ, МАЗ
Грунтовые	–	Грунт по хворостяной выстилке	Сплошной настил с хворостяной выстилкой или без нее	ЗИЛ, МАЗ
Гравийные или улучшенные	–	Хворостяная выстилка	Хворостяная выстилка	ЗИЛ, МАЗ, КрАЗ

Для сравнения инвестиционных вариантов и выбора лучшего из них используются следующие показатели:

- чистый дисконтный доход ($Ч_{д.д}$) или NVP (net present value);
- внутренняя норма доходности ($В_{н.д}$) – норма дисконта;
- индекс доходности ($И_д$);
- срок окупаемости инвестиций ($T_{ок}$).

При строительстве лесных автомобильных дорог предполагают «длительные затраты – длительная дорога», т. е. инвестиции осуществляются не одновременно, а по частям на протяжении нескольких временных периодов (месяцев, кварталов, лет) и чистый дисконтный доход определяют по формуле

$$NPV = \sum_{t=0}^{T} \frac{R_t - C_t}{(1+E)^t} - \sum_{t=0}^{T} \frac{k_t}{(1+E)^t} \qquad (2)$$

или

$$NPV = \sum_{t=0}^{T_0} \frac{P_t}{(1+E)^t} - \sum_{t=0}^{T_c} \frac{k_t}{(1+E)^t}, \qquad (3)$$

где t – период реализации инвестиционного проекта (t = 0,1,2, ..., T); R_t – результаты, достигнутые на t-м шаге расчета; C_t – затраты осуществляемые на том же шаге; P_t – годовой чистый поток реальных денег в t-м году; $T_с$ – год окончания строительства.

Таким образом, более эффективным (целесообразным) является тот проект (из сравниваемых двух), который имеет большее значение чистого дисконтированного дохода, рассчитанного по формулам (2) и (3).

Срок окупаемости проекта определяют по формуле

$$T_{ок} = \frac{К}{Д - З + А} = \frac{К}{П + А},$$

где К – первоначальные инвестиции; Д – годовой доход; З – годовые затраты; А – сумма амортизационных отчислений на полное восстановление; П – ожидаемая чистая прибыль.

Выводы. 1. Применение сборно-разборных покрытий при строительстве временных лесных дорог обеспечивает ускоренные темпы строительства лесной транспортной сети.

2. Из всех сборно-разборных покрытий наиболее высокими эксплуатационными качествами обладают покрытия из железобетонных плит.

3. Покрытия железобетонных плит рекомендуются для строительства лесных автомобильных дорог в районах, где отсутствуют местные дорожно-строительные материалы.

4. Экономическая целесообразность применения сборно-разборных покрытий лесных автомобильных дорог обосновывается числом перекладок покрытия (щитов, лент и т. д.) с одного участка строительства на другой, что уменьшает стоимость строительства на 30–40%.

Литература

1. Вырко, Н. П. Строительство и эксплуатация лесовозных дорог: учеб. для студентов специальности «Лесоинженерное дело» / Н. П. Вырко. – Минск: БГТУ, 2005. – 446 с.

2. Руководство по строительству и эксплуатации временных автомобильных дорог с различными типами деревянных сборно-разборных покрытий / ЦНИИМЭ. – Химки, 1973. – 48 с.

Поступила 14.03.2012

УДК 630*383:625.7

М. Т. Насковец, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой (БГТУ);
А. И. Драчиловский, аспирант (БГТУ)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ, ПОВЫШАЮЩИХ ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЛЕСНЫХ ДОРОГ

В статье рассмотрены вопросы повышения несущей способности оснований лесных автомобильных дорог, устраиваемых на слабых грунтах. Проанализированы современные и разработаны новые способы устройства подстилающих слоев в виде настилов из геосинтетической прослойки и поперечных элементов.

The article questions of increase of bearing ability of the bases of the forest roads arranged on weak ground are considered. Are analysed modern and new ways of the device of spreading layers, in the form of floorings from a geosynthetic layer and cross-section elements are developed.

Введение. В разработанных и применяемых на практике технических решениях лесных дорог в процессе их эксплуатации на переувлажненных и заболоченных участках местности недостаточно исследованы закономерности распределения нагрузок от автотранспортных средств и массы устраиваемой дорожной конструкции, что свидетельствует об актуальности рассматриваемой проблемы. С этой целью следует всесторонне изучить вопросы равномерности передачи напряжений от воздействующих на грунтовые основания вертикальных статических и динамических нагрузок. На основе проведенных научных исследований необходимо выработать концептуальные подходы по стабилизации работы под нагрузкой подстилающих слоев, устраиваемых на слабых грунтах.

Основная часть. При конструировании, строительстве и эксплуатации лесных дорог необходимо максимально учитывать природу взаимодействия дорожной конструкции со слабым основанием, а также закономерности распределения колесных нагрузок по их глубине.

Всестороннее изучение практики устройства насыпей на основаниях с низкой несущей способностью грунтов позволило выделить следующие характерные варианты взаимного контакта их поверхностей (рис. 1). Первый наиболее распространенный вариант предусматривает формирование на границе взаимодействующих поверхностей линий, имеющих различного вида криволинейное очертание (рис. 1, *а*). Это обусловлено тем, что в процессе отсыпки и уплотнения насыпного грунта происходит его хаотичное внедрение в грунт слабого основания. При этом чем ниже несущая способность последнего, тем больше глубина проникновения в него частиц отсыпаемой насыпи, а соответственно, вероятность их перемешивания.

В данном случае под действием проходов лесовозных автопоездов и природных факторов происходит постепенное накопление деформаций и частичных разрушений дорожной одежды и земляного полотна, что приводит к снижению скоростей движения транспортных средств на вывозке древесины.

Исключить проникновение минерального грунта в толщу торфа либо более слабых грунтовых консистенций возможно посредствам устройства на их границе дополнительных слоев. При этом немаловажное значение имеет то, каким образом взаимодействует насыпь с поверхностью грунтового основания, т. е. необходимо учитывать тот факт, как поверхность подошвы насыпи контактирует с нижележащими грунтами основания.

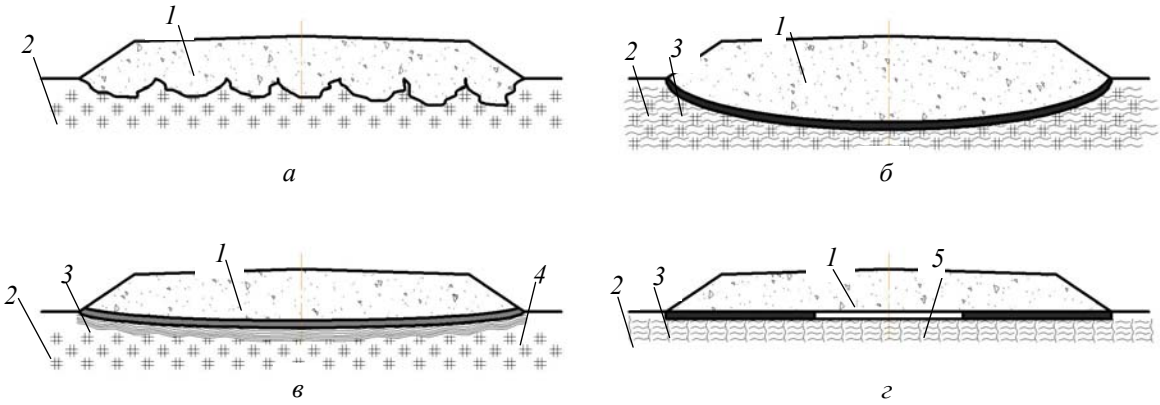


Рис. 1. Варианты контакта насыпей с поверхностью основания:
1 – насыпь; *2* – слабое основание; *3* – геотектильный материал; *4* – хворостяная выстилка;
5 – деревянный поперечный элемент

Наиболее эффективное взаимодействие может достигаться, когда передача нагрузки осуществляется от насыпи к основанию по линиям сжимающих напряжений – изобарам. [1].

Существенное влияние на кривизну линий нормальных напряжений на границе конструктивных слоев насыпи и основания будут оказывать грунты, залегающие в основании. В частности, чем слабее основание, тем больше кривизна линий нормальных напряжений.

Снизить степень влияния грунта и разделить слоистые грунтовые системы, исключив смешение их частиц, можно за счет введения различного рода прослоек из геотекстильного материала (рис. 1, *б*) с разной степенью растяжения и гибкости. Чем слабее грунт, тем жестче должен быть геотекстильный материал. Когда слабые торфяные грунты находятся в увлажненном состоянии, жесткость таких подстилающих слоев следует повышать за счет введения хворостяной выстилки (рис. 1, *в*) или поперечных деревянных элементов, образующих с прослойкой настил (рис. 1, *г*).

Исходя из вышесказанного разработаны и предлагаются для практического применения следующие способы устройства лесных дорог с подстилающими слоями, содержащими геотекстиль и поперечные деревянные элементы:

– способ устройства лесной дороги на слабых грунтах, при котором укрепляют проезжую часть либо колею дороги путем формирования настила из вершинных частей деревьев без крон, переплетенного синтетическим материалом, с последующей засыпкой его грунтом;

– способ устройства дорожной конструкции на слабых грунтах, при котором монтируют перпендикулярно оси дороги настил из вершинных частей деревьев с кронами путем укладки крон с последовательным их чередованием по обе стороны оси дороги и закрепления вершинных частей гибкими связями;

– способ устройства слани на болотах, включающий отсыпку слоя насыпного грунта на подстилающий слой в виде разреженного настила из поперечных элементов и продольно раскатываемой синтетической прослойки.

Рассмотрим каждый из этих способов в отдельности.

Способ устройства лесной дороги на слабых грунтах, при котором укрепляют проезжую часть либо колею дороги путем формирования настила с последующей засыпкой его грунтом, основывающийся на том, что настил формируют путем укладки по ширине дороги вдоль ее оси полос из гибкого синтетического материала и вершинных частей деревьев без крон, причем вершинную часть дерева без кроны укладывают на попеременно поднятые четные или нечетные полосы из гибкого синтетического материала вплотную к ним, после чего меняют положение полос на противоположное и производят укладку следующей вершинной части дерева без кроны комлем в противоположную сторону [2].

Ширина полос в настиле может быть различной в зависимости от их прочности, подвижной нагрузки и места размещения. Так, например, при укладке настила в основание, в случае устройства однополосной временной дороги шириной 3 м, в местах перемещения колес (колесопроводах) полос может быть две или три, а в межколейном пространстве – одна.

Использование вершинных частей без крон в качестве подстилающего слоя, укладываемого в основание дороги, способствует распределению величины удельного давления на большую площадь слабого грунта при воздействии на него колесной нагрузки, а также снижению просыпания грунта сквозь настил. Сочетание армирующих свойств вершинных частей способствует повышению распределяющей и прочностной способности настила.

Способ устройства дорожной конструкции на слабых грунтах (рис. 2), при котором монтируют перпендикулярно оси дороги настил из вершинных частей деревьев с кронами путем укладки крон с последовательным их чередованием по обе стороны оси дороги и закрепления вершинных частей гибкими связями, заключающийся в том, что кроны предварительно подрезают со стороны укладки их на слабый грунт и укладывают вплотную друг к другу с образованием пространства между рядом уложенными вершинными частями, которые закрепляют связями в виде двух гибких лент, которыми попеременно огибают вершинные части деревьев таким образом, чтобы каждая вершинная часть со стороны своего торца располагалась поверх гибкой ленты, а со стороны кроны – под ней, при этом поверх сформированного настила производят отсыпку грунта земляного полотна и устраивают дорожную одежду [3].

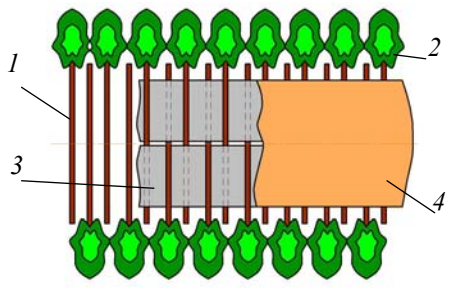


Рис. 2. Дорожная конструкция на болотах:
1 – вершинные части деревьев; *2* – кроны;
3 – геосинтетический материал;
4 – земляное полотно

Известно, что в процессе строительства дорожных конструкций с использованием вершинных частей деревьев с кронами возникают большие трудности по внедрению в грунт веток, соприкасающихся с основанием. Одновременно с этим после из заглубления в грунтовое основание существует проблема по демонтажу настила в случае его извлечения. Вот почему является эффективным подрезание крон со стороны укладки на слабый грунт.

Следует отметить, что образование пространства между рядом лежащими вершинными частями позволяет уменьшить их количество, а расположение крон вплотную друг к другу дает возможность уменьшить длину вершинных частей. Все это способствует снижению общего расхода древесного сырья. В свою очередь предложенный охват вершинных частей гибкими лентами обеспечивает работоспособность настила и возможность быстрого демонтажа.

Основание конструкции из деревянного настила распределяет напряжения от повторяющейся нагрузки, повышает проезжаемость дороги и сроки ее эксплуатации за счет стабилизирующих свойств.

Способ устройства слани на болотах (рис. 3), включающий отсыпку слоя насыпного грунта на подстилающий слой в виде разреженного настила из поперечных элементов и продольно раскатываемой синтетической прослойки, который отличается тем, что подстилающий слой устраивают путем раскатки гибкого синтетического материала непосредственно поверх основания из слабого грунта с последующим выполнением по длине синтетического материала с обеих его сторон в местах укладки поперечных элементов прорезей, симметричных оси дороги, находящихся от оси на расстоянии, равном сумме половины ширины межколлейного пространства и ширины колесопровода, в которые попеременно заводят вершинной частью деревянные элементы поперечного настила до упора в синтетический материал вершинных и комлевых частей поперечных элементов таким образом, что поперечные элементы располагают над синтетическим материалом от его краев до прорезей и под ним в промежутке между прорезями, без выступа за края синтетического материала, при этом ширина прорезей равна половине длины дуги окружностей соответственно либо вершинной, либо комлевой части поперечных элементов.

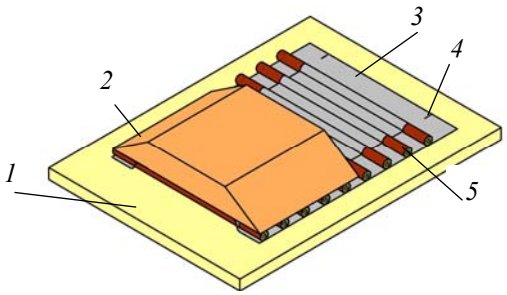


Рис. 3. Схема слани на болотах:
1 – основание; *2* – земляное полотно; *3* – прослойка из синтетического материала; *4* – прорези; *5* – деревянные поперечные элементы

Устройство предлагаемой дорожной конструкции эффективно на грунтовых основаниях с низкой несущей способностью.

Заключение. При переходе на использование для строительства дорог при освоении заболоченных лесных массивов менее качественных местных материалов и грунтов обеспечение устойчивости земляного полотна как раз таки и обеспечивается введением в его конструкцию гибкой прослойки из геосинтетического материала в сочетании с жесткими деревянными элементами поперечного настила. При этом прослойка служит в качестве армирующего слоя и разделяющей мембраны, а поперечные элементы придают жесткость конструкции.

Литература

1. Бабков, В. Ф. Основы грунтоведения и механики грунтов: учеб. пособие для автомобильно-дорож. специальностей вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. / В. Ф. Бабков, В. М. Безрук. – М.: Высш. шк., 1986.

2. Способ устройства дорожной конструкции на слабых грунтах: пат. 13311 Респ. Беларусь, МПК7 E 01 C 9/00 / М. Т. Насковец, Е. И. Бавбель; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. – № a 20081100; заявл. 21.08.08; опубл. 30.04.10 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2010. – № 2.

3. Способ устройства дорожной конструкции на слабых грунтах: пат. 10850 Респ. Беларусь, МПК7 E 01 C 9/00 / М. Т. Насковец, Е. И. Бавбель; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. – № a 20060573; заявл. 08.06.06; опубл. 30.06.08 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2008. – № 3.

Поступила 14.03.2012

УДК 630*63:630*37

Р. О. Короленя, ассистент (БГТУ)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФУНКЦИИ СРОЧНОСТИ ПЕРЕВОЗКИ ДРЕВЕСИНЫ ПО ОСНОВНЫМ СХЕМАМ ОРГАНИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕССА

Разветвленная структура потребления заготовленной древесины, что характерно для лесозаготовительного производства в настоящее время, предполагает формирование эффективных планов поставок древесины с учетом ограничений на время доставки. Для решения указанной задачи ранее была предложена методика, основанная на использовании критерия приоритетности транспортного обслуживания предприятий-потребителей – функции срочности перевозки древесины. В статье представлены результаты теоретических исследований, направленных на получение аналитических зависимостей определения функции срочности перевозки древесины по основным схемам организации транспортного процесса.

The branched out structure of consumption of the prepared wood that is characteristic for wood manufacture now, assumes formation of effective plans of deliveries of wood taking into account restrictions on delivery time. For the decision of the specified problem earlier was the technique based on use of criterion of a priority of transport service of the enterprises-consumers – functions of promptness of transportation of wood is offered. In article results of the theoretical researches directed on reception of analytical dependences by definition of function of promptness of transportation of wood at the basic schemes of the organization of transport process are presented.

Введение. В лесозаготовительном производстве Республики Беларусь в настоящее время преобладает сортиментная заготовка древесины. Заготовленные сортименты поставляются как внутренним потребителям предприятия (собственные цеха, котельные и т. д.), так и сторонним (деревообрабатывающие предприятия, перегрузочные станции, организации по торговле заготовленной древесиной и т. д.). Во многих лесохозяйственных учреждениях Республики Беларусь имеются цеха первичной переработки древесины (по производству оцилиндрованной древесины, пиломатериалов, заготовок, колотых дров и т. д.), значительные объемы готовой продукции которых отправляются на экспорт. Помимо этого, в настоящее время особую важность имеют вопросы использования древесного сырья для получения энергии.

В таких условиях, заготовителям и поставщикам древесного сырья потребителям необходимо формировать планы поставок не только с учетом минимизации совокупных транспортных затрат, но строго выдерживать заявленные потребителями сроки поставок.

В условиях ограниченного количества тягово-прицепного состава, разветвленной системы «заготовитель» – «потребитель», несоответствия расчетной густоты лесных дорог оптимальной, что характерно для лесозаготовительного производства Республики Беларусь, организация ритмичных и своевременных поставок заготовленной древесины потребителям является важнейшей задачей. Для ее решения ранее была предложена методика прогнозирования транспортной фазы технологического процесса лесозаготовок, в основе которой лежит критерий приоритетности перевозок – *функция срочности перевозки древесины* (ФСПД) [1, 2]. Для эффективного практического использования указанной методики целесообразно рассмотреть методику расчета ФСПД при различных схемах организации транспортного процесса поставок заготовленной древесины потребителям.

Основная часть. С позиций организации перевозочного процесса, при транспортировке заготовленной древесины потребителям, можно выделить три основные схемы работ подвижного состава по типу связи между местами погрузки и разгрузки: «один к одному», «один ко многим» и «многие ко многим» [3, 4].

Для схемы организации «один к одному» при поставках древесины ипользуется только один вариант организации маршрута перевозки – маятниковый (рис. 1). При данном варианте заданные объемы круглых лесоматериалов с одного погрузочного пункта или промежуточной площадки перевозятся одному потребителю.

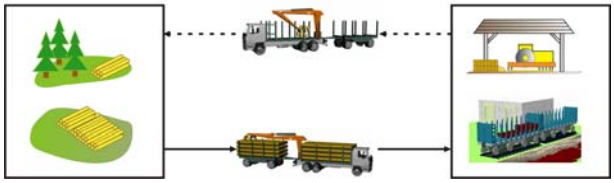


Рис. 1. Организация поставок древесины по маятниковым маршрутам

Для схемы организации «один ко многим» используются две схемы организации маршрутов перевозки: веерный и маятниковый развозочный. При веерном маршруте (рис. 2) древесина с одного погрузочного пункта или одной промежуточной площадки последовательно вывозятся на разные разгрузочные площадки.

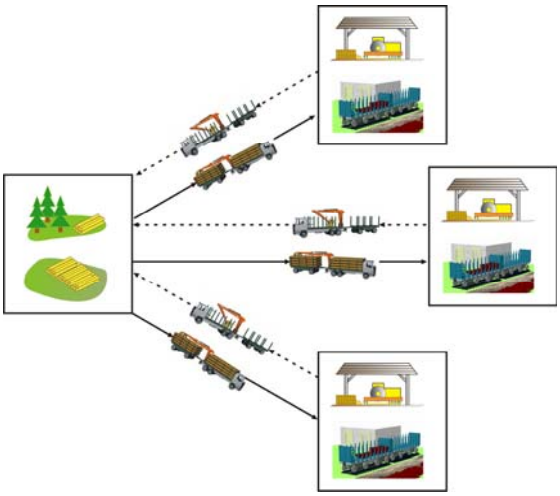


Рис. 2. Организация поставок древесины по веерным маршрутам

При маятниковом развозочном маршруте доставка древесины с одного погрузочного пункта или одной промежуточной площадки осуществляется на несколько разгрузочных площадок (рис. 3).

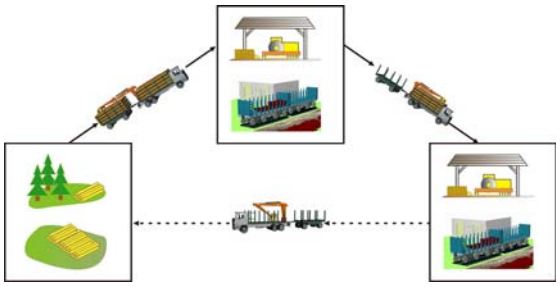


Рис. 3. Организация поставок древесины по маятниковым развозочным маршрутам

Для схемы организации «многие ко многим» используются четыре варианта организации маршрутов поставок: сборный, развозочный, сборно-развозочный и кольцевой. При работе по сборному маршруту (рис. 4) древесина с нескольких погрузочных площадок или промежуточных пунктов поставляются на одну разгрузочную площадку.

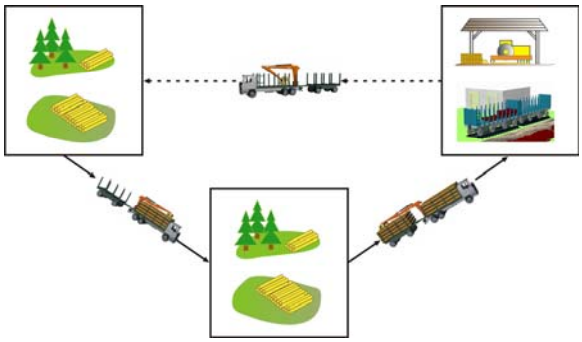


Рис. 4. Организация поставок древесины по сборным маршрутам

При сборно-развозочном маршруте (рис. 5) древесина с нескольких погрузочных площадок перевозится на несколько разгрузочных площадок.

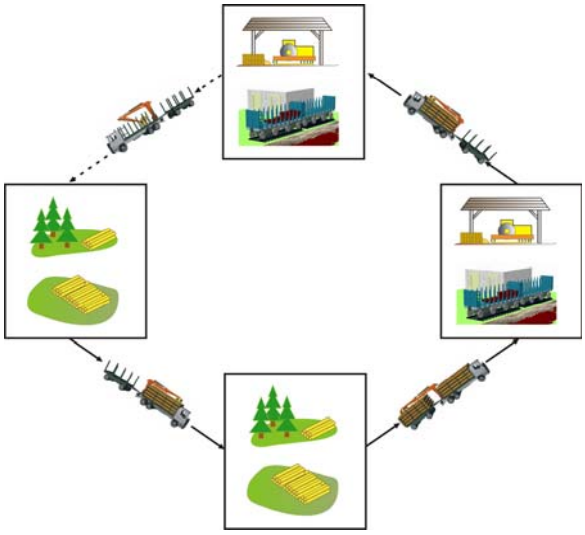


Рис. 5. Организация поставок древесины по сборно-развозочным маршрутам

При кольцевом маршруте (рис. 6) древесина последовательно с разных погрузочных площадок поставляются на разные разгрузочные площадки.

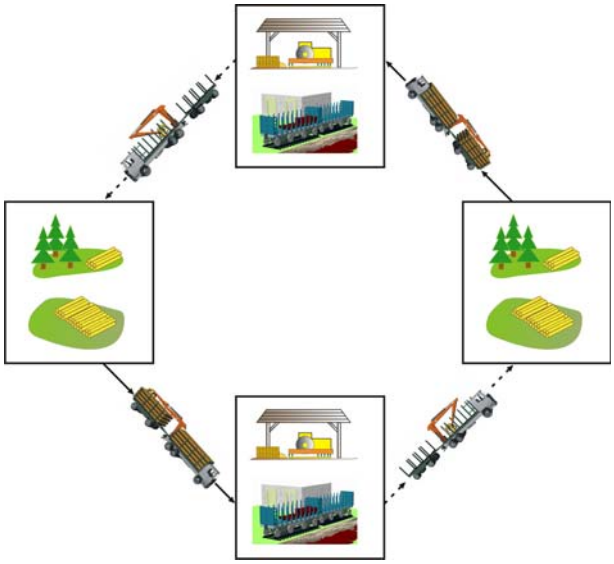


Рис. 6. Организация поставок древесины по кольцевым маршрутам

При поставках древесины потребителям в нормативном интервале доставки функция срочности перевозки древесины в общем виде может быть представлена в виде зависимости (1) [1, 2, 5].

$$W(t) = Q(t) \cdot C \cdot \left(\frac{1}{T_д - t} \right), \qquad (1)$$

где $Q(t)$ – объем заготовленной древесины, заявленной к перевозке, м^3; C – совокупная удельная

стоимость 1 м^3 древесины, тыс. руб.; $T_д$ – установленное время, в течение которого должна быть осуществлена доставка всего объема древесины, ч; t – суммарное значение времени, пройденного с момента подачи заявки на поставки древесины и непосредственно времени на поставку заявленного объема древесины, ч.

Время на осуществление транспортного процесса может значительно влиять на получаемые значения ФСПД и зависит от выбора схем поставок древесины, используемого тягово-прицепного состава и качественно-количественных показателей транспортной сети, по которым разрабатываются маршруты поставок. Для определения ФСПД с учетом указанных факторов проанализирована структура затрат времени доставки древесины по различным схемам поставок. Так, для схемы поставок древесины «*один к одному*» продолжительность выполнения рейса можно представить в виде зависимости (2).

$$t_р = t_{хх} + t_{гх} + t_{п\text{-}р} + t_{пр} + t_м , \qquad (2)$$

где $t_{хх}$ – продолжительность холостого пробега на маршруте, ч; $t_{гх}$ – продолжительность пробега с грузом, ч; $t_{п\text{-}р}$ – продолжительность погрузочно-разгрузочных работ, ч; $t_{пр}$ – продолжительность простоев лесовозной техники (регламентированных и нерегламентированных), ч; $t_м$ – продолжительность маневрирования на погрузочно-разгрузочных площадках, ч.

Продолжительность выполнения рейса для схем поставок «*один ко многим*» получена в виде зависимости (3).

$$t_р = t_{хх} + t_{гх} + t_{пер1} + t_{п\text{-}р} + t_{пр} + t_м , \qquad (3)$$

где $t_{пер1}$ – продолжительность переездов для полной загрузки техники, ч.

Продолжительность выполнения рейса для схем поставок «*многие ко многим*» определена в виде зависимости (4).

$$t_р = t_{хх} + t_{гх} + t_{пер1} + t_{пер2} + t_{п\text{-}р} + t_{пр} + t_м , \qquad (4)$$

где $t_{пер2}$ – продолжительность переездов для полной разгрузки техники, ч.

Обозначив $T_т$ как время, пройденное с момента заключения договора на выполнение поставок, с учетом полученных зависимостей получим расчетные формулы для определения функции срочности перевозки древесины по основным используемым на лесозаготовительных производствах Республики Беларусь схемам организации транспортного процесса поставок потребителям заготовленной древесины:

– для схемы «один к одному»

$$W(t) = Q(t) \cdot C \times$$

$$\times \left(\frac{1}{T_д - (T_т + t_{хх} + t_{гх} + t_{п\text{-}р} + t_{пр} + t_м)} \right); \qquad (5)$$

– для схемы «один ко многим»

$$W(t) = Q(t) \cdot C \times$$

$$\times \left(\frac{1}{T_д - (T_т + t_{хх} + t_{гх} + t_{пер1} + t_{п\text{-}р} + t_{пр} + t_м)} \right); \qquad (6)$$

– для схемы «многие ко многим»

$$W(t) = Q(t) \cdot C \times$$

$$\times \left(\frac{1}{T_д - (T_т + t_{хх} + t_{гх} + t_{пер1} + t_{пер2} + t_{п\text{-}р} + t_{пр} + t_м)} \right). \qquad (7)$$

Для определения составляющих затрат времени продолжительности рейса рекомендовано использовать известные методы и методики.

Заключение. Полученные зависимости для определения ФСПД позволяют более широко на практике использовать методику прогнозирования транспортной фазы технологии лесозаготовок, в основе которой лежит критерий приоритетности транспортного обслуживания потребителей древесного сырья – ФСПД.

Литература

1. Насковец, М. Т. Обеспечение своевременной доставки древесины потребителям / М. Т. Насковец, Р. О. Короленя // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2008. – Вып. XVI. – С. 61–64.

2. Насковец, М. Т. Организация вывозки древесного сырья с использованием функции срочности перевозки древесины / М. Т. Насковец, Р. О. Короленя // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2009. – Вып. XVII. – С. 71–75.

3. Гаджинский, А. М. Основы логистики: учеб. пособие. / А. М. Гаджинский; ИВЦ «Маркетинг». – М., 1996. – 124 с.

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

5. Мешкова, Л. Л., Логистика в сфере материальных услуг (На примере снабженческо-заготовительных и транспортных услуг): монография. – 2-е изд., испр. и перераб. / Л. Л. Мешкова, И. И. Белоус, Н. М. Фролов. – Тамбов: Тамб. гос. техн. ун-т, 2002. – 188 с.

Поступила 14.03.2012

УДК 625.731

И. И. Тумашик, кандидат технических наук, доцент, заместитель декана (БГТУ);
А. С. Федькин, аспирант (БГТУ)

ТЕХНОЛОГИЯ УКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ЛЕСНЫХ ДОРОГ ВВЕДЕНИЕМ СКЕЛЕТНЫХ ДОБАВОК И МИНЕРАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ

В статье указывается поочередность выполнения технологических операций при укреплении грунтов лесных дорог. Описан способ приготовления смеси и обработки грунта смешением при помощи многороторной однопроходной грунтосмесительной машины. Этот способ является более совершенным и производительным, чем использование дорожных фрез, требующих большого числа проходов по одному следу. В качестве скелетной добавки предлагается использовать фракционный шлак (отход металлургического производства Жлобинского БМЗ), а в качестве минерального вяжущего – цемент марки не ниже М400. Приведены техническая характеристика грунтосмесительной машины Д-391, состав отряда для укрепления грунтов ведущей машиной грунтосмесителем Д-391, указана последовательность операций по укреплению лесных автомобильных дорог с использованием выбранной ведущей машины.

The article points serialization of technological operations while strengthening the soils of forest roads. The method of mixing and processing of soil mixing with manyrotor groundmix-pass machine. This method is more advanced and productive than the use of cold milling, requiring a large number of passes on one track. As an addition is proposed to use the skeletal fraction slag (smelter Zhlobin BMZ), and as a mineral binder – cement grade no lower than M400. Are given: the technical characteristics of the machine groundmix Д-391, to strengthen the squad's leading ground vehicle groundmix Д-391. Specified sequence of steps to strengthen the forest road leading to the use of the selected machine.

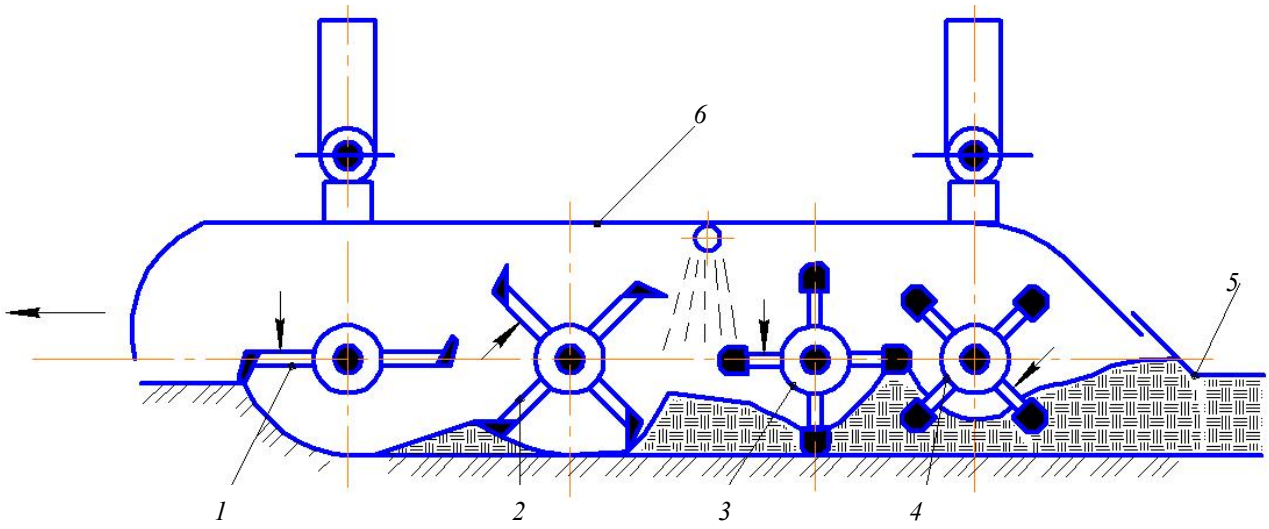
Введение. Технология строительства лесных автомобильных дорог методом укрепления грунтов с использованием привозных вяжущих материалов имеет ряд особенностей. Большое влияние на технологический процесс оказывают свойства грунтов и вяжущих материалов, их температура и влажность, характеристики применяемых ведущих и вспомогательных машин, схемы устройства слоев дорожной конструкции. Существует большое количество методов укрепления грунтов вяжущими материалами, но все многообразие сводится к выполнению технологических операций в определенной последовательности: 1) предварительное размельчение и рыхление; 2) точная дозировка материалов и доведение смеси до однородного состояния; 3) распределение приготовленной смеси в соответствии с проектным профилем слоя; 4) уплотнение слоя (слоев – в зависимости от технологии устройства); 5) уход за грунтом, который подвергался укреплению, а также создание и поддержание требуемого режима влажности в процессе твердения [1].

Основная часть. Однопроходные грунтосмесительные машины и дорожные фрезы являются ведущими при строительстве лесных автомобильных дорог с применением привозных материалов, таких как минеральные вяжущие и скелетные добавки. Грунтосмесительная машина предназначена для разрыхления и размельчения грунта, дозирования и распределения вяжущих материалов, а также перемешивания данных материалов с грунтом за один проход с предварительным уплотнением [1]. Приготовление смеси и обработка грунта смешением будет проводиться на лесной автомобильной дороге при помощи многороторной однопроходной грунтосмесительной машины. Этот способ работ более совершенный и производительный, чем использование дорожных фрез, требующих большого числа проходов по одному следу. В качестве скелетной добавки предлагается использовать фракционный шлак (отход металлургического производства Жлобинского БМЗ), а в качестве минерального вяжущего – цемент марки не ниже М400. Цемент как неорганическое вяжущее может применяться для укрепления лесных автомобильных дорог на основе всех грунтов. Однако в случае укрепления гравелистых грунтов, супесей и грунтовых смесей оптимального состава достигается максимальная прочность при минимальном процентном содержании цемента в смеси [2].

При создании долговечных, устойчивых и прочных конструктивных слоев дорожных одежд из грунтов, укрепленных скелетными добавками и минеральными вяжущими (в нашем случае – цемент), ни в коем случае нельзя допускать переувлажнения грунтов земляного полотна.

В результате проведенного анализа в качестве ведущей выбрана однопроходная грунтосмесительная машина типа Д-391. Рабочий орган грунтосмесительной машины показан на рисунке.

Основные технические характеристики многороторной однопроходной грунтосмесительной машины Д-391 представлены в табл. 1.



Рабочий орган грунтосмесительнои машины Д-391:
1 – рыхлящий ротор; *2* – измельчающий ротор; *3*, *4* – двухвальная мешалка; *5* – задняя стенка; *6* – кожух

Таблица 1

Технические характеристики грунтосмесительной машины Д-391

Показатель	Значение
Тип машины	Самоходная, однопроходная на пневмоходу
Марка двигателя	2Д12Б
Мощность двигателя, л. с. /мин$^{-1}$ (число оборотов в минуту)	300/1500
Габаритные размеры, мм:	
длина	11 060
ширина	3078
высота	3427
Вес, т	22,0
Скорости передвижения рабочие, км/ч:	
1	0,109
2	0,235
3	0,423
4	0,710
Скорость транспортная, км/ч	18,5
Ширина обработки, м	2,4
Глубина обработки, мм	75–250
Пределы дозирования вяжущего, л/м^2 (кг/м^2) на скорости:	
1-й	15–60 (6,2–7,7)
2-й	15–60 (2,8–3,6)
3-й	15–48 (1,6–20)
4-й	15–29 (1,0–12)
Точность дозирования, %	8–10

Рыхлящий ротор грунтосмесительной машины аналогичен ротору дорожной фрезы и предназначен для рыхления грунта; измельчающий ротор служит для измельчения грунта и вращается в противоположном направлении, т. е. по часовой стрелке. Двухвальная мешалка служит для окончательного перемешивания грунта с вяжущим материалом (из сопла поступает жидкое вяжущее, скелетная добавка поступает из бункера, находящихся впереди рабочих органов). Задняя стенка, которая является регулируемой, выравнивает обработанный слой грунта по высоте.

Машина передвигается на пневматических шинах, имеет четыре поступательные рабочие скорости – от 0,1 до 0,7 км/ч, обеспечивает ширину захвата 2,4 м и глубину обработки тяжелых связных грунтов до 0,20 м в плотном теле. При использовании предварительного разрыхления – до 0,4 м. Машина оборудована двумя дозировочными устройствами (для вяжущего материала и скелетной добавки). Сыпучие вещества (в нашем случае фракционный шлак 5–10 и 10–20 мм) дозируются в количестве 15−60 кг/м^2 при работе на первой скорости и 10−30 кг/м^2 − на четвертой скорости. Подача воды осуществляется дозатор вязкожидких вяжущих материалов.

При укреплении грунтов машиной Д-391 земляное полотно должно быть особенно тщательно спланировано по рабочим отметкам с приданием ему требуемого по проекту поперечного профиля и однородным уплотнением обрабатываемого слоя грунта до 0,85–0,90 максимальной плотности. Указанное мероприятие весьма облегчает размельчение грунта и способствует получению требуемого агрегатного состава грунта. Нижележащий слой земли полотна должен иметь плотность не менее 0,95 от стандартного уплотнения. Перед тем как обрабатывать грунт цементом, необходимо при помощи автогрейдера срезать излишек грунта по ширине проезжей части и переместить его на

обочины. Затем земляному полотну придается требуемый по проекту поперечный профиль. Данный способ возведения земляного полотна обеспечивает не только максимальную плотность, но и предохраняет его от нежелательного воздействия воды. Для повышения прочности покрытия по краям основания из скелетных добавок и минеральных вяжущих необходимо устраивать шире на 0,50–0,75 м с каждой стороны [3].

Однопроходная грунтосмесительная машина работает в комплекте с машинами, подвозящими к ней цемент и фракционный шлак: цементовозами, самосвалами и др.

Длину участка (сменную захватку) назначают с учетом свойств обрабатываемого грунта, дозировки вяжущего, глубины обработки и погодных условий. При тяжелых грунтах длина участка составляет в среднем 150−200 м, при легких супесчаных грунтах 250−300 м. Готовая смесь грунта с вяжущим материалом и скелетной добавкой распределяется ровным слоем и прижимается задней стенкой рабочей камеры, а затем слегка укатывается задними колесами машины.

Закончив обработку грунта первой полосы на установленную глубину, поднимают рабочие органы из грунта и задним ходом передвигают машину в начальное положение. Вторым проходом обрабатывают правую сторону проезжей части, третьим проходом – ее среднюю (осевую) полосу (при большой ширине дорожного полотна). Смежные полосы перекрывают на 0,1−0,2 м. Для обеспечения высокого качества работ при использовании указанного комплексного метода укрепления грунтов необходимо организовать специализированные отряды машин, где многороторная однопроходная грунтосмесительная машина типа Д-391 будет использоваться в качестве ведущей.

При определении количества машин и комплектовании дорожно-строительных отрядов по укреплению грунтов лесных дорог особое внимание следует обратить на бесперебойную поставку цемента, подвозку шлакового материала и воды для грунтосмесительных машин с учетом количественного расхода применяемых материалов. Число транспортных машин назначают в зависимости от расхода материалов в одну смену и производительности отрядов.

Состав отряда для укрепления грунтов фракционным шлаком и минеральным вяжущим (цементом) представлен в табл. 2 [3].

Таблица 2

Состав отряда для укрепления грунтов ведущей машиной грунтосмесителем Д-391

Наименование машин	Количество машин
Грунтосмесительная машина Д-391	1
Автоцементовозы С-853 (С-571)	3–5
Поливомоечные машины ПМ-20 (ПМ-10) (для воды и водных растворов химических веществ)	3–4
Автогрейдер Д-598 (Д-446)	1
Самоходный каток на пневматических шинах Д-627 или Д-551 либо прицепной каток ДСК-1 с тягачом на пневмоколесах	2
Автогудронатор Д-251	1
Передвижная емкость для вяжущего (при дальности возки выше 25 км), т	50–75

Заключение. Использование комбинированного вяжущего позволяет оптимизировать процесс структурообразования, повысить адгезионные связи вяжущего и минеральной части материала. Скелетная добавка в сочетании с основным вяжущим повышает водо- и морозостойкость цементогрунта и увеличивает его водостойкость на начальном этапе твердения. Применение фракционного шлака позволяет также снизить расход основного вяжущего без потери прочностных свойств укрепленного грунта. В ближайшее время планируется разработать технологические карты укрепления грунтовых дорог разработанным комбинированным вяжущим и провести необходимые исследования в производственных условиях.

Литература

1. Грунтосмесительные машины // СтройТехника. Строительные машины и оборудование. [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: http://stroytechnics.ru//gruntosmesitel-mashiny. – Дата доступа: 05.03.2012.

2. Платонов, А. П. Композиционные материалы на основе грунтов / А. П. Платонов, М. Н. Першин. – М.: Химия, 1987. – 144 с.

3. Предложения по комплексным методам укрепления грунтов, применяемых при строительстве дорог II–IV категорий в различных климатических условиях // Строительные нормативы [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: http://bibliotekar.ru/spravochnik-70-2/46.htm. – Дата доступа: 06.02.2012.

Поступила 14.03.2012

УДК 625.731.2

А. С. Федькин, аспирант (БГТУ)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ГРУНТА И МИНЕРАЛЬНОГО ВЯЖУЩЕГО ДЛЯ УКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ ЛЕСНЫХ ДОРОГ

Статья содержит результаты лабораторных исследований композиционного материала на основе грунта и минерального вяжущего. Указаны характеристики используемых материалов, таких как фракционный шлак, цемент, молотый шлак. Приведен порядок приготовления смеси, изготовления образцов и испытания их на сжатие. Указан характер разрушения образцов при испытаниях на сжатие. Проанализированы образцы следующих составов: 1) с изменяемым процентным содержанием цемента и постоянным процентным содержанием фракционного и молотого шлака; 2) постоянным процентным содержанием цемента и изменяемым процентным содержанием молотого и фракционного шлака; 3) постоянным процентным содержанием фракционного шлака при одновременном снижении процентного содержания цемента и увеличении процентного содержания молотого шлака в составе смеси (с градацией в 2%).

This article contains the results of laboratory tests of composite material based on soil and mineral binder. These characteristics of the materials used, such as fractional slag, cement, ground slag. The order of mixing, prototyping and testing of specimens in compression. Set the fracture behavior of specimens for testing in compression. Analyzed samples of the following compositions: 1) with a variable percentage of cement and a constant percentage of fractional and ground slag, and 2) with a constant percentage of cement and a variable percentage of milled slag and fraction 3) with a constant fractional percentage of the slag, while reducing the percentage of cement and increasing the percentage of ground slag in the mixture (with a step of 2%).

Введение. Решение задач по применению новых технологий и материалов в дорожном строительстве должно быть напрямую связано с экономией строительных ресурсов и широким применением местных материалов. Одним из путей решения существующих проблем является создание дорожно-строительных материалов на основе укрепленных грунтов, которые будут обладать улучшенными свойствами.

Вопросами использования укрепленных грунтов на лесных автомобильных дорогах занимались такие ученые, как П. А. Ребиндер, В. М. Безрук, В. Ф. Бабков, А. П. Платонов, М. Н. Першин, Э. О. Салминен, Б. И. Кувалдин, И. А. Золотарь, И. И. Леонович, Н. П. Вырко, Б. А. Ильин.

Практика строительства показывает, что одним из перспективных направлений в области укрепления лесных автомобильных дорог является применение композиционных минеральных вяжущих.

Основная часть. Создание композиционного материала на основе грунтов сводится к усилению существующих и созданию новых структурных связей в грунтах, которые будут обеспечивать требуемую устойчивость и прочность материала в сооружении [1]. В связи с разнообразием грунтов как по типу, так и по физико-химическим свойствам используют различные вяжущие, применяемые для получения композиционных материалов на основе грунтов.

Характеристика используемых материалов. Для приготовления композита на основе грунта использовали цемент, фракционный шлак и молотый шлак (получали путем помола отхода металлургического производства Жлобинского БМЗ) в различных процентных соотношениях.

Обычно цемент применяют для упрочнения всех видов грунтов, но для получения наибольшей прочности грунта при наименьшем расходе цемента рекомендуется обрабатывать гравелистые и крупнообломочные грунты, а также супеси и грунтовые смеси оптимального состава. Для укрепления грунтов могут применяться различные цементы, но лучшие результаты дает применение портландцемента марки не ниже 400. В лабораторных условиях применялся цемент марки М500-Д20.

Фракционный шлак использовался в качестве заполнителя. Гранулометрический состав фракционного шлака представлен в табл. 1.

Таблица 1

Гранулометрический состав фракционного шлака

Размер сит, мм	Масса шлакового материала, г/%, от общей массы
> 10	60/2,2
10…7	1510/54,3
7…5	1110/39,9
5…3	100/3,6

Наряду с фракционным шлаком для проведения лабораторных исследований использовался и

молотый шлак. Для измельчения шлакового материала применялась лабораторная мельница.

Барабанная лабораторная мельница типа МБЛ предназначена для размола шлакового материала, клинкера и кокса в лабораторных условиях с целью определения характеристик размалываемости, подбора оптимальных условий размола и для тонкого измельчения материалов для разных целей (как сухим, так и мокрым способом). Техническая характеристика мельницы приведена в табл. 2.

Таблица 2

Техническая характеристика мельницы

Показатели	Значение
Производительность (по клинкеру), кг/ч	5
Число камер	2
Частота вращения барабана, мин$^{-1}$	48±1
Подводимая мощность, кВт	1,1
Внутренние размеры камеры, мм: диаметр длина	 500 280

Исходный гранулометрический состав шлакового материала общим весом 16 820 г представлен в табл. 3.

Таблица 3

Гранулометрический состав исходного шлакового материала

Размер сит, мм	Масса шлакового материала, г/%, от общей массы
> 40	7765 г/46,16
40…20	3640 г/21,64
20…10	2490 г/14,80
10…5	1620 г/9,63
5…2,5	610 г/3,62
2,50…1,25	145 г/0,86
< 1,25	550 г/3,29

Время размола шлакового материала составило 90 мин. Общая шаровая загрузка равна 42 190 г, в т. ч. по камерам: камера № 1 –19 680 г, камера № 2 – 22 510 г. Конечный гранулометрический состав размолотого шлакового материала представлен в табл. 4.

Приготовление смеси и изготовление опытных образцов. Замес производился в следующем порядке. Изначально отвешивали на весах требуемое количество грунта, добавляли к нему цемент в соответствии с заданным процентным соотношением и тщательно перемешивали. Далее в полученную смесь добавляли либо молотый шлак (МШ), либо фракционный шлак (ФШ) и равномерно распределяли его по всей смеси. В сухую смесь в несколько приемов добавляли около 10% воды и перемешивали до получения однородной массы.

Таблица 4

Гранулометрический состав шлакового материала после помола

Размер сит, мм	Масса шлакового материала, г/%, от общей массы
> 40	2580 г/15,34
40…20	2560 г/15,22
20…10	600 г/3,57
10…5	280 г/1,66
5…2,5	190 г/1,13
2,50…1,25	140 г/0,83
1,25…0,63	340 г/2,02
< 0,63	10130 г/60,23

Изготавливали и хранили контрольные образцы согласно ГОСТ 10180–90 [2]. Для определения прочности бетона на сжатие изготавливали образцы-кубы. Размеры образцов выбирались в зависимости от наибольшей номинальной крупности заполнителя в пробе смеси в соответствии с указанными в табл. 5 [2].

Таблица 5

Размеры образцов в зависимости от наибольшей номинальной крупности заполнителя

Наибольший номинальный размер заполнителя, мм	Наименьший размер (ребра куба, стороны поперечного сечения призмы или восьмерки, диаметра и высоты цилиндра), мм
20 и менее	100
40	150
70	200
100	300

Прочность на сжатие изготовленных образцов-кубов испытывали в возрасте 7 сут. Перед испытанием образцы осматривали, при обнаружении на опорных гранях дефектов в виде наплывов производили их удаление. Замеряли линейные размеры образцов линейкой по двум взаимно перпендикулярным плоскостям. Определяли рабочее положение образца при испытании. Укладывали его на нижнюю опорную плиту пресса так, чтобы сжимающая сила была направлена параллельно слоям укладки приготовленной смеси в форму. Затем производили центрирование образца по геометрической оси. Нагрузку на образец при испытании увеличивали непрерывно и равномерно со скоростью 0,4–0,8 МПа/с до разрушения образца [3].

Прочность на сжатие бетона вычисляли как среднее арифметическое результатов испытания трех образцов-близнецов при условии, что наименьший результат испытания одного из трех образцов отличается от следующего показателя

не более чем на 15%. В случае, если наименьший результат испытания отличается больше чем на 15% от следующего большего показателя, то предел прочности вычисляют как среднее арифметическое из двух наибольших результатов

При проведении лабораторных испытаний отслеживался характер разрушений образцов. В справочном приложении № 7 ГОСТ 10180–90 [3] приведена схема характера разрушения образцов. Характер разрушений образцов при испытаниях в лабораторных условиях соответствует нормальному разрушению.

Анализ данных. Для анализа полученных результатов отбирались образцы следующих составов: 1) с изменяемым процентным содержанием цемента и постоянным процентным содержанием фракционного и молотого шлака; 2) постоянным процентным содержанием цемента и изменяемым процентным содержанием молотого и фракционного шлака; 3) постоянным процентным содержанием фракционного шлака при одновременном снижении процентного содержания цемента и увеличении процентного содержания молотого шлака в составе смеси (с градацией в 2%).

Графики зависимости прочности от процентного содержания цемента в 28-суточных образцах представлены на рис. 1.

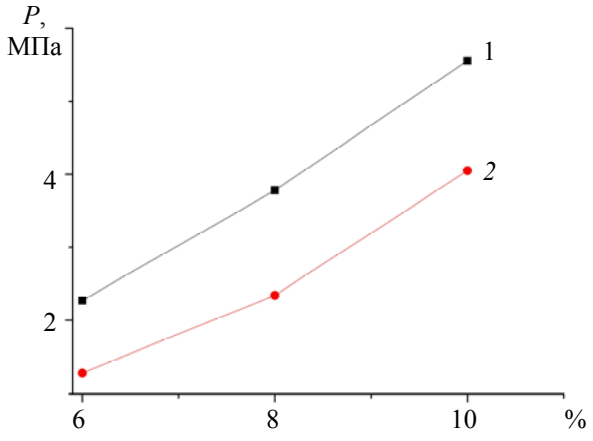


Рис. 1. Графики зависимости прочности 28-суточных образцов от процентного содержания цемента в составе:
1 – Ц+25ФШ+Г; *2* – Ц+25МШ+Г

На графике показано, что образцы, в состав которых входит фракционный шлак, прочнее тех, в составе которых находится молотый шлак. Прочность образцов с фракционным шлаком при одинаковом процентном содержании цемента выше на 56–137%, чем прочность образцов с молотым шлаком. Прочность образцов с увеличением содержания цемента (в рассматриваемых пределах от 6 до 10%) на 2% повышается в среднем в 1,6 раза.

Графики зависимости прочности от процентного содержания шлака в 28-суточных образцах представлены на рис. 2.

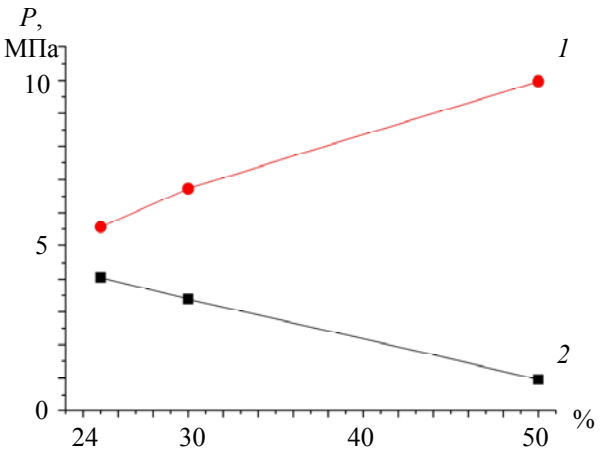


Рис. 2. Графики зависимости прочности 28-суточных образцов от процентного содержания шлака в составе:
1 – 10Ц+ФШ+Г; *2* – 10Ц+МШ+Г

Одним из путей снижения стоимости дорожной конструкции является замена портландцемента бесклинкерными вяжущими, такими как металлургические шлаки, золы уноса, нефелиновые шламы, золошлаковые смеси и т. д. Все эти материалы обладают гидравлической активностью и при активации небольшими добавками цемента или других химических реагентов придают материалам на основе грунтов более высокие физико-механические свойства. Грунты, обработанные доменным шлаком, имеют меньшую усадку при твердении и меньший коэффициент линейного температурного расширения по сравнению с грунтами на основе портландцемента. Поэтому у таких материалов более высокая трещиностойкость. Доменным шлаком можно обрабатывать грунты естественного зернового состава и тонкоизмельченные [1].

Наряду с уменьшением стоимости конструкции дороги решается проблема использования отходов. Например, в Японии добавляют 5% золы уноса в смешанный шлак сталеплавильного производства, который используется для дорожного строительства. В Венгрии есть опыт по возведению насыпей из золошлаковых смесей. В Италии зола от сжигания угля применяется не только как естественный заполнитель, но и как вяжущее в конструкциях дорожных одежд [4].

Кроме всего вышеперечисленного, был проанализирован характер изменения прочности 28-суточных образцов на сжатие при одновременном снижении процентного содержания цемента и увеличении процентного содержания

молотого шлака в составе смеси (с градацией в 2%) (рис. 3). При начальном составе смеси 10Ц+2МШ+25ФШ+Г значение прочности образцов на сжатие составило 4,58 МПа. После изменения состава смеси, который впоследствии имел вид 2Ц+10МШ+25ФШ+Г, прочность образцов на сжатие составила 0,53 МПа. В целом прочность снизилась в 8,6 раза; при каждом последующем снижении содержания цемента на 2% и увеличении содержания молотого шлака на 2% значение прочности снижалось в среднем в 1,5 раза.

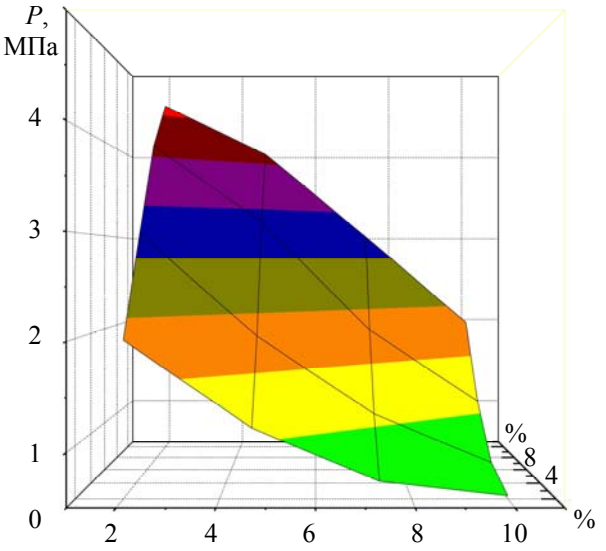


Рис. 3. Характер изменения прочности 28-суточных образцов на сжатие при одновременном снижении процентного содержания цемента и увеличении процентного содержания молотого шлака в составе смеси (с градацией в 2%)

Рассмотрим два различных состава: 1) 8Ц+25ФШ+Г и 2) 8Ц+4МШ+25ФШ+Г. Прочность на сжатие первого в возрасте 28 сут составила 3,78 МПа, второго – 3,69 МПа. Такие материалы, как молотый металлургический шлак, при активации небольшими добавками извести и цемента обеспечивают необходимые физико-механические свойства материалов на основе грунта. Однако проведенные лабораторные исследования показали, что прочность такого материала в возрасте 28 сут значительно ниже. Это объясняется тем, что структура материала с добавлением молотого шлака формируется медленно и в начальный период образцы обладают невысокой прочностью. По истечении длительного срока (до 1 года) такие материалы по своим свойствам не уступают материалам на основе цемента и грунта [1].

Заключение. Использование местных грунтов вместо каменных материалов в конструктивных слоях дорожных одежд возможно лишь при полном изменении физико-механических свойств, характерных для естественных грунтов [5]. В результате проведения лабораторных испытаний можно сделать следующие выводы:

1. Из испытанных 15 различных образцов наиболее прочным оказался образец следующего состава: 10Ц+50ФШ+Г (9,97 МПа), наименее прочным – образец состава 2Ц+10МШ+25ФШ+Г (0,53 МПа).

2. Образцы, в состав которых входил фракционный шлак, значительно прочнее образцов с таким же содержанием молотого шлака. Соответственно, в практике дорожного строительства в качестве заполнителя смеси целесообразнее и дешевле применять фракционный шлак.

3. При исследовании вопроса замещения некоторого количества цемента в составе на молотый шлак необходимо учитывать медленно формирующуюся структуру материала. Поэтому данный вопрос требует более детальной проработки и дополнительных лабораторных испытаний.

Литература

1. Платонов, А. П. Композиционные материалы на основе грунтов / А. П. Платонов, М. Н. Першин. – М.: Химия, 1987. – 144 с.

2. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам: ГОСТ 10180–90 // ГОСТы, СНиПы [Электронный ресурс.]. – 2012. – Режим доступа: http://www.gostedu.ru/3770.html. – Дата доступа: 10.02.2012.

3. Контроль качества бетона // Материалы, технологии [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: http://bibliotekar.ru/spravochnik-70-2/46.htm. – Дата доступа: 06.02.2012.

4. Зарубежный опыт применения зол и золошлаковых смесей в дорожном строительстве // Применение зол уноса и золошлаковых смесей при строительстве автомобильных дорог. [Электронный ресурс]. – 2003. – Режим доступа: http://www.zolprod.irkutskenergo.ru/qa/2281.html. – Дата доступа: 10.02.2012.

5. Дорожные основания и покрытия из укрепленных грунтов / В. М. Безрук [и др.]. – М.: Транспорт, 1966. – 128 с.

Поступила 14.03.2012

УДК 625.8

И. И. Леонович, доктор технических наук, профессор (БНТУ)

ДОРОГИ БЕЛАРУСИ: ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ, БУДУЩЕЕ

В статье проанализировано развитие дорог на территории Беларуси за длительный исторический период времени – от первобытного общества до наших дней. Сформулированы основные направления, на которые будут сосредоточены усилия дорожных организаций в перспективе.

The road development during a long historical period from primeval society till nowadays is analysed in this article. The main directions on which the efforts of road organizations will be concentrated is future are formulated.

Введение. Дороги, как кровеносные сосуды у человека, играют жизнетворную роль в обществе. Они создавались в глубокой древности, совершенствовались по мере развития связей между поселением людей и модернизировались под влиянием интенсивно развивающихся транспортных средств и коммуникаций. Принято считать, что дороги бесконечны по протяженности и вечны по времени. И это действительно так. Дороги, соединяясь и разветвляясь, образуют сети на всей освоенной территории. Построенная дорога живет вечно, переходя из поколения в поколение и по мере износа, морального устаревания и возрастающих требований реконструируется, обновляется, приобретает новые качества.

Изучение истории развития дорог имеет не только познавательное, дидактическое, но и научно-техническое значение. Опыт прошлого всегда ценен, и его необходимо учитывать при обосновании новых решений.

Основная часть. Древние племена занимались в основном охотой и рыболовством и первыми путями, которые ими прокладывались, были тропы. Приручение диких животных привело к развитию животноводства, а вместе с тем позволило использовать их (лошадей и волов) в качестве тяговой силы передвижения. Появились вьючные пути. Археологические раскопки свидетельствуют о том, что за тысячи лет до н. э. наши далекие предки уже применяли в качестве транспортных средств лошадь и повозку.

В период изменения первобытного общества сухопутные пути становятся необходимостью в экономических и культурных связях древних племен, а также в совершении военных действий. В связи с тем, что широко стали использоваться повозки, людям нужны были хотя бы примитивные дороги. И такие дороги строились. Использовались деревянные настилы, мостики, гати. Есть основание полагать, что в ряде мест были построены и каменные дороги. К VI–VII вв. славяне объединялись в племенные союзы, из которых потом образовались древнеславянские государства [1].

Одним из важнейших факторов их прогресса явилось использование транспортных средств, обустройство сухопутных путей сообщения. В VIII–X вв. сухопутные пути сообщения древней Руси не были изолированы, а входили в общую схему мировых путей того времени. На карте торговых связей и путей (IX–XI вв.) обозначены древние белорусские города Полоцк и Туров с проходящими через них дорогами. Южные славяне через Припять преимущественно осуществляли сухопутным путем транспортные связи с Литвой и Швецией. В летописях этого времени встречаются такие понятия, как «большая и малая дороги, конница, сани, верста, сажень, локоть» и др. Сохранился приказ князя Владимира, в котором говорится: «Требите пути и мостите мосты».

Развитие торговли и хозяйственная деятельность населения в XII–XIX вв. выдвигались в число важнейших проблем дорог. Через белорусские земли проходили большие дороги, связывающие их с Ливонией, Польшей, Древней Русью и другими регионами Европы. Известные большие дороги того времени: из Полоцка в Бельчину, Витебск, Друцк, Минск, Изяславль и Городец; из Изяславля в Минск, Логойск; из Лукомля в Логойск; из Логойска в Друцк и др. Значение этих дорог и особенности их устройства достаточно подробно освещены в работах В. И. Даниловича, С. Г. Иоффе [12, 13], М. Г. Саента [2], А. С. Сардарова [3–11] и других авторов.

К середине XVI в. дороги получают государственный статус. В сводах законов (статутах) 1588 г. появляются нормы, по сути регулирующие дорожное движение, параметры дорог, правила пользования ими.

Дальнейшее формирование сети дорог относится ко второй половине XVII в., когда была учреждена почтовая служба. Одной их первых появилась почта на дороге Москва – Вильно, через Смоленск и Минск, по которой почтовые отправления доставлялись из конца в конец за 21 день.

В начале XIX в. пассажирское сообщение между городами, осуществляемое акционерными компаниями дилижансов, становится регулярным,

и через Беларусь прокладываются два важнейших для Российской империи шоссе: Москва – Варшава и Санкт-Петербург – Киев, общей протяженностью на белорусской территории 1150 км. Дороги обустраиваются почтовыми домами, как правило, каменными, а также станционными гостиными домами на расстоянии 15–25 км друг от друга, где содержались перекладные лошади и жили ямщики. Скорость передвижения в сутки в летнее время составляла 60–80 км для дилижансов, 40–50 – для перекладных повозок и 15–20 – для ломовых грузовых подвод.

Однако действовавшее веками правило, согласно которому строительство дорог осуществлялось за счет дорожной повинности, было разорительно и по экономическим мотивам неприемлемо для зарождавшейся буржуазии. В 1833 г. в России издается закон, по-иному определяющий основные требования к устройству и содержанию дорог в государстве, определена сеть главных дорог, установлена постоянная полоса отвода.

Дороги подразделялись на пять классов:

- I класс – главных сообщений (государственные);
- II класс – больших сообщений;
- III класс – обычных почтовых сообщений, губернские;
- I класс – обычных почтовых сообщений, уездные;
- II класс – сельские и полевые.

Принятая классификация дорог сохранилась вплоть до 1918 г.

В исторических документах XI–XIII веков («Краткая и Пространная русская Правда», «Устав о мостах») уже принимается деление строителей на «мостников» и «городников» с установлением «уроков» – перечня выполняемых работ и норм оплаты.

К первой трети XIX в. капитальных мостов в Беларуси не было, за исключением нескольких парковых мостиков в крупнейших поместьях. Все остальные были временными, деревянными и требовали постоянного обновления (мост через Западную Двину в Полоцке, через Касплю в Сураже и другие).

Представление о наличии к 1864 г. сооружений на трактах (кроме шоссейных дорог) дают сведения по Минской губернии, в составе которой были Минский, Борисовский, Игуменский, Бобруйский, Слуцкий, Новогрудский, Пинский, Мозырский, Речицкий уезды (табл. 1).

Известные инженеры дореволюционного периода Николай Феликсович Ястржембский, Иван Осипович Гейдатель, Владимир Петрович Халецкий принимали деятельное участие в строительстве дорог и искусственных сооружений в Беларуси. Их имена не должны быть забыты.

Таблица 1

Наличие сооружений на трактах

Показатель	Почтовые	Военно-коммуникационные
Протяженность дорог, верст	1 065	2 847
На них мостов длиной 3 сажени и более, шт.	149	271
Длина мостов, сажени	1 955	2 852
Число гатей, шт.	388	1144
Длина гатей, сажени	41 702	146 614

Появление автомобилей на дорогах Беларуси относится к началу XX в. Их насчитывалось тогда около 300. Накануне первой мировой войны по территории Беларуси проходили следующие важнейшие дороги: Санкт-Петербург – Динабург – Ковно; Москва – Смоленск – Минск – Брест – Варшава (обе первого класса); Санкт-Петербург – Витебск – Киев – Одесса; Вильно – Гродно – Белосток; Рига – Полоцк – Витебск – Смоленск; Могилев – Житомир (все четыре – второго класса).

Протяженность дорожной сети с твердым покрытием (белое щебеночное шоссе и булыжные мостовые) на территории Беларуси в канун Первой мировой войны составляла 2041 км, их состояние оценивалось как образцовое. Остальные дороги представляли собой естественные грунтовые пути, совершенно непригодные для автомобильного, а в период весенне-осенней распутицы – и для гужевого транспорта. С развитием городов и дорожной сети появились мосты и водопропускные трубы – как неотъемлемая часть путей сообщения. Единственным материалом, который веками применялся при строительстве мостов, было дерево. К сожалению, его недолговечность, а также многочисленные войны, административные и ведомственные изменения не способствовали сохранению мостов.

В ходе Первой мировой и Гражданской войн дорожная сеть Беларуси была разрушена едва ли не полностью. Становление транспортного хозяйства начиналось с гужевых транспортных контор, имевшихся во всех городах и осуществлявших до 1922 г. практически все перевозки в условиях полной остановки движения по железным дорогам.

В первые годы Советской власти все дороги и водные пути были переведены на новую метрическую систему измерения расстояний; версты и сажени заменялись километрами и метрами, верстовые столбы – километровыми. Метрическую конвенцию Россия подписала еще в 1875 г., но новая система была введена в качестве обязательной только декретом СНК

РСФСР от 14 октября 1918 г. После окончания военных действий перед страной встала задача за короткий срок восстановить хозяйство, в том числе привести в проезжее состояние основные гужевые дороги и восстановить разрушенные мосты, начать строительство новых дорог. Для руководства дорожным хозяйством на союзных и республиканских дорогах государственного значения в 1927 г. создано управление дорогами. В 1928 г. оно преобразовано в Белглавшоссе, а спустя некоторое время в том же году создается Главное дорожно-транспортное управление при СНК БССР (Главдортранс) на правах народного комиссариата, в функции которого входили вопросы строительства, ремонта и содержания дорог. К концу 1928 г. сеть шоссейных дорог была восстановлена до довоенного уровня. Основным видом транспорта попрежнему оставался гужевой.

В 1920–1930 гг. понятие об автомобиле связывалось исключительно с городом. В сельской местности машина считалась редкостью, ничтожны были и междугородные автомобильные перевозки. К концу 1928 г. на территории БССР имелось 380 автомобилей, в том числе 139 легковых, 97 грузовых и 144 специальных. Автомобильный парк характеризовался исключительной пестротой: машины Круппа, грузовики фирмы «Мерседес», легковые и грузовые машины «Форд», «Бьюик», АМО Я-5 и Я-6 Ярославского завода.

С 1930-х гг. XX века намечается решительный поворот от строительства железных дорог к сооружению автомобильных.

В 1928–1933 гг. в Беларуси построено более 4 тыс. км новых дорог, из них около 20 % – с твердым покрытием (гравийные, белое шоссе и булыжные мостовые). Общая протяженность дорог в системе Главдортранса в 1933 г. составила 6376 км, из них шоссейные 1027 км, мощеные – 123 км, равнинные – 64 км и грунтовые – 5162 км. Важное значение имели такие дороги, как Минск – Червень, Минск – Слуцк, Мозырь – Калинковичи, Минск – Бобруйск, Минск – Дзержинск. В 30-е гг. были построены участки на дороге Ленинград – Гомель с покрытием из клинкера, велись эксперименты по использованию цемента и битума для укрепления грунтов, в том числе и битумных эмульсий.

Усилия, направленные на строительство и совершенствование дорожной сети, дали свои плоды. Протяженность автомобильных дорог общего пользования с твердым покрытием в конце второй пятилетки (1937 г.) составляла 3,9 тыс. км, а на начало 1941 г. – 12 550 км, из них с усовершенствованным покрытием 219 км. Эти достижения стали возможными благодаря усилиям руководства, дорожной отрасли, которую в 30-е гг. поочередно возглавляли Яцкевич, Фрумкин, Иванов, Федермессер, Сериков, Лихтинов, Николаев.

По областям протяженность дорог с твердым покрытием выглядела в конце 1940 г. так: Брестская область – 1,4 тыс. км; Витебская область – 2,7 тыс. км; Гомельская – 0,7 тыс. км; Гродненская – 2,3 тыс. км; Минская 3,2 тыс. км; Могилевская – 0,9 тыс. км. В целом по этому показателю Беларусь занимала четвертое место в СССР после Российской Федерации, Украины и Литвы. На 1000 км^2 территории республики приходилось 53,9 км дорог с твердым покрытием.

К началу Великой Отечественной войны ведущее место в перевозках грузов попрежнему занимал железнодорожный транспорт. На его долю приходилось 93% грузооборота и 68% объема доставки грузов, на долю автотранспорта приходилось 28% от общего объема перевозок, на долю речного – 4%. Большую роль в перевозках все еще играл гужевой транспорт: в республике насчитывалось 250 тыс. активно используемых телег. Дороги с твердым покрытием составляли 12 550 км.

За время Великой Отечественной войны немецко-фашистские захватчики нанесли большой ущерб дорожному хозяйству. Они сожгли и взорвали 23 800 п. м мостов, разрушили 2226 км дорог с твердым покрытием, уничтожили 590 дорожных зданий объемом 168 тыс. м^3.

После Великой Отечественной войны дорожное хозяйство начало быстро восстанавливаться и получило свое дальнейшее развитие. В 1943 г. дорожники приступили к массовому строительству деревянных мостов. К 1 сентября 1944 г. было построено 1388 мостов общей длиной 12 941 м и 7107 п. м капитально отремонтировано.

К началу 1947 г. дорожная сеть союзного и республиканского значения УШОСДОРа МВД БССР была практически восстановлена.

На 01.01.1956 дорожная сеть включала 5054,8 км дорог общегосударственного значения, 4031,8 км республиканских и 61931,7 км местных. Причем к местным в то время относились дороги не только общего пользования, но и важнейшие внутрихозяйственные. Протяженность дорог общего пользования составляла около 40 тыс. км.

К 1957 г. уже насчитывалось 13 490 км дорог с твердым покрытием. Указами президиума Верховного Совета СССР (26.11.1958) и Президиума Верховного Совета БССР (10.04.1959) узаконен переход от индивидуального привлечения сельского населения для работ по строительству, ремонту и содержанию дорог к широкому участию

в этом деле государственных и кооперативных предприятий и организаций. На автомобильных дорогах Минск – Могилев, Минск – Дзержинск и других направлениях начались последовательно вестись работы по строительству дорог повышенной классности, с асфальтобетонным покрытием. В 1965 г. все дороги и дорожные организации Беларуси были объединены в одно ведомство – Главное управление шоссейных дорог при Совете Министров БССР, которое в конце 1973 г. было преобразовано в Министерство строительства и эксплуатации автомобильных дорог (существовало до 1994 г.). К началу организации Миндорстроя БССР в республике было 41 709 км дорог; из них с твердым покрытием 26 572 км и с усовершенствованными – 9114 км.

Значительным событием в дорожном деле Беларуси было строительство магистральной автомобильной дороги Брест – Минск с цементобетонным покрытием. В дальнейшем системно и последовательно велось строительство во всех регионах республики: строились дороги союзного, республиканского и районного значения. С 1983 г. дороги общего пользования были разделены на республиканские и местные. Причем по конструктивным параметрам как республиканские, так и местные разбиты на категории I, II, III, IV, V, VIa, VIб. Эта классификация сохранилась и в настоящее время (ТКП 45-3.03-19-2000 «Автомобильные дороги. Нормы проектирования»).

В 1988 г. республиканским проектным институтом по землеустройству «Белгипрозем» проведена паспортизация внутрихозяйственных дорог колхозов и совхозов Беларуси. По материалам паспортизации протяженность внутрихозяйственных дорог с твердым покрытием составляла 16,3 тыс. км, в том числе с усовершенствованным покрытием – 3,2 тыс. км. Таким образом, общая протяженность автомобильных дорог с твердым покрытием составляла на 1 января 1991 г. 62,6 тыс. км, из них с усовершенствованным – 32,24 тыс., а на 1 января 1996 г. – соответственно 67,13 и 38,8 тыс. км. Плотность дорог с твердым покрытием на 1000 км^2 на 1 января 1996 года составила 323 км.

Современное состояние дорожной сети.

По состоянию на 1 января 2011 г. сеть автомобильных дорог Республики Беларусь характеризовалась данными, приведенными в табл. 2.

Особое значение для экономики Беларуси имеют межгосударственные автомагистрали, в том числе трансъевропейские транспортные коридоры.

В соответствии с решением рабочей группы Комиссии Европейских сообществ по развитию транспортных коридоров (Брюссель, 1993 г.), в трансъевропейские коридоры II и IX (Критские коридоры) включены следующие автомобильные дороги Республики Беларусь:

– коридор II (протяженность 610 км):

– автомобильная дорога М-1/Е30 Брест (Козловичи) – Минск – граница Российской Федерации (Редьки) (0-й – 610-й км);

– коридор IX (протяженность 925 км):

– автомобильная дорога М-8 граница Российской Федерации (Езерище) – Витебск – Гомель – граница Украины (Новая Гута) (протяженность 456 км);

– ответвление коридора IX В (протяженность 468 км):

– автомобильная дорога М-5 Минск – Гомель;

– автомобильная дорога М-6 Минск – Гродно;

– автомобильная дорога М-7 Минск – Ошмяны – граница Литовской Республики (Каменный Лог).

Транспортный коридор II имеет продолжение на запад в направлении Варшава – Берлин, на восток – до Москвы, на Нижний Новгород и далее – на восток Российской Федерации.

Таблица 2

Характеристика автомобильных дорог Республики Беларусь

Область	Территория, тыс. км^2	Протяженность автомобильных дорог общего пользования, км							
		Республиканские			Местные			Общая протяженность	
		км	% от общей протяженности дорог		км	% от общей протяженности дорог		км	% от общей протяженности дорог в стране
			в области	в стране		в области	в стране		
Брестская	32,8	2 320	22	15	8 357	78	12	10 677	13
Витебская	40,1	2 977	17	19	14 512	83	21	17 489	20
Гомельская	40,4	2 265	18	15	10 148	82	15	12 413	15
Гродненская	25,1	2 127	18	14	10 782	82	16	12 909	15
Минская	40,1	3 306	19	21	16 097	81	22	19 403	23
Могилевская	29,1	2 481	20	16	10 296	80	14	12 777	14
Республика Беларусь	207,6	15 476	18		70 192	82		85 668	100

Транспортный коридор IX имеет продолжение от границы с РФ на Псков, Санкт-Петербург – Хельсинки – Стокгольм, от границы Республики Беларусь с Украиной – на Киев, Одессу, порт Ильичевск и далее до границы с Молдовой на Дубоссары – Кишинев, Унгень (границу с Румынией).

Их протяженность в пределах Беларуси более 1600 км.

На 1000 км^2 территории республики приходилось 413 км автомобильных дорог, на 1000 жителей – 8,6 км. Плотность дорог общего пользования по областям в километрах на 1000 км^2: Брестская – 326, Витебская – 434, Гомельская – 306, Гродненская – 520, Минская – 483, Могилевская – 439. Автомобильные дороги в Беларуси имеют различные покрытия. Твердые покрытия по состоянию на 01.01.2008 имели 73 954 км (86,3%) дорог общего пользования, в том числе республиканские – 15 432 км (100%), местные – 58 522 км (83,3%). Прирост протяженности автомобильных дорог с твердым покрытием за 2008 г. составил 867 км, с усовершенствованным – 613 км. Протяженность грунтовых дорог в системе местной сети за 2007 г. возросла на 1190 км за счет принятия в сеть дорог общего пользования ряда сельскохозяйственных дорог и подъездов к садоводческим кооперативам и составила в итоге 11 743 км (20 %).

На республиканских дорогах усовершенствованные покрытия составляют 98%, на местных – около 50%, на переходных – 40%. На сети дорог общего пользования эксплуатируются более 5285 мостов и путепроводов протяженностью около 176 146 п. м, в том числе на республиканских дорогах – 2222 моста протяженностью 97 235 п. м и на местных дорогах – 3063 моста протяженностью 78 911 п. м. Водопропускных труб различных конструкций на сети дорог общего пользования насчитывалось 93 406 шт. общей длиной 1 347 418 п. м, в том числе на республиканских дорогах – 21 448 шт. (401 349 п. м) и на местных дорогах – 71 958 шт. (946 069 п. м).

Заключение. Работы в дорожной отрасли ведутся планово в соответствии с государственной программой «Дороги Беларуси» на 2006–2015 гг., утвержденной Советом Министров Республики Беларусь. Предусмотрено дальнейшее развитие сети и повышение технических и технико-эксплуатационных характеристик автомобильных дорог путем реконструкции наиболее напряженных в транспортном отношении участков дорожной сети, проведения систематических работ по содержанию, капитальному и текущему ремонту дорог и мостов, обустройству дорог средствами безопасности движения, придорожного сервиса и архитектурно-художественных композиций. Дорожные организации республики активно участвуют также в выполнении Государственной программы возрождения села, развития улично-дорожной инфраструктуры больших и малых городов, сельских населенных пунктов, благоустройстве объектов транспортного, промышленного и сельскохозяйственного назначения.

Достижения в области строительства, содержания и ремонта автомобильных дорог Беларуси, если рассматривать в историческом разрезе, существенны. Сеть автомобильных дорог можно считать является оптимальной. Она обеспечивает транспортные коммуникации как внутри страны, так и между государствами. По своим качествам находится на уровне многих государств Европы, а по некоторым показателям и превышает их. Вместе с тем дороги нашей страны по эксплуатационным качествам не в полной мере отвечают требованиям современного автомобильного транспорта. Это подтверждается значительной дорожной аварийностью, наличием вовремя не устраняемых повреждений на проезжей части, необходимостью ограничивать движение транспортных средств в период весенней распутицы и при высоких температурах атмосферного воздуха и, наконец, невозможностью с требуемым комфортом реализовать скорость современных автомобилей.

Состояние и перспективы повышения качества автомобильных дорог учитывалось при разработке государственной программы «Дороги Беларуси» на 2006–2015 гг., утвержденной Советом Министров Республики Беларусь. Этой программой предусмотрено дальнейшее развитие сети и повышение технических и технико-эксплуатационных характеристик автомобильных дорог путем реконструкции наиболее напряженных в транспортном отношении участков. Будут продолжены работы по реконструкции магистралей, соединяющих г. Минск с областными центрами и переводом их в дороги I категории. Важное значение для развивающегося автомобильного транспорта имеет пропускная способность дорог.

На участках, где уровень загрузки достигает предельного значения, будут приняты меры по повышению пропускной способности или созданию альтернативных вариантов для транспортных потоков. Многие дороги требуют ограничения весовых параметров транспортных средств. При проведении капитальных ремонтов на этих дорогах будут предусмотрены дополнительные слои усиления дорожных одежд. Показатель ровности дорожных покрытий (IRI) на многих участках

республиканских дорог и на большинстве местных не в полной мере соответствует комфортному движению. В перспективе будут предприниматься различные меры ремонтного характера, которые позволят повысить ровность покрытия.

Обеспечение требуемых сцепных качеств проезжей части может быть достигнуто как путем устройства слоев шероховатости и поддержания дорог в чистоте, так и путем эффективного использования противогололедных материалов. Меры эти находятся в центре действующих перспективных и оперативных программ дорожных организаций. Обобщенным критерием эксплуатационного состояния автомобильных дорог является уровень дефектности дорожного покрытия. Современные методы диагностирования позволят своевременно оценивать состояние дорог и одновременно обоснованно принимать управленческие технико-организационные меры.

Последнее, о чем можно говорить при рассмотрении перспектив развития дорожного хозяйства, – это инновации. Они должны и будут определять технический уровень всего производства и при рациональном использовании финансовых и материально-технических ресурсов позволят обеспечивать прогресс в технике, технологии и организации работ, а это основа развития дорожного комплекса страны.

Литература

1. Кудрявцев, А. С. Очерки истории дорожного строительства в СССР (дооктябрьский период) / А. С. Кудрявцев. – М.: Дориздат, 1951.

2. Саент, М. Г. Развитие автомобильных дорог Белоруссии / М. Г. Саент. – Минск, 1990. – 70 с.

3. Сардаров, А. С. История и архитектура дорог Белоруссии / А. С. Сардаров. – Минск: Выш. шк., 1978. – 151 с.

4. Сардаров, А. С. Архитектура автомобильных дорог / А. С. Сардаров. – М.: Транспорт, 1986. – 200 с.

5. Сардаров, А. С. Архитектура автомобильных дорог / А. С. Сардаров. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1993. – 272 с.

6. Сардаров, А. С. Книга о дорогах. Дороги в человеческой цивилизации и культуре / А. С. Сардоров. – Минск: Арт-дизайн, 2000. – 190 с.

7. Автомобильные дороги Беларуси. Очерки истории развития дорожной отрасли / В. И. Яромко [и др.]. – Минск: НПО «Белавтодорпрогресс», 1999. – 249 с.

8. Сардараў, А. С. Архітэктура шляхоў зносін у IX–XIII стст. / А. С. Сардараў // Архітэктура Беларусі. Нарысы эвалюцыі ва ўсходнеславянскім і еўрапейскім кантэксце: у 4 т. / А. І. Лакотка [і інш.]; навук. рэд. А. І. Лакотка. – Мінск: Беларус. навука, 2005. – Т. 1: IX–XIV стст. – С. 374–376.

9. Сардараў, А. С. Архітэктура шляхоў зносін у XV – першай палове XVII ст. / А. С. Сардараў // Архітэктура Беларусі. Нарысы эвалюцыі ва ўсходнеславянскім і еўрапейскім кантэксце: у 4 т. / А. І. Лакотка [і інш.]; навук. рэд. А. І. Лакотка. – Мінск: Беларус. навука, 2006. – Т. 2: XV – сярэдзіна XVIII ст. – С. 600–619.

10. Сардараў, А. С. Вечныя дарогі / А. С. Сардараў // Спадчына. – 1991. – № 3. – С. 6–14.

11. Сардаров, А. С. История и архитектура дорог Белоруссии / А. С. Сардаров. – Минск: Выш. шк., 1978. – С. 300–303.

12. Улитин В. В. Становление и развитие сухопутных дорог России и структуры их государственного управления с древнейших времен до начала XX века / В. В. Утилин, С. Г. Иоффе. – Минск: УО РУЦ «Белдорстрой», 2009. – 26 с.

13. Улитин, В. В. Дорожная сеть Беларуси в период 1917–1945 гг. / В. В. Утилин, С. Г. Иоффе. – 2009. – 61 с.

Поступила 14.03.2012

УДК 630*363.7

А. О. Германович, магистр технических наук, аспирант (БГТУ)

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ РУБИЛЬНЫХ МАШИН

На сегодняшний день мобильная рубильная машина, служащая для получения экологически чистого и возобновляемого вида топлива, является актуальной. Из перечня технических средств, используемых в цепочке производства топливной щепы, рубильная машина является наиболее энергоемкой, сложной и дорогостоящей.

To date, mobile chipper, which serves to produce clean and renewable fuel is important. From the list of technical means used in the production chain of wood chips, chipper is the most energy-intensive, complex and costly.

Введение. Лес – один из важнейших природных ресурсов Республики Беларусь. Он занимает порядка 38,5% всей территории республики. В жизни общества лес выполняет две основные функции: является источником древесины и других продуктов (живицы, лекарственного сырья, ягод и др.) и важным природно-защитным фактором, так как способствует сохранению и накоплению влаги, предотвращает ветровую и водную эрозию почвы и т. п. Поэтому грамотное использование лесных ресурсов является одним из основных требований эффективного лесопользования. Производство изделий из древесины образует комплекс разнообразных сложных технологических процессов, тесно взаимосвязанных между собой. Комплекс производства в зависимости от назначения, вида потребляемого сырья и степени переработки его в готовую продукцию можно разделить условно на две составляющие (рис. 1).

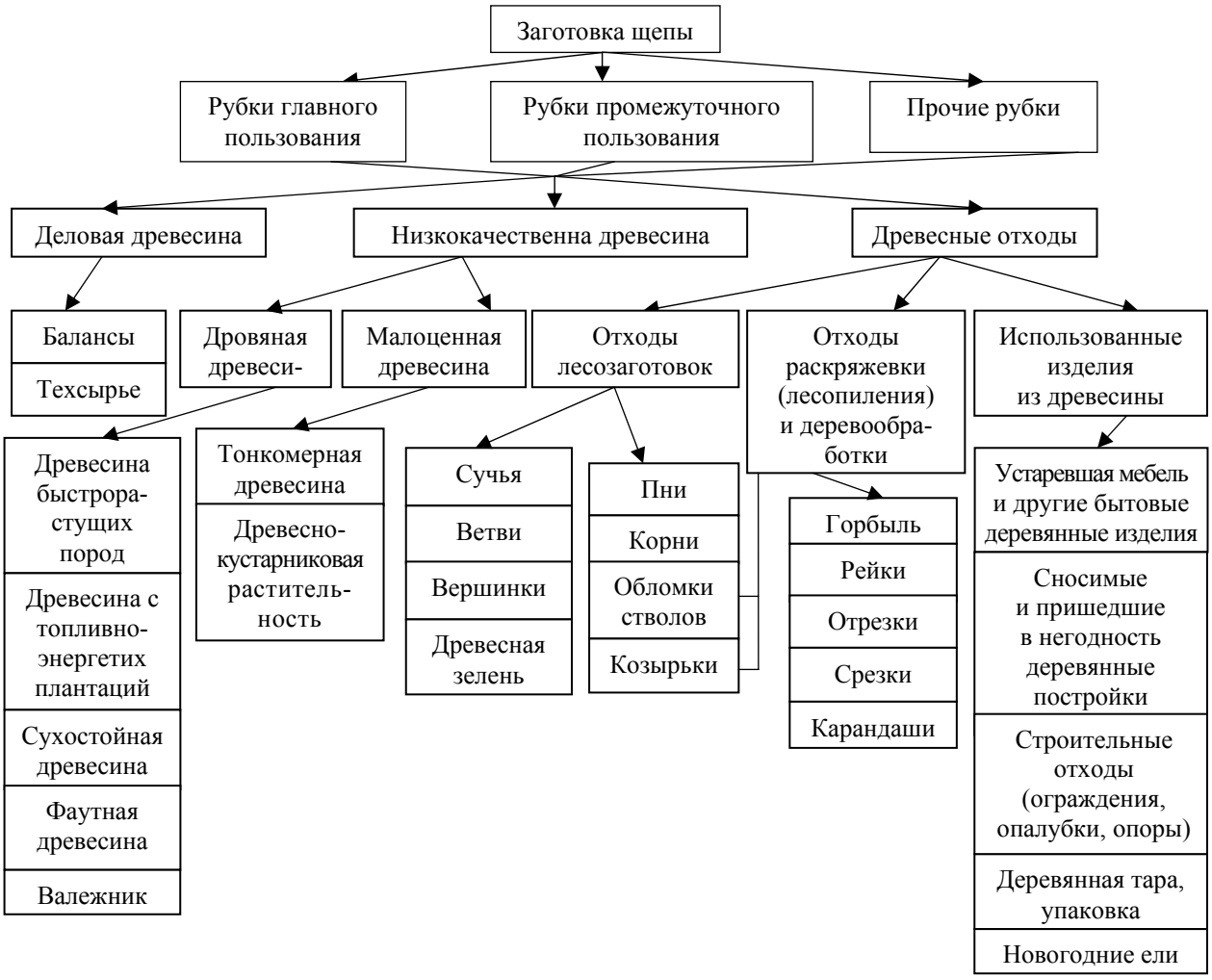


Рис. 1. Источники сырья для производства щепы

В первую составляющую входят все производства, связанные главным образом с добычей сырья, его транспортировкой и подготовкой к переработке, зачастую с выработкой полуфабрикатов или готовой продукции в небольшом объеме. Во вторую составляющую входят производства, основная цель которых – переработка сырья и материалов, полученных от первой составляющей производств и выработка окончательной готовой продукции или полуфабрикатов, изготовленных в результате глубокой переработки первичного сырья. Как и в первой, так и во второй составляющей лесопромышленного комплекса неизбежно образуются отходы. Начиная с первоначальной стадии обработки – заготовки леса и вывозки хлыстов (сортиментов) и заканчивая последней стадией – обработка древесины, данные процессы сопровождаются отходами, которые в дальнейшем практически не используются в производстве.

Так, в процессе изготовления пилопродукции получается большое количество отходов: горбылей, реек, вырезок и т. п. Они являются той частью древесного сырья, которая не используются в основной продукции. Например, можно выделить лесопильное производство, количество древесных отходов в котором составляет 35–42%, в мебельном производстве – 50–65% от поступивших пиломатериалов, производстве фанеры – 50–55%.

Основная часть. Одним из путей решения задачи комплексного использования древесины является переработка древесных отходов на щепу, которая является сырьем для целлюлозно-бумажной и гидролизной промышленности, производства древесно-волокнистых и древесно-сружечных плит, а также биотопливной промышленности. Использование в той или иной промышленности древесного топлива в виде щепы зависит главным образом от основных показателей, характеризующих ее качество. Такими показателями являются: соотношение древесины различных пород, размерная характеристика частиц щепы, процентное содержание частиц различной величины (фракционный состав), степень присутствия различных примесей (засоренность щепы), качество поверхности среза торцевых концов отдельных частиц щепы (для щепы, предназначенной для переработки в продукты целлюлозно-бумажной промышленности). В зависимости от этих параметров выделяют технологическую, топливную и зеленую щепу (рис. 2). К параметрам последних двух видов щепы предъявляются наименьшие требования, характеризующие ее качество.

На сегодняшний день из всех энергетических видов топлива экологически чистым и возобновляемым является древесное. Загрязнение окружающей среды таким техногенными катастрофами, как пролив из пробоин в нефтеналивных танкерах, аварии на газопроводах, электростанциях, в том числе АЭС, полностью исчезают при использовании древесного топлива. А опасность взрывов, аварий, пролива горючего, вредных выбросов просто незначительна по сравнению с ископаемыми видами топлива.

Рис. 2. Классификация и использование щепы

Все древесное сырье, идущее для производства щепы, измельчается при помощи рубильных машин. На данный момент в Республике Беларусь используется широкая гамма мобильных рубильных машин различных производителей. Среди иностранных машин доминируют такие марки, как «Jenz», «Kesla», «Heizohack», «Farmi». Отечественный парк рубильных машин представляют: РУП «Минский тракторный завод», ОАО «Амкодор», ОАО «Белинкоммаш», ОАО «Мозырский машиностроительный завод» [1] (рис. 3).

Рис. 3. Самоходная рубильная машина «Амкодор 2902»

Как показал опыт использования биотоплива в передовых Европейских странах, для сбора, транспортировки, хранения и измельчения отходов лесозаготовок и деревообработки, рубок промежуточного пользования, низкокачественной и другой древесины необходимо иметь широкий спектр специализированных машин и необходимых для них технологий. Исходя из опыта создания в Беларуси лесных, погрузочных и транспортных машин, наличия развитой службы сервиса, основой системы машин для производства топливной щепы могут стать отечественные лесозаготовительные машины.

В процессе эксплуатации рубильных машин возникают расходы на ремонт и обслуживание, которые, в свою очередь, влияют на себестоимость заготавливаемой щепы. По этой причине немаловажно правильно эксплуатировать и вовремя обслуживать машину для заготовки щепы. Однако даже своевременное обслуживание машины не может обеспечить стабильную ее работу. Только грамотно запроектированная машина будет иметь высокие показатели надежности (ремонтопригодности, долговечности и т. п.). Надежная работа рубильной машины непосредственно зависит от долговечности работы основных ее составляющих, таких как остов, или базовая машина, энергетический модуль, рубильный модуль, устройство загрузки (гидроманипулятор).

Для качественной заготовки щепы различным рубильным машинам необходимы непосредственно одинаковые достаточно дорогостоящие расходные материалы. К ним относятся: ножи, крепления ножей, болты и т. д. Так, к примеру, периодичность заточки инструмента машины МР-40 составляет порядка 400 насыпных м^3 щепы, после чего необходима снова перезаточка, после 6–8 заточек необходима замена резца. Замена или заточка резца могут происходить и гораздо раньше в связи неблагоприятными условиями эксплуатации (мерзлая древесина, сырье с металлическими включениями), а также непосредственно зависят от качества самого резца (от технологии изготовления и материала).

Немаловажным параметром рубильной машины является мощностный. Так, например, по данным эксплуатации установлено, что неправильный выбор мощности, а также расположение двигателя и его жесткое крепление уже через 500–600 моточасов эксплуатации может привести к таким поломкам, как выход из строя коллектора, его прокладок, датчика давления и т. д. Всех этих неполадок можно избежать благодаря грамотному обоснованию мощности и компоновочных параметров при помощи динамической модели.

Остов, или базовая машина, наиболее устойчива к возмущающему воздействию от рабочих операций рубильной машины. Пагубное воздействие в данном случае связано в основном с транспортной операцией.

Нужно уделять внимание выбору и проектированию загрузочного механизма (гидроманипулятора), так как его работа напрямую связана с общей производительностью рубильной машины в целом. Поломки стрелы, шарнирного соединения колонны-стрелы, гидроцилиндра рукояти и грейфера могут произойти уже при 600–700 моточасах эксплуатации, что вызовет простой и незапланированные издержки рубильной машины.

Работа 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. Колебания – это негативные явления, поскольку они передаются составным элементам конструкции и могут влиять на нормальную работу машины и ее систем управления. Из-за вибрации увеличиваются динамические нагрузки в элементах конструкции, в результате чего снижается несущая способность деталей и возникает их разрушение. Так, например, после эксплуатации 500 моточасов отечественной рубильной машины в лесохозяйственном предприятии из-за вибрации вышли из строя электроприборы и крепления коллектора двигателя.

Вибрация порождает шум и оказывает вредное воздействие на оператора, который всегда находится непосредственно рядом с рубильным модулем. Наиболее вредное воздействие на организм человека оказывают низкочастотные колебания. Опыт эксплуатации показывает, что операторы имеют повышенную утомляемость, что снижает производительность их работы. Поэтому каждый важный элемент машины и непосредственно кабина оператора должны быть защищены виброизоляторами. А в некоторых случаях остов рубильной машины должен быть подрессорен (рис. 4).

Рис. 4. Подрессоренный остов рубильной машины «Jenz HEM 420»

Рубильные машины, которые оснащены вентиляторами для удаления щепы из рубильного модуля, в некоторых случаях испытывают проблемы с их эксплуатацией (наблюдается разбитие лопаток вентилятора). При назначении радиальных размеров лопаток необходимо следить за тем, чтобы их окружная скорость не превышала некоторого предела, так как при больших окружных скоростях лопаток вентилятора щепа может сильно дробиться. Увеличение быстроходности вентилятора рубильной машины, как правило, сопровождается значительным увеличением мощности, которая расходуется как на пневматические потери, так и на механическое выбрасывание щепы. При определенных условиях последнее становится не только нерациональным, но и вредным, так как вылетая с большими скоростями, частицы щепы будут дробиться, что снизит их технологические показатели [2]. При необходимости удаления щепы с рубильного модуля пневматическим способом вентиляционная способность вентилятора может ухудшаться из-за большой влажности измельчаемой древесины. В таких случаях рубильные машины с верхним выбросом щепы должны быть оборудованы устройством, которое обеспечивает дополнительную подачу воздуха. Такое устройство включает створки жалюзей, которые при открытии подают дополнительный приток воздуха для увеличения вентиляционной способности вентилятора (рис. 5).

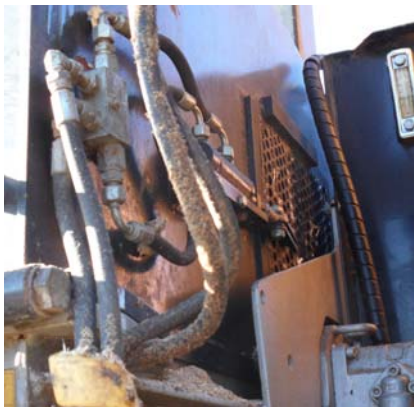


Рис. 5. Окно добавочного воздуха самоходной рубильной машины «Амкодор 2902»

Заключение. Следует отметить, что при разработке новой техники наравне с собственным опытом лесного машиностроения необходимо учитывать конструктивные параметры прогрессивных моделей зарубежных производителей. Ввиду этого при проектировании новых рубильных машин необходимо производить анализ конструктивных особенностей и выбор направлений совершенствования существующей техники отечественного и зарубежного производства. В процессе проведения такого анализа можно определить оптимальные параметры необходимых конструктивных элементов рубильной машины, таких как ограждение остекления кабины или использование стекла повышенной прочности, защитный кожух двигателя, предотвращающий засорение древесной пылью, что может в дальнейшем привести к перегреву двигателя. В целях удобства и повышения комфорта оператора органы управления как энергетическим, так и рубильным модулем должны быть размещены непосредственно в кабине оператора.

Все это позволяет в процессе эксплуатации определить направления на повышение производительности работы рубильных машин, которая прямым образом связана со снижением себестоимости заготавливаемой щепы и с увеличением прибыли от реализации древесного продукта.

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.

Поступила 15.03.2012

УДК 656*02:656*07

Т. К. Балгабеков, кандидат технических наук, профессор
(Карагандинский государственный технический университет, Республика Казахстан)

ТРАНСПОРТНЫЕ КОРИДОРЫ КАЗАХСТАНА: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Доля транспортной отрасли в ВВП страны составляет 9%. За последние десять лет в развитие транспортно-коммуникационного комплекса вложен 1,4 трлн. тенге. И еще 4,2 млрд. дол. составили иностранные инвестиции. Объем перевозимых грузов за эти годы возрос до 2,5 млрд т, или в 1,8 раза. Количество обслуженных авиапассажиров выросло до 6 млн., или в 5,5 раза. Пропускная способность железных дорог увеличилась до 260 млн. т, или в 1,5 раза. За годы независимости построено 740 км новых железных дорог (Хромтау – Алтынсарино – 402 км, Аксу – Дегелен – 183 км, Шар – Усть-Каменогорск – 151 км), что сократило расстояние перевозок внутри страны на более чем 700 км [1].

The share of transport sector in the country's GDP is 9%. Over the past ten years in the development of transport and communication complex embedded T1 4 trillion. And another $ 4.2 billion were foreign investments. The volume of goods transported over the years increased to 2.5 billion tons, or 1.8 times. The number of passengers served has grown to 6 million passengers, or 5.5 times. The capacity of the railways has increased to 260 million tons, or 1.5 times. Since independence, built 740 km of new railways (Khromtau – Altynsarino – 402 km, Aksu – Degelen – 183 km, Shar – Ust-Kamenogorsk – 151 km), which reduced to a 700 km distance transport within the country [1].

Введение. Президент Республики Казахстан Н. А. Назарбаев отметил: *«Для резкого увеличения инвестиций следует шире использовать огромный транзитный потенциал нашей страны.*

...Активнее искать пути максимального содействия беспрепятственному перемещению товаров, рабочей силы и туристов.

...Активизировать региональное межгосударственное сотрудничество по развитию транспортных коридоров, особенно в рамках интеграционных соглашений.

На востоке страны Хоргос, на западе – порт Актау – должны стать реальными свободными экономическими зонами, то есть открытыми воротами Казахстана».

В стране создана сеть транзитных маршрутов по трем приоритетным направлениям: 1) Россия – страны Европы и Азии; 2) Китай, Япония и страны Юго-Восточной Азии; 3) Страны Центральной Азии, Закавказья, Черного моря, Персидского залива и Турция. В каждом из указанных направлений по территории страны проходит 5 сложившихся международных транспортных коридоров: *Северный коридор Трансазиатской железнодорожной магистрали* (ТАЖМ, Западная Европа – Китай, Корея, Япония через Россию и Казахстан (участок Достык – Астана – Петропавловск)); *Южный коридор ТАЖМ* (Юго-Восточная Европа – Китай и Юго-Восточная Азия через Турцию, Иран, страны ЦА и Казахстан (участок Достык – Сарыагаш); *Центральный (среднеазиатский) коридор* (Центральная Азия – Россия и страны ЕС (участок по РК Сарыагаш – Арысь – Кандагач – Озинки); «*Север – Юг*» (Северная Европа – страны Персидского залива через Россию и Иран с участием Казахстана на участке морпорт Актау – регионы Урала и Актау – Атырау); «*ТРАСЕКА*» (Восточная Европа – Южный Кавказ – Каспийское море – Центральная Азия (участок по РК Достык – Актау). Дополнительно к этим коридорам присоединяется *Западная Европа – Западный Китай*. Внутри Казахстана эти коридоры делятся на 6 железнодорожных и 6 автомобильных транспортных коридоров.

На сегодняшний день товарооборот с РФ составил 8,5 млрд. дол., странами ЕС – 38,2 млрд. дол., КНР – 14,8 млрд. дол., странами ЦА, Индией, Ираном – 4,4 млрд. дол. Общий товарооборот Республики Казахстан со странами мира – 81,3 млрд. дол. США.

Через воздушное пространство страны проходит 4 международных воздушных коридора. В рамках ГПФИИР реализуется Программа по развитию транспортной инфраструктуры на 2010–2014 годы, которая предусматривает реализацию свыше 60 инфраструктурных проектов на общую сумму 2,8 трлн. тенге. За эти годы планируется построить около 1,5 тыс. км новых и электрифицировать 1 тыс. 700 км железных дорог, построить и реконструировать около 50 тыс. км автодорог, провести работы по реконструкции и модернизации аэропортовой инфраструктуры, развитию национального морского торгового флота, инфраструктуры морских портов.

В декабре 2009 года президенты Беларуси, Казахстана и России подписали Декларацию о формировании Единого экономического пространства, которое включает 165 млн. человек, мощности тысяч предприятий, колоссальные

природные ресурсы. Создан и успешно функционирует Таможенный союз (ТС) Беларуси, Казахстана и России. В результате создания Таможенного союза сформировалась единая таможенная территория, серьезный импульс получила взаимная торговля, упрощены многие процедуры, сократились расходы и время на перемещение товаров внутри Таможенного союза. Впервые на постсоветском пространстве возник наднациональный орган – Комиссия Таможенного союза. Результаты взаимной торговли впечатляют, и даже самые осторожные эксперты предрекают членам Таможенного союза к 2015 году прибавку в 15% к ВВП.

Проблемы, которые надо решать до 2015 года [1].

Автодорожная отрасль:

– приведение в хорошее и удовлетворительное состояние 80% автодорог республиканской и 65% местной сети;

– введение платной системы на отдельных участках автодорог республиканского значения.

Железнодорожная отрасль:

– повышение скорости грузового сообщения на 15–20%, а по основным международным транспортным коридорам на 20–30%;

– снижение уровня износа активов железнодорожного транспорта в среднем до 60%;

– реализация новой тарифной политики в железнодорожной отрасли.

Гражданская авиация:

– проведение реконструкции взлетно-посадочных полос, пассажирских и грузовых терминалов в 13 аэропортах республики;

– увеличение числа международных воздушных сообщений в 2 раза по сравнению с 2010 годом и внедрение европейских авиационных стандартов.

Водный транспорт:

– доведение количества торгового флота до 11 единиц, в том числе 9 танкеров и 2 сухогрузных судов;

– обновление и модернизация государственного технического речного флота в количестве 24 единиц;

– реконструкция и модернизация Усть-Каменогорского, Бухтарминского и Шульбинского шлюзов.

Автомобильный транспорт:

– снижение количества транспортных происшествий на 8% к уровню 2009 года;

– внедрение экологических стандартов «Евро-3» и «Евро-4»;

– внедрение цифровых тахографов на международных перевозках.

Перспективы. В целом в 2015 году планируется завершить реконструкцию всех 6 международных автодорожных коридоров общей протяженностью 8415 км. Для Казахстана основной точкой международного транзита является международный железнодорожный пограничный переход с Китаем Достык – Алашанькоу. В результате принятых мер будет увеличена пропускная способность участка Актогай – Достык и пограничного перехода Достык – Алашанькоу: в 2011 году до 16,5 млн. т, а к 2020 – 20 млн. т. Формированию новых маршрутов в направлении Восток – Запад и Север – Юг как для казахстанской продукции, так и транзитных грузов способствуют реализуемые ж.-д. проекты «Жетыген – Коргас» и «Узень – госграница с Туркменистаном». Для дальнейшего формирования оптимальной сети железных дорог до 2020 года предусматривается реализация других проектов строительства ж.–д линий: «Жезказган – Бейнеу» (988 км), «Аркалык – Шубарколь» (212 км), «Ералиево – Курык» (14,4 км). Также планируется электрификация около 1800 км участков железных дорог: «Макат – Кандыагаш» (392 км), «Алматы – Актогай» (541 км), «Актогай – Моинты» (522 км), «Достык – Актогай» (309 км).

В рамках Таможенного союза Казахстан рассчитывает стать надежным транзитным коридором между странами, граничащими с южными границами Таможенного союза, и участниками организации. «Со временем транспортный коридор Достык – Хоргос – Москва – Брест может превратиться в экономический коридор. В этой связи сухопутный маршрут через страны ТС может рассчитывать на повышение грузопотока в направлении Китай – Европа на 15–18%». Примером может служить запуск 28 октября 2011 г. контейнерного поезда «Сауле» по маршруту Чунцинь (КНР) – Достык (РК) – Клайпеда (Литва) – Антверпен (Бельгия). Время следования от станции Достык – порт Клайпеда – 10 сут. В декабре 2011 года планируется запуск аналогичного контейнерного поезда «Балтика Транзит II» между Эстонией и Казахстаном. Планируется запуск контейнерного поезда «Меркурий» между Россией, Беларусью и Казахстаном.

Основным критерием эффективности работы станции по обслуживанию перевозок, несомненно, является доход станции, сформированный на данных перевозках. Таким образом, актуальной задачей является разработка методики расчета дохода станции, обслуживающей перевозки сырья предприятий.

Разработанная методика направлена на выявление функциональной зависимости дохода операторской компании от основных показателей (объем, расстояние перевозок, количество вагонов в отправке, доля обратной загрузки) и технологии перевозок (собственные, арендованные, АО «НК «КТЖ» вагоны, локомотивы).

Укрупненно доход операторской компании (Д), обеспечивающей железнодорожные перевозки, рассчитывается по формуле [2, 3]:

$$Д = \sum Д_{кл} - И_{пр}, \quad (1)$$

где $\sum Д_{кл}$ – договорная плата предприятий-клиентов за услуги, предоставляемые операторской компанией; $И_{пр}$ – общие приведенные издержки операторской компании.

Считая, что до заключения договора транспортно-экспедиционного обслуживания предприятия пользовалось услугами АО «НК «КТЖ», для привлечения клиентов предполагаем определенную скидку с провозной платы, предлагаемой АО «НК «КТЖ»:

$$\sum Д_{кл} = \frac{Q}{m} \cdot P_{ваг.КТЖ}^{лок.\ КТЖ} \cdot \left(1 - \frac{\mu}{100}\right), \quad (2)$$

или в случае использования варианта с обратной загрузкой (например, гранулированным шлаком) в адрес сырьедобывающего предприятия:

$$\sum Д_{кл} = \frac{Q \cdot (1+\lambda)}{m} \cdot P_{ваг.КТЖ}^{лок.\ КТЖ} \cdot \left(1 - \frac{\mu}{100}\right), \quad (3)$$

где Q – объем перевозок, т/год; λ – доля обратной загрузки в адрес отправителя предприятия от общего объема перевозимого сырья; m – количество вагонов в отдельной отправке; $P_{ваг.КТЖ}^{лок.КТЖ}$ – провозная плата перевозок сырья локомотивом АО «НК «КТЖ» в вагонах АО «НК «КТЖ» за отдельную отправку (маршрут), тенге; μ – скидка клиентам, %.

$$И_{пр} = \sum К / T_{ок} + НИ + А + И_{тар} + Э_{пс} + Э_{ар} + Э_{ш}, \quad (4)$$

где $\sum К$– суммарные капитальные затраты на приобретение необходимого подвижного состава, тенге; $T_{ок}$ – нормативный срок окупаемости подвижного состава, лет; НИ = $\sum К \cdot 0{,}02$ – налог на имущество, тенге; А – амортизационные отчисления, тенге; $И_{тар}$ – издержки операторской компании за пользование инфраструктурой и подвижным составом АО «НК «КТЖ»; $Э_{пс}$ – эксплуатационные расходы на содержание собственного (арендованного) подвижного состава, тенге; $Э_{ар}$ – расходы операторской компании подвижного состава (в зависимости от применяемой технологии перевозки), тенге; $Э_{ш}$ – эксплуатационные расходы на содержание штата офисных сотрудников операторской компании, обслуживающих данные перевозки, тенге.

Капитальные затраты, как и издержки на амортизацию, включаются только при использовании технологии перевозок в собственных вагонах (локомотивах):

$$\sum К = N_{лок} \cdot С_{лок} + N_{ваг} \cdot С_{ваг}, \quad (5)$$

где $N_{лок}$, $N_{ваг}$ – количество физических локомотивов, вагонов в обороте с учетом резерва; $С_{лок}$, $С_{ваг}$ – стоимость одного локомотива, полувагона, тенге.

$$А = \sum К / T_{сл}, \quad (6)$$

где $T_{сл}$ – нормативный срок службы соответствующего подвижного состава, лет.

Расчет издержек операторской компании за пользование инфраструктурой и подвижным составом АО «НК «КТЖ» производится по следующим формулам в зависимости от выбранной технологии перевозок:

$$И_{тар} = \frac{Q}{m} \cdot P_{ар.ваг}^{лок.КТЖ}, \quad (7)$$

$$И_{тар} = \frac{Q}{m} \cdot P_{соб.ваг}^{лок.КТЖ}, \quad (8)$$

$$И_{тар} = \frac{Q}{m} \cdot P_{ар.ваг}^{соб.лок}, \quad (9)$$

$$И_{тар} = \frac{Q}{m} \cdot P_{соб.ваг}^{соб.лок}, \quad (10)$$

где $P_{ар.ваг}^{лок.КТЖ}$ – провозная плата перевозок сырья локомотивом АО «НК «КТЖ» в арендованных вагонах за отдельную отправку (маршрут), тенге; $P_{соб.ваг}^{лок.КТЖ}$ – провозная плата перевозок сырья локомотивом АО «НК «КТЖ» в собственных вагонах за отдельную отправку (маршрут), тенге; $P_{ар.ваг}^{соб.лок}$ – провозная плата перевозок сырья собственным локомотивом в арендованных вагонах за отдельную отправку (маршрут), тенге; $P_{соб.ваг}^{соб.лок}$ – провозная плата перевозок сырья собственным локомотивом в собственных вагонах за отдельную отправку (маршрут), тенге.

$$Э_{ПС} = N_{лок} \cdot \left(С_{лок}^{эксп} + С_{лок}^{бриг}\right) + N_{ваг} \cdot С_{ваг}^{эксп} \cdot 365, \quad (11)$$

где $С_{лок}^{эксп}$ – стоимость содержания одного локомотива в год, тенге; $С_{лок}^{бриг}$ – стоимость содержания локомотивных бригад на обслуживание одного локомотива в год, тенге; $С_{ваг}^{эксп}$ – стоимость содержания одного вагона в сутки, тенге.

Издержки операторской компании на аренду подвижного состава включаются только в случае использования технологии перевозок в арендованных вагонах (локомотивах) [2, 4]:

$$Э_{пс} = N_{лок} \cdot С_{лок}^{ар} \cdot 365 + N_{ваг} \cdot С_{ваг}^{ар} \cdot 365, \quad (12)$$

где $С^{ар}_{лок}$, $С^{ар}_{ваг}$ – затраты на аренду одного локомотива, вагона в сутки, тенге.

$$N_{лок} = \frac{\theta_{лок}}{\left(365 \cdot 24 - t_{рем}\right) \cdot k_{исп}} \cdot \frac{Q}{m}, \qquad (13)$$

где $\theta_{лок}$ – время полного оборота локомотива, ч; $t_{рем}$ – приведенное время на все виды ремонта в год, ч; $k_{исп}$ – коэффициент использования локомотива.

$$N_{лок} = n \cdot m \cdot \left(1 - \frac{\varphi}{100}\right), \qquad (14)$$

где φ – резерв (запас) вагонов, %; n – количество физических составов (вертушек), задействованных на перевозках:

$$n = \frac{Q}{m} \cdot \frac{\theta}{365 \cdot 24}, \qquad (15)$$

где θ – время полного оборота составов, ч.

Заключение. Таким образом, опираясь на формулы (5)–(15), расчет дохода операторской компании по обеспечению сырьем предприятии открытых разработок, сводится к решению следующих зависимостей:

– для перевозок подвижным составом АО «НК «КТЖ»:

$$Д^0 = \frac{Q \cdot (1+\lambda)}{m} \cdot P^{лок.КТЖ}_{ваг.КТЖ} \cdot \frac{\mu}{100}; \qquad (16)$$

– для технологии перевозок в арендованных вагонах локомотивами АО «НК «КТЖ»:

$$Д^1 = \frac{Q}{m} \times \left[(1+\lambda) \cdot P^{лок.КТЖ}_{ваг.КТЖ} \cdot \left(1 - \frac{\mu}{100}\right) - \right.$$
$$- \frac{\theta}{365 \cdot 24} \cdot m \cdot \left(1 - \frac{\varphi}{100}\right) \cdot \left(С^{эксп}_{ваг} \cdot 365 + \right.$$
$$\left. \left. + С^{ваг}_{ар} \cdot 365\right) - P^{лок.КТЖ}_{ар.ваг}\right] - Э_{шт}; \qquad (17)$$

– для технологии перевозок в собственных вагонах локомотивами АО «НК «КТЖ»:

$$Д^2 = \frac{Q}{m} \cdot \left[(1+\lambda) \cdot P^{лок.КТЖ}_{ваг.КТЖ} \cdot \left(1 - \frac{\mu}{100}\right) - \right.$$
$$- \frac{\theta}{365 \cdot 24} m \cdot \left(1 - \frac{\varphi}{100}\right) \cdot \left(С_{ваг} \cdot \left(\frac{1}{T^{ваг}_{ок}} + \right.\right.$$
$$\left. \left. + \frac{1}{T^{ваг}_{сл}} + 0,02\right) + С^{эксп}_{ваг} \cdot 365 - P^{лок.КТЖ}_{ар.ваг}\right] - Э_{шт}; \qquad (18)$$

– для технологии перевозок в арендованных вагонах собственными локомотивами:

$$Д^3 = \frac{Q}{m} \cdot \left[(1+\lambda) \cdot P^{лок.КТЖ}_{ваг.КТЖ} \cdot \left(1 - \frac{\mu}{100}\right) - \right.$$
$$- \frac{\theta}{(365 \cdot 24 - t_{рем}) \cdot k_{исп}} \cdot \left(С_{лок} \cdot \left(\frac{1}{T^{лок}_{ок}} + \right.\right.$$
$$\left. \left. + \frac{1}{T^{лок}_{сл}} + 0,02\right) + С^{эксп}_{ваг} + С^{бриг}_{лок}\right) - \frac{\theta}{365 \cdot 24} \cdot m \times$$
$$\times \left(1 - \frac{\varphi}{100}\right) \cdot \left(С^{эксп}_{ваг} \cdot 365 + С^{ар}_{ваг} \cdot 365\right) -$$
$$\left. - P^{соб.лок}_{соб.ваг}\right] - Э_{шт}; \qquad (19)$$

– для технологии перевозок в собственных вагонах собственными локомотивами:

$$Д^4 = \frac{Q}{m} \cdot (1+\lambda) \cdot P^{лок.КТЖ}_{ваг.КТЖ} \cdot \left(1 - \frac{\mu}{100}\right) -$$
$$- \frac{\theta}{(365 \cdot 24 - t_{рем}) \cdot k_{исп}} \cdot \left(С_{лок} \cdot \left(\frac{1}{T^{лок}_{ок}} + \frac{1}{T^{лок}_{сл}} + \right.\right.$$
$$\left. \left. + 0,02\right) + С^{эксп}_{лок} + С^{бриг}_{лок}\right) - \frac{\theta}{365 \cdot 24} \cdot m \times$$
$$\times \left(1 - \frac{\varphi}{100}\right) \cdot \left(С_{ваг} \left(\frac{1}{T^{ваг}_{ок}} + \frac{1}{T^{ваг}_{сл}} + 0,02\right) + \right.$$
$$\left. + С^{эксп}_{ваг} \cdot 365\right) - P^{соб.лок}_{соб.ваг}\Big] - Э_{шт}. \qquad (20)$$

Полностью расписать значения провозной платы и оборота вагонопотоков не является целесообразным, так как определенно можно сказать, что целевая функция негладкая, многоэкстремальная. Из этого следует, что для оптимизации целевой функции приемлемы лишь простые численные методы, обеспечивающие достаточную сходимость при значительных затратах машинного времени.

Литература

1. Министерство транспорта и коммуникации Республики Казахстан. – Режим доступа: http://mtc.gov.kz/index.php?lang=ru. Дата доступа: 01.03.2012.

2. Акулиничев, В. М. Организация перевозок на промышленном транспорте / В. М. Акулиничев. – М.: Транспорт, 1983. – 219 с.

3. Гершвальд, А. С. Оперативное управление процессом грузовых перевозок на железнодорожном транспорте в условиях рыночной экономики: дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.22 / А. С. Гершвальд; МГТУ. – М., 2004. – 376 л.

4. Александров, А. Э. Расчет и оптимизация транспортных систем с использованием моделей (теоретические основы и методология): дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.08 /А. Э. Александров; УрГУПС. – Екатеринбург, 2009. – 285 л.

Поступила 14.03.2012

УДК 638.383

М. А. Воронина, ассистент (ФГБОУ ВПО «Ухтинский государственный технический университет», Российская Федерация, Республика Коми)

АНАЛИЗ И СОСТОЯНИЕ ЛЕСНЫХ ДОРОГ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

В статье рассматривается сложившаяся в Республике Коми к 2011 году ситуация с лесозаготовительным производством и транспортным освоением лесного фонда; возможность обеспечения освоения требуемых дополнительных 13 млн. м^3 расчетной лесосеки без существенного увеличения протяженности сети круглогодичных лесовозных дорог постоянного действия, улучшения качества действующих дорог, в первую очередь, обеспечения их круглогодичной работы.

The article deals with the established in the Komi Republic to the 2011 situation with the production and harvesting, transport development of forest; ensure the required additional 13 million cubic meters of annual allowable cut without significantly increasing the length of the network round-reviews progress of the permanent forest roads, improve the quality of existing roads, primarily to ensure year-round work.

Введение. Обеспечение развития лесопромышленного комплекса Республики Коми неразрывно связано со стабильным обеспечением производств круглыми лесоматериалами необходимого качества в требуемых объемах. В связи с улучшением макроэкономической ситуации в России и на внешних рынках возросла потребность в продукции лесопромышленного комплекса, что привело к увеличению объема лесозаготовок в 2011 году. На рассмотрении находятся проекты строительства и реконструкции перерабатывающих мощностей, позволяющие увеличить освоение расчетной лесосеки до 20–25 млн. м^3 в год.

Решение задачи удвоения объемов лесозаготовительных работ должно сопровождаться скоординированными усилиями государства и лесозаготовительных компаний по транспортному освоению лесного фонда, направленными на реконструкцию существующих дорог и мостов с целью увеличения их несущей и пропускной способности; на строительство новых дорог и дорожных сооружений в малоосвоенные лесные массивы.

Основная часть. Согласно проведенным расчетам, для поддержания расчетной лесосеки на уровне 20 млн. м^3 необходимо строительство около 5000 км лесовозных дорог постоянного действия, выполняющих функции лесовозных магистралей и грузосборочных дорог; реконструкции подлежат 789 км автодорог общего пользования, нужных для организации вывозки леса. Необходимо строительство более 42 мостов крупных и средних мостов, из них 6 мостов длиной более 100 м.

Общий объем затрат на строительство с 2010 по 2018 год, без учета стоимости реконструкции дорог общего пользования, составит 33,8 млрд. руб., из них 31,9 млрд. руб. на строительство дорог и 1,9 млрд. руб. на строительство мостов.

Увеличение освоения расчетной лесосеки до 20 млн. м^3 в год позволит получить дополнительно 2,7 млрд. руб. ежегодно в доход республиканского бюджета, и 5,4 млрд. руб. в доход федерального бюджета (без учета платежей за пользование лесным фондом).

Дорожный фонд лесовозных дорог в Республике Коми в настоящий момент насчитывает более 53 тыс. км дорог, из которых дорог круглогодичного действия – 4,3 тыс. км (<10%). Подавляющее большинство лесовозных дорог являются бесхозяйными, эксплуатируются периодически при освоении прилегающих лесных участков, а в остальное время не содержатся, приходя в состояние, непригодное для вывозки леса.

Обследование состояния сети лесовозных дорог с диагностикой состояния дорожного полотна, мостов и других элементов дороги в республике никогда не проводилось. В 2005–2010 годах государственным учреждением Республики Коми «Территориальный фонд информации по природным ресурсам и охране окружающей среды Республики Коми» было выполнено камеральное (путем опроса лесозаготовителей, по космическим снимкам и т. п.) изучение и картографирование состояния сети лесовозных дорог, в результате которого выявлено следующее:

– в настоящий момент в основном эксплуатируются грунтовые лесовозные дороги, оставшиеся от лесозаготовительных предприятий советского периода;

– лесозаготовки носят ярко выраженный сезонный характер, а летняя вывозка леса в значительной мере зависит от погодных условий, влияющих на состояние грунтовых лесовозных дорог;

– лесной фонд вблизи дорог круглогодичного действия и периодически действующих летних лесовозных дорог в значительной степени истощен рубками прошлых лет.

Протяженность лесовозных дорог Республики Коми

Лесничество	Дорог без покрытия, в т. ч. выведенных из эксплуатации, км		Дорог с покрытием, км	УЖД, км	Железных дорог широкой колеи
	всего	круглогодичного действия			
Всего	53 260	4 320	3 380	100	1 020

Ежегодно вводится в действие средствами лесозаготовителей 50–60 км дорог круглогодичного действия и 100–110 км дорог зимнего действия. При этом в связи с удорожанием строительства вводятся в действие так называемые «лежневые» дороги, имеющие срок службы не более 6 лет и, фактически, являющиеся временными. Строят и содержат дороги летнего действия только крупнейшие лесозаготовительные предприятия, такие как ОАО «Монди – СЛПК», ООО «Лузалес», ЗАО «Леском». Малые лесозаготовительные предприятия осуществляют строительство преимущественно дорог зимнего действия.

В таблице приведена протяженность лесовозных дорог, действующих и периодически действующих, составленная на основе данных ГУ «ТФИ РК». В ней показано, что только 6% лесовозных дорог имеют покрытие и, соответственно, могут обеспечить бесперебойную, круглогодичную вывозку леса.

Расчет нормы строительства лесовозных дорог (магистралей и веток) при освоении лесного фонда проводился с использованием методики, изложенной в монографии Б. А. Ильина [1], исходя из стоимости строительства 1 км лесовозной дороги (ветки) 2 млн. руб. и себестоимости трелевки 100 руб./м^3/км. В среднем по республике норма протяженности составит 0,5 км на 1 км^2 площади лесного фонда.

Обеспеченность лесного фонда зимними лесовозными дорогами составляет в среднем по республике 0,4 км на 1 км^2 лесного фонда, что в целом удовлетворяет расчетной норме. Обеспеченность дорогами летнего действия составляет 0,05 км на 1 км^2, а дорогами с покрытием 0,02 км на 1 км^2, что в 10 и более раз меньше нормы. Общую обеспеченность лесного фонда дорогами можно оценить на уровне 10–12% от требуемого для освоения расчетной лесосеки в полном объеме.

В 2010 году достигнуто освоение 23% (около 7 млн. м^3) установленной по республике расчетной лесосеки (24,6 млн. м^3), а обеспеченность лесными дорогами оценивается существенно ниже 23%. Это показывает, что прилегающий к действующим грузосборочным дорогам лесной фонд в настоящее время эксплуатируется с повышенной нагрузкой, что в конечном итоге приведет к его быстрому истощению.

Заключение. В сложившейся ситуации не представляется возможным обеспечить освоение требуемых дополнительных 13 млн. м^3 расчетной лесосеки без существенного увеличения протяженности сети круглогодичных лесовозных дорог постоянного действия; улучшения качества действующих дорог, в первую очередь, обеспечения их круглогодичной работы.

Для реализации поставленной задачи была разработана Генеральная схема развития лесных дорог Коми [2], представляющая собой перечень мероприятий по строительству новых дорог и мостов, реконструкции существующих дорог общего пользования, которые при их реализации позволят обеспечить действующие и планируемые предприятия круглыми лесоматериалами в объеме до 20 млн. м^3 в год и в перспективе дадут возможность перейти к устойчивому, неистощительному лесопользованию и выполнению всего комплекса лесохозяйственных работ и противопожарных мероприятий в лесном фонде.

Литература

1. Сухопутный транспорт леса / Б. А. Ильин [и др.]. – М.: Лесная пром-сть, 1973. – С. 136.

2. Генеральная схема развития сети лесных дорог Республики Коми: проект / Правительство Республики Коми. – Сыктывкар, 2008. – 27 с.

Поступила 14.03.2012

УДК 630*371

Т. В. Коваленко, кандидат технических наук, доцент (Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С. М. Кирова, Российская Федерация)

ЗОНИРОВАНИЕ АРЕНДНЫХ ЛЕСНЫХ МАССИВОВ В СИСТЕМЕ ОПТИМИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНОГО ОСВОЕНИЯ ЛЕСОВ

В статье поднимаются вопросы зонирования арендных лесных массивов с учетом климатических факторов в целях рационального транспортного освоения лесов. Даются укрупненные принципы зонирования лесных массивов с учетом сезонности процесса вывозки заготовленной древесины. Приводится разделение лесных массивов на группы транспортной доступности. Также представлен метод учета климатических факторов через скорость движения лесовозного автопоезда.

In article questions zoning of rent large forests taking into account climatic factors with a view of rational transport development of woods are brought up. The integrated principles of zoning of large forests taking into account seasonal prevalence of process of logs hauling are given. Further, division of large forests into groups of transport availability is resulted. Also, it is presented a method of the account of climatic factors in speed of movement of forest trucks.

Введение. Обеспеченность арендных лесных массивов достаточной транспортной сетью продолжает оставаться одной из ключевых проблем современного лесного комплекса России [1, 2]. Решение этой проблемы является важнейшим пунктом в программе работы современного лесоперерабатывающего предприятия. Согласно существующему лесному законодательству [3], предприятие должно иметь план освоения лесов на десятилетний срок и составление такого плана невозможно без разработки оптимальной транспортной сети лесных дорог. Без более полного учета местных условий составление подобного плана представляется маловероятным.

Основная часть. Одним из факторов, максимально оказывающих влияние на лесные дороги, является климат. Значительная часть лесосырьевых баз располагается на территориях с неблагоприятными грунтово-гидрологическими условиями, что, с учетом местных климатических особенностей, и приводит к сезонности в работе лесозаготовительных и лесотранспортных участков предприятий. Таким образом, выявление степени влияния климатических факторов на процессы лесосечных и лесотранспортных работ является весьма важной и актуальной проблемой, особенно в последнее время, когда аномальные колебания климата вызывают значительные перерывы в работе предприятий или приводят к увеличению числа лесных пожаров.

При разработке системы организации транспортного освоения арендных лесных массивов следует выделить климатические факторы, оказывающие наибольшее влияние [4]. Как показывает практический опыт работы предприятий, больше всего сезонным климатическим изменениям подвержены именно пути лесотранспорта.

Транспортная сеть лесоперерабатывающих предприятий, как правило, опирается на сеть уже существующих автомобильных дорог с твердым покрытием, которые позволяют вести вывозку круглогодично, с применением автопоездов высокой грузоподъемности. Однако протяженность таких дорог невелика, что вынуждает предприятие вести собственное дорожное строительство. Как правило, имея ограниченные финансовые и материально-технические особенности, предприятие вынуждено вести строительство лесных дорог самых простейших типов.

В результате научно-исследовательских работ [5] было выяснено, что в лесотранспортном процессе наиболее зависимыми от погоды и климата являются технологические лесовозные дороги (усы), работоспособность которых определяется, прежде всего, влажностью грунта и его модулем деформации.

При создании системы оптимизации лесотранспортных процессов освоение лесных массивов с учетом влияния климатических факторов наиболее целесообразно начинать с зонирования территории лесосырьевой базы и лесотранспортных путей с учетом сезонности. При этом следует учитывать не только требования, предъявляемые к транспорту, но и принимать во внимание особенности лесосечных работ [6] для обеспечения непрерывности цепочки «лесосечные работы – лесотранспорт».

В качестве основных принципов укрупненного зонирования лесных массивов при их транспортном освоении можно указать следующие:

– фрагментация лесного массива непреодолимыми препятствиями в виде железнодорожных путей, не оборудованных переездами, ниток трубопроводов, водоохранных зон и т. д.;

– выделение зон безусловной зимней вывозки, определяемых препятствиями, преодолимыми только в зимний период. К таковым можно отнести пересекающие лесной массив крупные реки, на которых нет переправ круглогодового действия, протяженные болота и озера;

– выделение зон сезонной вывозки.

Разделение лесных участков по почвенно-грунтовым условиям

Группа	Типы леса	Характеристика
1	Брусничные и лишайниковые на сухих песчаных и супесчаных почвах	Высокая несущая способность, несколько снижающаяся в период весенне-осенней распутицы
2	Черничные свежие, кисличные, редко брусничные на дренированных супесчаных двучленных почвах и легкосуглинистых почвах	Средняя несущая способность, снижающаяся во время жидких осадков.
3	Долгомошные, черничные, влажные, крупнотравные, приручейные на подзолистых торфянистых, влажных подзолистых суглинистых и тяжелосуглинистых почвах	Временное избыточное увлажнение. Несущая способность минимальна в весенний период и во время жидких осадков
4	Сфагновые, багульниковые, таволговые, лог на мокрых и сырых болотных, болотно-подзолистых торфяных и торфянистых почвах	Высокое постоянное избыточное увлажнение с низкой несущей способностью.

Определение зон сезонной вывозки наиболее целесообразно производить в зависимости от несущей способности лесных грунтов или грунтово-гидрологических условий, поскольку этот параметр в наибольшей степени подвержен сезонным колебаниям в течение года.

Сезонное зонирование транспортной доступности следует увязывать с сезонным планированием лесозаготовительных работ [6], тем самым появляется возможность тесной синхронизации заготовки и вывозки древесины, что позволяет обеспечить более ритмичную поставку лесоматериалов на предприятие и снизить потери от продолжительного хранения древесины на лесных терминалах [7].

В зависимости от несущей способности [6] лесные почвогрунты могут быть разделены на 4 группы (таблица). Взяв эту классификацию за основу, можно выделить четыре зоны сезонной транспортной доступности по почвенно-грунтовым условиям:

I – круглогодичная вывозка

II – вывозка в зимний и летне-осенний период;

III – вывозка в зимний и летный период;

IV – только зимняя вывозка лесоматериалов.

В весенний период наиболее целесообразно вести вывозку по дорогам круглогодового действия либо, что предпочтительней, работать из запасов, собранных на терминалах у дорог с твердым покрытием и накопленных в ходе зимней заготовки, так как такая древесина менее подвержена порче и снижению качества.

Территориальное зонирование по сезонной транспортной доступности предпочтительней вести для всей арендной площади с тем, чтобы составить план освоения на весь срок аренды.

Таким образом, базовым моментом при дорожном зонирования является выбор ключевого критерия. Наиболее перспективным в этом отношении видится направление по использованию телеметрических данных работы транспортных средств.

Подобные программные комплексы достаточно широко внедряются и используются на некоторых предприятиях лесного комплекса Северо-Запада Российской Федерации [8, 9, 10]. Эти системы позволяют получить значительный объем данных об эксплуатации транспортного средства. Среди большого объема разнообразной телеметрической информации, снимаемой в ходе движения автопоезда, наиболее рационально опираться на среднюю скорость движения подвижного состава.

Скорость движения может служить основным индикатором состояния дороги [11] и использоваться системами оптимизации лесотранспортных процессов. Для учета изменений условий движения автомобиля в различные сезоны года можно пользоваться следующей зависимостью [12]:

$$П_{сез} = \frac{\left(К^{з}_{рс} - К^{сез}_{рс}\right) \cdot Д_{сез} \cdot К_{и}}{365}, \qquad (1)$$

где $К^{з}_{рс}$ – коэффициент обеспеченности расчетной скорости на эталонном участке дороги в эталонных метеоусловиях; $К^{сез}_{рс}$ – среднесезонный коэффициент обеспеченности расчетной скорости на эталонном участке дороги; $Д_{сез}$ – длительность сезона, сут; $К_{и}$ – коэффициент учета неравномерности движения по сезонам года.

Коэффициент обеспечения расчетной скорости [13] может быть рассчитан по следующей формуле:

$$К_{рс} = \frac{V^{макс}_{ф}}{V^{б}_{расч}}, \qquad (2)$$

где $V_{ф}^{макс}$ – максимальная фактическая скорость движения автомобиля; $V^{б}_{расч}$ – базовая расчетная скорость движения для данной категории дороги.

Приняв за расчетные скорости для лесовозных магистралей $V^{б}_{расч}$ = 40 км/ч и для веток $V^{б}_{расч}$ = 30 км/ч [12], получим:

$$K_{\text{рс}}^{\text{маг}} = \frac{V_{\text{ф}}^{\text{макс}}}{40}; \quad (3)$$

$$K_{\text{рс}}^{\text{в}} = \frac{V_{\text{ф}}^{\text{макс}}}{30}; \quad (4)$$

В благоприятных условиях (отсутствие осадков, гололеда, метелей) дорога должна обеспечивать $К_{рс}$ = 1,00. В малоблагоприятных условиях (осадки) в весенне-осенний период и зимой $К_{рс}$ = 0,50–0,75; в неблагоприятных же условиях $К_{рс}$ < 0,50

Заключение. Скоростные данные можно использовать для оценки степени проходимости лесных дорог в реальном времени. Накопленные скоростные данные (как для легких, так и для тяжелых автопоездов) и климатические параметры региона позволяют предсказывать возможное состояние транспортной сети через установление возможных критических периодов.

Таким образом, использование телеметрических систем на лесовозных автопоездах позволяет накопить достаточный объем информации по скоростному режиму разными типами автопоездов на различных типах лесных дорог. В дальнейшем этот массив данных даст возможность провести районирование транспортной сети с учетом климатической сезонности, что позволит рационально планировать транспортное освоение лесов для обеспечения ритмичного и бесперебойного снабжения лесоматериалами предприятий лесного комплекса.

Литература

1. Салминен, Э. О. Строительство лесных дорог – безальтернативный путь развития лесного сектора / Э. О. Салминен // Сухопутный транспорт леса: материалы науч.-техн. конф. – СПб.: СПбГЛТА, 2009. – С. 30–36.

2. Салминен, Э. О. Без дорог нет выхода из кризиса / Э. О. Салминен // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы 6-й междунар. науч.-техн. конф. – Вологда: ВГТУ, 2009. – С. 53–57.

3. Лесной кодекс Российской Федерации: принят Государственной Думой 08.11.2006. – М.: Юрид. лит., 2011. – 128 с.

4. Коваленко, Т. В. Учет климатических факторов при организации лесотранспортных процессов в лесозаготовительном предприятии / Т. В. Коваленко // Сухопутный транспорт леса: материалы науч.-техн. конф. – СПб.: СПбГЛТА, 2009. – С. 105–111.

5. Тюрин, Н. А. Проектирование лесосечно-транспортных процессов с учетом влияния климата / Н. А. Тюрин // Сухопутный транспорт леса: сб. науч. тр. – СПб.: ЛТА, 1994. С. 53–57.

6. Засухин, Д. П. Рекомендации по защите лесных почв от повреждения при проведении лесозаготовительных работ в Республике Коми / Д. П. Засухин, В. С. Серый, Н. С. Минин. – Сыктывкар, 2004. – 17 с.

7. Щепин, Б. Ф. Влияние продолжительности хранения хлыстов на качество круглых лесоматериалов / Б. Ф. Щепин, А. С. Шулев / Реф. инф. Лесоэксплуатация и лесосплав. – М., 1976. – С. 11–12.

8. Антонен, А. В. Применение GPS-систем в организации транспортно-технологического процесса // Известия Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии. – СПб.: СПбГЛТА, 2005. – Вып. 174. – С. 98–100.

9. Минченко, А. В. Система GPS мониторинга автотранспорта / А. В. Минченко, С. А. Никифоров // Использование GPS для повышения качества управления транспортно-технологическими процессами в ЛПК: материалы науч.-практ. семинара. – СПб.: ЛТА, 2004. – С. 12–20.

10. Вывозка леса автопоездами. Техника. Технология. Организация / И. Р. Шегельман [и др.]. – СПб.: ПРОФИКС, 2008. – 80 с.

11. Правила диагностики и оценки состояния автомобильных дорог: ОДН 218.0.006-2002 // Гос. служба дорож. хоз-ва (Росавтодор) Минтранса России. – М.: Информавтодор, 2002. – 28 с.

12. Справочная энциклопедия дорожника: в 6 т. / А. П. Васильев [и др.]; под ред. А. П. Васильева. – М.: Информавтодор, 2004. – Т. 2: Ремонт и содержание автомобильных дорог. – 507 с.

13. Промышленный транспорт: СНиП 2.05.07-91. – Введ. 01.07.1992. – М.: Стройиздат, 1991. – 72 с.

Поступила 14.03.2012

УДК 630*37.625.745.1

А. Ю. Виноградов, кандидат технических наук,
генеральный директор (ООО «НПО Гидротехпроект», Российская Федерация);
Э. О. Салминен, кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой
(Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет, Российская Федерация);
П. С. Куцанов, аспирант (Санкт-Петербургский государственный
лесотехнический университет, Российская Федерация)

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ МАЛЫХ ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ ЛЕСНЫХ ДОРОГ

Статья посвящена проблеме гидротехнических расчетов малых водопропускных сооружений лесных дорог с учетом местных гидрологических, почвенно-грунтовых условий и рельефа местности. Площадь водосбора разделяется на выдела – стокоформирующие комплексы. В каждом выделе рассматривается вертикальная почвенно-грунтовая колонка с растительным покровом, морфологическими, тепло- и гидрофизическими характеристиками почвенного покрова, глубиной залегания грунтовых вод и водоупорных горизонтов. Эти сведения позволяют рассчитать объем воды, задерживаемый в каждом выделе, и уточнить объем воды, поступающей к расчетному створу за расчетный период.

The article is devoted to the problem of hydraulic calculations of small culverts forest roads, taking into account the local hydrological, soil and terrain. The area of the catchment is divided into stand - drain forming complexes. In each partition it is considered vertical soil-a soil column, with the forest valuation information on vegetation cover, morphometric, heat- and hydro physical characteristics of soil cover, depth of groundwater occurrence and water-gauge horizons. These data make it possible to calculate the volume of water, the detainee in each partition and specify the volume of water supplied to the settlement falls for the settlement period.

Введение. При проектировании поперечного и продольного водоотвода лесовозных дорог основной лимитирующей характеристикой является максимальный расчетный расход заданной обеспеченности, бассейн которых составляет 0,5–5 км^2. Анализ, проведенный в работе [8], показал, что результаты расчетов по существующим методикам в 5 и более раз превышают измеренные расходы соответствующей обеспеченности, что приводит к многократному удорожанию проектов.

Для решения этих задач [9] предлагается использовать математическую модель, описывающую трансформацию осадков от момента выпадения до момента протекания через створ перехода проектируемой автодороги и учитывающую природные факторы конкретного водосбора.

Основная часть. Представим речной бассейн с набором так называемых стокоформирующих комплексов (СФК) [4], расположенных в пределах водораздельного контура. Предполагается, что в пределах каждого СФК такие характеристики, как уклон, экспозиция, полнота и состав растительности, водно- и теплофизические свойства почвы, принимаются неизменными.

Рассмотрим последовательно температурный и водный режимы почвы.

Температурный режим. Предположим, что расчетный слой почвы (РСП) в течение времени dt сверху и снизу контактирует со средой, имеющей постоянную температуру, тогда удельный поток тепла Q, переносимый за расчетную единицу времени через толщу почвенного горизонта z, пропорционален градиенту температуры [6]:

$$\frac{dQ}{dt} = L\frac{dT}{dz},$$

где L – коэффициент теплопроводности расчетного слоя, вт/м^2·град.

Введя обозначения:

$$A = \frac{1}{2}z(L_{N-1} + L_N)T_{N-1};$$

$$B = \frac{L_{N-1} + 2L_N + L_{N+1}}{2z^2 \cdot C_N};$$

$$C = \frac{1}{2}z(L_N + L_{N+1})T_{N+1},$$

где L_N ,C_N и T_N – соответственно теплопроводность, теплоемкость и температура N слоя почвы. Интегрируя данное уравнение для каждого расчетного слоя почвы

$$\int_{Q_o}^{Q_K} dQ / (A - B \cdot Q + C) = \int_{t_o}^{t_K} dt,$$

получаем следующую зависимость:

$$Q_K = \frac{A + C - \exp(-Bt)}{B}.$$

Удельный поток холода, попадающий в почву, будет равен:

$$Q_X = \frac{L_{\text{снега}}}{z_{\text{снега}}}(T_{\text{в}} - T_{\text{т}}),$$

где $T_{\text{в}}$ – температура воздуха; $T_{\text{п}}$ – температура верхнего почвенного слоя.

Зная количество холода, проникшее в почву за сутки, объем влаги в каждом почвенном слое и учитывая удельную теплоту плавления, можно рассчитать скорость промерзания почвенных слоев.

$$H_B^* = \frac{Q_X}{M^*},$$

где H_B^* – слой замерзшей за сутки воды; M^* – удельная теплота льдообразования.

После того как вся вода в расчетном слое замерзла, расчет переходит на нижележащий слой до тех пор, пока на поверхности среднесуточные температуры имеют отрицательные значения.

Весной картина меняется на обратную.

Водный режим. Поверхностное задержание, перехват осадков растительностью, аккумуляция воды в верховых болотах и мелких озерах учитываются следующим образом

$$D = (D_M - H_p)\left[1 - \exp\left(-\frac{H_q}{D_M}\right)\right],$$

где D_M – максимальный объем емкости, мм; H_q – количество воды в аккумулирующих емкостях к моменту начала стока, мм, слой поверхностного стокообразования H_p, мм, в условиях лесной зоны равен нулю.

Расчет испарения ведется по формуле

$$E = h_0\left[1 - \exp\left(-\frac{kE_0}{h_{\text{м}}}\right)\right],$$

где h_0 – начальное значение количества влаги в почве, мм; k – доля вклада данного почвенного яруса в испарение (зависит от типа и состояния почвы и глубины распространения корневой системы растений), б/р; E и E_0 – слои испарения и испаряемости за данный интервал времени, мм; $h_{\text{м}}$ – максимальная водоудерживающая способность почвы, т. е. минимальное количество влаги, при котором в процессе испарения полностью реализуются потенциальные возможности испаряемости [3].

Испаряемость

$$E_0 = \frac{k\Delta t d}{\cos\alpha},$$

где k – коэффициент испаряемости, м/(мб·с), в зависимости от типа испаряющей поверхности; d – дефицит влажности воздуха, мб, за расчетный период времени Δt, с; α – угол наклона площадки, град.

Скорость притока в нижележащие почвенные слои регламентируется величиной коэффициента фильтрации, который отвечает своему определению при влажности почвы, близкой к полной влагоемкости.

$$S = \text{К}_{\text{он.г}} t,$$

где t – время, за которое слой влаги, превышающий максимальную водоудерживающую способность, покинет горизонт; $\text{К}_{\text{он.г.}}$ – коэффициент фильтрации нижележащего почвенного горизонта. В случаях, когда $\text{К}_{\text{он.г}}$ мал (свободная влага не успевает за расчетное время стечь в нижележащий горизонт), вода стекает по расчетному слою по нормали в сторону понижения рельефа. Скорость стекания

$$S^1 = \text{К}_{\text{ор.г}} \sin\alpha,$$

где $\text{К}_{\text{ор.г}}$ – коэффициент фильтрации расчетного горизонта; α – уклон, град.

К_0, мм/с, рассчитывается по формуле С. А. Лаврова:

$$\text{К}_0 = \frac{k(\text{П} - \text{МВС} - 0,04)^2}{\text{МВС}},$$

где $k = 3,63 \cdot 10^{-5}$ м/с = 2,18 мм/мин; 0,04 – доля защемленного воздуха; П – пористость слоя почвы, доли ед.; МВС – максимальная водоудерживающая способность, мм.

Высота капиллярного подъема зависит от гранулометрического состава почвы; в первом приближении $H_{\text{п}} = 0,12X^{-0,81}$, где X – размер основной фракции мелкозема, мм.

Капиллярная влажность [7], мм, рассчитывается по формуле

$$W_{\text{кап}_i} = \frac{\text{ПВ} - \text{МВС}}{N} + i\text{МВС},$$

где N – число слоев почвы от уровня грунтовых вод до высоты капиллярного поднятия; i – порядковый номер расчетного слоя почвы; ПВ – полная влагоемкость, мм.

Влагосодержание каждого РСП, при отсутствии влияния капиллярной влажности, согласно уравнению водного баланса, равна:

$$W_1 = W_0 + P - E - S,$$

где W_0, W_1 – влажность, мм, на начало и конец расчетного периода; P – приход влаги с осадками, мм; E – испарение; S – сток в нижележащий почвенный горизонт, мм.

Во второй части выполняется расчет перераспределения грунтового стока в бассейне и

обеспеченного расхода в замыкающем створе. Эта часть отвечает определению модели с распределенными параметрами.

Последовательно рассчитываются:

- скорость, м/с, стекания к русловой сети:

$$V = C_c \mathrm{K}_0 \sin\alpha;$$

- расстояние, м, которое единичный объем влаги пройдет за расчетный период T:

$$L = VT,$$

где T – расчетный интервал времени, с; C_c – коэффициент сопротивления, б/р;

- потенциально возможный слой избыточной влаги в слое почвы, который будет двигаться в сторону понижения рельефа под влиянием гравитации за расчетный период:

$$H_{i,t} = H_{i\text{-}1,t} - D_i - \mathrm{K}_{0i+1}T > 0,$$

где $H_{i\text{-}1,t}$ – слой влаги, пришедший сверху за расчетный период t; D_i – дефицит влажности i-го РСП, мм, равный разности влажности i-го слоя на начало расчетного периода и МВС; K_{0i+1} – коэффициент фильтрации нижележащего $i + 1$ слоя;

- необходимое количество расчетных периодов Г, за которые весь объем излишней влаги с СФК стечет в русловую сеть:

$$\frac{L_{\text{сфк}}}{L} = \Gamma,$$

где $L_{\text{сфк}}$ – длина СФК по линии нормали к руслу, м;

- суммарный сток $q_{\text{сфк},t}$, м^3, с СФК за расчетный интервал времени T:

$$q_{\text{сфк}\,t} = 10^{-3} H_{it} \frac{F_{\text{сфк}}}{\Gamma},$$

где 10^{-3} – размерностный коэффициент; $F_{\text{сфк}}$ – площадь СФК, м^2;

$$Q_{\text{общ},t} = \sum Q_{\text{сфк},t},$$

- русловая трансформация стока:

$$t_{\text{р}} = \frac{S_{\text{р}}}{V_{\text{р}}},$$

где $t_{\text{р}}$ – время руслового добегания, с; $S_{\text{р}}$ – длина русловой сети, м;$V_{\text{р}}$ – средняя скорость течения, м^2/с;

- переход к расходу, м^3/с, в замыкающем створе:

$$Q_{\text{сфк},t} = \frac{q_{\text{сфк},t}}{t_{\text{р}}};$$

- сумма общего притока, м^3/с, в русловую сеть за расчетный интервал времени со всех СФК.

Оценка адекватности предложенной модели проверена на восьми водосборах с рядами наблюдений не менее 15 лет.

Выводы. 1. Предложенная методика может быть использована при расчетах обеспеченных расходов при проектировании поперечных дорожных водоотводов. 2. Оценка расчетных параметров на отдельном водосборе предваряется выделением на его территории стокоформирующих комплексов. В качестве отдельных СФК выделяются основные типы подстилающей поверхности. Физико-географическими факторами, отражаемыми в описываемой модели, являются рельеф, климат, почвенно-растительный покров. 3. Численные эксперименты выявили адекватную чувствительность алгоритмов расчета к спектру физико-географических характеристик и природных условий.

Литература

1. Виноградов, А. Ю. Воздействие линейных сооружений на водно-тепловой режим почво-грунтов лесного массива / А. Ю. Виноградов // Сухопутный транспорт леса. – 2007. – С. 159–165.

2. Виноградов, А. Ю. Метод расчета гидрологических характеристик при проектировании автомобильных дорог / А. Ю. Виноградов // Сухопутный транспорт леса: материалы науч.-техн. конф. – СПб.: СПбГЛТА, 2009. – С. 165–174.

3. Виноградов, А. Ю. Влияние изменения хозяйственной деятельности на плодородие почв лесной зоны РФ / А. Ю. Виноградов // Сухопутный транспорт леса: материалы науч.-техн. конф. – СПб.: СПбГЛТА, 2009. – С. 179–184.

4. Виноградов, Ю. Б. Математическое моделирование процессов формирования стока. Критический анализ / Ю. Б. Виноградов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – 312 с.

5. Водогрецкий, В. Е. Экспедиционные гидрологические исследования / В. Е. Водогрецкий, О. М. Крестовский, Б. Л. Соколов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – 231 с.

6. Кухлинг, Х. Справочник по физике / Х. Кухлин. – М.: Мир, 1983. – С. 157, 205.

7. Роде, А. А. Основы учения о почвенной влагев: 2 т. / А. А. Роде. – Л.: Гидрометеоиздат, 1969. – Т. 1. – С. 78–269.

8. Салминен, Э. О. Сравнительная оценка результатов расчетов по модели «водный переход» и СП 33-101-2003. / Э. О. Салминен, А. Ю. Виноградов // Сухопутный транспорт леса: материалы науч.-техн. конф. – СПб.: СПбГЛТА, 2009. – С. 175–179.

9. Салминен, Э. О. Альтернативный метод расчетов максимальных расходов для проектирования водопропускных сооружений автодорог / Э. О. Салминен, А. Ю. Виноградов // Сухопутный транспорт леса: материалы науч.-техн. конф. – СПб.: СПбГЛТА, 2009. – С. 129–135.

Поступила 14.03.2012

УДК 630*37

В. В. Артемьев, аспирант (Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет, Российская Федерация); **Г. А. Бессараб**, кандидат технических наук, профессор (Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет, Российская Федерация); **А. А. Борозна**, кандидат технических наук, профессор (Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет, Российская Федерация)

РАСЧЕТ ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ, АРМИРОВАННЫХ ОБЪЕМНЫМИ ГЕОРЕШЕТКАМИ

Статья посвящена исследованию проблемы учета свойств геосинтетичеких материалов, а именно объемной георешетки, при армировании дорожной конструкции. Рассмотрена история создания и классификация геосинтетических материалов. Проанализированы существующие российские и зарубежные методики расчета армирования дорожной конструкции объемными георешетками. Наряду с представленными эмпирическими уравнениями предложено решение данной задачи по теории упругости.

The article investigates the problem of taking into account the properties of geosynthetic materials, namely bulk geogrid reinforcement in road construction. Consider the history of the creation and classification of geosynthetic materials. Analyzed, synthesized existing Russian and foreign methods of calculation of the reinforcement to the volume-goad design geogrid. Along with the presented empirical equations skim proposed solution to this problem in the theory of elasticity.

Введение. Дорожная отрасль стала одной из первых, где использование геосинтетических материалов достигло больших объемов, а влияние геосинтетических материалов на физические качества дорожных конструкций изучается до сих пор.

В России история геосинтетических материалов началась с создания в 1977 году первого экземпляра нетканого геосинтетического полотна «Дорнит». В 70–80-х годах была принята Министерством транспорта СССР программа улучшения геосинтетических материалов, что способствовало расширению базы по их изготовлению и повышению качества дорожного строительства.

Геосинтетические материалы, согласно отраслевому дорожному методическому документу (ОДМ) 218.5.005-2010 «Классификация, термины, определения геосинтетических материалов применительно к дорожному хозяйству», подразделяются на три основные группы:

– геотекстили;

– геопластмассы;

– геокомпозиты.

Основная часть. В настоящие время существует несколько методик расчета конструкции дорожной одежды, армированной георешеткой.

В основе методов расчета нежестких дорожных одежд (например, AASHTO, Института асфальта, Caltrans, Росавтодора и др.) лежат эмпирические данные, собранные в результате крупномасштабных испытаний, а также в ходе наблюдений в процессе эксплуатации дорожных конструкций в различных географических регионах.

Первый метод разработан Росавтодором и отображен в ОДМ 218.5.002-2008 «Методические рекомендации по применению полимерных геосеток (георешеток) для усиления слоев дорожной одежды из зернистых материалов», который является дополнением к отраслевым дорожным нормам (ОДН) 218.046-01 «Проектирование нежестких дорожных одежд» и носит рекомендательный характер.

Расчет армированной дорожной одежды сводится к стандартной методике приведения многослойной дорожной конструкции к двухслойной с применением общего модуля упругости.

С позиций критериев расчета на прочность по ОДН 218.046-01 образование композиционного слоя (армирование) оказывает наибольшее влияние на величину активных напряжений сдвига, возникающих в грунтовом слое, расположенном непосредственно под композитным слоем основания.

Второй метод расчета разработан Ассоциацией американских инженеров и основан также на эмпирических зависимостях.

Акцент данной методики направлен на текстурированную поверхность стенок георешетки типа «ГЕОВЕБ®», что улучшает фрикционное взаимодействие между стенками ячеек георешетки и зернистым материалом-заполнителем.

В методику расчета включена переменная – калифорнийское число несущей способности (California Bearing Ratio – CBR), которое является характеристикой сопротивления грунтов в основании. С помощью данного параметра CDR может быть выполнен расчет прочности при сдвиге связанных грунтов, дающий воздействие нагрузки на грунтовое покрытие по отношению к воздействию на стандартный материал. При этом прочность выражается через угол внутреннего трения и сцепление.

В Германии при армировании дорожной одежды геосинтетическими материалами используют

рекомендации EBGEO (Положение о строительстве дорог с применением геосинтетики).

Рекомендации EBGEO учитывают долговечность упругости георешетки в дорожной конструкции. Это связано со свойствами полимеров, из которых изготавливаются георешетки (полиэтилен высокой плотности, полипропилен, полиамид, высокомодульный полиэстер, поливинилалкаголь, арамид и пр.).

Данное положение вводит новый параметр – расчетное растягивающие усилие, безопасно воспринимаемое геосинтетикой $P_{\text{расч}}$.

$$P_{\text{расч}} = \frac{P_{ult}}{A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot \gamma},$$

где P_{ult} – кратковременная прочность на разрыв; A_1 – фактор ползучести, характеризующий снижение прочности при длительном приложении нагрузки; A_2 – фактор повреждаемости, характеризующий снижение прочности после укладки материала в зернистый грунт с последующим уплотнением; A_3 – фактор, учитывающий наличие стыков, швов и т. п.; A_4 – фактор чувствительности к воздействию окружающей среды, например биологическим и химическим воздействиям; γ – коэффициент запаса.

Все вышеперечисленные факторы могут быть определены в российских условиях за исключением фактора ползучести A_1, так как отсутствуют методики сертифицирования и необходимое оборудование.

Фактор ползучести A_1 для зарубежных производителей георешеток из высокомодульного полиэстера (PET) варьируется от 1,55 до 1,80, а для георешеток из полипропилена (PP) составляет не более 2,5. По европейским правилам материалы, не прошедшие сертифицирования по их технологии и не имеющие подтвержденного значения A_1, фактор ползучести принимается для PET равным 2,5 и для PP – 5,0. Этим пользуются зарубежные компании, поставляющие в Россию геосинтетические материалы, сертифицированные по европейским стандартам.

Вышеуказанные методы основаны на эмпирических зависимостях, поэтому до сих пор остается потребность найти метод расчета конструкций, армированных прослойками материалов, упругие свойства которых существенно отличаются от характеристик основных слоев.

Обзор методов расчета с геосинтетическими материалами в дорожном строительстве позволил сформулировать задачу дальнейших исследований. Обоснование нашей расчетной модели и уточнение расчетной схемы выполнено в Санкт-Петербургском государственном лесотехническом университете имени С. М. Кирова на кафедре сухопутного транспорта леса и строительной механики.

Рассмотрено полупространство, составленное из n основных слоев. Нижний слой бесконечно простирается в глубину, остальные имеют постоянную толщину. Материал в пределах каждого слоя однороден, изотропен и подчиняется закону Гука. Слои по плоскостям контакта или неразрывно связаны, или разделены тонкими трансверсально-изотропными упругими армирующими прослойками. Пусть k – число этих прослоек. Связь прослоек с основными слоями принимаем неразрывной. На полупространство действуют поверхностные силы, представленные в виде интегралов Фурье – Бесселя. Расчетная схема приведена на рис. 1.

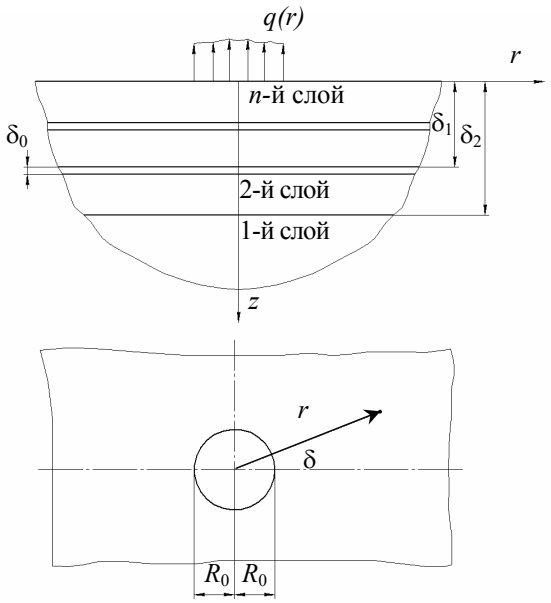


Рис. 1. Расчетная схема

Ввиду малой жесткости армированного слоя в поперечном направлении, предполагаем, что деформации прослоек в поперечном направлении полностью завершились при укладке и уплотнении вышерасположенных слоев. Тогда, перемещения основных слоев можно считать непрерывными на границе, т. е. при $\xi = \delta_{j-1}$:

$$W_j^* = W_{j-1}^{**};\ u_{r,j}^* = u_{r,j-1}^{**},$$

где * – обозначает перемещения (W_j и $U_{r,j}$) на нижней границе, а ** – на верхней границе.

Ввиду малости и неопределенности толщины прослойки, нормальные напряжения в ней считаем равномерно распределенными по толщине. В этом случае для равновесия выделенного элемента армирующего слоя (рис. 2) должны выполняться два условия:

$$\xi = \delta_{j-1};\ \sigma^{*}_{z,j} = \sigma^{**}_{z,j-1};$$

$$r^{*}_{rz,j} - r^{**}_{rz,j-1} = \delta l\left[\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r}\right],$$

где * – обозначает напряжения ($\sigma_{z,j}$ и $\tau_{rz,j}$) на нижней границе, а ** – на верхней границе.

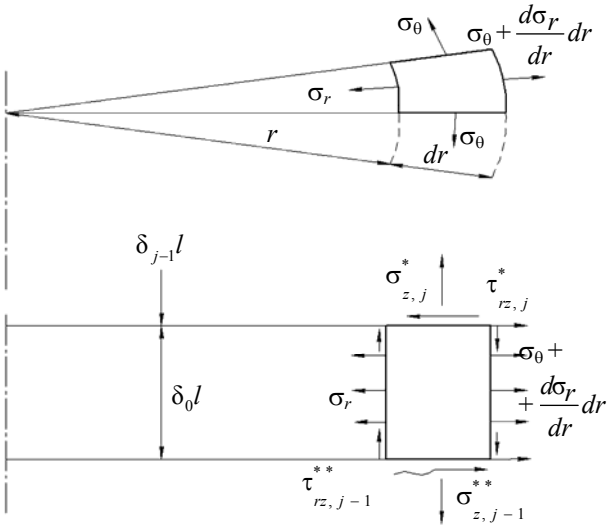


Рис. 2. Схема сил, действующих на элемент армирующего слоя

Закон Гука для материала армирующего слоя с учетом отсутствия продольных удлинений от сжатия в поперечном направлении будет иметь такой же вид, как и при плоском напряженном состоянии (в плоскости изотропии).

$$\sigma_r = \frac{E}{1-\nu^2}\left(\frac{\partial u_r}{\partial r} + \nu\frac{u_r}{\partial r}\right);$$

$$\sigma_\theta = \frac{E}{1-\nu^2}\left(\nu\frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{u_r}{\partial r}\right),$$

где E, ν – модуль упругости и коэффициент Пуассона материала армирующего слоя (в плоскости изотропии).

С учетом данных соотношений условия на плоскостях контакта основных слоев принимают вид:

$$W^{*}_{j} = W^{**}_{j-1};\ u^{*}_{r,j} = u^{**}_{r,j-1},$$

$$\xi = \delta_{j-1};\ \sigma^{*}_{z,j} = \sigma^{**}_{z,j-1};$$

$$r^{*}_{rz,j} - r^{**}_{rz,j-1} = K_{j-1}\frac{\partial}{\partial r}\left[\frac{\partial u^{*}_{r,j}}{\partial r} + \frac{u^{**}_{r,j}}{r}\right],$$

где

$$K_{j-1} = \begin{cases} \dfrac{E}{1-\nu^2}\delta_0 l \\ 0 \end{cases}.$$

Граничные условия на поверхности полупространства имеют вид:

$$\xi = 0;\ \sigma^{**}_{z} = q(r);\ \tau^{**}_{rz,n} = 0.$$

Таким образом, учет особенностей материалов, используемых в качестве армированных прослоек, позволяет свести в расчетной схеме (n + k)-слойное полупространство к n-слойному со специальными условиями на плоскостях контакта слоев. От классической постановки эти условия отличаются лишь наличием правой части в последнем из условий, что позволяет использовать для построения решение уже известные методы.

Получено решение поставленной задачи. При этом использовано общее решение уравнений теории упругости, в форме предложенной Р. М. Раппопорт, интегральное преобразование Фурье – Ханкеля и метод начальных функций, разработанный В. В. Власовым.

Вывод. Несмотря на многолетний мировой опыт использования геосинтетических материалов при проектировании и строительстве дорожных конструкций, в России нет нормативной документации с достоверной методикой для проектирования дорожных конструкций с использованием георешеток, а имеющиеся методики носят только рекомендательный характер.

Актуальность внедрения новых методов расчета дорожной конструкции с использованием георешеток обусловлена многократным ростом интенсивности движения автомобилей и использования большегрузных тяжелых автопоездов, что требует учета всех критериев, характеризующих работу дорожной одежды.

Поступила 14.03.2012

УДК 630*384.4;525.814

О. В. Зубова, старший преподаватель (Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С. М. Кирова, Российская Федерация)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ГРУНТОВ НА ПРОЧНОСТЬ ЗОЛОГРУНТОВОЙ СМЕСИ, ОБРАБОТАННОЙ ЦЕМЕНТОМ

В статье приведены результаты исследования влияния гранулометрического состава грунтов на прочность и водопоглощение дорожно-строительного материала на основе зологрунтовой смеси, укрепленной цементом. Приведены характеристики исходных материалов – мелкого песка, суглинка легкого, супеси легкой, кембрийской глины (зерновой состав, физические свойства), а также основные характеристики золы от сжигания осадков сточных вод. Получены результаты влияния добавки золы от сжигания осадка сточных вод на основные свойства дорожно-строительного материала. Результаты испытания образцов обработаны с использованием методов математической статистики с высокой степенью достоверности.

In article results of research of technology of reception of a road-building material on a basis the mixes, strengthened by cement on properties of a material are resulted. Characteristics of sand are resulted, loam of a lung, sandy loam has laid down y, cambrian clay (grain structure, physical properties) and ashes, its structure. The results obtained of influence of an additive of ashes from burning of a deposit of sewage on bases thes of property of a road-building material. Results of test of samples are processed with use of a method of mathematical statistics with high degree of reliability.

Введение. Исследования по использованию отходов промышленности в качестве компонентов дорожно-строительных материалов проводятся учеными на протяжении многих лет [1, 2, 3], однако эта тема остается актуальной и в настоящее время. В различных областях промышленности внедряются новейшие разработки, что приводит к образованию новых видов отходов, требующих утилизации. Перспективным способом утилизации твердых отходов является их использование как наполнителя или активного компонента в составе дорожно-строительных материалов [2].

Основная часть. В данном исследовании рассматривалась возможность использования при укреплении грунтов золы от сжигания осадков сточных вод ГУП «Водоканал Спб», как дополнительного компонента в смеси грунта с цементом. Цементогрунт при его использовании в дорожных конструкциях обладает излишней жесткостью и низкой трещиностойкостью. Придание цементогрунту структуры с более высокой трещиностойкостью возможно введением золы от сжигания осадков сточных вод, что обеспечит требуемые эксплуатационные свойства дорожного покрытия.

Целью исследования является получение новых дорожно-строительных материалов с использованием грунтов различного гранулометрического состава, минерального вяжущего (портландцемента) и золы от сжигания осадков сточных вод.

Задачи исследования – определение оптимальных дозировок вяжущих материалов и золы в смеси; определение физико-механических свойств полученных материалов (предел прочности при сжатии, водопоглощение); сравнительный анализ прочности материалов в зависимости от зернового состава используемых грунтов.

В исследованиях использован метод обработки полученных экспериментальных данных программа MS EXCEL.

Характеристика исходных материалов.

Песок представляет собой сыпучий нерудный материал, который используется практически при любых строительных работах. Песчаные грунты сложены угловатыми и окатанными обломками минералов, размером от 2 до 0,005 мм (мелкозернистые пески имеют размеры 0,10–0,25 мм).

Супесь легкая – рыхлая горная порода, состоящая, главным образом, из песчаных и пылеватых частиц с добавлением около 3–10% алевролитовых, пелитовых или глинистых частиц. Супесь обладает меньшей пластичностью, чем суглинок. Супеси характеризуются благоприятными свойствами при использовании их в качестве материала проезжей части грунтовых дорог низшего типа и в основаниях дорожных одежд.

Суглинок легкий представляет собой силикат, содержащий глинозем, кремнезем, примеси песка, извести, окиси железа и др., а также химически связанную воду. Суглинок содержит 12–18% частиц диаметром менее 0,005 мм.

Глина – сложное природное образование. В составе исследуемой мелкодисперсной песчаной глины – монтмориллонит, каолинит, кварц, мусковит (слюда). Глина содержит более 30% частиц диаметром менее 0,005 мм.

Зерновой состав исследуемых грунтов представлен в таблице.

Зерновой состав грунтов

Грунты	Зерновой состав				
	Гравий	Песок		Пыль	Глина
		крупный	мелкий		
Песок мелкий	1,51	14,00	75,72	8,78	0,00
Супесь легкая	9,70	29,00	25,00	22,70	3,60
Суглинок легкий	–	15,70	41,00	28,10	15,20
Глина песчаная	–	20,00	32,00	3,00	45,00

Зола от сжигания осадков сточных вод представляет собой смесь пылеватых тонкодисперсных частиц. Состав золы: SiO_2 – 50%; фосфат железа и кальция 40%; силикаты кальция, магния, железа, калия, алюминия, CaO – 6%. При этом содержание тяжелых металлов в золе превышает ПДК или близки к нему. Основные показатели: насыпная плотность – 0,68 г/см^2; удельный вес – 2,26 г/см^2; пористость 70%. Используется в качестве заполнителя грунта и слабого вяжущего.

Методика исследования. Образцы из золоцементогрунтовой смеси изготовлены на гидравлическом прессе при удельном давлении 100 МПа.

Хранение образцов из смеси в воздушно-влажных условиях в течение 28 суток в эксикаторе и водонасыщение в воде в течение 3 суток в кристаллизаторе выполнены в соответствии с рекомендациями инструкции СН 25-74 [5].

Испытания образцов с определением следующих показателей: предела прочности при сжатии ($R_{сж}$, МПа), модуля упругости ($E_у$, МПа), водопоглощения ($W_{вп}$, %) и плотности (γ, г/см^3) производили после их хранения в воздушно-влажных условиях и выдерживания в воде.

Испытания образцов выполнены в дорожно-испытательной лаборатории кафедры сухопутного транспорта леса.

Результаты испытания на прочность и водопоглощение образцов грунта, укрепленного цементом с добавлением золы от сжигания осадка сточных вод, представлены на рис. 1, 2.

Анализ графиков на рис. 1 показывает, что образцы дорожно-строительного материала на основе песчаных и супесчаных грунтов имеют большую прочность при сжатии в водонасыщенном состоянии (в пределах 9–13 МПа), чем образцы материалов на основе суглинистых и глинистых грунтов ($R_{сж}$ = 5–9 МПа). Увеличение в составе грунта содержания мелкодисперсных глинистых частиц приводит к уменьшению прочности водонасыщенных образцов. Анализ графика на рис. 2 показывает, что добавка золы в пределах от 30 до 50% увеличивает водопоглощение образцов глинистых грунтов на 75% (от W = 4% до W = 7%). В образцах с песчаными и супесчаными грунтами увеличение дозировки золы снижает водопоглощение материала на 21%. Это обусловлено влиянием добавки золы на плотность укрепляемого материала. При соотношении золы и грунта в смеси 1 : 1 водопоглощение близко по значению для всех типов грунтов, используемых в смесях, и составляет около 7%.

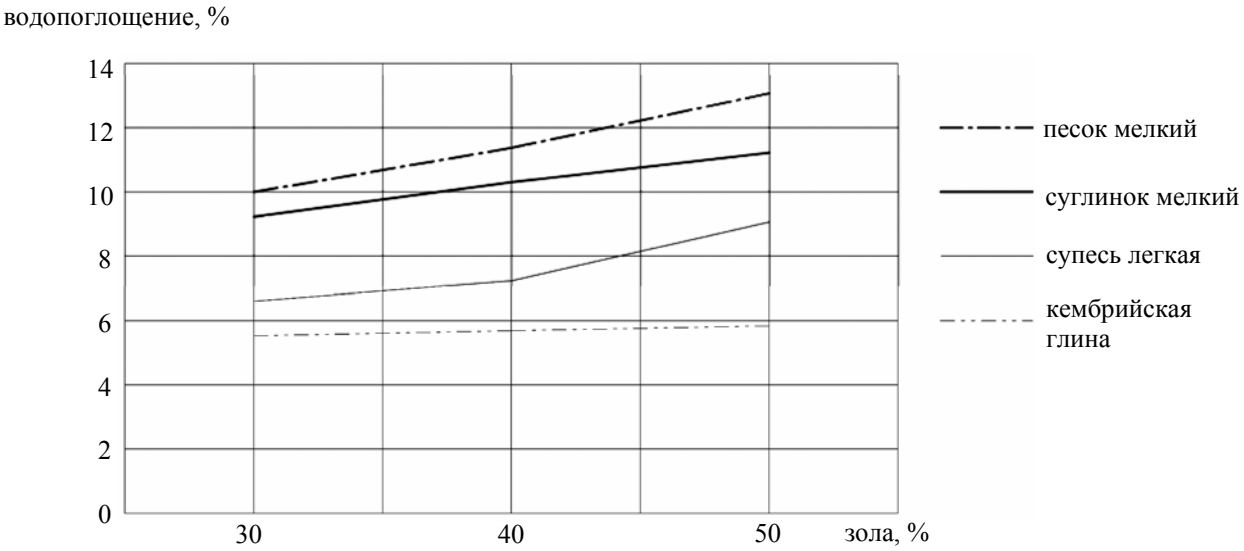


Рис. 1. График зависимости прочности водонасыщенных образцов из смеси грунт-зола, укрепленных цементом 6%, от соотношения грунт – зола в смеси

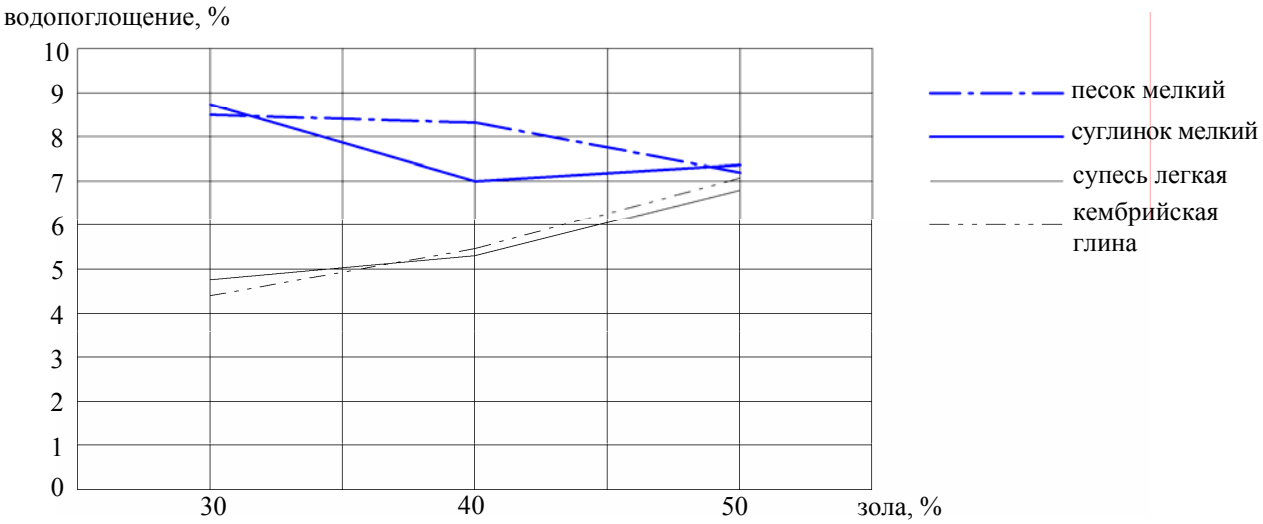


Рис. 2. График зависимости водопоглощения образцов из смеси грунт-зола, укрепленных цементом 6%, от соотношения грунт – зола в смеси

Заключение. Для производственных условий рекомендуется использование золы в смеси с песчаными и супесчаными грунтами при укреплении цементом, так как полученный при этом дорожно-строительный материал обладает более высокими показателями прочности, чем материалы на основе глинистых грунтов.

Выполненными исследованиями смесей грунтов и золы от сжигания осадков сточных вод, укрепленных цементом, установлено оптимальное соотношение грунта и золы в смеси 1 : 1. При таком соотношении достигаются лучшие показатели прочности при сжатии и самые низкие показатели водопоглощения для несвязных грунтов.

Показатель предела прочности при сжатии в водонасыщенном состоянии исследуемого материала составляет от 8 до 15 МПа.

Показатель водонасыщения дорожно-строительного материала на основе грунта и золы, укрепленных цементом, составляет в среднем 4–8%.

По основным показателям физико-механических свойств исследуемая смесь относится по требованиям СНиП 2.05.07-91 и СН 25-74 ко II классу прочности [4, 5].

Литература

1. Гончарова, Л. В. Основы укрепления грунтов. – М.: Транспорт, 1982. – 140 с.

2. Укрепленные грунты / В. М. Безрук [и др.]. – М.: Транспорт, 1982. – 231 с.

3. Колбас, Н. С. Вопросы теории комплексного укрепления грунтов вяжущими материалами с применением лесохимических реагентов и отходов промышленности / Н. С. Колбас. – Л.: Ленингр. ун-т, 1978. – 184 с.

4. Промышленный транспорт: СНиП 2.05.07-91. – Введ. 01.07.1992. – М.: Стройиздат, 1991. – 72 с.

5. Инструкция по применению грунтов, укрепленных вяжущими материалами, для устройства оснований и покрытий автомобильных дорог и аэродромов: СН 25-74. – Введ. 01.07.1975. – М.: Стройиздат, 1975. – 125 с.

Поступила 14.03.2012

УДК 625*711.84

В. И. Чернякевич, кандидат технических наук, доцент
(Марийский государственный технический университет, Российская Федерация)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Рассматриваются проблемы строительства лесных дорог в России, анализируются отечественные и зарубежные технологические процессы их строительства. Предлагается малозатратная технология создания лесной дорожной инфраструктуры.

The problems of forest roads construction in Russia are regards. Russian and foreign technological prosses of forest roads building are considered. A low – cost technology construction of forest roads is proposed.

Введение. В стратегии развития лесного хозяйства России до 2020 г., разработанной соответствующим Федеральным агенством, важное место уделено лесному дорожному строительству. За указанный период планируется построить 10 тыс. км лесных дорог и выделить на эти цели из бюджета 50 млрд. руб.

При этом за счет бюджета предусматривается строить магистральные пути, а возведение остальных дорог выполнять силами арендаторов лесных массивов. Проблема строительства надежных в эксплуатации и недорогих лесных дорог, обеспечивающих доступность лесных ресурсов, неистощительное лесоиспользование, проведение лесохозяйственных мероприятий по охране, воспроизводству и контролю за использованием лесных ресурсов является весьма актуальной. Так, опыт борьбы с лесными пожарами в 2010 г. убедительно свидетельствует о том, что из-за бездорожья России ее лесным массивам, экобиосистемам и населению был нанесен многомиллиардный трудновосполнимый ущерб.

Основная часть. Научные исследования и мировая практика показывают, что лесные ресурсы становятся доступными, а ведение лесного хозяйства успешным, если густота дорожной сети в лесном массиве составляет не менее 10 пог. м на 1 га лесной площади. Это означает, что в каждом лесном квартале с размерами 1000×1000 м должна быть построена лесная дорога протяженностью 1,0 км. Отметим, что в большинстве лесных регионов РФ средняя плотность дорожной сети очень далека от вышеприведенных показателей и составляет в среднем по России всего 0,12 пог. м на 1 га.

Согласно действующему Лесному кодексу, дорожное обустройство лесных массивов является обязанностью арендаторов. Отметим, что рыночные отношения, конкуренция на товарном рынке, стремление к увеличению прибыли вынуждают арендаторов минимизировать затраты на строительство, содержание и ремонт лесных дорог, снижая тем самым транспортную составляющую в себестоимости продукции.

Исходя из изложенного выше, российским арендаторам может быть интересен и полезен опыт нашего северного соседа – Финляндии, где реализовано наибольшее приближение к модели неистощительного оптимального лесопользования. Густота лесодорожной сети в южной части этой страны достигла 15 пог. м на 1 га. Сеть лесных дорог здесь постоянно наращивается и совершенствуется, только в 2007 г. было построено 1000 км новых и 2500 км лесных дорог было реконструировано. Строительство лесных дорог в этой стране выполняется в полосе, ширина которой 12–14 м, после валки леса и вывозки древесины никакие дополнительные подготовительные работы не ведут, а сразу приступают к возведению земполотна. Так что уже на этом этапе работ достигается серьезное снижение стоимости строительства.

Наиболее существенным отличием от российских технологий является то, что земляные работы выполняются не комплектом машин с ведущей машиной бульдозером (как в нашей стране), а только одной машиной – одноковшовым экскаватором на гусеничном ходу.

Он разрабатывает и перемещает грунт из боковых канав в земляное полотно. Глубина канав составляет около 1,0 м, а высота насыпи – 0,5–0,6 м. При этом в полной мере реализуется принцип: воду вниз – дорогу вверх. Поперечный профиль такого земполотна представлен на рис. 1.

В большинстве лесных регионов нашей страны отсутствуют или остродефицитны природные каменные дорожно-строительные материалы (гравий, щебень).

По нашему мнению, для таких регионов в качестве дорожных покрытий целесообразно использовать сборные железобетонные плиты. Их можно изготавливать на заводах ЖБИ круглый год с высоким качеством и заблаговременно (например, зимой) доставлять к месту укладки.

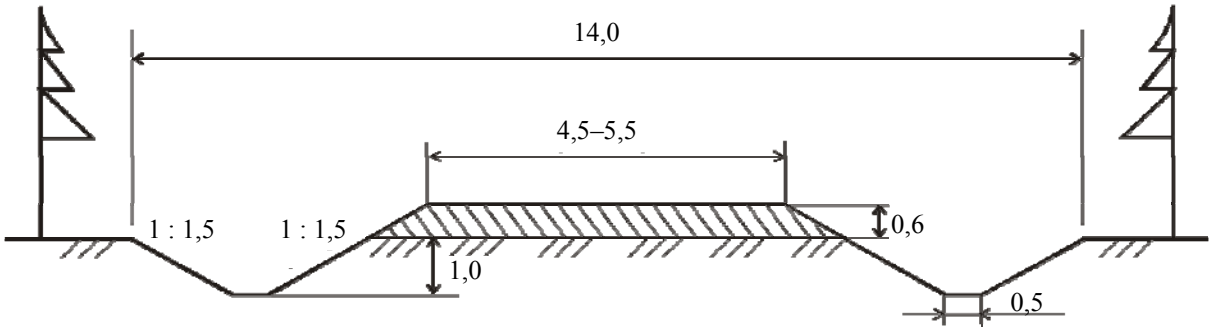


Рис. 1. Поперечный профиль насыпи, сооружаемой экскаватором из боковых канав

Более чем полувековая практика применения сборных конструкций показала, что такие покрытия, по сравнению с другими, позволяют быстро нарастить как объем строительства лесных дорог, так и объемы лесоэксплуатации. Однако применяемым до настоящего времени плитам и конструкциям покрытия из них присущи серьезные недостатки, сдерживающие их использование. Основными из них являются следующие:

- применение дорогостоящего (привозного) крупнозернистого заполнителя, щебня или гравия, значительно увеличивающего стоимость самих плит;
- несовершенство стыков плит в колесопроводе, влекущее к разрушению целостности как самих плит, так и дороги и приводящее к выходу плит из строя, потере эксплуатационных качеств покрытием, дополнительным затратам на ремонт и содержание.

В МарГТУ выполнены обширные теоретические лабораторные и производственные исследования по оптимизации состава мелкозернистого (песчаного) цементобетона. К основным достоинствам такого бетона по сравнению с обычным можно отнести следующее:

1) возможность его приготовления на местных песках, особенно в тех регионах, где отсутствует высокопрочный и дорогостоящий крупнозернистый заполнитель (щебень или гравий). Это позволяет существенно снизить стоимость дорожных плит, что является важным в современных рыночных условиях;

2) повышенное сопротивление изгибу, высокая морозостойкость, которые обеспечиваются большей мелкозернистостью бетона и однородностью структуры, мезоструктура строения которой близка к поровой;

3) возможность выполнить более рациональное армирование, например, сблизить стержни арматурного каркаса в краевых наиболее опасных зонах изделий (дорожной плиты). Это невозможно выполнить при крупнозернистом заполнителе (щебне);

4) не требуется специального оборудования для производства железобетонных изделий, кроме поверхностного пригруза. Изделия можно выпускать на существующих заводах ЖБИ. Таким образом, мелкозернистый цементный бетон является вполне перспективным материалом для изготовления железобетонных плит сборного покрытия лесных дорог.

Также в МарГТУ разработана и всесторонне исследована новая двухслойная конструкция сборного покрытия [1] из плит мелкозернистого (песчаного) железобетона, в которой устранены указанные недостатки (рис. 2).

В представленном двухслойном сборном покрытии принципиально важным является то, что плиты верхнего ряда смещены относительно плит нижнего ряда на половину их длины. В такой двухслойной конструкции, в отличие от применяемой в настоящее время однослойной, отсутствуют сквозные, доходящие до грунтового основания стыковые промежутки, ослабляющие покрытия и ухудшающие работу дороги в целом. Кроме того, нагрузка от колес транспорта передается верхней плитой многослойного покрытия, усиленной сварными стыками, как минимум на две плиты нижнего слоя.

Выполненные нами исследования [1] показали, что наиболее опасные контактные напряжения в зоне стыков двухслойного покрытия в 2,4 раза меньше, чем под стыками обычной однослойной конструкции. Расчеты напряженного состояния грунтового основания показывают, что в нем исключено появление опасных пластических деформаций. Это, несомненно, повышает эксплуатационную надежность такой дороги. Установлено, что по сравнению с однослойной конструкцией, в плитах верхнего слоя существенно меньше и значения изгибающих моментов, а в плитах нижнего слоя возникают только положительные изгибающие моменты, т. е. практически отпадает необходимость армирования верхней зоны этих плит.

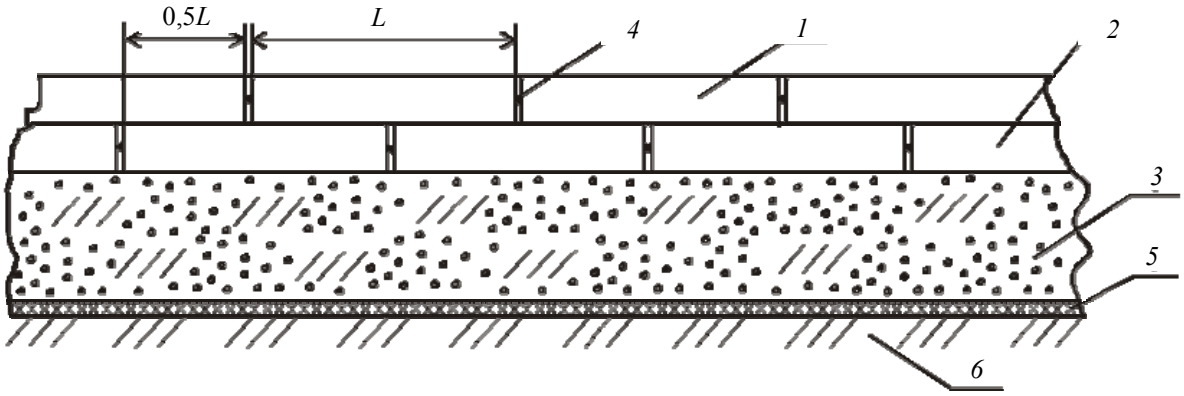


Рис. 2. Двухслойное дорожное покрытие из железобетонных плит:
1 – плиты верхнего слоя; *2* – плиты нижнего слоя;
3 – песчаное основание плит; *4* – стыковые соединения; *5* – теплонит;
6 – земляное полотно; *L* – длина плиты

Поэтому при неблагоприятных условиях местности (сырые, мокрые места с признаками заболачиваемости и т. п.) может быть выполнено дополнительное усиление дорожной конструкции, например, за счет применения синтетического нетканого материала – теплонита, укладываемого на земляное полотно. Наиболее используемый теплонит имеет толщину 0,006 м и выпускается в РФ в виде полотна шириной до 2,2 м в рулонах до 40 м длины. Он имеет внутренний пленочный слой, который выполняет роль изоляционной и соединяющей прослойки. Пленочный слой также распределяет нагрузки по всей поверхности нижнего слоя, препятствует продавливанию, увеличивает механическую прочность материала. Одним из недостатков обычных нетканых материалов из синтетических волокон является пропуск материалом влаги, что портит его эксплуатационные свойства. Теплонит имеет гидроизоляционный пленочный слой, который препятствует проникновению влаги. Кроме того, он состоит из полипропиленовых волокон – негигроскопичных, экологически чистых, легких. Он удобен в эксплуатации и при монтаже, легко раскраивается, крепится к поверхности, наращивается по ширине. Этот материал предназначен для гидро- и теплоизоляции, способен защитить дорожную конструкцию и от морозного пучения грунта, что важно для эксплуатации дорог в российских условиях. Доказано, что теплонит является экологически безопасным материалом, отличается высокой химической стойкостью, не подвержен гниению, значительно легче и прочнее геотекстильных материалов из других химволокон и их смесей. Теплонит предотвращает перемешивание песка подстилающего слоя с грунтом земляного полотна, защищает земполотно от переувлажнения при выпадении обильных атмосферных осадков и весеннего таяния снежного покрова.

Заключение. 1. Развитая дорожная инфраструктура – один из главных факторов, определяющих успех в развитии лесного комплекса.

2. Сеть лесных дорог должна быть постоянной и развивающейся, ее необходимо сохранять и накапливать.

3. В лесных регионах РФ, не имеющих в достаточном количестве природных каменных материалов, целесообразно использовать железобетонные плиты из мелкозернистого песчаного бетона с устройством двухслойных покрытий, разработанных в МарГТУ.

4. Необходимо отметить, что предлагаемая малозатратная технология строительства лесных дорог должна пройти широкую опытно-производственную апробацию с целью необходимых уточнений и дополнений.

5. Отметим, что опытная партия таких плит из мелкозернистого цементного железобетона была изготовлена на Кировском ЖБИ «Лесстройдеталь». Она успешно прошла длительную производственную проверку на автомобильной лесовозной дороге Староверческого лесопункта Майского ЛПХ Кировской области. Также в 1999–2000 гг. на заводе «Крупнопанельное домостроение» в г. Йошкар-Ола были выполнены успешные исследования и стендовые испытания плит из мелкозернистого бетона для подъездных путей автомобильных дорог.

Литература

1. Чернякевич, В. И. Конструирование и расчет многослойного дорожного покрытия из железобетонных плит: монография / В. И. Чернякевич, Н. Н. Пушкаренко, Л. М. Чернякевич. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2007. – 177 с.

Поступила 14.03.2012

УДК 638.383

О. Н. Бурмистрова, доктор технических наук, доцент, заведующая кафедрой (ФГБОУ ВПО «Ухтинский государственный технический университет», Российская Федерация, Республика Коми); **М. А. Воронина**, ассистент (ФГБОУ ВПО «Ухтинский государственный технический университет», Российская Федерация, Республика Коми)

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАЗВИТИЯ СЕТИ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

В статье рассмотрены причины недоосвоения расчетных лесосек в Республике Коми. Предложена оптимальная схема территориальной организации сети лесовозных дорог – создание сети-«каркаса» постоянно действующих, круглогодичных лесовозных магистралей. Предложены меры по разгрузке дорог общего пользования. Рассмотрен пообъектный план строительства и реконструкции лесовозных автодорог и автодорог общего пользования. Предусмотрена организация подъездов к близлежащим населенным пунктам, нуждающимся в круглогодичном транспортном сообщении.

The article considers the reasons for underutilized allowable cut in the Komi Republic. The optimal scheme of territorial organization of the forest road network – a network-"frame" the permanent, year-round logging roads. The measures for the unloading of public roads. Considered plan of construction and reconstruction of logging roads and public roads. The organization of the entrances to the nearby settlements, requiring year-round transport.

Введение. В результате более чем 50-летней интенсивной эксплуатации лесного фонда Республики Коми незначительные по площади, неосвоенные рубками лесные массивы сохранились только на большом (300 километров и более) удалении от мест переработки. Расчетная лесосека этих массивов составляет не более 2 млн. м^3 в год и не способна обеспечить требуемый прирост объема заготовок [1].

Более 40% площади лесного фонда южной зоны республики занимают массивы молодняков и средневозрастных насаждений, перемежающиеся компактными (10–20 тыс. га) участками лесов, частично пройденных рубками прошлых лет; низкополнотными (менее 100 м^3/га) насаждениями; и более мелкими участками спелых и перестойных насаждений по 1–3 тыс. га. Леса южной и северо-западной частей Республики Коми являются наиболее перспективными для проведения лесозаготовительных работ.

По экономическим причинам неблагоприятны для освоения территории лесничеств, расположенных в северо-восточной части республики, – МО МР «Печора», МО МР «Вуктыл» (северная часть), МО МР «Сосногорск». Территории характеризуются значительной транспортной удаленностью от мест переработки, неблагоприятными почвенно-грунтовыми условиями (заболоченность) и низким средним запасом на гектаре (100 м^3 и менее). Эти леса могут являться резервной сырьевой базой для планируемого крупного лесоперерабатывающего комплекса в п. г. т. Троицко-Печорске, так как их освоение потребует больших инвестиций по сравнению с лесами юга республики.

Более 70% лесного фонда недоступно для разработки в летнее время по почвенно-грунтовым условиям, при этом распределение «зимних» и «летних» лесов по территории республики неравномерно. Значительные массивы лесов, доступных для разработки в летнее время, находятся на территории МО МР «Усть-Куломский» и в южной части МО МР «Койгородский», наибольшие площади «зимних» лесов – в МО МР «Удорский».

Среднее расстояние вывозки заготовленного леса крупными лесозаготовителями в настоящий момент составляет 200–250 км, из них: 180–200 км по дорогам общего пользования и до 50 км по лесовозным дорогам. Значительное расстояние вывозки связано с освоением периферийных лесных массивов на территории МО МР «Удорский», МО МР «Усть-Куломский» и МО МР «Койгородский».

Основная часть. В период интенсивного освоения лесного фонда в 70–90-х гг. прошлого века удлинение лесовозных магистралей для обеспечения заготовки 1 млн. м^3 составляло 2–3 км. Постепенно, по мере продвижения вглубь лесного фонда, магистрали удлинялись вплоть до экономически целесообразного предела вывозки в 80–100 км до места потребления или погрузки; затем предприятие перебазировалось к новым неосвоенным лесным массивам. В настоящее время, в связи с практически полным исчезновением неосвоенных лесных массивов, такая стратегия освоения лесного фонда неприменима.

Большинство арендных участков сконцентрировано в юго-западной части республики, где расположены крупнейшие потребители сырья (ОАО «Монди – Сыктывкарский ЛПК»). Освоение расчетной лесосеки в 2010 г. в среднем по республике составляет 50% от предоставленной.

Основной причиной недоосвоения расчетной лесосеки является истощение лесных массивов вблизи действующих лесовозных дорог, а также факторы экономического характера – монопольные, низкие цены на балансовое сырье, не позволяющие разрабатывать существующие лесные массивы с допустимым для предпринимателей уровнем доходности лесозаготовок.

Увеличение закупочных цен на баланс зависит от усиления конкуренции на рынке круглых лесоматериалов в республике. В последнее время наметился интерес инвесторов по развитию перерабатывающих производств, использующих баланс в качестве сырья. Инвестиции требуют наличия гарантий по устойчивому лесообеспечению будущих производств за счет предоставления собственной сырьевой базы. При этом затраты, связанные с транспортным освоением сырьевой базы, могут быть сравнимы с объемом инвестиций в само производство. Таким образом, отсутствие сети действующих лесовозных дорог ведет к ухудшению инвестиционного климата в Республике Коми, что отрицательно сказывается на конкуренции, закупочных ценах на баланс и, соответственно, доходности лесозаготовок и возможности предприятий развивать лесотранспортную сеть за счет собственных средств.

В сложившейся ситуации оптимальной схемой территориальной организации сети лесовозных дорог является создание сети-«каркаса» постоянно действующих, круглогодичных лесовозных магистралей, которые:

– обеспечивают доступ к относительно крупным, разрозненным участкам спелых и перестойных лесов на ранее освоенной территории лесного фонда;

– обеспечивают доступ к периферийным неосвоенным лесным массивам при условии удлинения магистралей;

– служат для проведения рубок ухода в средневозрастных и проходных рубок в приспевающих лесных массивах.

Основой каркаса сети являются дороги общего пользования, выполняющие функции грузосборочных дорог, важнейшими из которых являются федеральная автодорога «Вятка» и республиканская автодорога Сыктывкар – Усть-Кулом. Грузооборот круглых лесоматериалов по отдельным участкам этих дорог может достигнуть до 4 млн. м^3 в год (см. рис. 1), что соответствует III–IV техническим категориям дорог общего пользования. Для отдельных дорог общего пользования, расположенных на периферии лесной зоны республики, потребуется проведение реконструкции с целью доведения их характеристик до требований V технической категории дорог общего пользования.

По принципу исторически сложившегося тяготения мест заготовки к пунктам переработки или погрузки Республика Коми была разделена на три лесотранспортных района. Центром Вычегодского района с расчетной лесосекой в 11,3 млн. м^3 является г. Сыктывкар; центром Печорского района с расчетной лесосекой в 2,2 млн. м^3 – пгт Троицко-Печорск; центром Удорского района с расчетной лесосекой 2,2 млн. м^3 (с учетом Архангельской области) – п. г. т. Усогорск. При составлении Генеральной схемы подразумевалось, что древесина, заготовленная на территории соответствующего района, вывозится преимущественно в центр района, при этом размещение перерабатывающих производств может быть предусмотрено в любом населенном пункте по направлению вывозки. Например при вывозке древесины в г. Сыктывкар по направлению Усть-Кулом – Сыктывкар производства могут размещаться в населенных пунктах: Усть-Кулом, Корткерос, Сторожевск и других

Прогнозируется, что до 2018 года наибольшее развитие получат лесопромышленные узлы в г. Сыктывкар, п. г. т. Усогорск, п. г. т. Троицко-Печорске, с. Усть-Кулом.

Расчетная лесосека в объеме до 7 млн. м^3, необходимая для реализации проекта Троицко-Печорского ЛПК, может быть обеспечена за счет развития лесотранспортных путей в МО МР «Печора», МО МР «Сосногорск», МО МР «Ижемский».

При формировании Генеральной схемы предусматривались транзитные транспортные пути, позволяющие перераспределить грузопотоки между лесотранспортными районами. В случае развития Троицко-Печорского лесопромышленного узла объем перераспределяемой между лесотранспортными районами расчетной лесосеки может достигнуть 2,5–3 млн. м^3 ежегодно. При этом весь объем заготовленной древесины может осуществляться по действующей дороге общего пользования Сыктывкар – Троицко-Печорск (участок Усть-Кулом – Пузла – Крутая – Троицко-Печорск), либо по новой магистрали Пузла – Троицко-Печорск и Богородск – Нившера – Пузла.

С целью разгрузки дорог общего пользования обеспечен выход лесовозных магистралей и грузосборочных дорог к станциям ширококолейной железной дороги Верхнеижемская, Боровой, Усогорск и другим. Использование водных путей вывозки леса на участке Сыктывкар – Усть-Кулом позволит дополнительно разгрузить дорогу общего пользования на 300–400 тыс. м^3 в год. Дальнейшая разгрузка дорог общего пользования может быть реализована только за счет

размещения лесоперерабатывающих производств в узловых точках лесотранспортной сети, в первую очередь в населенных пунктах Объячево, Койгородок, Визинга, Усть-Кулом, Корткерос и пгт Троицко-Печорск.

Такая схема организации транспорта леса позволит строить и содержать относительно дешевые лесовозные магистрали, с годовым грузооборотом 150–300 тыс. м^3 (IV-в–III-в технических категорий дорог промышленного транспорта), с направлением основного потока заготовленной древесины по дорогам общего пользования и к железнодорожным станциям.

Заключение. Рассмотрен пообъектный план строительства и реконструкции лесовозных автодорог и автодорог общего пользования, необходимых для организации вывозки древесины, составлен с учетом необходимости достижения к 2018 г. уровня заготовки древесины в размере 20 млн. м^3.

План строительства лесовозных дорог включает в себя строительство и реконструкцию автодорог общей протяженностью 5219 км; из них: 4430 км строительство новых автодорог и автодорог, проходящих по трассам периодически действующих, сезонных магистралей; реконструкция составляет 789 км. Общий максимальный годовой грузооборот дорог составит около 1 млн. м^3.

Определен поэтапный порядок ввода дорог в действие:

I этап – 2010–2012 гг;

II этап – 2013–2015 гг;

III этап – 2016–2018 гг.

Порядок ввода дорог в действие определен на основе сведений об увеличении потребности в круглых лесоматериалах для вновь вводимых и реконструируемых производственных мощностей, а также сведений о приоритетных инвестиционных проектах в области лесопромышленного комплекса.

В первоочередном порядке предусмотрено строительство дорог, обеспечивающих формирование «каркаса» сети лесовозных дорог, включающего основные грузосборочные дороги и магистрали с наибольшим грузооборотом. При определении приоритетности строительства дорог принята во внимание закрепляемая за приоритетными инвестиционными проектами арендная база лесного фонда.

Экономическая и бюджетная эффективность строительства и реконструкции дорог обусловливается успешностью развития лесопромышленного комплекса в целом, ввиду того, что основной размер добавленной стоимости лесным продуктам добавляется на этапе переработки древесины. Поэтому эффективность реализации Генеральной схемы необходимо рассматривать совместно с эффективностью реализации программ и планов развития лесного комплекса.

Увеличение освоения расчетной лесосеки позволит получить дополнительные доходы в республиканский и федеральный бюджеты. Бюджетная эффективность освоения одного обезличенного кубометра расчетной лесосеки с учетом его комплексной переработки составит 300 руб./м^3 в год налоговых поступлений в доход республиканского бюджета и 600 руб./м^3 поступлений в доход федерального бюджета, без учета платежей за пользование лесным фондом, или для 9,4 млн. м^3 дополнительно осваиваемой расчетной лесосеки – 2,8 и 5,6 млрд. руб. в доход соответствующего бюджета ежегодно (согласно данным Министерства промышленности и энергетики Республики Коми).

Генеральной схемой предусмотрено строительство лесовозных автодорог в муниципальных образованиях, в состав которых входят удаленные и труднодоступные населенные пункты. Рассматривается перечень важнейших лесовозных автодорог, улучшающих транспортное обеспечение жителей таких населенных пунктов.

В пообъектный план строительства и реконструкции включена реконструкция участков дорог общего пользования, связывающих удаленные населенные пункты с центрами муниципальных поселений, районными центрами и городом Сыктывкар.

Освоение лесных участков арендаторами лесного фонда должно осуществляться с учетом необходимости улучшения транспортной доступности населенных пунктов. Строительство лесовозных веток необходимо вести таким образом, чтобы организовать подъезды к близлежащим населенным пунктам, нуждающимся в круглогодичном транспортном сообщении.

Литература

1. Генеральная схема развития сети лесных дорог Республики Коми: Проект правительства Республики Коми. – Сыктывкар, 2008.

Поступила 14.03.2012

УДК 638.383

О. Н. Бурмистрова, доктор технических наук, доцент, заведующая кафедрой (ФГБОУ ВПО «Ухтинский государственный технический университет», Российская Федерация, Республика Коми); **С. А. Король,** старший преподаватель (ФГБОУ ВПО «Ухтинский государственный технический университет», Российская Федерация, Республика Коми)

ОЦЕНКА ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ЛЕСОВОЗНОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ СЫКТЫВКАР – ТРОИЦКО-ПЕЧОРСК

В статье определены два основных фактора, влияющих на фактический модуль упругости в весенний и осенний периоды: введение новых мощностей различного рода лесопромышленных производств, в частности реализация проекта Троицко-Печорского целлюлозно-картонного комбината; отсюда и прогнозирование увеличения интенсивности движения; природно-климатический фактор. Рекомендуется весной особое внимание уделять участкам дорог, подверженным пучинообразованию, устанавливать за ними постоянный надзор. При первых признаках пучинообразования принимать меры к прекращению движения по дороге или снижению его до полного оттаивания и высыхания пучинистых грунтов. Водостоки заблаговременно подготавливать к приему паводковых вод.

The article identified two main factors that determine the actual modulus of elasticity in the spring and autumn: the introduction of new facilities of various kinds of forest products industries, in particular, the project Troitsko-Pechorsk pulp and paper mill, hence the forecast increase in traffic, the natural-climatic factor. Recommended to pay special attention to the spring sections of roads subject to gulf formation, set them constant supervision. At the first sign gulf formation to take measures to stop traffic on the road, or reducing it to a completely thawed and dry heaving soils. Drains in advance to prepare to receive the flood waters.

Введение. Прочность дорожного покрытия – важнейший критерий эксплуатационной надежности автомобильной дороги. Основными причинами снижения прочности являются: воздействие климатических и гидрологических условий, а также многократно повторяющиеся нагрузки от движения транспорта [1].

Основная часть. Проведенные испытания дали возможность оценить эксплуатационное состояние дорожного покрытия, выявить участки с недостаточной прочностью.

Работы проведены в пять этапов:

1. Предварительное обследование: определение видов и количества дефектов проезжей части.

2. Подготовка к детальному обследованию: обработка данных о фактическом состоянии покрытия испытываемой дороги, определение и назначение границ характерных участков по видам дефектов покрытия.

3. Детальное обследование: полевые испытания дорожной конструкции методом динамического нагружения.

4. Подсчет суточной интенсивности движения.

5. Камеральная обработка полученных данных.

Для проведения работ по испытанию дорожного покрытия методом кратковременного нагружения была использована передвижная дорожная лаборатория КП-514МП на базе ГАЗ-3221 с прицепным оборудованием УДН Дина-3М (свидетельство о проверке № 507432, сертификат о калибровке средства измерения № 941). Принцип ее действия – создание динамического усилия на дорожное покрытие в результате сбрасывания груза массой 160 кг с упругим амортизирующим элементом (пружиной) на жесткий штамп, установленный на дорожное покрытие и обеспечивающий площадь отпечатка и удельную нагрузку на покрытие, эквивалентную отпечатку и нагрузке расчетного автомобиля группы А с нагрузкой на ось 100 кН и площадью отпечатка протектора 33 см.

Испытания в период сезонного снижения прочности дорожной одежды производились по полосе наката на каждом характерном участке дороги, но не реже чем один раз на 2 км (рисунок 1).

При обследовании нами было установлено пять пунктов учета интенсивности движения транспортного потока. Первый располагался на 3 км + 000 м и характеризовал интенсивность транспортного потока на участке г. Сыктывкар – п. Краснозатонский; второй – в конце п. г. т. Краснозатонский (км 11 + 966 м, ДПП 11,832 км) и характеризовал интенсивность движения на участке п. г. т. Краснозатонский – п. Корктерос; третий – на км 45 + 442 м (ДПП 45,472 км) и характеризовал интенсивность транспортного потока на участке п. Корткерос – с. Сторожевск. Четвертый пункт учета интенсивности располагался на км 92 + 881 м (ДПП 92,881 км) и характеризовал интенсивность на участке с. Сторожевск – с. Усть-Кулом, пятый – на км 181 + + 664 м (ДПП 181,675 км) и характеризовал интенсивность движения транспортного потока на участке с. Усть-Кулом – с. Помоздино.

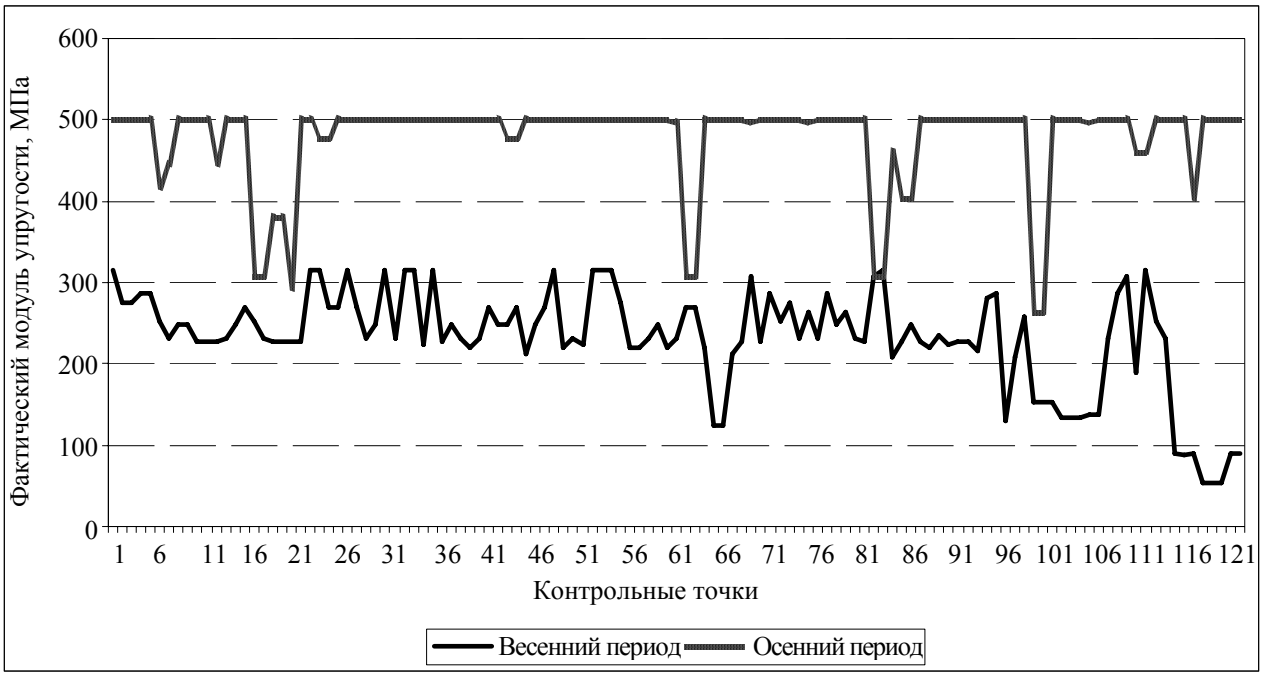


Диаграмма фактического модуля упругости в весенний и осенний периоды

Полученные данные были обработаны согласно методике кратковременного учета интенсивности движения "РосдорНИИ" на основе ВСН 6-90, которая содержит уточненный порядок сбора информации об интенсивности в составе транспортного потока на дорогах при комплексной диагностике их состояния.

Для проведения дальнейших расчетов по оценке прочности дорожной одежды суточная интенсивность смешанного транспортного потока приведена к интенсивности движения расчетной нагрузки группы А. Расчет составлен согласно ВСН 52-89 (п. 3).

Приведенная к расчетному автомобилю интенсивность движения на полосу на момент полевых испытаний, авт/сут:

$$N_{\text{ф}} = N \cdot f_n \cdot \sum_{j=1}^{\omega} \alpha_j \cdot P_j \,, \qquad (1)$$

где N – интенсивность движения транспортного потока, состоящего из всех типов автомобилей (общая интенсивность), авт/сут.; f_n – коэффициент, учитывающий количество полос движения на обследуемой дороге. Для двухполосной проезжей части $f_n = 0{,}55$ [ВСН 52-89, табл. 3.1]; ω – количество типов автомобилей в транспортном потоке, $\omega = 8$; α_j – коэффициент приведения рассматриваемого автомобиля к расчетному; P_j – доля j-го типа автомобиля в составе транспортного потока (по данным учета движения на дороге).

Требуемую прочность дорожных одежд определяют применительно к следующим задачам, решаемым в практической деятельности дорожных организаций:

– оценка прочности дорожной одежды для расчета толщины слоев усиления при разработке проектов на ремонт и реконструкцию автомобильных дорог;

– оценка прочности дорожной одежды в процессе эксплуатации автомобильных дорог (в том числе при диагностике, паспортизации и инвентаризации автомобильных дорог, временном ограничении дорожного движения при пропуске транспортных средств, перевозящих тяжеловесные грузы);

– оценка качества строительных и ремонтных работ.

Требуемый модуль упругости $E_{\text{тр}}$ независимо от результата расчетного требуемого модуля $E_{\text{ртр}}$ должен быть не меньше нормативного $E_{\text{нтр}}$. Нормативное требуемое значение прочности дорожной одежды для III категории дороги составляет $E_{\text{нтр}} = 200$ МПа.

Расчетный требуемый модуль упругости дорожной одежды и земляного полотна определен по формуле [ОДН 218.1.052-2002, ф. 4.1]:

$$E_{\text{ртр}} = E_{\min} \cdot k_{\text{пр}} \cdot k_{\text{рег}} \cdot k_{\text{си}} \cdot k_{\text{z}} \cdot \frac{1}{\chi_i} \,, \qquad (2)$$

где χ_i – параметр, зависящий от допускаемой вероятности повреждения покрытий $r_{\text{доп}} = 1 - k_{\text{н}}$; $k_{\text{н}}$ – уровень надежности дорожной одежды. Для III категории дороги, облегченного типа покрытия и II дорожно-климатической зоны $k_{\text{н}} = 0{,}84$.

Тогда для участков с 1-го по 5-й:

$$r_{\text{доп}} = 1 - 0{,}84 = 0{,}16\ ;\ \chi_i = 1{,}23;$$

$k_{\text{пр}}$ – коэффициент относительной прочности. Для облегченной дорожной одежды $k_{\text{пр}}$= 0,90 (ОДН 218.1.052-2002); $k_{\text{рег}}$ – региональный коэффициент прочности. Для II дорожно-климатической зоны $k_{\text{рег}}$ = 1,00; $k_{\text{си}}$ – коэффициент, учитывающий сопротивление конструктивных слоев дорожной одежды сдвигу и изгибу.

Для II дорожно-климатической зоны и $N_{\text{ф}}$ = 1000÷500 авт./сут $k_{\text{си}}$ = 1,16 (для 1-го участка). Для $N_{\text{ф}}$ 500÷250 авт./сут $k_{\text{си}}$ = 1,35 (2-й, 3-й участки). Для $N_{\text{ф}}$ 500÷100 авт./сут $k_{\text{си}}$ = = 1,60 (4-й участок).

Для II дорожно-климатической зоны и расчетной интенсивности менее 100 авт./сут $k_{\text{си}}$ = 1,00 (5-й участок); k_z – расчетный коэффициент, зависящий от фактической (расчетной) интенсивности движения.

Тогда для 1-го участка при $N_{\text{ф}}$ = 592,19 k_z = 0,98, для 2-го при $N_{\text{ф}}$ = 315,50 k_z = 0,88; для 3-го при $N_{\text{ф}}$ = 255,12 k_z = 0,85; для 4-го при $N_{\text{ф}}$ = 138,32 k_z = 0,80; для 5-го: при $N_{\text{ф}}$ = 62,32 k_z = 0,72 (ОДН 218.1.052-2002, прил. 6, табл. 4); $E_{\min}$ – промежуточный в расчетах параметр, равный максимальному значению из $E_{1\min}$ и $E_{2\min}$; $E_{2\min}$ – нормативное значение модуля упругости. Для III категории дороги и облегченного типа покрытия $E_{2\min}$ = 200 МПа; $E_{1\min}$ – параметр, определяемый по формуле (ОДН 218.1.052-2002, (4.2)):

$$E_{1\min} = A + B \cdot \left[\lg\left(\gamma \cdot \omega^* \cdot N_1 \cdot \frac{q^{t_i} - 1}{q - 1} \right) - 1 \right], \quad (3)$$

где A и B – эмпирические коэффициенты, принимаемые для расчетной нагрузки: A = 125 МПа; B = 68 МПа (ОДН 218.1.052-2002, с. 37); γ – параметр, учитывающий суммарное число приложений расчетной нагрузки и принимаемый для облегченных дорожных одежд γ = 0,148; ω^* – коэффициент, учитывающий продолжительность расчетного периода и агрессивность воздействия расчетных автомобилей в разных погодно-климатических условиях. Для Северо-западного региона России и облегченного типа покрытия ω^* = 1,27; N_1 – среднесуточная интенсивность движения на полосу в расчетный период 1-го года эксплуатации, приведенная к расчетным автомобилям:

$$N_1 = N_{\text{ф}} \cdot q\ , \quad (4)$$

где q – показатель роста интенсивности. Принимаем q = 1,02.

Заключение. Как показывают исследования, фактический модуль упругости в весенний период значительно ниже, чем в осенний. Это вызвано двумя основными факторами:

1. Введение новых мощностей различного рода лесопромышленных производств, в частности реализация проекта Троицко-Печорского целлюлозно-картонного комбината; отсюда и прогнозирование увеличения интенсивности движения.

2. Природно-климатический фактор.

В весенний период содержание дорог сводится главным образом к предохранению покрытия от разрушения на слабых пучинистых участках. В данный период происходит оттаивание грунтов и обильное насыщение их влагой (четвертая стадия увлажнения). При этом снижается величина фактического модуля упругости, а, следовательно, и коэффициент прочности.

На переувлажненных участках дорог под воздействием ударов и толчков при движении тяжелого транспорта (лесовозный автотранспорт) могут образоваться просадки. Поэтому одной из первостепенных задач работ по дорогам в весенний период является улучшение водно-теплового режима земляного полотна.

Весной особое внимание уделяют участкам дорог, подверженным пучинообразованию. За ними устанавливают постоянный надзор. При первых признаках пучинообразования принимают меры к прекращению движения по дороге или снижению его до полного оттаивания и высыхания пучинистых грунтов.

Водостоки должны быть заблаговременно подготовлены к приему паводковых вод.

Литература

1. Сильянов В. В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог / В. В. Сильянов. – М.: Транспорт, 1984. – 287 с.

Поступила 14.03.2012

УДК 625.7/.8

И. И. Леонович, доктор технических наук, профессор (БНТУ);
И. С. Мельникова, магистр технических наук, аспирант (БНТУ)

ИННОВАЦИИ В СИСТЕМЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ, НАПРАВЛЕННЫЕ НА ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ И ЛИКВИДАЦИЮ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ

Непрерывный инновационный процесс является основой повышения эффективности организации производства в дорожной отрасли. Переход на европейские стандарты пропуска нагрузок 11,5 и 13 т/ось и повышение долговечности республиканских дорог невозможен без перехода на обновленную нормативную базу в соответствии с европейскими нормами и требованиями, пересмотра широко применяемых технологий и материалов в дорожном строительстве, подхода к контролю качества и проведению ремонтных мероприятий.

Статья посвящена рассмотрению и оценке применяемых в Республике Беларусь инновационных технологий, машин и механизмов, материалов, используемых для ремонта и диагностики автомобильных дорог.

The innovation process is the basis for improving the organization efficiency in the road sector. The transition from Belarusian to European standards for load passing and increase of national roads durability is not possible without the updated regulations and requirements in accordance with European standards. Reviewing of commonly used techniques, materials, approaches to quality management and road maintenance is also necessary.

The review and appreciation of Belarusian innovative technologies and materials used for road maintenance are presented in the article.

Введение. Автомобильные дороги играют важную роль в хозяйственной жизни страны, по ним судят об экономическом развитии государства, благосостоянии жителей. Качество дорожных покрытий определяет как скорости передвижения, комфортность езды, так и безопасность участников движения. Само качество определяется технико-экономическими, транспортно-эксплуатационными, технологическими, эргономическими показателями. Однако прежде всего оно связано с используемыми материалами и технологиями, и сегодня в строительстве находят широкое применение специальные модифицированные вяжущие материалы, активированные минеральные порошки, современные машины и механизмы для проведения строительных работ, геосинтетические материалы с целью увеличения долговечности покрытия и др. [1].

Сеть дорог общего пользования Беларуси в настоящее время сформирована с учетом дальнейшего развития экономики, социальных потребностей населения и составляет более 86 тыс. км. Сложившаяся ситуация во многом способствует приближению к европейским стандартам качества безопасности и срокам эксплуатации дорог. Но достижение этой цели требует и некоторого пересмотра отношения к строительству дорог, контролю качества выполняемых работ и используемых материалов, перехода на обновленную нормативную базу в соответствии с европейскими нормами и требованиями.

Эффективная организация производства в дорожном хозяйстве основана на непрерывном инновационном процессе. Этот процесс, в свою очередь, осуществляется в соответствии с тенденциями и динамикой научно-технического прогресса. Инновационная модель в дорожно-строительном производстве предполагает использование современной высокопроизводительной техники, более качественных технологий и материалов. Причем их применение должно соответствовать уровню транспортных нагрузок на дорожную одежду и обеспечивать наибольшую долговечность дорог в рамках финансирования отрасли.

Основная часть. Для решения задачи эффективной организации дорожного хозяйства департаментом «Белавтодор» на 2011–2015 гг. в соответствии с Программой инновационного развития Республики Беларусь и отраслевой программой Министерства транспорта и коммуникаций предусмотрена программа реализации инновационных проектов.

Так, в 2011 г. осуществлялась реализация проекта «Строительство нового производства для изготовления резинобитумных вяжущих на базе РУП «Мадикор» ГП «БелдорНИИ», начата и продолжена в 2012 г. реализация проекта «Разработка и внедрение конструкций дорожных одежд под современные европейские нагрузки в 11,5 т, обеспечивающих повышенную долговечность с применением новых дорожно-строительных материалов и технологий». Также в 2012 г. начата реализация проекта «Разработка

и внедрение автоматизированной системы мониторинга эксплуатационной надежности больших мостовых сооружений на международных транспортных коридорах» [2].

Для решения этих задач в распоряжении наших дорожников имеются новейшие технологии и оборудование.

При диагностике применяют георадарное оборудование (комплект «Око»), позволяющее выявлять дефекты в дорожной одежде и грунтах земляного полотна. Принцип работы комплекта основан на передаче антенной в исследуемую среду электромагнитного импульса, который отражается от находящихся в ней предметов или от границы раздела сред.

РУП «Белорусский дорожный инженерно-технический центр» использует при проведении ежегодной диагностики республиканских автомобильных дорог лабораторию визуального сканирования LineScan, позволяющую получить изображение дорожного покрытия, по которому с применением специального программного обеспечения определяются объемы поверхностных дефектов [3]. 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 и составляют вместе один непрерывный образ.

При ремонте дорожники используют новейшие разработки для герметизации швов и трещин (мастики, ленточные материалы), мембранную технологию для жестких дорожных покрытий, устраивают тонкие слои износа по технологии «Тонфиз» для асфальтобетонных покрытий.

Технология устройства тонкослойного фрикционного износостойкого защитного покрытия «Тонфиз-слой» используется при ремонте дорожных покрытий с прогрессирующей сеткой трещин, отдельными трещинами, шелушением поверхности покрытия, ранее отремонтированными выбоинами, ухудшающими ровность. Принцип устройства слоя – обеспечение высокоскоростной (10 м/мин) укладки слоя горячей асфальтобетонной смеси подобранного гранулометрического состава поверх тонкого связующего слоя из модифицированной эмульсии (или битума), распределенных непосредственно перед укладкой. Обе операции производятся за один проход специального асфальтоукладчика «Vögele Super 1800SF». Преимущество: покрытие очень гомогенно, движение можно открывать непосредственно после окончания уплотнения.

С 2003 г. на дорогах Беларуси с автомобильной дороги М-1/Е-30 Брест – Минск – граница РФ начато внедрение автоматизированной системы управления содержанием дорог. На сегодняшний день в республике создана сеть, включающая в себя свыше 70 дорожно-измерительных станций (ДИС). Основные цели их установки – прежде всего, управление зимним содержанием дорог (краткосрочный прогноз посыпок, уборки дорог, контроль расхода противогололедных материалов), а также анализ потоков и скорости движения, оценка перспектив развития пропускной способности дорог.

Для эффективной борьбы с поверхностными дефектами и увеличения сроков службы дорог также важно знать, что именно представляет наибольшую опасность. По результатам диагностики за прошедшие десять лет установлено, что наиболее характерным видом повреждения покрытия являются трещины (рис. 1). Далее отметим некоторые инновационные подходы и результаты работы авторов по решению проблемы трещинообразования.

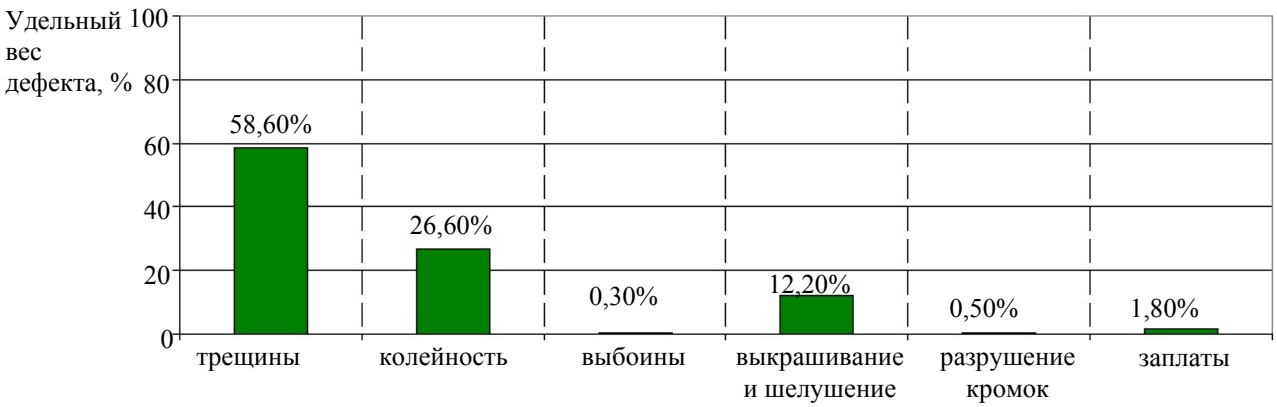


Рис. 1. Виды повреждений покрытий республиканских автомобильных дорог (по результатам обработки результатов диагностики 2000–2010 гг.)

На основании измерений температуры воздуха с 1989 по 2010 г. на республиканских метеостанциях, по данным ГУ «Республиканский гидрометеорологический центр», авторами рассчитаны фактические температуры работы асфальтобетонных покрытий согласно методике «Суперпэйв»: установлены предельные значения температур покрытия с обеспеченностью 50% и 98% (рис. 2). Определение значений экстремальных температур или показателя PG в системе проектирования асфальтобетонных покрытий «Суперпэйв» сводится к четырем основным шагам: анализу климатических данных, определению температуры покрытия, определению значений показателя функционального типа асфальтобетона, корректировке полученных значений [4]. Первое число в значении показателя, например «48», обозначает максимальную положительную температуру покрытия, а «–30» – минимальную отрицательную.

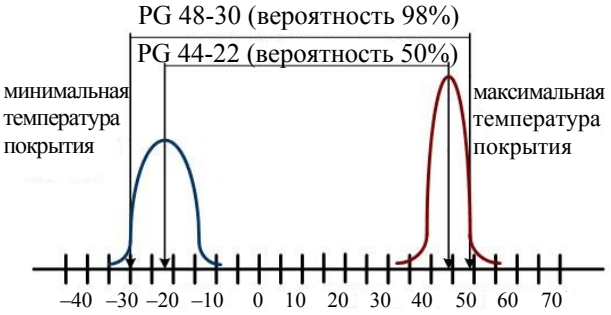


Рис. 2. Минимальные и максимальные температуры покрытия для г. Минска

Важным в определении температурных условий работы покрытий является также вопрос, какой именно уровень надежности (обеспеченности) необходимо использовать при выборе вяжущего, ведь при 50% обеспеченности существует шанс 50/50, что в любом году температура превысит или будет ниже запроектированной. В условиях Республики Беларусь предлагается на республиканских автомобильных дорогах принимать уровень обеспеченности 98% для дорог первой, второй и третьей категорий и 50% для дорог ниже третьей категории.

Значения экстремальных температур покрытия с учетом округления для областных центров Республики Беларусь, рассчитанные согласно американской методике «Суперпэйв» в соответствии с максимальными и минимальными температурами воздуха, зафиксированными на метеорологических станциях за последние 20 лет, представлены в таблице.

При работе покрытия в установленных пределах по спецификации «Суперпэйв» возможность образования повреждений на покрытии минимальна. Учитывая же свойства органических вяжущих материалов, а именно сопоставляя температуру хрупкости и температуру размягчения битумов с полученными предельными температурами, получаем, что в качестве вяжущего в условиях Беларуси необходимо применять исключительно модифицированное дорожные битумы марки БМА. Несоблюдение этого условия может привести к возникновению хрупких деформаций и образованию трещин в зимний период низких отрицательных температур и сдвиговых деформаций с появлением на покрытии колеи в летнее время.

Значения экстремальных температур покрытия

Областной центр	По спецификации «Суперпэйв»
г. Брест	+52…–28
г. Гродно	+52…–28
г. Витебск	+52…–34
г. Могилев	+52…–34
г. Гомель	+58…–28
г. Минск	+52…–28

По результатам измерений температуры воздуха, грунта и дорожного покрытия с ДИС, накопленным в РУП «Белдорцентр», проведен регрессионный анализ зависимости температур покрытия от температуры окружающего воздуха. Для расчета приняты данные со станции, расположенной в пос. Раубичи на 19 км автомобильной дороги М-3 Минск – Витебск.

Полученное уравнение для отрицательной области изменения температур имеет следующий вид:

$$T_{\text{покр}} = 0{,}89 \cdot T_{\text{возд}} + 0{,}21, \qquad (1)$$

где $T_{\text{покр}}$ – температура поверхности покрытия; $T_{\text{возд}}$ – температура окружающего воздуха.

Уравнение для положительной области изменения температур

$$T_{\text{покр}} = 1{,}63 \cdot T_{\text{возд}} - 3{,}16. \qquad (2)$$

Так, при температуре окружающего воздуха –10ºС температура на поверхности покрытия будет несколько выше и составит –8,7ºС в соответствии с формулой (1). При +10ºС поверхность покрытия, согласно выражению (2), будет теплее (+13,1ºС).

Авторами также ведутся исследования воздействия на дорожную конструкцию температурных и транспортных нагрузок, влияния трещин на прочность дорожной одежды. Напряженно-деформированное состояние конструкции оценивается методом конечных элементов. Преимущество метода в том, что он позволяет производить анализ как при воздействии температуры и транспорта по отдельности, так и одновременно. Результаты исследования позволяют получить эффективную

технологию ремонта трещин, разработать трещиностойкие конструкции дорожных одежд.

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 в 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.

Заключение. На основании изложенного выше можно сделать следующие выводы.

1. Дорожная отрасль нашей республики находится на пути инновационного развития. Специалистами ведется разработка новой нормативной документации, активно внедряются системы автоматизированного проектирования дорог, новая специализированная техника в строительстве, диагностике и ремонте, используются нанотехнологии при производстве асфальтобетонных смесей с различными добавками, автоматизированно исследуется работа дорожной конструкции.

2. Для диагностики и ликвидации на автомобильных дорогах поверхностных повреждений, основными из которых являются трещины различного характера, в настоящее время применяется новейшее оборудование (георадарное, термографическое и др.) и технологии (ремонт трещин с использованием ленточных мастичных материалов, устройство тонких слоев износа, мембранная технология ремонта жестких дорожных покрытий). Использование современных машин для производства ремонтно-строительных работ (смесительная машина для стабилизации и регенерации дорожного полотна RM500, асфальтоукладчик «Vögele Super 1800SF» и др.) способствует значительному снижению затрат и времени проведения работ.

3. При проектировании состава асфальтобетонной смеси, в частности для выбора вяжущего, необходимо учитывать температурные режимы работы покрытия. Применительно к условиям Республики Беларусь расчет показал, что покрытия работают в среднем по республике в пределах от +52ºС до –34ºС при уровне обеспеченности 98%, который соответствует дорогам первой, второй и третьей категорий, и в пределах от +46ºС до –34ºС с уровнем обеспеченности 50%, что соответствует дорогам ниже третьей категории. При функционировании асфальтобетонного покрытия в этих температурных пределах с определенной уверенностью можно говорить о длительной работе битума без образования в покрытии повреждений. Но и здесь существуют трудности: в связи с тем, что асфальтобетонное покрытие работает в температурном режиме от +58 до –34°С, применение битумов марок БН и БНД по ГОСТ 22245-90 и БД для верхнего слоя дорожного покрытия согласно СТБ 1062-97, не обеспечит работу покрытия без разрушения ни в летний период, ни зимой. Это связано с тем, что температура размягчения таких битумов находится в пределах от +35 до +51, а температура хрупкости колеблется в пределах от –6 до –20. Даже модифицированные битумы по СТБ 1220-2009 марок БМА, БМП, БММ и БМЗ полностью не удовлетворяют фактическим значениям температурных экстремумов. Улучшенный битум БДУ 70/100 европейского качества обладает температурой размягчения, близкой к температурным условиям Беларуси, однако его температура хрупкости достаточно высокая. Таким образом, до сих пор нерешенным остается вопрос обеспечения работоспособности в составе дорожного покрытия битумов, соответствующих требованиям нормативно-технической документации.

4. Автоматизированно проектирование дорожных конструкций также является важным шагом на пути инновационного развития отрасли. К примеру, прогнозирование температурного режима работы слоев дорожной одежды и напряженно-деформированного состояния конструкций под действием температурных и транспортных нагрузок позволит еще на стадии проектирования предупредить возникновение повреждений в тех или иных условиях нагружения или при соответствующем выборе материала и толщины слоев.

Литература

1. Леонович, И. И. Диагностика и управление качеством автомобильных дорог: учеб. пособие / И. И. Леонович, С. В. Богданович, И. В. Нестерович. – Минск: Новое знание, 2011. – 350 с.

2. Департамент «Белавтодор» [Электронный ресурс] / Белавтодор. – Минск, 2012. – Режим доступа: http://belavtodor.belhost.by. – Дата доступа: 27.02.2012.

3. Республиканское унитарное предприятие «Белорусский дорожный инженерно-технический центр» [Электронный ресурс] / РУП «Белдорцентр». – Минск, 2012. – Режим доступа: http://beldor.centr.by. – Дата доступа: 27.02.2012.

4. A Manual for Design of Hot Mix Asphalt with Commentary. National cooperative highway research programm, Report № 673. Transportation research board, Washington, D. C., 2011.

Поступила 14.03.2012

УДК 629.113

С. П. Мохов, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой (БГТУ);
С. Н. Пищов, кандидат технических наук, старший преподаватель (БГТУ);
М. К. Асмоловский, кандидат технических наук, доцент (БГТУ)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ САМОСВАЛА ПОВЫШЕННОЙ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ С ЗАДНЕЙ РАЗГРУЗКОЙ

В статье приведены результаты экспериментальных исследований продольной устойчивости и опорной проходимости трехосного автомобиля-самосвала увеличенной грузоподъемности с задней разгрузкой для работы в тяжелых дорожных условиях при выполнении транспортных и разгрузочных операций. Установлен характер распределения реакций под колесами переднего, среднего и заднего мостов порожнего и груженого самосвала.

The article considers the results of experimental investigations of longitudinal stability and supporting cross-country ability of triaxial heavy-duty trucks with rear loading for the operation in complicated road conditions while performing transport and charging operations. It has been determined the type of reaction distribution under the wheels of front, intermediate and rear axles in the empty and loaded truck.

Введение. В настоящее время в стране в связи с необходимостью расширения промышленного, дорожного и жилищного строительства, развития топливно-энергетического комплекса и сельскохозяйственного производства возрастает потребность в большегрузных строительных автомобилях-самосвалах. Эффективность работы автомобилей-самосвалов во многом зависит от совершенства конструкции их технологического оборудования для выполнения разгрузочных работ.

Для оценки показателей устойчивости трехосного автомобиля-самосвала увеличенной грузоподъемности с задней разгрузкой при работе в тяжелых дорожных условиях в продольной и поперечной плоскостях проведены экспериментальные исследования, результаты которых позволили определить рациональные режимы эксплуатации данного вида техники [1, 3].

Основная часть. Экспериментальные исследования опытного образца самосвала проводились в дорожных условиях, характерных для условий эксплуатации данного вида транспортных средств, и при различной загрузке кузова.

Для проведения экспериментальных исследований был подготовлен опытный образец автомобиля-самосвала повышенной грузоподъемности с задней разгрузкой. Отличительной особенностью опытного образца от серийно выпускаемых самосвалов является усиленная рама, которая изготовлена из швеллеров большего сечения из высокопрочной стали и имеет внутренние усилители лонжеронов.

Регистрация параметров осуществлялась измерительной аппаратурой в составе многофункционального измерительного комплекса «Spidpak» и портативного переносного компьютера.

В процессе проведения испытаний фиксировались следующие параметры:

– статическая нагрузка под всеми осями автомобиля в порожнем и груженом состояниях;

– реакции под колесами передней, средней и задней осей автомобиля при выполнении разгрузочных операций.

Для измерения реакций под колесами самосвала использовались тензометрические датчики вертикальной нагрузки, которые устанавливались на ровных жестких основаниях для обеспечения точности измерений.

По результатам определения реакций под колесами левого и правого бортов самосвала с использованием устройств деформации установлено, что в порожнем состоянии на переднюю среднюю и заднюю оси приходилось соответственно 42, 30, 28% веса машины.

Анализ результатов позволил установить, что нагрузка на передние колеса составляет 34–35 кН. Реакции под колесами среднего моста находятся в пределах 24–26 кН, под колесами заднего моста – 21–22 кН. Полученные результаты соответствуют данным завода-изготовителя. Погрешность измерений составила 2–3%.

Значительную часть времени самосвал эксплуатируется в груженом состоянии. По этой причине показатели продольной и поперечной устойчивости самосвала повышенной грузоподъемности являются определяющими при эксплуатации как на дорогах общего пользования, так и в тяжелых дорожных условиях.

Графическое отображение процесса переезда устройств деформации груженым самосвалом повышенной проходимости представлено на рис. 1. С помощью измерительной аппаратуры зарегистрированы реакции на переходных и установившихся режимах. При переходных режимах наблюдается резкое изменение регистрируемого параметра, в нашем случае реакций под колесами. На установившихся режимах колебания измеряемого параметра равны приблизительно среднему значению. Для получения более точных значений реакций под колесами самосвала каждое колесо находилось на устройстве деформации не менее 20 с.

Значения коэффициентов динамичности при переезде устройств деформации колесами груженого самосвала составил 1,2–1,4 при скорости движения 2–3 км/ч.

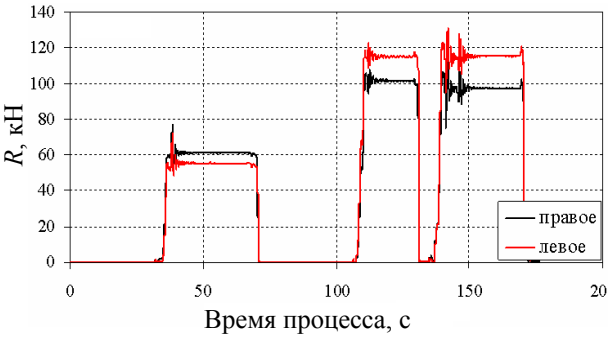


Рис. 1. Графическое отображение процесса переезда устройств деформации колесами груженого самосвала

Обработка полученных результатов позволила определить значения нагрузок на оси груженого самосвала и установить характер изменения реакций в зависимости от величины загрузки грузовой платформы. Определение реакций производилось с различной загрузкой грузовой платформы. Полная масса максимально загруженного самосвала составила около 54 700 кг. При этом следует отметить, что заводом-изготовителем рекомендуется загрузка грузовой платформы сыпучим материалом массой до 26 000 кг для возможности движения по дорогам общего пользования. При максимальной загрузке грузовой платформы самосвала нагрузки на передний мост в сравнении с порожней машиной возросли в 1,53 раза и составили 100–103 кН. Нагрузка на средний и задний мосты находилась в пределах 212–215 кН на каждый мост. Нагрузка на средний мост возросла в 4–4,5 раза, на задний – 4,8–5 раз по сравнению с порожним самосвалом.

Анализ полученных результатов и сравнение их с допустимыми значениями позволяет сделать вывод о возможности эксплуатации испытуемого самосвала по дорожным покрытиям и в карьерах с несущей способностью дорожной одежды 100–115 кПа [1] без ограничения грузоподъемности. При движении по дорогам с более низкой несущей способностью необходимо ограничивать массу транспортируемого грунта.

При подъеме грузовой платформы до момента открытия борта происходит увеличение нагрузки на задние колеса со 108 до 114 кН (рис. 2). Колеса переднего моста при этом разгружаются с 60 до 56 кН. В момент открытия борта происходит перераспределение реакций. Колеса заднего моста разгружаются в 1,37 раза, значения реакции находятся в пределах 82–85 кН. Передние колеса нагружаются менее интенсивно.

Особый интерес при выполнении разгрузочных операций представляет зависимость изменения реакций под колесами переднего моста, так как при значительной разгрузке передних управляемых колес наблюдается снижение показателей управляемости и маневренности.

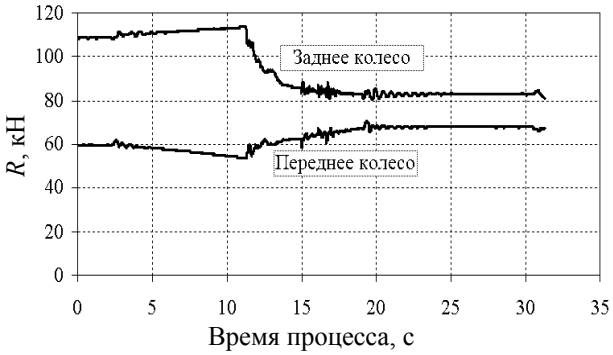


Рис. 2. Изменение реакций под колесами самосвала при открытии борта

На экспериментальной зависимости изменения реакции переднего колеса можно выделить три характерных участка. На первом участке (от 0 до 25 град) наблюдается равномерное высыпание грунта. При значениях угла наклона грузовой платформы 27–35 град наблюдается интенсивное истечение груза. При этом наблюдается резкое снижение реакции под колесами переднего моста 46 до 29 кН. При дальнейшем повороте платформы (35–50 град) интенсивность высыпания груза снижается, что объясняется большим объемом призмы выгруженного грунта, который находится позади самосвала. Для обеспечения полной разгрузки самосвала необходимо отъехать от места разгрузки с поднятой платформой, что приводит к разгрузке переднего моста на 10–15% за счет значительной силы инерции и увеличенного значения высоты центра масс самосвала.

Заключение. Анализ результатов экспериментальных исследований продольной и поперечной устойчивости позволил установить, что разгрузочные операции самосвалом повышенной грузоподъемности необходимо производить на площадках с уклоном относительно продольной оси самосвала не более 10–15 град, относительно поперечной оси – не более 5–8 град особенно в зимний период при отрицательных температурах воздуха, когда возможны случаи примерзания грунта к стенкам грузовой платформы.

Литература

1. Высоцкий, М. С. Грузовые автомобили: проектирование и основы конструировании / М. С. Высоцкий. – М.: Машиностроение, 1995. – 256 с.

2. Проектирование полноприводных колесных машин: в 2 т. / сост.: Б. А. Афанасьев [и др.]; под общ ред А. А. Полунгяна. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1999. – Т. 1. – 488 с.

Поступила 14.03.2012

ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

УДК 674.11

А. А. Барташевич, кандидат технических наук, профессор (БГТУ); **В. А. Лопачук**, магистрант (БГТУ);
А. А. Маханек, старший научный сотрудник (ИТМО им. А. В. Лыкова НАН Беларуси);
В. В. Пендо, инженер (СООО «Фабрика дверей «Лоза»)

РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА ДЛЯ УПЛОТНЕНИЯ ШПОНА

Рассмотрено принципиальное устройство для уплотнения строганого шпона с помощью двух приводных вальцов, каждый диаметром 150 мм. Определено необходимое усилие сжатия шпона и усилие подачи шпона при его уплотнении. Предложена упрощенная схема нагрева листа шпона во время его уплотнения двумя парами вальцов. Выполнены численные оценки, показавшие возможность достижения температуры пластической деформации шпона примерно на 57% его толщины с внешних сторон листа.

Considered the principal device for sealing veneer with two drive rollers, each with a diameter of 150 mm. Defined the required compression force and feed force veneer veneer with his seal. The simplified scheme of heating of sheet of an interline interval is offered during its consolidation by two steams of rollers. The numerical estimations which have shown possibility of achievement of temperature of plastic deformation of an interline interval approximately on 57 % of its thickness from outer sides of sheet are executed.

Введение. В БГТУ проведены исследования по применению уплотненного строганого шпона для облицовывания деталей коробок межкомнатных дверей. Шпон из древесины дуба толщиной 0,6 мм и влажностью 8% уплотняли в прессу методом плоского прессования. При степени уплотнения 25% достигается поверхность шпона, не требующая шлифования, а расход лака уменьшается в два раза.

Основная часть. Уплотнение шпона будет осуществляться двумя парами приводных вальцов, каждый диаметром 150 мм. Усилие, создаваемое каждой парой вальцов, должно обеспечить удельное давление на шпон, величиной несколько превышающее предел прочности древесины дуба при смятии поперек волокон. Каждая пара вальцов должна обеспечить усилие сжатия шпона величиной 7400 Н. Мощность подачи шпона N, кВт, равна

$$N = \frac{F_{\text{п}} \cdot U \cdot K_{\text{з}}}{60 \cdot 1000}, \qquad (1)$$

где $F_{\text{п}}$ – усилие подачи, Н; U – скорость подачи, м/мин; $K_{\text{з}}$ – коэффициент запаса, принято, $K_{\text{з}} = 1{,}3$.

Для проведения расчетов скорость подачи принята равной 12 м/мин. Усилие подачи определяем по формуле

$$F_n = 2F_b \cdot \mu_{\text{сц}} \qquad (2)$$

где F_b – сила трения качения верхнего вальца (то же – нижнего); $\mu_{\text{сц}}$ – коэффициент сцепления вальца с древесиной, для дуба $\mu_{\text{сц}} = 0{,}345$.

Подставив (2) в (1), получим:

$$N = \frac{2F_b \cdot \mu_{\text{сц}} \cdot K_{\text{з}} \cdot U}{60 \cdot 1000} = 1{,}33.$$

При $U = 20$ м/мин, $N = 2{,}2$ кВт.

Прессование необходимо вести при температуре шпона в пределах примерно 80–100°С.

При нагреве шпона горячими вальцами время нахождения шпона между ними при скорости 12 м/мин составит всего 0,03 с. Примем температуру вальцов 200°С. В условиях контактного нагрева продолжительность нагрева шпона в середине толщины до температуры 100°С определим по формуле

$$\tau = \frac{\text{Fo}R^2}{a}, \qquad (3)$$

где Fo – критерий Фурье; R – половина толщины шпона, $R = 0{,}3$ мм; a – коэффициент температуропроводности, м^2/с.

Коэффициент

$$a = \frac{\lambda}{\rho C}, \qquad (4)$$

где λ – коэфициент теплопроводности, Вт/м·град; ρ – плотность дуба, $\rho = 700$ кг/м^3; C – удельная теплоемкость древесины, кДж/кг·град. При температуре древесины 100°С и влажности 8% удельная теплоемкость $C = 0{,}327$ ккал/кг·град, а коэффициент теплопроводности дуба $\lambda = 0{,}25$ Вт/м·град. Тогда

$$a = \frac{0,25}{0,327 \cdot 700 \cdot 1000} = 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Критерий Фурье находим по номограмме [1] исходя из значений Θ и безразмерной координаты X / R, где X – расстояние от поверхности до рассматриваемой точки нагрева. Безразмерная температура равна

$$\Theta = \frac{t_в - t_{шп}}{t_в - t_0} = \frac{200 - 100}{200 - 20} = 0,56,$$

где $t_в$, $t_{шп}$, t_0 – соответственно температура вальцов, шпона и окружающей среды.

При Θ = 0,56 и X / R = 1 из графика находим Fo = 0,2. По формуле (3) рассчитываем τ = 0,018 с.

При принятой $t_в$ = 200°С шпон толщиной 0,6 мм успеет прогреться в середине до температуры, несколько большей 100°С. Средняя температура шпона по сечению будет около 150°С. Более чем достаточно, чтобы на поверхности температура была 100°С или немного больше, а в середине 60–80°С. При этом условии температуру вальцов достаточно принять равной 140°С. На выходе из них температура на поверхности шпона будет равна 140°С, в середине 60°С и средняя по сечению температура 80°С. При скорости 20 м/мин температура шпона будет соответственно равна 140, 50 и 73°С. С учетом движения листа шпона его температура несколько отличается от сделанных выше оценок. На рисунке показано распределение температуры по толщине шпона под вальцами (*1*) и (*2*), полученное из решения стационарного уравнения конвективного теплопереноса при граничных условиях первого рода в зонах контакта вальцов со шпоном и третьего рода вне этих зон. Расчет коэффициента теплоотдачи осуществлялся по справочным данным [2], согласно которым локальное значение числа Нуссельта

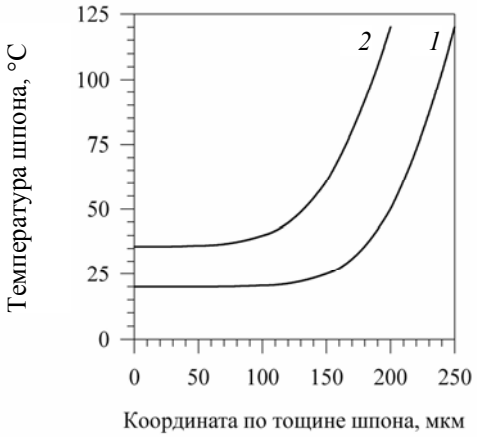
$$\text{Nu} = 0,332 \,\text{Re}^{0.5} \,\text{Pr}^{0.33} \left(\frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_{шп}} \right)^{0.25}, \quad (5)$$

где числа Прандля при локальной температуре поверхности шпона и температуре окружающего шпон воздуха принимались равными 0,71. Локальные значения чисел Нуссельта и Рейнольдса вычисляются с учетом расстояния x от края того участка шпона, на поверхности которого задан теплообмен по Ньютону, т. е.

$$\text{Re} = \frac{Ux}{\nu}; \quad (6)$$

$$\text{Nu} = \frac{\alpha x}{\lambda}. \quad (7)$$

Воздух внутри специального устройства для уплотнения шпона будет разогрет до некоторой температуры. При моделировании прогрева шпона мы задавали температуру воздуха в этом устройстве – 100°С, вальцов – 120°С, шпона на входе в данное устройство – 20°С. Длина участка шпона до соприкосновения с первой парой вальцов составляла 200 мм, расстояние между центрами вальцов с одно стороны шпона – 242,74 мм. Полагали, что после прохождения каждой пары вальцов глубина необратимой деформации шпона составляет 100 мкм. Учитывая симметрию задачи относительно срединной плоскости листа шпона, рассматривали теплообмен с одной стороны пары вальцов. На оси симметрии задавалось условие нулевого теплового потока.



Распределение температуры по толщине шпона на выходе после первого (1) и второго (2) вальцов при скорости движения шпона 20 см/с

Как видно из рисунка, после прохождения первой пары вальцов температура на оси симметрии увеличилась всего на 4°С и наблюдается сильная неизотермичность по толщине шпона. Температура 80°С достигалась на расстоянии примерно 225 мкм от середины листа шпона по толщине. Температурная неоднородность уменьшается на 15°С после прохождения второй пары вальцов. Теперь температура 80°С достигается на глубине 170 мкм относительно плоскости симметрии. На расстоянии от 150 до 200 мкм средняя температура составляет около 90°С, что позволяет рассчитывать на отсутствие восстановления деформации шпона после уплотнения.

Заключение. Представленные расчеты носят оценочный характер и показывают принципиальную возможность реализации нагрева шпона одновременно с его уплотнением без значительного восстановления деформаций.

Литература

1. Серговский, П. С. Гидротермическая обработка и консервирование древесины / П. С. Серговский. – М.: Лесная пром-сть, 1968.

2. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент: справочник / под ред. В. А. Григорьева и В. М. Зорина. – М.: Энергоиздат, 1982.

Поступила 05.05.2012

УДК 674.04+684.4.05

С. А. Прохорчик, кандидат технических наук, доцент, заместитель декана (БГТУ);
А. С. Чуйков, студент (БГТУ)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТОЙКОСТИ К ИСТИРАНИЮ ЛАМИНИРОВАННЫХ И ДЕРЕВЯННЫХ ПОЛОВ

В работе представлены результаты исследования стойкости к истиранию лакокрасочных покрытий деревянных и ламинированных полов. Установлены наиболее стойкие к истиранию лакокрасочные покрытия на основе водоразбавляемых лакокрасочных материалов и произведена оценка качества ламинированных полов различных производителей.

In the article the results of abrasion resistance paintwork coatings wooden and laminate floors are presented. Installed the most abrasion-resistant paintwork coatings and the estimation of quality of the laminated floors of various manufacturers was made.

Введение. Для формирования полов жилых и общественных помещений используется широкая гамма материалов как искусственного, так природного происхождения. В последнее время в жилых зданиях используются дешевые напольные покрытия: линолеум, ламинированные полы.

Производство ламинированных полов в Республике Беларусь только планируется открывать, поэтому вся данная продукция импортируется. Применение древесноволокнистых плит высокой плотности в производстве полов обусловлено экономической составляющей и снижением длительности производственного процесса по сравнению с паркетными изделиями. Существенное отличие будет заключаться в природной красоте, экологической безопасности, богатстве и теплоте натуральных паркетных изделий и холодной искусственной копии рисунка древесины ценных пород ламинированных полов.

При рассмотрении ламинированных полов важным потребительским критерием является класс его применения. В перечень показателей, характеризующих его класс, входят следующие: прочность на удар, стойкость к царапанью, стойкость к загрязнению и горящей сигарете, влагостойкость; светостойкость. Но наиболее важным эксплуатационным показателем, определяющим долговечность напольных покрытий, является стойкость к истиранию. Стойкость к истиранию – это способность покрытий сопротивляться разрушению поверхностных слоев в результате трения, возникающего при взаимодействии его с другими твердыми телами или абразивными материалами. Поверхность напольного покрытия главным образом будет истираться и царапаться грязью, которая прилипает к обуви.

Для ламинированных полов выделяют шесть классов износостойкости – 21, 22, 23, 31, 32, 33 (легкая нагрузка (21) и для общественных помещений (33)).

При выборе потребителем ламинированного пола приходится верить на «слово» продавцу либо информации, размещенной на упаковке продукции, так как для проверки требуется специализированное оборудование. Особенно это актуально становится сейчас, так как на рынке появилась дешевая продукция низкого качества.

Для обеспечения долговечности деревянных полов требуется их защита от воздействия внешних факторов.

Для достижения этих целей используются специальные паркетные лакокрасочные материалы. В настоящее время на рынке паркетных лакокрасочных материалов появились новые композиции, в частности такие, как водно-дисперсионные системы. При выборе того или иного материала потребителю важно знать, на сколь длительное время будет обеспечена сохранность и привлекательность напольного покрытия защитно-декоративным составом.

Целью данной работы являлась оценка стойкости к истиранию ламинированных полов, а также защитно-декоративных покрытий деревянных полов на основе лакокрасочных материалов, применяемых в бытовых условиях.

Основная часть. Для исследований были выбраны четыре вида защитно-декоративных покрытий лакокрасочных составов для древесины белорусского производства: партия № 1 (водно-дисперсионный лак); партия № 2 (органорастворимый полиуретановый лак); партия № 3 (органорастворимый двухкомпонентный полиуретановый лак); партия № 4 (органорастворимый двухкомпонентный лак кислотного отверждения), а также водно-дисперсионный паркетный лак известного германского производителя: партия № 5 (лак без отвердителя), партия № 6 (с отвердителем). Для оценки качества ламинированных полов были выбраны наиболее распространенные на рынке производители такого вида продукции: партия № 7 (ламинированный пол 23-го класса (РФ); партия № 8 (ламинированный пол 32-го класса (РФ)); партия № 9 (ламинированный пол 33-го класса(ФРГ)); партия № 10 (пробковый пол).

Средние значения эксплуатационных показателей лакокрасочных покрытий

Номер партии образцов	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Коэффициент стойкости К, г	0,033± 0,0045	0,061± 0,0127	0,131± 0,0259	0,148± 0,0446	0,05± 0,0092	0,048± 0,0025				
Число сошлифовки / количество оборотов	425	260	208	280	263	405	2650	4500	6600	1800
Толщина покрытия, мкм	120	185	133	190	100	135				
Ударная прочность, см	15	15	10	15	25	30				

В качестве основания для нанесения лакокрасочных материалов были взяты дубовые деревянные образцы влажностью 8–9% размером 100×100 мм и толщиной 18 мм. Покрытие состояло из трех (120±5 г/м^2 1 слой) слоев, толщина его контролировалась при помощи ультразвукового толщиномера «Positector 200». Образцы ламинированных полов были выпилены из стандартных ламинированных досок и имели аналогичные размеры.

Оценка стойкости к истиранию материалов, на которые была нанесена лакокрасочная пленка, производилась согласно ГОСТ 27820–88 [1], ламинатов – согласно EN 13329 [2].

Метод основан на истирании покрытия шлифовальной шкуркой, наклеенной на фрикционные ролики до определенного состояния, и определении коэффициента стойкости к истиранию (по потере массы) либо числа сошлифовки (количество оборотов).

Для ламинатов определялось количество оборотов ролика со шлифовальной бумагой до появления видимых повреждений – точки отсчета (IP). Точка отсчета считается достигнутой, если декоративная поверхность протерта до появления нижнего слоя в трех секторах. Испытания проводились на приборе «Taber 5135 Abraser» с использованием шлифовальной шкурки (S-42) и нагрузкой на каждый фрикционной ролик (CS-0) 500±10 г.

Согласно ГОСТ 27736–88 [3] определялась дополнительно ударная прочность покрытий деревянных образцов.

Результаты исследований представлены в таблице.

Заключение. При комплексной оценке лакокрасочных покрытий с учетом их ударной прочности, установлено, что лидирующую позицию занимает импортный водно-дисперсионный лак (6-я партия) с отвердителем (405 оборотов, ударная прочность 30 см) по сравнению с водно-дисперсионным лаком (1-я партия) отечественного производства (425 оборотов, ударная прочность 15 см). Это говорит о том, что при эксплуатационных условиях данное покрытие будет лучше сопротивляться различного вида нагрузкам. Если же учитывать экономическую составляющую, то качество паркетного лака отечественного производства примерно в два раза ниже импортного аналога и право выбора того или иного материала остается за потребителем.

Наиболее стойкими к истиранию среди ламинированных полов оказались образцы из партии 9 (6600 оборотов). Чуть менее стойкими оказались образцы из партии 8 (4500 оборотов). Образцы из партии 7 показали результат в 2650 оборотов. Самый низкий результат среди ламинированных полов показали образцы из партии 10 (пробковое дерево). Сравнивая полученные значения (количество оборотов) со стандартными показателями, установили, что образцы из партий № 7 (заявленный класс износостойкости АС3 [≥2500 об.]), № 8 (АС4 [≥4000 об.]) и № 9 (АС5 [≥6500 об.]) удовлетворяют заявленным показателям. В то же время образцы из партии № 10 соответствуют 22-му классу АС2 [≥1800 об.].

При сравнении стойкости ламинированных полов и защитно-декоративных покрытий деревянных полов выигрышную позицию занимают искусственные напольные покрытия, но при этом следует учесть то, что в испытаниях использовались лакокрасочные материалы бытового применения. Показатели стойкости к истиранию защитно-декоративных покрытий промышленной окраски в сравнении с ламинированными полами остаются открытыми. Но в любом случае ламинированные полы неремонтопригодны в отличие от деревянных, а также не могут в полной мере передавать природную красоту и тепло натуральной древесины.

Литература

1. Детали и изделия из древесины и древесных материалов. Метод определения стойкости защитно-декоративных покрытий к истиранию: ГОСТ 27820-1988. – Введ. 19.09.1988. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 5 с.

2. Laminate floor coverings – Specifications, requirements and test methods: EN 13329. – Введ. 20.05.2000. – Eur.: European committee standardization, 2000. – 27 с.

3. Детали и изделия из древесины и древесных материалов. Метод определения ударной прочности защитно-декоративных покрытий: ГОСТ 27736-1988. – Введ. 20.06.88. – М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1988. – 5 с.

Поступила 14.03.2012

УДК 674.093

Е. А. Мухурова, аспирант (БГТУ);
С. В. Шетько, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой (БГТУ)

РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНОГО ПЛАНА РАСКРОЯ БРЕВЕН НА ЧЕРНОВЫЕ МЕБЕЛЬНЫЕ ЗАГОТОВОКИ ЦЕЛЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Разработана методика, позволяющая быстро и рационально составить план раскроя лиственной древесины на черновые заготовки для клееного щита. В результате проведенных исследований получена программа, которая составляет оптимальные схемы распиловки бревен, предназначенные для заданной спецификации пиломатериалов. Схемы раскроя бревен, полученные при помощи разработанной программы, позволяют за три поворота бревна осуществить его раскрой на ленточнопильном оборудовании. Кроме того, программа составлена таким образом, что при втором резе открывается поверхность, размер которой кратен размеру черновой заготовки, вписанной в брус. Данная особенность позволяет составить рациональный план раскроя бревен при получении черновых мебельных заготовок целевого назначения.

The technique, which allows you to quickly and efficiently plan the cutting of hardwood in the rough blanks for glued board. The studies program is obtained, which is the optimum scheme of sawing logs destined for a particular specification timber. Schemes of cutting logs obtained by the developed program allows for three rotation log to carry it on the cutting contour band equipment. In addition, the program is such that the second surface of the cut open, the size is a multiple of the rough piece inscribed in the timber. This feature allows you to create a rational plan for cutting timber upon receipt of rough pieces of furniture purpose.

Введение. В настоящее время на рынке Республики Беларусь и на зарубежных рынках существует устойчивый спрос на мебельный щит. Данный материал обладает рядом достоинств: формоустойчивостью, прочностью, долговечностью, экологичностью, высокими эстетическими качествами. Мебельный щит изготавливают из древесины как хвойных, так и лиственных пород. Однако все интенсивнее растет спрос на клееный щит из лиственных пород древесины, которые обладают более привлекательным внешним видом. Наиболее популярным становится щит из древесины дуба, текстура которого всегда высоко ценилась. С этим связана необходимость разработки технологии переработки ценной лиственной древесины на заготовки для клееного щита.

Для осуществления рационального использования сырья требуется разработка методики составления оптимального плана раскроя для получения черновых мебельных заготовок.

Основная часть. Для осуществления рационального раскроя необходимо изучить технологический процесс переработки сырья конкретного производства. При изучении существующей технологии необходимо провести исследования по определению точности основного технологического оборудования с целью оптимизации припусков на повторную механическую обработку.

Для этого проводится практический замер партии выпиленных досок и статистическая обработка полученных данных [1, 2]. Статистическая обработка включает:

- проверку выполнения нормального закона распределения (распределения Гаусса);
- определение погрешности работы станка;
- определение припуска на обработку.

Исследования проводились на предприятии, которое производит мебельный щит, клееный оконный брус, элитную мебель из дуба и ясеня. На изучаемом производстве в качестве основного бревнопильного оборудования используется ленточнопильный станок фирмы «Woodmizer» и круглопильный станок для распиловки бруса «SCM Vio Emilia 77-47037 Rimini».

Для определения точности ленточнопильного станка была замерена партия досок в количестве 227 шт. Замеры проводились в соответствии с СТБ EN /ПР/1309-1 [1]. В результате статистической обработки рассчитана погрешность работы станка, равная ±2,44 мм [3]. Погрешность работы ленточнопильного станка принимаем 3 мм. По соответствующей методике была проверена партия пиломатериалов, полученных на круглопильном станке. Погрешность работы круглопильного станка составила ±0,42 мм, следовательно, припуск по точности обработки равен 0,5 мм.

Далее с учетом технологического процесса и исходного заказа рассчитываются размеры черновых заготовок [4, 5, 6]. В табл. 1 представлена последовательность операций на данном предприятии.

При определении черновых размеров заготовок для получения клееного щита необходимо иметь исходные данные: конечную толщину щита, ширину ламелей, а также информацию

о заготовках для щита (срощенных или цельноламельных). Далее рассчитываются черновые размеры заготовок с учетом припусков на обработку и точности основного оборудования.

Таблица 1

Технологический процесс изготовления щита

№ п/п	Операция
1	Распиловка бревен
2	Распиловка бруса
3	Сушка пиломатериалов
4	Раскрой пиломатериалов
5	Оптимизация
6	Калибровка (строгальный станок)
7	Сращивание по длине
8	Калибровка
9	Склеивание в щит
10	Шлифование

Следующим этапом является составление спецификации. Из черновых заготовок выбирается заготовка максимальной ширины, которая будет вписываться в пласть выпиливаемого бруса, а набор толщин данной заготовки будет формировать толщину бруса. При расчете толщины бруса учитываются: ширина и количество пропилов; наличие прифуговки (формирование базовой поверхности); кратность толщине заготовки с учетом припуска на усушку; погрешность работы станков.

Из черновых заготовок других размеров составляются размеры боковых досок. Толщину выпиливаемых досок формирует толщина черновой заготовки, а ширину − ширина заготовки.

Ширина боковых досок учитывает: ширину и количество пропилов; наличие прифуговки (формирование базовой поверхности); кратность ширине заготовки с учетом припуска на усушку; погрешность работы станков.

Толщина боковых досок учитывает усушку, точность бревнопильного станка.

Для составления схем раскроя бревен на заготовки для заданной спецификации была создана программа. Особенностью данной программы является то, что пласть бруса, которая открывается при пилении, кратна размеру черновой заготовки. Это позволяет рационально использовать выпиленный брус. Составленные схемы позволяют осуществлять раскрой бревен на ленточнопильных станках за 3 поворота бревна.

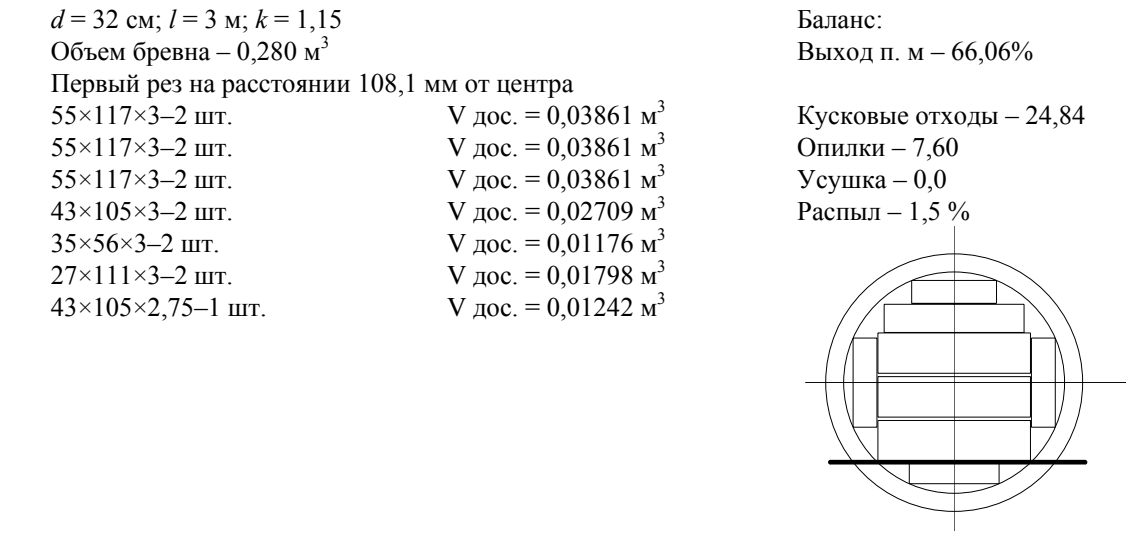
Опишем подробнее разработанную программу. Исходные данные, требуемые для проведения расчетов: диаметр бревна; длина бревна; спецификация пиломатериалов; минимальная ширина заготовки выпиливаемой из пласти бруса.

Выходные параметры: схема распиловки бревна; расстояние от центра бревна в миллиметрах до первого реза, который открывает пласть бруса, кратную размеру заготовки; баланс древесины.

На рисунке приведено окно программы после выполненных расчетов. Программа отражает основные исходные данные: диаметр и длину, а также рассчитывает объем бревна (как усеченный параболоид вращения), объемный выход пилопродукции, баланс древесины и схему раскроя бревна. Кроме того, программа рассчитывает расстояние от центра бревна до реза, открывающего поверхность, размер которой кратен толщине выпиливаемого бруса.

В соответствии с припусками, принятыми на данном предприятии, находим размеры черновых заготовок: 47×52 и 30×50 мм.

Спецификация, составленная с учетом того, что заготовки выпиливаются из пиломатериалов кратных размеров, представлена в табл. 2.



Окно программы «Результат»

Таблица 2

Спецификация с учетом кратности размерам заготовок

Толщина, мм	Ширина, мм			
	56	108	111	167
55	×	×		
35	×		×	×

Таблица 3

Спецификация пиломатериалов стандартных размеров

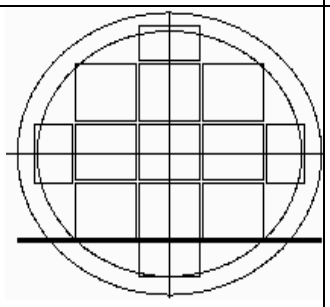
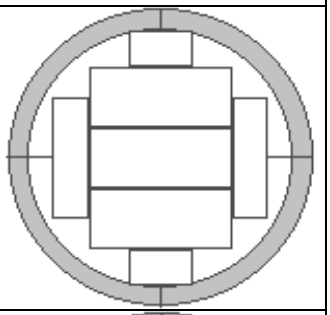
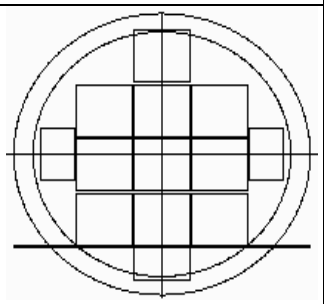
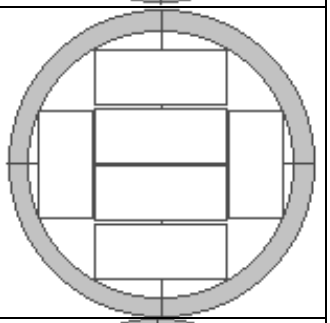
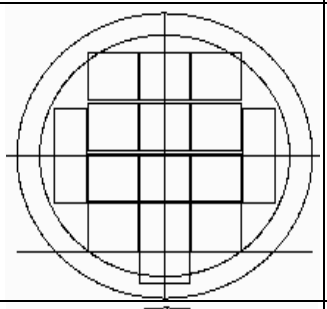
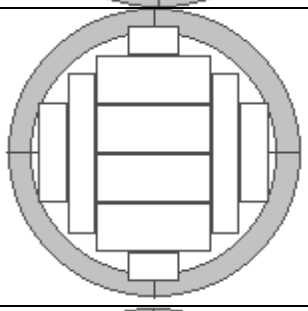
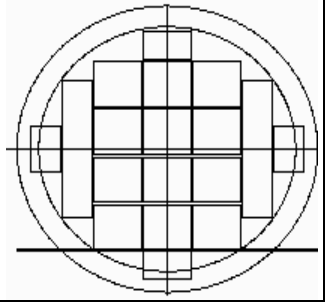
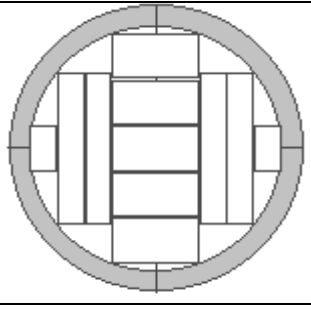
Толщина, мм	Ширина, мм				
	55	100	110	125	180
52		×		×	
30	×		×		×

В табл. 3 приведена спецификация, по которой заготовки выпиливаются из пиломатериалов стандартных размеров [3, 5].

Схемы раскроя и выходы пиломатериалов и черновых заготовок приведены в виде табл. 4.

Таблица 4

Сравнительные характеристики схем раскроя

Диаметр	Схемы, составленные по спецификации с учетом кратности размерам заготовок			Схемы, составленные по спецификации пиломатериалов стандартных размеров		
	Выход пилопродукции	Выход черновых заготовок	Схема	Выход пилопродукции	Выход черновых заготовок	Схема
24	61,79	48,65		55,9	39,24	
26	58,17	45,92		57,58	38,97	
28	62,28	49,14		61,49	45,55	
30	63,96	50,29		60,09	39,11	

Анализируя табл. 4, можно сказать о безусловном преимуществе разработанной нами методики. Общий выход пилопродукции при составлении схем раскроя бревен с учетом кратности заготовкам на 1−9% выше, чем при составлении схем раскроя из пиломатериалов стандартных размеров. Выход черновых заготовок из бревна при составлении схем раскроя сырья с учетом кратности заготовкам на 7−22% выше, чем при составлении схем раскроя сырья для пиломатериалов стандартных размеров.

При составлении схем раскроя бревен с учетом кратности размеру заготовок выход черновых заготовок меньше общего выхода на 21% − процент потерь относительно выхода пилопродукции (это объясняется пропилами и припусками на усушку), при составлении схем раскроя бревен из стандартных пиломатериалов выход черновых заготовок меньше общего выхода на 25−35% (это объясняется наличием отходов и пропилов).

Заключение. Разработанная методика позволяет быстро и рационально составить план раскроя лиственной древесины на черновые заготовки для клееного щита.

Составленные схемы раскроя бревен при помощи полученной программы дают возможность за три поворота бревна осуществить его раскрой на ленточнопильном оборудовании. Кроме того, программа составлена таким образом, что при втором резе открывается поверхность, размер которой кратен размеру черновой заготовки, вписанной в брус. Данная особенность позволяет составить рациональный план раскроя бревен при получении черновых мебельных заготовок целевого назначения.

Литература

1. Лесоматериалы круглые и пиломатериалы. Методы измерения размеров. Пиломатериалы: СТБ EN /ПР/1309-1 – 1997. – Введ. 01.07.97. – Минск: Госстандарт, 1997. – 7 с.

2. Государственная система обеспечения единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения: ГОСТ 8.207–1976. – Введ. 01.01.77. − М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1976. – 8 с.

3. Контроль качества в лесопильном производстве / под ред. Т. Броуна; пер. с англ. В. В. Амалицкого. – М.: Лесная пром-сть, 1987. – 224 с.

4. Пиломатериалы лиственных пород. Технические условия: СТБ 1714-2007. – Введ. 01.05.07. – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2007. – 9 с.

5. Пилопродукция из древесины лиственных пород. Величина усушки: ГОСТ 6782.1−75. – Введ. 01.07.76. – М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1990. – 10 с.

6. Заготовки из древесины лиственных пород. Технические условия: ГОСТ 7897–83. – Введ. 01.01.84. – М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1984. – 8 с.

Поступила 14.03.2012

УДК 692.53

Л. В. Игнатович, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);
А. Н. Кривоблоцкий, старший преподаватель (БГТУ); **С. С. Утгоф**, аспирант (БГТУ)

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА НАПОЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ И ЗАТРАТ НА ИХ УСТРОЙСТВО, ЭКСПЛУАТАЦИЮ

В статье приведена методика комплексной оценки качественных и стоимостных характеристик различных видов современных напольных покрытий. В ходе исследования проведена оценка качества напольных покрытий по семи важнейшим параметрам, получены комплексный и интегральный показатели качества напольного покрытия. В результате исследований выявлено, что натуральные покрытия обладают лучшими качественными и стоимостными показателями.

The method of complex assessment of qualitative and cost characteristics of different species of modern flooring is given in the article. In the course of research was made assessment of flooring quality by 7 most important quantities, were made complex and integral indices of flooring quality. Findings of investigation indicate that natural floorings has the best qualitative and cost quantities.

Введение. Многообразие существующих вариантов создания напольных покрытий с использованием различных видов материалов обусловило необходимость их оценки с позиции потребительского выбора. Такая оценка возможна исходя из обоснованных критериев (показателей) или системы критериев (показателей), позволяющих охватить совокупность главных свойств продукции, характеризующих ее качество и конкурентоспособность. Таким образом, целью данного исследования является выработка подхода к сравнительной оценке видов напольных покрытий на основе интегрального показателя, учитывающего качественные и количественные характеристики продукции.

Объект исследования – напольные покрытия и их характеристики, экономические затраты на создание и использование конструкции пола.

Основная часть. На отечественном рынке строительных изделий существуют различные виды современных напольных покрытий, такие как натуральный паркет, который выпускается в виде небольших планок (штучный паркет), паркетных досок; пробковое покрытие; ламинированное паркетное покрытие (искусственный материал); напольная керамическая плитка; линолеум; ковролин и др.

Все представленные на рынке напольные покрытия можно разделить на две обширные группы: покрытия на основе натуральных материалов и искусственные.

К натуральным напольным покрытиям относятся: паркетные изделия и доска пола, пробковое покрытие, натуральный линолеум и керамическая плитка.

В настоящее время для изготовления напольных покрытий из древесины используется до двадцати пород дерева – от классического дуба до оливкового или черного дерева.

Характеристика и эстетические свойства напольных покрытий из натуральной древесины определяются качеством и сортом древесины, из которой изготавливается лицевая поверхность пола. Основным показателем качественной характеристики является твердость (плотность) древесины, которая зависит от породы, условий роста и влажности дерева.

Напольное покрытие из пробки (кора пробкового дуба) – природный эластичный, упругий материал с высокими изоляционными свойствами и плотностью около 150–200 кг/м^3.

Натуральный линолеум – это покрытие изготовленное из экологически чистых материалов: пробкового дерева, древесной муки, растительных смол и джута. Отличается наличием бактерицидных свойств, антистатичностью, пожаробезопасностью и сильным сопротивлением химическим реактивам.

Керамическая плитка различных типов производства и назначения представляет собой изделия, изготовленные из смеси глины разных сортов с добавлением других натуральных компонентов, предварительно спрессованные под давлением около 500 кг/см^2 и затем обожженные в печах при температуре от 1040 до 1300ºС в зависимости от типа плитки.

К искусственным напольным покрытиям относятся: ламинированный паркет, линолеум и ковролин.

Ламинированный паркет – панели напольного покрытия, полученные в процессе облицовывания пласти древесной плиты (HDF) бумажносмоляной пленкой с неполной поликонденсацией смолы (ламинирования).

Линолеум – полимерный рулонный материал. В зависимости от основного сырья линолеум бывает поливинилхлоридный, алкидный, резиновый, коллоксилиновый, на основе синтетических волокон.

Ковролин – ковровое покрытие, рулонный материал. В зависимости от основы может быть нейлоновый, акриловый и полиэстеровый.

По способу производства ковролин подразделяется на три основных вида: тканый, тафтинговый, иглопробивной [1].

Представленный перечень напольных покрытий характеризуется совокупностью разнородных свойств, определяющих их качество, условия и способы потребления.

Качество продукции – совокупность характеристик, обусловливающая пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с назначением. Оценивание качества продукции предполагает количественное (качественное) определение меры (степени) соответствия характеристик и качества предъявляемым требованиям. Задачей оценивания продукции (напольных покрытий) является проверка, насколько они способны выполнять требования, установленные нормативными документами или потребителем.

В этой связи возникает необходимость обосновать и выбрать систему наиболее важных качественных характеристик напольных покрытий, таких как экологичность, износостойкость, влагостойкость, химическая и механическая устойчивость, теплоотдача и срок службы.

Для оценки данных свойств использовался экспертный метод определения показателей качества. Экспертный метод оценки уровня качества продукции используется в тех случаях, когда невозможно или очень затруднительно применить методы объективного определения значений единичных или комплексных показателей качества такими методами, как инструментальный, эмпирический или расчетный. Он находит широкое применение в научно-техническом прогнозировании и планировании условий развития народного хозяйства и отдельных его отраслей, в разработке крупных научно-технических, экономических и социальных программ.

Оценка системы обоснованных качественных характеристик напольных покрытий проводилась по 10-балльной шкале, для каждого из рассматриваемых свойств, где более высокий балл соответствует более высокому уровню качества продукции [2].

Итоговые результаты экспертной оценки совокупности покупательских свойств различных видов напольных покрытий приведены в табл. 1.

Представленные в табл. 1 данные характеризуют единичные показатели качества продукции, обособленное использование которых не позволяет отдать однозначное предпочтение одному или другому виду покрытий.

В этой связи возникает необходимость определить комплексный (обобщающий) показатель качества продукции.

Таблица 1

Результаты оценки качества покрытий

Вид покрытия	Параметры экспертной оценки							$ПК_к$
	Экологичность	Износостокость	Влагостойкость	Химическая устойчивость	Устойчивость к повреждениям	Теплоотдача	Срок службы	
Паркетные изделия	10	8	5	6	6	8	9	52
Доска пола	10	6	4	4	6	8	7	52
Ламинат	8	8	5	7	6	7	7	48
Керамическая плитка	10	9	10	10	8	3	9	59
Ковровое покрытие	5	3	0	4	4	10	3	29
Линолеум (ПВХ)	2	1	4	2	1	5	1	18
Натуральный линолеум	10	8	7	5	6	8	9	53
Пробковое покрытие	10	8	7	7	9	9	9	59

Комплексный показатель качества характеризуется совокупностью взаимосвязанных свойств (сложное свойство) из всего множества свойств, образующих качество продукции, и выражается одним числом, что позволяет на практике сравнивать большое число показателей качества продукции с таким же количеством базовых показателей. Он отражает такую совокупность свойств продукции, по которой принято решение оценивать качество продукции.

Значение комплексного показателя качества ($ПК_к$) предлагается рассчитывать по формуле

$$ПК_к = \sum_{i=1}^{n} B_i, \qquad (1)$$

где n – количество оцениваемых качественных свойств; B_i – количественная оценка (балл) i-го свойства.

Значения комплексного показателя качества также представлены в табл. 1.

Кроме качественных показателей, приоритетное значение при выборе напольного покрытия имеют совокупные затраты на его устройство (покупку, транспортировку и монтаж) и эксплуатацию. Напольные покрытия следует оценивать с учетом полных затрат на всех стадиях: производства, укладки и эксплуатации полов. Замена одного материала другим влечет за собой изменение части или всей конструкции пола, поэтому при оценке различных видов покрытий следует сравнивать не материал с материалом, а конструкции пола.

Эффективность производства и применения различных материалов для покрытия может быть получена за счет большей долговечности полов,

так как с экономической точки зрения это равнозначно сокращению в перспективе объемов их производства за счет уменьшения затрат на демонтаж пришедшего в негодность покрытия пола, его производство, транспорт и монтаж.

Влияние этого фактора определяется с помощью коэффициента долговечности напольных покрытий (μ), который учитывает различия в сроке службы материалов и разновременность затрат (фактор времени). С помощью данного коэффициента материалы с различными сроками службы приводятся к одному и тому же значению долговечности.

Эталонной считается бесконечная долговечность. Практически для покрытий полов она составляет 50 лет и более, в этом случае коэффициент μ = 1.

Все материалы для покрытий полов, срок службы которых менее 50 лет, приводятся к эталону, т. е. к первоначальным затратам добавляются затраты на будущую реновацию с учетом разновременности затрат.

В состав эксплуатационных затрат входят расходы на содержание и уход за напольными покрытиями. К эксплуатационным затратам также следует отнести периодические ремонты. Напольные покрытия из древесины требуют периодического ремонта для обновления защитно-декоративного покрытия. В настоящее время широко распространены паркетные изделия с заводским покрытием лаком, которое является более износоустойчивым, твердым, однородным. В исследовании были рассмотрены штучный паркет и паркетная доска с заводской отделкой. Защитно-декоративное покрытие на доску пола наносится после укладки. Также следует учесть ремонты, которые требуют частичной замены самого покрытия. Осуществить такой ремонт можно только для ламината, деревянных полов, плитки и пробкового покрытия. Рулонные материалы частичному ремонту не подлежат. В стоимость ремонта входят затраты на материалы и работу специалиста.

Эксплуатационные расходы рассчитывают для эталонной долговечности материала и приводят их к исходному уровню, учитывая суммой за каждый год, т. е. дискретно во времени. Для упрощения расчетов эксплуатационные расходы принимаются неизмененными по годам на уровне среднегодовых.

Зная стоимость покрытия, коэффициент долговечности, затраты на его укладку, содержание, уход и ремонт, можно рассчитать совокупные затраты на создание и эксплуатацию конструкции 1 м^2 пола.

$$З_с = З_п \cdot \mu + \sum_{t=T_n}^{T_k} З_э \cdot K_t, \qquad (2)$$

где $З_п$ – затраты на покупку, транспортировку и монтаж покрытия, у. е.; μ – коэффициент долговечности; $З_э$ – затраты на эксплуатацию покрытия, у. е.; T_n и T_k – соответственно начальный и конечный год эксплуатации покрытия; K_t – коэффициент дисконтирования; t – год, затраты и результаты которого приводятся к расчетному году.

Разновременные затраты всех лет периода эксплуатации покрытий приводятся к расчетному году путем умножения их величины за каждый год на коэффициент приведения (дисконтирования) K_t:

$$K_t = (1 + E_n)^{t_р - t}, \qquad (3)$$

где E_n – норматив приведения затрат и результатов к единому моменту времени, или норма дисконта (учетная ставка процента или иная ставка); $t_р$ – расчетный год.

Норма дисконта принимается равной фактической ставке процента по долгосрочным кредитам банков.

Получив совокупные затраты на создание и эксплуатацию конструкции пола, рассчитываем их величину на 1 год эксплуатации покрытия.

Для результирующей оценки качественных и стоимостных показателей напольного покрытия, вводим интегральный показатель качества продукции, который является отношением комплексного показателя качества и приведенных совокупных затрат. Очевидно, что данный показатель качества характеризует численное выражение качества покрытия (выраженное в баллах), приходящееся на 1 у. е. совокупных затрат.

Результаты исследования приведены в табл. 2.

Анализируя полученные данные, мы можем разделить напольные покрытия на три группы в зависимости от значения интегрального показателя качества.

1. Покрытия с высоким интегральным показателем качества (26,1–56,9). К ним относятся такие натуральные покрытия как, керамическая плитка (56,9), натуральный линолеум (34,0) и пробковое покрытие (26,1). Высокий показатель качества данных покрытий обусловлен их натуральностью, экологичностью, высокой износостойкостью и долговечностью.

2. Покрытия со средним интегральным показателем качества (8,2–24,8). К ним относятся напольные покрытия из древесины: доска пола (24,8), паркетная доска (13,4), штучный паркет (8,2). Невысокий показатель покрытий из натуральной древесины вызван значительными затратами на устройство и эксплуатацию.

3. Покрытия с низким интегральным показателем качества (3,5–7,3). Это искусственные напольные покрытия: линолеум (7,3), ламинат (7,1), ковролин (3,5–5,2). Эти покрытия недолговечны, с низкой влагостойкостью и устойчивостью к повреждениям.

Таблица 2

Оценка уровня качества различных видов напольных покрытий

Вид покрытия пола	Стоимость конструкции пола ($З_п$), у. е. на 1 м^2	Срок службы пола, год	Коэффициент долговечности материала (μ)	Совокупные затраты производства и потребления ($З_с$), у. е. на 1 м^2	Совокупные затраты за 1 год эксплуатации ($З_{с1}$), у. е.	Интегральный показатель качества покрытия ($ПК_и$)
Натуральный линолеум	35	30	1,06	46,8	1,6	34,0
Линолеум (на основе ПВХ)	22,5	15	1,51	37,2	2,5	7,3
Ламинат	28,8	10	1,63	67,8	6,8	7,1
Ковролин:						
нейлон	54,3	15	1,31	88,7	5,9	4,9
акрил	36,8	10	1,63	60	6,0	5,2
полиэстер	18	5	2,63	47,3	9,5	3,5
Деревянные покрытия:						
штучный паркет	122,3	30	1,06	190,2	6,3	8,2
паркетная доска	109,8	30	1,06	116,4	3,9	13,4
доска пола	31	20	1,17	36,3	1,8	24,8
Пробковые полы	53,8	30	1,06	67,9	2,3	26,1
Керамическая плитка	35	50	1	51,8	1	56,9

Заключение. Интегральный показатель качества позволяет нам сравнить разнородные виды продукции и сделать обоснованный выбор по его значению.

Натуральный линолеум и пробковое покрытие являются импортными материалами, что обусловливает их высокую стоимость по сравнению с материалами отечественного производства. Керамическая плитка ограничена в применении для всех видов помещений.

Древесина обладает бесспорными потребительскими достоинствами, такими как безвредность для здоровья, прочность, хорошие изоляционные качества, красивый неповторимый рисунок текстуры, а также традиционная привязанность человека к древесине, что ставит древесные материалы для полов в более выгодное положение по сравнению с искусственными материалами. Для производства паркетных изделий и доски пола широко используется отечественное сырье. Для продления срока службы и снижения стоимости ремонта деревянных покрытий необходимо улучшить их эксплуатационные характеристики. Снижение первоначальных затрат обеспечивается применением новых материалов и конструкций.

Литература

1. Игнатович, Л. В. Конструктивные и технологические особенности напольных покрытий: монография / Л. В. Игнатович, С. В. Шетько. – Минск: БГТУ, 2011. – 273 с.

2. Симонов, Е. В. Стелим пол сами: ламинат, линолеум, плитка / Е. Симонов. – СПб.: Питер, 2009. – 192 с.

Поступила 16.03.2012

УДК 674.817

Е. А. Бучнева, кандидат технических наук; доцент (БГТУ); **Л. М. Бахар**, ассистент (БГТУ)

ВЛИЯНИЕ ПРЕССМАССЫ НА СВОЙСТВА ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ

Представлены результаты исследований, отражающие влияние прессмассы, включающей шлифовальную пыль, получаемую от калибрования и шлифования древесностружечных плит, а также остатка от гидролиза верховых торфов, на физико-механические свойства древесностружечных плит. Описан способ получения прессмассы. Представленные зависимости аппроксимированы, получены математические уравнения, описывающие эти зависимости.

The presented results of researches reflecting influence of the pressing weight, including a grinding dust received from calibration and grindings, and also the rest from peat hydrolysis, on physic mechanical properties chipboard plates. The presented dependence approximated, obtained mathematical equations describing these relationships.

Введение. Рост производства древесностружечных плит вызывает увеличение потребности в древесном сырье, одним из основных путей снижения расхода которого является возврат отходов. Установлено, что только за счет использования древесной пыли, получаемой при калибровании и шлифовании плит, можно снизить удельную норму расхода древесины на 8–9%. Шлифовальная пыль в настоящее время сжигается, однако как материал, подвергшийся термообработке и упрессовке, а также содержащий отверженное связующее, представляет интерес для повышения водостойкости плит. Также установлено, что она подвергается механохимической деструкции на операции калибрования и шлифования. В то же время эти частицы, вследствие своего фракционного состава, обладают большой удельной поверхностью и активностью. Каждая частица имеет множество ответвлений, увеличивающих ее сорбционную способность. Поэтому использование пыли в производстве древесностружечных плит вызывает дополнительный расход связующих материалов, что приводит к их перерасходу. Устранение этих отрицательных проявлений можно провести путем дезактивации активных центров таких частиц водой.

Однако вода обладает слабыми поверхностно-активными свойствами, а также в связи с увеличением влагосодержания пакета возможно возникновение расслоения плит при их прессовании.

Были проведены исследования совместно с институтом торфа НАН Беларуси по установлению веществ, обладающих поверхностно-активными свойствами, способных дезактивировать активные центры пыли. В качестве таких веществ использовали гидролизный лигнин, сульфитно-спиртовую барду.

Смесь гидролизного лигнина и шлифовальной пыли, взятых в соотношении мас. % соответственно 70–90 : 10–30, наносили на осмоленную стружку при постоянном перемешивании в количестве 15% от общего количества древесной стружки [1]. Предлагаемый способ позволил получить более прочные и водостойкие плиты. Такие плиты имеют высокий коэффициент водостойкости плит.

Водным 20%-ным раствором сульфитно-спиртовой барды обрабатывали при перемешивании древесную пыль. Далее ее смешивали с осмоленной стружкой наружных слоев плит, замещая 20% стружки. Результаты исследований показали возможность получения древесно-стружечных плит с улучшенными прочностными свойствами при одновременной интенсификации процесса прессования.

Основная часть. Цель исследований состояла в выявлении возможности использования остатка от гидролиза верхового торфа для дезактивации активных центров древесной пыли. Верховой торф по содержанию углеводов практически не отличается от древесного сырья, используемого гидролизной промышленностью.

Остаток от гидролиза торфа (о. г. т.) – продукт, полученный в виде отхода при производстве кормовых дрожжей из верховго малой степени разложения торфа. Количество остатка от гидролиза торфа доходит до 45–50% от поступающего на переработку исходного сырья. Согласно исследованиям института торфа НАН Беларуси, остаток от гидролиза торфа отличается высоким содержанием таких реакционноспособных групп, как карбонильные, карбоксильные и фенольные гидроксилы, – в сумме 16%. Он содержит около 25% полисахаридов, 50% гуминовых веществ и представляет собой ценный органический материал [2]. Абсолютная влажность остатка от гидролиза торфа – 100–110%, показатель кислотности pH водной вытяжки – 5,3. В связи с этим проводили обработку его гидроокисью кальция до показателя кислотности pH = 7,2. Прессмассу готовили путем смешивания древесной пыли и остатка от гидролиза торфа абсолютной влажностью 100%

в соотношении соответственно 90 : 10; 80 : 20; 70 : 30; 60 : 40.

Затем полученную массу в количестве 10%, 20%, 30% и 40% от наполнителя в его замещении при постоянном перемешивании наносили на осмоленную стружку внутреннего слоя плит. Расход связующего (по сухому остатку) составлял: 14% для наружных слоев плит и 12% – для внутреннего слоя. Концентрация карбамидоформальдегидной смолы марки КФ-МТ-15 для наружных слоев составляла 55%, для внутреннего – 60%. В связующее для внутреннего слоя вводили 20%-ный раствор хлористого аммония. Формирование ковра плит осуществляли исходя из соотношения наружных и внутреннего слоев соответственно 1 : 2 : 1.

Подпрессовку ковра проводили при давлении 0,6 МПа.

Прессование плит осуществляли при давлении 2,0 МПа и температуре 165–170°С. Время прессования изменяли в диапазоне 0,35 мин/мм толщины древесно-стружечной плиты.

Подготовку образцов для установления физико-механических показателей проводили в соответствии со стандартом [3]. Исследовали следующие физико-механические свойства плит: влажность, плотность, предел прочности при растяжении перпендикулярно пласти плиты и предел прочности при изгибе плит в соответствии со стандартами [4], а также с целью установления устойчивости клеевого соединения к длительному воздействию воды исследовали динамику водопоглощения и разбухания плит по толщине в течение 30 сут. Достоверность результатов, полученных в ходе эксперимента, проверяли методом вариационной статистики. Вычисляли среднее квадратичное отклонение, коэффициент вариации V, который не превышал во всех случаях 10%, показатель точности P, который не превышал 5%, и доверительный интервал с достоверностью 0,95%, который находился в допустимых значениях. Результаты проведенных исследований представлены на рис. 1–6.

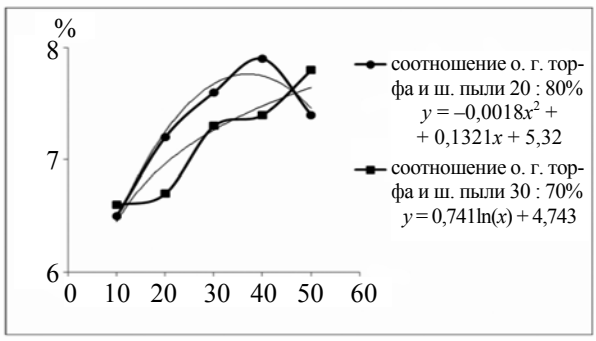


Рис. 1. Зависимость влажности от содержания во внутреннем слое плит количества прессмассы

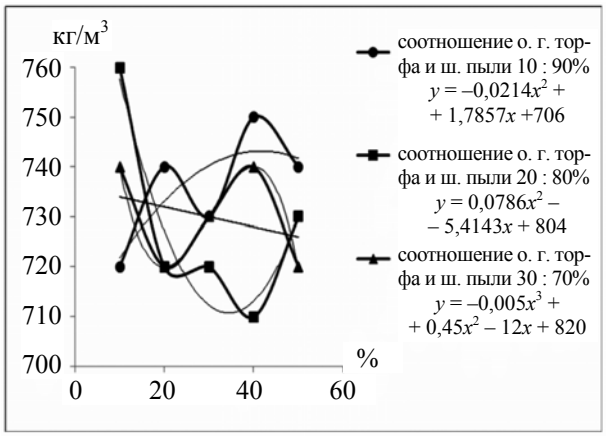


Рис. 2. Зависимость плотности плит от содержания в их внутреннем слое плит количества прессмассы

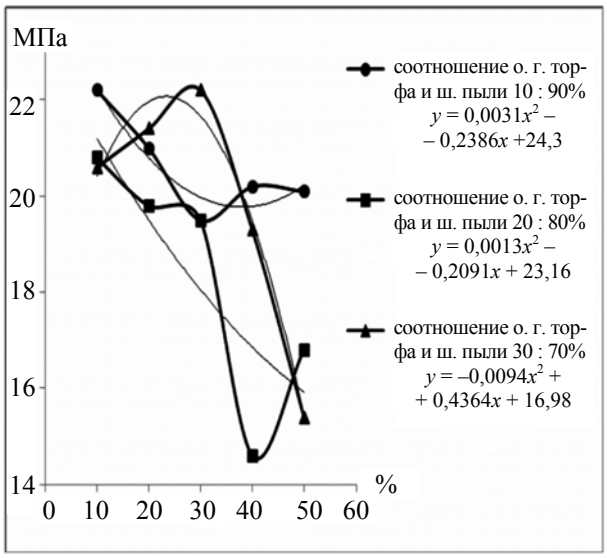


Рис. 3. Зависимость предела прочности при статическом изгибе от содержания во внутреннем слое плит количества прессмассы

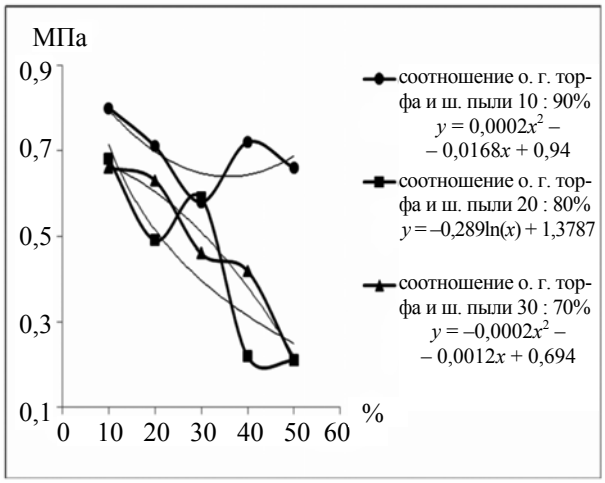


Рис. 4. Зависимость предела прочности при растяжении перпендикулярно пласти плит от содержания в их внутреннем слое прессмассы

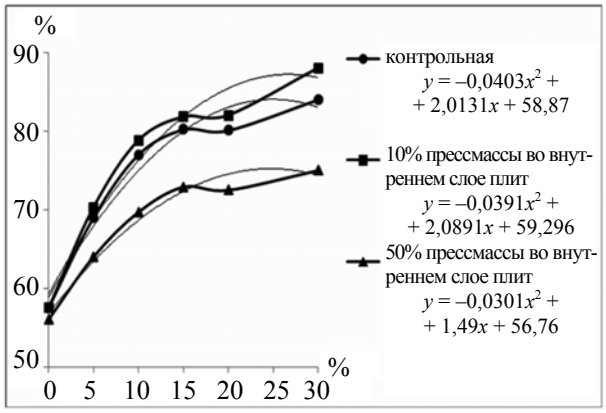


Рис. 5. Зависимость динамики водопоглощения древесностружечных плит от содержания в их внутреннем слое плит прессмассы

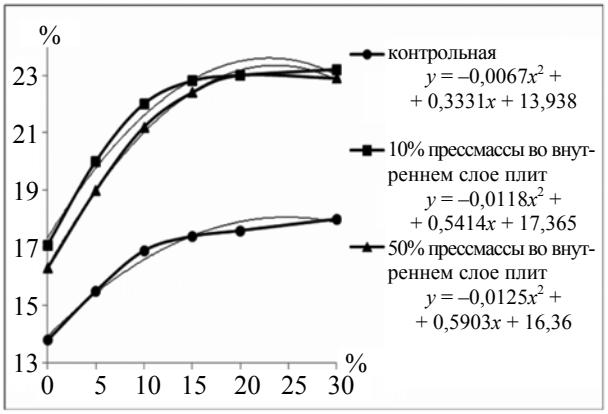


Рис. 6. Зависимость динамики разбухания по толщине древесностружечных плит от содержания в их внутреннем слое количества прессмассы

Анализ полученных результатов показал, что наибольшая прочность адгезионного взаимодействия компонентов внутреннего слоя плит, установленная по показателю предела прочности при растяжении, достигается при содержании во внутреннем слое плит 10% прессмассы, включающей 90% древесной пыли и 10% отходов гидролизного производства. Данный показатель был выше на 21,2%, чем у контрольных плит, и на 39,2% в сравнении с показателями, включающими аналогичное количество необработанной древесной пыли. Это свидетельствует о реакционной способности компонентов прессмассы, что подтверждается показателями прочности плит при изгибе, их разбуханием и водопоглощением. Наибольшая водостойкость плит достигается при содержании во внутреннем слое плит 50% прессмассы.

Заключение. Приведенные результаты исследований показывают:

1) применение прессмасы из древесной пыли от калибрования и шлифования древесностружечных плит и остатка от гидролиза верховых торфов в соотношении соответственно 90 : 10 в количестве 10% от стружечной массы позволяет улучшить физико-механические свойства плит;

2) наибольшая водостойкость достигается при содержании указанного состава в количестве 50% от стружечной массы внутреннего слоя;

3) экономия древесного сырья достигается за счет реакционной способности компонентов прессмассы из утилизируемых отходов производств древесно-стружечных плит и кормовых дрожжей из верховых торфов.

Литература

1. Способ изготовления древесностружечных плит: а. с. 946973 СССР, МПК В 29 О 5/00 / Е. А. Бучнева, А. Н. Минин, В. Л. Боронникова, Л. М. Бахар; Белорус. технол. ин-т им. С. М. Кирова. – № 3008962/29-15; заявл. 26.11.80; опубл. 30.07.82 // Открытия. Изобретения. – 1982. – № 28.

2. Раковский В. Е., Получение кормовых дрожжей / под ред. В. Е. Раковского. – Минск: Наука и техника, 1977.

3. Плиты древесностружечные. Технические условии: ГОСТ 10632–2007. – Минск: Межгос. совет по стандартизации метрологии и сертификации: Межгосстандарт, 2008.

4. Плиты древесностружечные. Методы испытаний: ГОСТ 10633–1989. – Введ. 01.01.89; ГОСТ 10634–1988. – Введ. 01.01.88; ГОСТ 10635–1988. – Введ. 01.01.88; ГОСТ 10636–1980. – Введ. 01.01.80; ГОСТ 10637–1980. – Введ. 01.01.80. – М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1989.

Поступила 16.03.2012

УДК 674.049

И. Г. Федосенко, ассистент (БГТУ)

ФИЗИЧЕСКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ, ТЕРМИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННОЙ В ОРГАНИЧЕСКИХ МАСЛАХ

В статье определены следующие значения показателей физико-механических свойств термически модифицированной древесины в органических маслах: водопоглощение, влагопоглощение, максимальная усушка, пределы прочности при статическом изгибе, сжатии и скалывании вдоль волокон, модуль упругости при статическом изгибе. Повышение температуры и времени термической модификации приводит к ухудшению механических и улучшению физических свойств древесины. Установлено, что эксплуатация такой древесины целесообразна в условиях пониженных механических нагрузок или при их отсутствии, а также в условиях повышенной влажности.

In this paper, the following values of the physical and mechanical properties of thermally modified wood in organic oils of: water absorption, deliquescence, the maximum shrinkage, the MOR in static bending, compression and shear parallel to grain, the MOE in static bending. Raising the temperature and time of thermal modification leads to a deterioration of the mechanical and physical properties of the wood better. It is concluded that the operation of a suitable timber under low mechanical stress, or in their absence, as well as in conditions of high humidity.

Введение. Современные синтетические материалы, обладающие более выгодными свойствами, уступают древесине по некоторым характеристикам, например дешевизне, экологическим и эстетическим качествам, что определяет отдельную область исследований – модификация древесины.

В начале 30-х гг. прошлого века немецкие ученые впервые озадачились уникальной особенностью древесины под действием высоких температур приобретать новые свойства [1]. Развитие этого направления к 90-м гг. выразилось в создании новой производственной технологии термической модификации древесины.

Древесину, полученную по этой технологии, используют в качестве облицовочных материалов, для реставрационных работ, изготовления музыкальных инструментов, столярно-строительных изделий, деталей мебели и сантехнического оборудования. Сегодня самым популярным применением термически модифицированной древесины является настил полов.

Для термически модификации в Европе преимущественно используют быстрорастущие мягкие породы (88 %): ель, сосну, березу и осину.

Процесс термической модификации древесины состоит из трех основных стадий: 1) сушка в камере при температуре 130–150°С до абсолютно сухого состояния; 2) термообработка при повышенной до 180–240°С температуре в защитной среде (во избежание воспламенения); 3) закаливание, т. е. снижение температуры до 80–90°С и кондиционирование древесины до оптимальной влажности 4–7%.

В качестве защитной среды могут выступать: водяной пар (технологии «Thermowood», «Plato» и «Le Bois Perdure»), инертный газ (технология «Retification», где используется азот), вакуум (технология, разработанная в Эстонии), органические масла (технология «Oil Heat Treated» (OHT), где используются растительные масла) или их комбинации.

Анализ литературных источников показал, что самый длительный процесс получения термически модифицированной древесины – модификация в вакууме, а самый быстрый – в органических веществах. Преимуществом использования технологии термической модификации древесины в жидких средах, в отличие от газообразных, является отсутствие необходимости отвода газов, образующихся при разложении компонентов древесины.

Сегодня встречаются предложения по продаже домостроительных элементов, изготовленных из термически модифицированной древесины. В этой связи возникает законный вопрос о соответствии прочности такой древесины особым требованиям к строительным материалам.

При оценке влияния термической модификации на механические свойства древесины имеются некоторые разногласия. Так, в некоторых источниках [2] утверждается, что процедура термической модификации на прочность древесины влияния не оказывает, за исключением некоторого снижения прочности при скалывании.

На основании вышесказанного для исследований была использована технология получения термически модифицированной древесины в органическом масле. В зависимости от различных режимов модификации были исследованы свойства полученного материала.

Основная часть. Для испытаний выбрали древесину наиболее распространенных в Республике Беларусь деловых пород: сосну и березу.

Сосна – хвойная порода, известная своей выраженной слоистой структурой. Береза – лиственная порода, имеющая однородную структуру.

В качестве защитной среды использовали органическое масло, которое при температуре 23°С имеет вязкость 34 с по ВЗ-4 и плотность 923 кг/м^3.

Обработку древесины проводили в три этапа. Первый этап – сушка. Образцы помещали в сушильный шкаф и высушивали до постоянной массы при температуре 103±2°С. Второй этап – высокотемпературная обработка. Образцы сразу после сушки погружали в органическое масло, нагретое до заданной температуры, где выдерживали в течение времени, определенном режимом. Заключительный этап – охлаждение. После выдержки в масле образцы извлекали, охлаждали при комнатных условиях, помещали в эксикатор, где выдерживали в течение 14 сут до достижения древесиной равновесной влажности 7–9%.

Для высокотемпературной обработки (второй этап) использовали четыре режима:

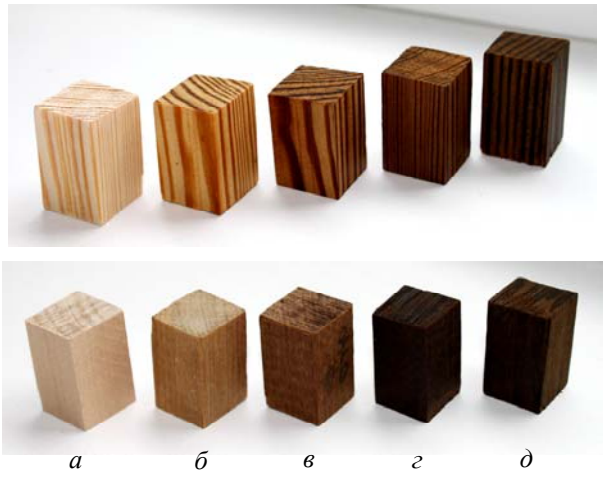
режим 1. Выдержка в течение 1,5 ч при температуре 185°С;

режим 2. Выдержка в течение 3 ч при температуре 185°С;

режим 3. Выдержка в течение 1,5 ч при температуре 215°С;

режим 4. Выдержка в течение 3 ч при температуре 215°С.

После обработки древесина приобретает карамельный оттенок: изменяет свой цвет на более темный при увеличении температуры и времени обработки (рис. 1).



а *б* *в* *г* *д*

Рис. 1. Фотографии образцов древесины сосны (верхний ряд) и березы (нижний ряд) после термической обработки:
а – необработанные образцы; *б*, *в*, *г* и *д* – образцы, обработанные по 1, 2, 3 и 4-му режимам соответственно

После кондиционирования до эксплуатационной влажности на образцах термически модифицированной и контрольной древесины определяли следующие механические свойства: предел прочности при статическом изгибе [3]; условный предел прочности при статическом изгибе [4]; модуль упругости при статическом изгибе [4]; предел прочности при сжатии вдоль волокон (ГОСТ 16483.10–73); предел прочности при скалывании вдоль волокон (ГОСТ 16483.5–73). Были определены и физические свойства древесины: водопоглощение (ГОСТ 16483.20–72), влагопоглощение (ГОСТ 16483.19–72) и усушка (ГОСТ 16483.37–88).

Механические испытания проводили при помощи разрывных машин Р-5 и Р-05. Результаты этих испытаний представлены в табл. 1 и 2. Показатели механических свойств приведены в процентном отношении к показателям контрольной (необработанной) древесины.

Таблица 1

Результаты определения механических свойств термически модифицированной древесины сосны

Свойства древесины	Режимы			
	I	II	III	IV
Предел прочности при изгибе, %	71,58	47,98	43,22	43,03
Условный предел прочности при изгибе, %	72,18	65,81	63,83	59,52
Модуль упругости при изгибе, %	67,77	59,79	56,24	55,87
Предел прочности при сжатии, %	99,87	92,21	85,77	84,05
Предел прочности при скалывании, %	79,37	68,13	50,08	45,48

Таблица 2

Результаты определения механических свойств термически модифицированной древесины березы

Свойства древесины	Режимы			
	I	II	III	IV
Предел прочности при изгибе, %	68,50	64,68	56,95	51,72
Условный предел прочности при изгибе, %	83,77	83,63	83,51	83,51
Модуль упругости при изгибе, %	95,00	89,67	89,32	86,88
Предел прочности при сжатии, %	99,97	99,38	86,29	83,17

Результаты определения влагопоглощения представлены диаграммами на рис. 2 и 3, а водопоглощения – на рис. 4 и 5.

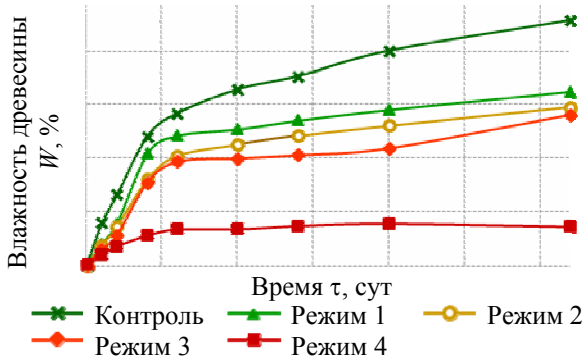


Рис. 2. Влагопоглощение термически обработанной древесины сосны

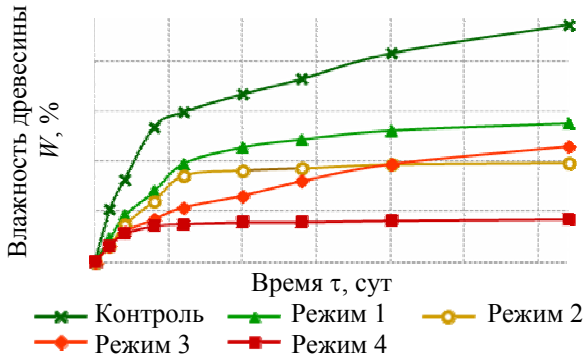


Рис. 3. Влагопоглощение термически обработанной древесины березы

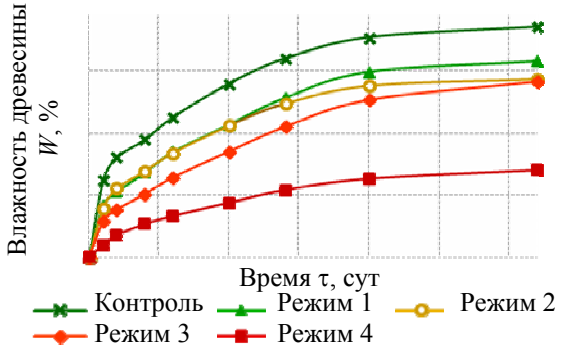


Рис. 4. Водопоглощение термически обработанной древесины сосны

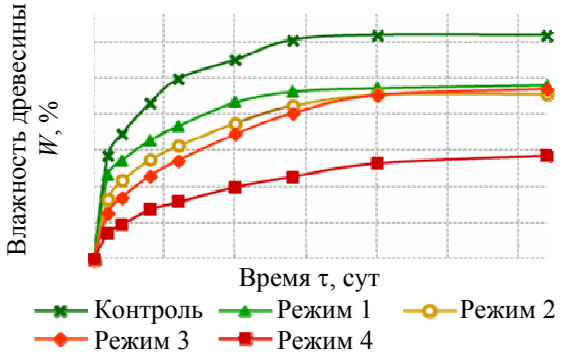


Рис. 5. Водопоглощение термически обработанной древесины березы

Результаты определения усушки представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты определения максимально объемной усушки, % термически модифицированной древесины

Порода древесины	Контроль	Режим			
		I	II	III	IV
Сосна	13,77	13,48	11,00	9,63	9,26
Береза	16,71	16,16	15,32	13,47	10,16

Заключение. Проанализировав полученные данные, можно утверждать, что прочность термически модифицированной древесины при изгибе, сжатии и скалывании, а также модуль упругости при изгибе с увеличением температуры обработки снижаются. При высокотемпературной обработке береза снижает свои эластичные свойства от 5,0 до 16,5%, а сосна – от 27,8 до 44,1%. Прочность при изгибе снижается для березы от 31,5 до 48,3%, а для сосны – от 28,4 до 57,0%. Прочность при сжатии как для березы, так и для сосны снижается от 0 до 16,8%. Наибольшее снижение прочности происходит при скалывании и составляет от 20,6% до 54,5%.

При модификации древесины по наиболее жесткому режиму (4-му) максимальное влагопоглощение для сосны снижается на 83,1%, а для березы – на 82,0%. При этом поглощение воды снижается на 62 и 54,1% соответственно, а максимальная объемная усушка – на 32,8 и 39,2% соответственно.

Исходя из вышесказанного, термически модифицированную древесину целесообразно применять в условиях пониженных механических нагрузок или при их отсутствии, а также для эксплуатации в условиях повышенной влажности.

Литература

1. Налимов, Н. Термодревесина / Н. Налимов // Леспроминформ. – 2008. – Вып. 9 (58). – С. 150–155.

2. Термодерево: свойства и применение / аналитическое агентство «Research. Techart» // Ваш дом [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: http://www.vashdom.ru/articles/ /research_30.htm. – Дата доступа: 15.03.2012.

3. Методика определения прочности древесины при статическом изгибе: МВИ, МН 3981–2011 (БелГИМ). – Минск, 2011. – 19 с.

4. Федосенко, И. Г. Способы оценки механических свойств древесины в условиях ограниченного количества материала / И. Г. Федосенко // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2010. – Вып. XVIII. – С. 176–179.

Поступила 14.03.2012

УДК 674.047.3

Д. П. Бабич, младший научный сотрудник (БГТУ);
В. Б. Снопков, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой (БГТУ)

РАСХОД ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ СУШКЕ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ В КОНВЕКТИВНЫХ СУШИЛЬНЫХ КАМЕРАХ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

Выполнен расчет расхода тепловой энергии при сушке пиломатериалов в конвективных сушильных камерах периодического действия. Установлено, что с увеличением жесткости режима уменьшается суммарный расход теплоты на сушку. Рекомендовано для уменьшения расхода тепловой энергии применять более жесткие режимы.

The calculation of quality of drying of saw-timbers are conducted. The core on-board spent works was reduction of internal pressure in wood. It is established what to achieve reduction of internal pressure probably by change of a mode of air-conditioning of saw-timbers after drying.

Введение. Сушка пиломатериалов – важный этап в процессе обработки массивной древесины. При сушке происходит удаление из древесины свободной и связанной влаги, что приводит к значительному улучшению эксплуатационных свойств древесины. Процесс удаления влаги из древесины требует значительных затрат тепловой и электрической энергии.

В работе [1] приведены следующие данные: на тепловую энергию приходится 84,23% суммарного расхода энергии на сушку, а на электрическую энергию – 15,77%. Это свидетельствует о приоритетности решения задачи снижения расхода тепловой энергии по сравнению с расходом электрической.

Расход тепловой энергии состоит из трех слагаемых: затрат энергии на прогрев пиломатериалов, расход энергии на испарение влаги из древесины, потери энергии через ограждения сушильной камеры.

Основным фактором, влияющим на расход тепловой энергии, является режим, по которому производится сушка пиломатериалов. Режимы сушки пиломатериалов в сушильных камерах периодического действия регламентируются ГОСТ 19773–84 [2]. Кроме стандартных, на большинстве предприятий нашей страны используют нестандартные режимы сушки, которые рекомендованы зарубежными производителями сушильных камер.

Целью данной работы являлось определение расхода тепловой энергии на сушку пиломатериалов при использовании различных режимов, а также определение влияния параметров режима на расход энергии.

Методика проведения исследований. Исследования проводились применительно к сушильным камерам фирмы Cathild марки VS1E90ACC. Определялся расход тепловой энергии при сушке пиломатериалов из древесины сосны, березы и дуба толщиной 25, 32, 50 мм. Расчеты проводились для следующих режимов сушки: стандартных нормальной и мягкой категории, режимов, рекомендованных производителем сушильных камер. Определение расхода энергии проводили для среднегодовых условий.

Расход тепловой энергии определяли в такой последовательности. Сначала производили расчет продолжительности процесса сушки пиломатериалов графоаналитическим методом [3, с. 116–121]. После этого определяли фактическую вместимость камеры для каждого вида пиломатериалов и объем циркулирующего агента сушки. Определяли массу влаги удаляемой из древесины на *i*-й ступени сушки D_{l_i}, кг/м^3, по формуле

$$D_{l_i} = \frac{\rho_Б \cdot (W_{н_i} - W_{к_i})}{100}, \qquad (1)$$

где $\rho_Б$ – базисная плотность древесины расчетного материала, кг/м^3, $W_{н_i}, W_{к_i}$ – начальная и конечная влажности для *i*-й ступени сушки, %.

Затем расчитывали удельный расход тепловой энергии на прогрев пиломатериалов $q_{пр}$, кДж/м^3, по методике, приведенной в литературе [4, с. 25–26]. Суммарный расход теплоты на прогрев пиломатериалов $Q_{пр}$, МДж, определяли по формуле

$$Q_{пр} = \frac{q_{пр} \cdot E_к}{1000}, \qquad (2)$$

где $E_к$ – вместимость камеры для расчетного пиломатериала, м^3.

Удельный расход тепловой энергии на испарение влаги из древесины $q_{исп}$, кДж/кг, определяли по методике, изложенной в литературе [4, с. 26–27] для каждой ступени исследуемого режима сушки. Суммарный расход энергии на испарение влаги из древесины для *i*-й ступени режима ($Q_{исп_i}$, МДж) и за весь период сушки ($Q_{исп}$, МДж) определяли по формулам:

$$Q_{исп_i} = \frac{q_{исп_i} \cdot D_{l_i}}{1000}; \quad Q_{исп} = \sum_{i=1}^{n} Q_{исп_i}, \qquad (3,4)$$

где *n* – количество ступеней режима сушки, шт.

Потери тепла через ограждения для *i*-й ступени режима $Q_{огр_i}$, МДж, определяли по методике, приведенной в источнике [4, с. 27–30]. Суммарные потери через ограждения сушильной камеры за цикл сушки $Q_{огр}$, МДж, определяли по формуле

$$Q_{огр} = \sum_{i=1}^{n} Q'_{огр_i}. \quad (5)$$

Затраты тепловой энергии на сушку $Q_{сум}$, МДж, определяли по формуле

$$Q_{сум} = Q_{пр} + Q_{исп} + Q_{огр}. \quad (6)$$

Результаты исследований. Результаты расчета затрат тепловой энергии приведены в таблице. Проанализируем их. Суммарный расход тепловой энергии меняется в широком диапазоне (от 43189,8 МДж до 113158,1 МДж) в зависимости от толщины, породы пиломатериалов и применяемых режимов сушки. Рассмотрим подробнее влияние каждого из этих факторов.

На рис. 1 приведена диаграмма, на которой изображены затраты тепловой энергии при сушке пиломатериалов различных пород и толщин с использованием стандартных нормальных режимов.

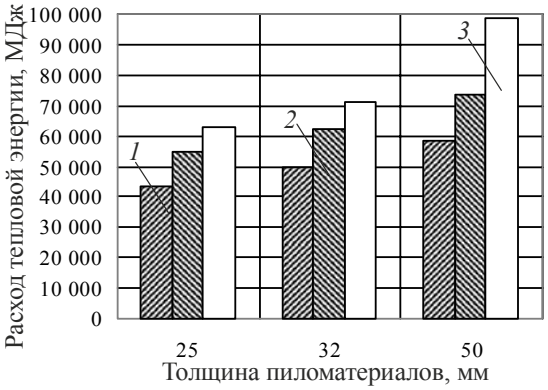


Рис. 1. Затраты тепловой энергии на сушку пиломатериалов из древесины различных пород нормальными режимами:
1 – сосна; *2* – береза; *3* – дуб

Из приведенной диаграммы видно, что с увеличением толщины пиломатериалов возрастает и расход тепловой энергии на их сушку. Эта закономерность справедлива для всех исследованных пород древесины и режимов сушки.

Расход тепловой энергии при сушке пиломатериалов в конвективных сушильных камерах периодического действия для различных режимов

Порода древесины	Толщина пиломатериалов, мм	Режим сушки	Продолжительность сушки, ч	Расход тепловой энергии, МДж			
				на прогрев	на испарение влаги	потери через ограждения	суммарный
Сосна	25	2-М	143,2	6673,5	36056,4	4209,4	46939,4
		2-Н	67,0	9858,3	30544,3	2787,1	43189,8
		112	102,4	6445,1	33773,8	3465,7	43684,6
	32	3-М	172,5	7493,1	39785,4	5101,0	52379,5
		3-Н	104,8	11069,0	34044,0	4403,4	49516,5
		112	132,9	7236,6	37858,1	4512,7	49607,4
	50	5-М	195,7	8434,0	48075,1	5562,6	62071,8
		5-Н	128,6	11685,6	41551,5	4977,9	58215,0
		112	165,3	8275,1	45023,6	5595,7	58894,5
Береза	25	Б2-М	147,4	8477,5	45392,5	4744,4	58614,4
		Б2-Н	106,1	10367,8	40419,4	4088,6	54875,8
		22	148,8	6923,7	46978,6	4336,3	58238,7
	32	Б-2М	165,4	9518,6	50894,8	5309,9	65723,4
		Б-2Н	137,0	11641,0	45375,0	5378,1	62394,1
		22	179,5	7773,9	52852,6	5212,9	65839,6
	50	Б-5М	174,4	10864,2	60617,8	5390,4	76872,5
		Б-5Н	151,0	11984,2	56605,4	5155,4	73745,1
		22	188,6	8841,4	63985,8	5180,1	78007,4
Дуб	25	Д2	190,8	7058,1	50385,8	5331,3	62775,3
		30	205,5	5234,5	63707,2	4626,9	73568,7
	32	Д2	237,7	7924,9	56659,7	6510,5	71095,2
		30	300,5	5877,3	72286,5	6706,5	84870,5
	50	Д4	902,1	8305,5	69521,9	21123,6	98951,1
		30	742,3	6614,0	90568,1	15976,1	113158,1

Из приведенной диаграммы также видно, что наибольшее количество тепловой энергии затрачивается при сушке пиломатериалов из древесины дуба, меньше теплоты требуется для сушки березовых пиломатериалов, наименьшее количество тепловой энергии расходуется на сушку сосновых пиломатериалов. Такой же характер имеет зависимость расхода тепловой энергии от породы древесины при использовании других исследованных режимов. Исходя из вышесказанного делаем вывод о том, что расход тепловой энергии при сушке увеличивается с увеличением плотности высушиваемой древесины.

На рис. 2, 3 приведены диаграммы, на которых показаны затраты тепловой энергии на сушку пиломатериалов из древесины сосны и березы различными режимами.

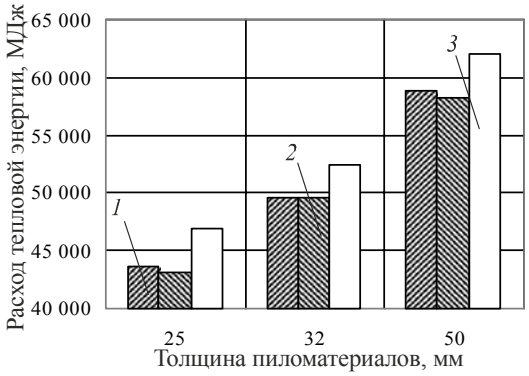


Рис. 2. Затраты тепловой энергии на сушку пиломатериалов из древесины сосны:
1 – режим Cathild; *2* – стандартный нормальный режим; *3* – стандартный мягкий режим

Из диаграммы рис. 2 следует, что для пиломатериалов из древесины сосны наибольшее количество тепловой энергии затрачивается при использовании стандартных мягких режимов, наименьшее количество тепла – при использовании стандартных нормальных режимов. Затраты тепловой энергии при использовании режимов Cathild незначительно превосходят энергозатарты для нормальных режимов.

Диаграмма, приведенная на рис. 3, показывает, что для пиломатериалов из древесины березы наименьшее количество тепловой энергии затрачивается при использовании нормальных режимов. Для мягких режимов и режимов Cathild требуется примерно одинаковое количество тепла при сушке пиломатериалов толщиной 25 и 32 мм. При сушке пиломатериалов толщиной 50 мм более энергоемок режим Cathild.

При сушке пиломатериалов из древесины дуба расход тепловой энергии больше при использовании режимов Cathild, чем при использовании нормативных режимов (см. таблицу).

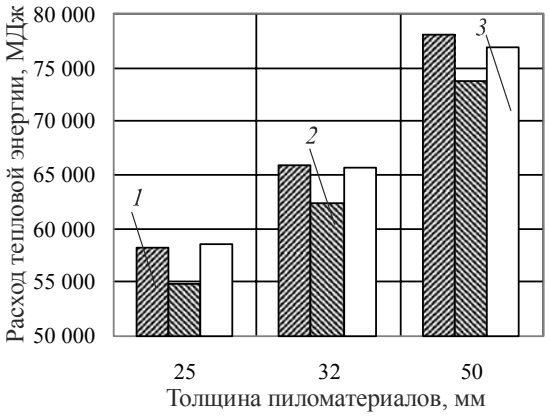


Рис. 3. Затраты тепловой энергии на сушку пиломатериалов из древесины березы:
1 – режим Cathild; *2* – стандартный нормальный режим; *3* – стандартный мягкий режим

Важнейшим критерием, характеризующим режим сушки, является его жесткость. С точки зрения кинетики процесса сушки продолжительность режима определяется, прежде всего, его жесткостью. Чем жестче режим, тем меньше времени затрачивается на удаление влаги из древесины. На рис. 4 приведены диаграммы, показывающие продолжительность сушки пиломатериалов из древесины сосны и березы.

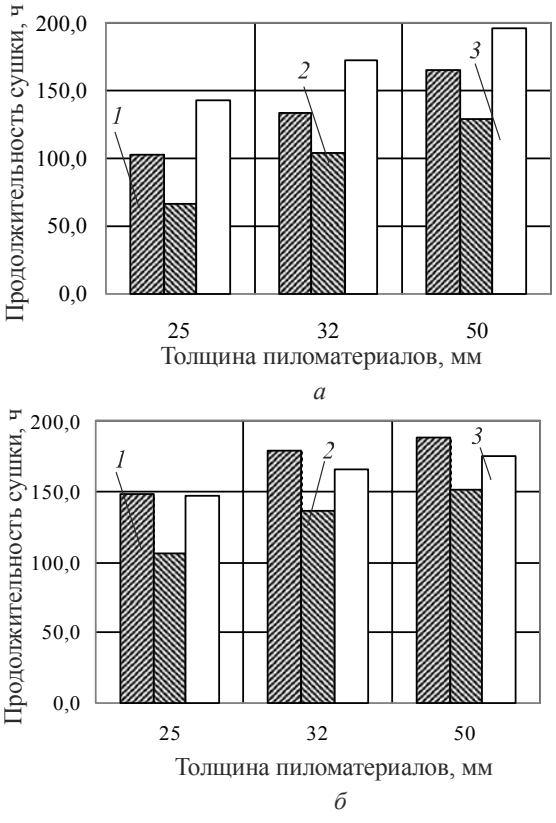


Рис. 4. Продолжительность процесса сушки пиломатериалов:
а – сосна; *б* – береза; *1* – режим Cathild; *2* – стандартный нормальный режим; *3* – стандартный мягкий режим

Очевидно, что характер изменения продолжительности сушки в зависимости от применяемого режима на приведенных диаграммах соответствует характеру изменения затрат тепловой энергии на диаграммах рис. 2 и 3. Поэтому делаем вывод о том, что на расход тепла определяющее влияние оказывает продолжительность процесса сушки, или жесткость используемого режима: с увеличением продолжительности увеличивается расход тепловой энергии. Другими словами, чем жестче режим сушки, тем меньше тепловой энергии необходимо на ее проведение.

Как отмечалось выше, расход тепловой энергии при сушке пиломатериалов состоит из трех слагаемых. Воспользовавшись данными таблицы, определим вклад каждого слагаемого в суммарный расход тепла на сушку. На рис. 5 и 6 приведены диаграммы, на которых в процентном соотношении показан вклад каждого слагаемого в общий расход тепла на сушку при использовании различных режимов.

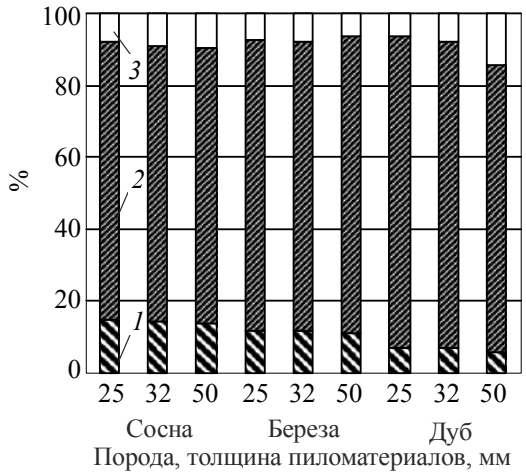


Рис. 5. Распределение затрат тепловой энергии на сушку пиломатериалов по слагаемым для режимов Cathild:
1 – затраты энергии на прогрев пиломатериалов;
2 – расход энергии на испарение влаги из древесины;
3 – потери энергии через ограждения сушильной камеры

Как видно из приведенных диаграмм, доля расхода тепла на прогрев пиломатериалов составляет от 7 до 22% суммарного расхода тепла, на испарение – от 68 до 86%, потери через ограждения – от 6 до 21%. Увеличение расхода тепла при прогреве характерно для быстросохнущих материалов и при использовании жестких режимов.

Среднее значение потерь через ограждение составляет 7–9% от суммарного расхода тепла, большие значения (14–21%) справедливы при очень продолжительной сушке пиломатериалов.

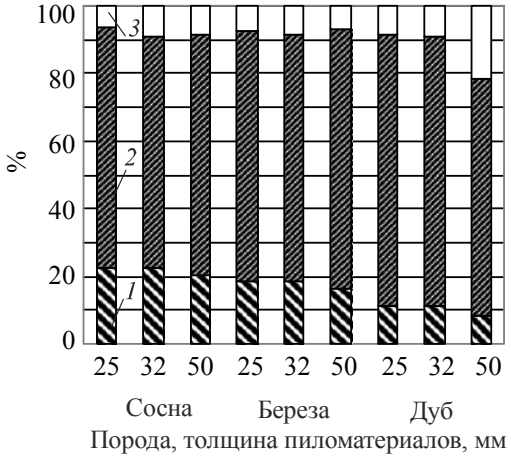


Рис. 6. Распределение затрат тепловой энергии на сушку пиломатериалов по слагаемым для стандартных нормальных режимов:
1 – затраты энергии на прогрев пиломатериалов;
2 – расход энергии на испарение влаги из древесины; *3* – потери энергии через ограждения сушильной камеры

Заключение. Выполнен расчет расхода тепловой энергии при сушке пиломатериалов в конвективных сушильных камерах периодического действия. Установлено, что энергозатраты зависят от жесткости применяемых режимов сушки. Наименьшее количество тепловой энергии расходуется при использовании стандартных нормальных режимов.

Литература

1. Гороховский, А. Г. Технология камерной сушки пиломатериалов с уменьшенными энергозатратами / А. Г. Гороховский, Е. Е. Шишкина // Деревообрабатывающая промышленность. – 2005. – № 4. – С. 9–10.

2. Пиломатериалы хвойных и лиственных пород. Режимы сушки в камерах периодического действия: ГОСТ 19773–84. – Взамен ГОСТ 19773–74; введ. 29.06.84. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 12 с.

3. Снопков, В. Б. Гидротермическая обработка и защита древесины. Примеры и задачи: учеб. пособие для студентов специальности «Технология деревообрабатывающих производств». – Минск: БГТУ, 2005. – 240 с.

4. Снопков, В. Б. Гидротермическая обработка и защита древесины. Курсовое и дипломное проектирование. – Минск: БГТУ, 2007. – 110 с.

Поступила 14.03.2012

УДК 674.048

Н. В. Мазаник, кандидат технических наук, старший преподаватель (БГТУ)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ СРЕДСТВ ХИМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ДРЕВЕСИНЫ ОТ БИОПОВРЕЖДЕНИЙ

В статье описаны существующие методы испытания ингибирующей способности средств химической защиты древесины от биоповреждений. Рассмотрены гистограммы распределения ширины зоны разрастания мицелия гриба *Coniophora puteana* на непропитанных образцах и образцах, обработанных антисептиком ХМ-11. Приведен анализ влияния критерия оценки эффективности защитных средств на показатели достоверности результатов испытаний.

The article describes current methods for testing inhibitory ability of compositions for chemical protection of wood against biological damage. We consider the histograms of the width of *Coniophora puteana* growing area on the impregnated samples and on the samples treated with antiseptic ХМ-11. An analysis of the impact of assessment criterion for validity of test results is given.

Введение. С возникновением средств химической защиты древесины встал вопрос о возможности оценки их эффективности. Первые известные испытания защитных средств заключались в наблюдении за состоянием цельных пропитанных сортиментов, которые эксплуатировались наряду с непропитанными в одних и тех же условиях службы. Подобные натурные и полигонные испытания имеют значительные недостатки – отличаются большой длительностью и крайне низкой воспроизводимостью. Неконтролируемый видовой состав грибов не позволяет корректно оценить относительную токсичность различных антисептиков. Проведение испытаний защитных средств в лабораторных условиях позволило использовать для опытов чистые культуры грибов. Тем не менее вопрос достоверности, воспроизводимости и, особенно, корректности использования результатов лабораторных испытаний для прогнозирования защищенности древесных сортиментов в реальных условиях эксплуатации остается открытым. Это связано с тем, что результаты испытаний и их статистические характеристики существенно зависят от методики проведения эксперимента и принятого критерия оценки эффективности защитных средств.

Основная часть. В XX в. широкое распространение получил так называемый «агаровый» метод испытания ингибирующей способности фунгицидов. Он заключается в том, что в агаризованные питательные среды при их приготовлении вводят антисептик в различных концентрациях. После этого среды заражают чистой культурой гриба и производят наблюдения, отмечая зависимость скорости и интенсивности развития гриба от концентрации токсичного средства. Агаровый метод прост, позволяет обеспечить высокую однородность условий опыта. Продолжительность проведения испытаний не превышает 2–3 недель. Однако по мере накопления экспериментальных данных выявились и недостатки этого метода. Исследователи отмечали выпадение антисептика в осадок на дне чашки Петри, что позволяет грибу распространяться по поверхности среды, не контактируя с ядом, а также химические реакции некоторых антисептиков с компонентами питательной среды. Кроме того, защищающие дозы антисептиков, полученные на агаровой среде, практически во всех случаях были значительно ниже, чем при испытаниях на древесном субстрате. Для устранения данного несоответствия было предложено применять поправочные коэффициенты, но они оказались различными для разных антисептиков и малопригодными на практике. Таким образом, агаровый метод позволяет определить только относительную токсичность различных антисептиков.

На настоящий момент наиболее распространенным видом лабораторных испытаний защитных средств является испытание с использованием самого объекта защиты – древесины (так называемый «метод древесных блоков»). Согласно этому методу, на искусственной питательной среде выращиваются чистые культуры грибов. Затем на хорошо разросшиеся культуры помещают образцы, пропитанные антисептиком различной концентрации, и непропитанные (контрольные) образцы. По истечении срока испытания эффективность защиты древесины антисептиком оценивается по степени пораженности пропитанных образцов в сравнении с контрольными. Многочисленные вариации данного метода отличаются формой и размерами древесных образцов, составом питательных сред, способами поддержания влажности древесины, тест-культурами грибов, способом инокулирования образцов, продолжительностью испытания, а также критерием оценки степени поврежденности древесины грибами.

В настоящее время в подавляющем большинстве исследований используется интенсивностный метод учета реакции гриба. В частности, при испытании эффективности защитных средств по отношению к дереворазрушающим грибам наиболее распространенной является оценка степени повреждения древесины по уменьшению массы древесных образцов. Однако защитное действие антисептика также может оцениваться и по изменению физико-механических свойств древесины, таких как ударная вязкость, модуль упругости, предел прочности при растяжении или изгибе, частота свободных вибраций образцов и т. д.

Важным аспектом при проведении испытаний также является выбор питательной среды и способа контакта образцов с тест-культурой. Питательная среда должна содержать все необходимые элементы для быстрого накопления биомассы гриба, что позволит моделировать наиболее неблагоприятные условия эксплуатации древесины, а также эффективно регулировать влажность образцов, которая должна поддерживаться на оптимальном для тест-культуры уровне на протяжении всего испытания. Вариант метода древесных блоков, в котором подстилающим субстратом является агар, принят в качестве стандартного в странах Евросоюза [1]. Вариант с использованием земляного субстрата применяют на территории бывшего СССР, в странах Американского континента и Австралии [2]. В Республике Беларусь метод древесных блоков был стандартизирован как способ оценки эффективности защитных средств против базидиомицетов [3].

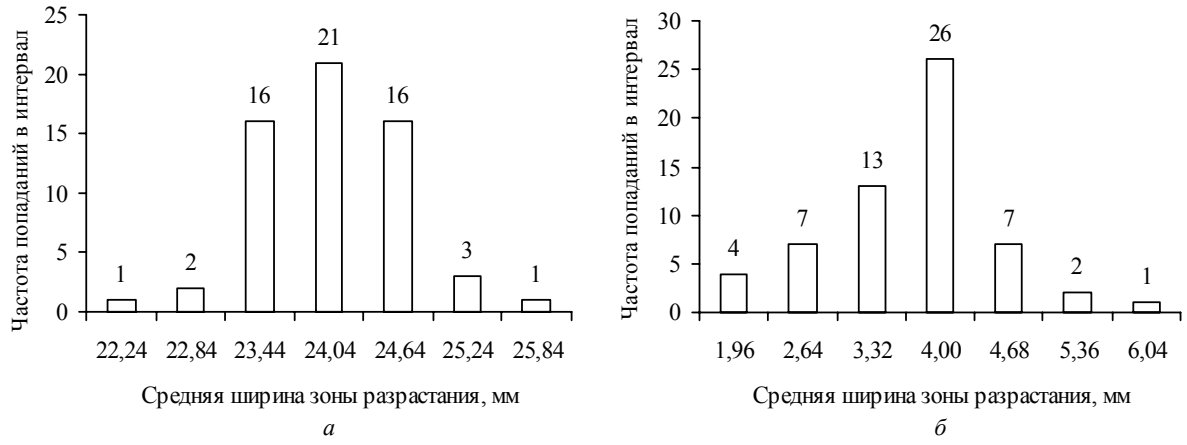
Тем не менее на практике подтверждается крайне низкая воспроизводимость результатов испытаний, в которых в качестве критерия используется оценка степени повреждения древесины по уменьшению массы сосновых образцов. Такая погрешность измерений объясняется целым рядом причин. В первую очередь, это непостоянство условий испытания. В частности, неоднородность плотности образцов из древесины сосны приводит к тому, что содержание антисептика в объеме образца неодинаково. Снижение массы образца происходит в основном за счет деструкции слабо пропитанных зон, объемную долю которых, как и концентрацию защитного средства в них, учесть невозможно. Важную роль играет различная скорость разрушения зон поздней и ранней древесины. Неравномерное разрушение образца грибом приводит к искажению результата опыта. Определение массы образца древесины по окончании испытания производится после очистки его поверхности от мицелия гриба. При этом масса мицелия, остающаяся в толще образца, не учитывается. Кроме того, если образец разрушен сильно, очистка его поверхности неизбежно сопряжена с отделением мелких и крупных фрагментов древесины, что влияет на результат взвешивания. На погрешность результатов существенно влияет непостоянство влажности образцов в ходе испытания, а также неконтролируемость количества инокулята, контактирующего с образцом.

Нами было проведено исследование возможности использования в качестве критерия эффективности защитного средства ширины зоны разрастания мицелия тест-культуры на образцах древесного шпона, пропитанного антисептиком, в сравнении с непропитанным. Во время испытания шпон находится в контакте с агаризованной средой, не содержащей источников углерода и обеспечивающей постоянную влажность древесины. Специально разработанная технология получения инокулята обеспечивает постоянство количества и фазы роста наносимого на образцы посевного материала.

Целью эксперимента являлось выявление характера распределения значений ширины зоны разрастания мицелия пленчатого домового гриба на 60 непропитанных образцах березового шпона и на 60 образцах, пропитанных раствором антисептика ХМ-11 при среднем поглощении 9,8%, а также сравнительный анализ результатов этого теста с данными, полученными другими методами испытаний. В таблице приведены результаты расчета статистических характеристик экспериментальных данных. Гистограммы распределения измеряемой величины показаны на рисунке.

Статистические характеристики экспериментальных данных

Образцы древесины	Среднее значение ширины зоны, мм	Дисперсия	Среднее квадратичное отклонение	Коэффициент вариации	Показатель асимметрии	Показатель эксцесса	Среднее квадратичное отклонение асимметрии	Среднее квадратичное отклонение эксцесса
Непропитанные	24,08	0,48	0,69	2,89	0,04	0,96	0,30	0,58
Пропитанные ХМ-11	3,75	0,76	0,87	23,29	0,06	0,34	0,30	0,58



Гистограммы распределения результатов определения ширины зоны разрастания мицелия на образцах: *а* – непропитанных; *б* – пропитанных ХМ-11

Рассчитанные статистические характеристики были использованы для проверки нормальности распределения измеряемой величины по критерию Колмогорова. Было показано, что условия нормальности распределения выполняются как для результатов испытаний непропитанных образцов, так и образцов, защищенных средством ХМ-11. Таким образом, можно сделать вывод об отсутствии причин, вызывающих одностороннее отклонение измеряемой величины, т. е. вызывающих возникновение систематических ошибок.

При введении в древесину защитного средства характер распределения измеряемой величины претерпевает некоторые изменения. Возрастает вариация результатов параллельных измерений относительно среднего значения. Распределение, хотя и остается нормальным, становится более асимметричным в результате неравновероятного влияния присутствия антисептика на рост гриба. Описанное поведение гистограммы распределения измеряемой ширины разрастания мицелия гриба по образцу древесины не противоречит поведению гистограмм, характеризующих потерю массы древесными образцами в опытах, проведенных Беленковым. Им было показано, что при увеличении поглощения и, соответственно, степени защищенности древесины распределение измеряемого критерия подчиняется закону нормального распределения лишь до начала распада выборки образцов на две группы – образцы, в различной степени пораженные грибом, и образцы непораженные. После распада выборки на группы распределение теряет свойства нормального и данные, полученные по методу, использованному автором, могут считаться лишь оценочными. Коэффициент вариации ширины разрастания мицелия гриба *Coniophora puteana* на непропитанной древесине березы составил 2,89%, что значительно ниже коэффициента вариации потери массы образцами сосны, полученного Беленковым (11,1%) и Мазуром (13–18%), а также коэффициента вариации потери массы непропитанными образцами березы, который получили Миллер и Мейер (5%) [4].

Также важно, что в предложенном методе испытаний измеряемый критерий подчиняется нормальному закону распределения при достаточно высокой степени защищенности древесины. Это показано при среднем поглощении защитного средства ХМ-11 – 9,8%.

Заключение. Результаты проведенного эксперимента свидетельствует о преимуществах использования критерия разрастания мицелия по сравнению с оценкой разрушительной активности гриба по потере массы образцами.

Литература

1. Wood preservatives – Test method for determining the protective effectiveness against wood destroying basidiomycetes: EN 113. – Activated 01.12.96. – Brussels: European Committee for Standardization: Central Secretariat, 1996. – 32 p.

2. Standard Test Method for Wood Preservatives by Laboratory Soil-Block Cultures: ASTM D1413 – 07e1. – Activated 01.04.07. – West Conshohocken, Pa: ASTM International, 2007. – Book of Standards. – Vol. 4. – 8 p.

3. Средства защитные для древесины. Метод испытания токсичности: ГОСТ 16712–95. – Введ. 01.07.96. – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1996. – 12 с.

4. Беленков, Д. А. Вероятностный метод исследования антисептиков для древесины / Д. А. Беленков. – Свердловск: Урал. ун-т, 1991. – 176 с.

Поступила 14.03.2012

УДК 674.04.047.3

О. Г. Рудак, аспирант (БГТУ);
В. Б. Снопков, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой (БГТУ)

ИЗМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ В ПЕРИОД ПРОГРЕВА В НЕНАСЫЩЕННОЙ СРЕДЕ

Исследованы теплофизические характеристики сосновой древесины комплексным методом. Получены зависимости, отражающие характер изменения температуры на поверхности и внутри древесины во времени. Определены закономерности изменения коэффициента теплопроводности, удельной теплоемкости, коэффициента температуропроводности древесины во времени при прогреве в ненасыщенной среде.

Investigated the thermophysical characteristics of pine wood by the method of the complex. The dependencies that reflect the character of temperature changes on the surface and inside the wood over time. The regularities of changes in the coefficient of thermal conductivity, specific heat, thermal diffusivity of wood over time when heated in an unsaturated environment.

Введение. Первой технологической операцией процесса сушки пиломатериалов является начальный прогрев, который проводится с целью доведения температуры высушиваемого материала до уровня температуры сушильного агента.

В современных сушильных камерах операцию прогрева проводят при степени насыщенности обрабатывающей среды меньше 1, т. е. в ненасыщенной среде. В таких условиях прогрев древесины сопровождается испарением влаги с ее поверхности и, как следствие, уровнем температуры поверхностных слоев меньше температуры обрабатывающей среды. Данный факт можно объяснить тем, что при прогреве в ненасыщенной среде в древесине возникают два совместно протекающих процесса переноса тепла: теплопроводность, направленная от поверхностных слоев сортимента к внутренним, и влагопроводность во встречном направлении. Таким образом, при начальном прогреве будут изменяться как температура, так и влажность древесины, что повлечет за собой изменение и других физических свойств древесины. В этой связи исследования, направленные на измерение текущих значений теплоемкости, теплопроводности и температуропроводности, представляют несомненный практический интерес.

Существующие методы исследования тепловых свойств древесины дают возможность их определения лишь в конкретных стационарных условиях, т. е. в условиях, когда тепловой поток, проходящий через древесину, сохраняется постоянным во времени. Начальный прогрев древесины относится к нестационарным процессам, поскольку имеет место изменяющаяся во времени и по сечению температура самого сортимента и температура агента обработки. Поэтому авторами был применен метод исследования, основанный на способе комплексного определения теплофизических характеристик при теплообмене тел в среде с линейно изменяющейся температурой. Один из способов комплексного определения теплофизических характеристик в режиме линейного нагрева состоит в использовании системы тел, одно из которых имеет известные теплофизические свойства. Этот метод был впервые реализован Е. П. Шурыгиной [1].

Цель работы. Целью настоящей работы было определение характера изменения тепловых свойств древесины во времени в период начального прогрева, а также скорости изменения температуры на поверхности и внутри древесины.

Методика проведения исследований. Принципиальная схема экспериментальной установки тепловых свойств древесины в период начального прогрева в ненасыщенной среде представлена на рис. 1.

Пластина из древесины сосны толщиной $2l_1$ соприкасается с двумя стальными пластинами, каждая из которых имеет толщину l_2. Теплофизические свойства крайних пластин тождественны, но отличны от свойств средней пластины.

Для определения температуры внутри и на поверхности древесины применяли измерительную систему, имеющую четыре температурных датчика DS18S20. На металлическую пластину, поверхность которой контактирует с воздухом, устанавливается термодатчик T_1, а на поверхность, граничащую с древесиной, − термодатчик T_2. На глубине, соответствующей половине толщины образца из древесины, располагается термодатчик T_3, а на поверхности древесины, соприкасающейся с другой металлической пластиной, − термодатчик T_4. Все датчики были изолированы пастой КПТ-8 во избежание влияния обрабатывающего агента на результаты измерений. Начальная температура всех элементов системы была одинаковой и равной температуре окружающей среды t_0 = 15–20°C.

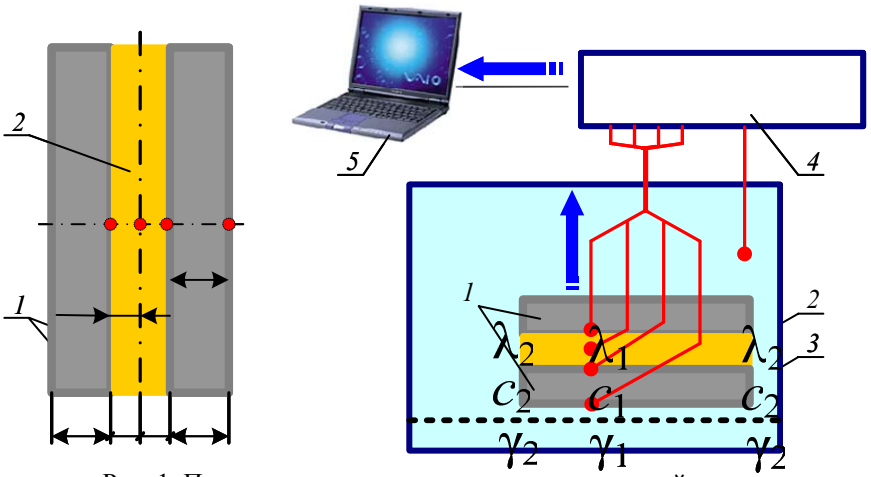
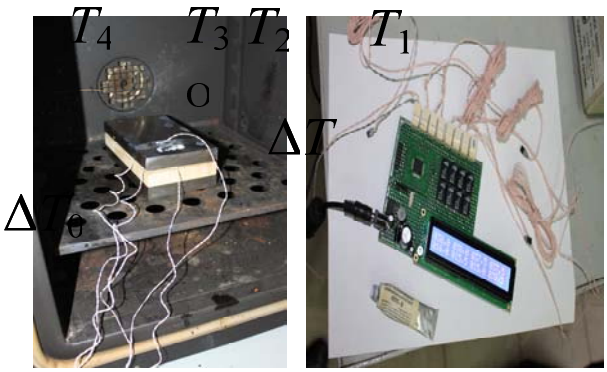


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки:
1 – металлические пластины (сталь 20); *2* – образец из древесины сосны; *3* – термошкаф; *4* – измерительная система; *5* – компьютер

Для обеспечения нагрева образца древесины вышеописанную систему пластин помещали в термошкаф (рис. 2, *б*). Температуру обрабатывающего воздуха контролировали с помощью термодатчика T_5. Показания всех датчиков фиксировали с точностью 0,5°С с периодичностью 5 мин в начале и 20 мин в конце процесса прогрева. Прогрев проводили до тех пор, пока разница температур на поверхности и внутри древесины не составляла 0,5°С. Влажность образцов определяли с помощью влагомера марки GANN HT 85. Условия проведения экспериментальных исследований и характеристика образцов из древесины и металлических пластин представлена в табл. 1 и 2 соответственно.



а *б*

Рис. 2. Общий вид измерительной системы:
а – система пластин; *б* – измерительная установка

Таблица 1

Условия проведения эксперимента

Характеристики экспериментальных образцов						Температура прогрева *t*, °С
Порода	Размеры, мм			Влажность *W*, %	Направление волокон	
	толщина	ширина	длина			
Сосна	20	100	200	30	радиальное	40
	20	100	200		тангенциальное	
	40	100	200		радиальное	
	40	100	200		тангенциальное	
Сосна	20	100	200	53	радиальное	60
	20	100	200		тангенциальное	
	40	100	200		радиальное	
	40	100	200		тангенциальное	

Таблица 2

Характеристика металлических пластин

Материал	Размеры, мм			Плотность γ, кг/м^3	Коэффициент теплопроводности λ, Вт/(м·°С)	Удельная теплоемкость *c*, кДж/(кг·°С)
	толщина	ширина	длина			
Сталь 20	20	100	200	7853 при 40°С, 7847 при 60°С	51,65 при 40°С 51,2 при 60°С	0,486

Описанная экспериментальная установка позволяет определить в любой выбранный момент времени перепады температур по толщине металлических пластин $\Delta T = T_1(l_1, \tau) - T_2(0, \tau)$ и образца из древесины $\Delta T_0 = T_4(l_1 + l_2, \tau) - T_3(l_1, \tau)$. Используя результаты измерений, по нижеприведенным формулам можно рассчитать тепловые характеристики древесины и установить характер их изменения во времени.

$$a_1 = \frac{b \cdot l_1^2}{2 \cdot \Delta T_0}; \quad (1)$$

$$c_1 \cdot \gamma_1 = K_{c\lambda} \cdot \frac{\Delta T}{b} - h, \quad (2)$$

где

$$K_{c\lambda} = \frac{\lambda_2 \cdot 10^{-2}}{l_1 \cdot l_2}; \quad (3)$$

$$h = \frac{c_2 \cdot \gamma_2 \cdot l_2}{2 \cdot l_1}; \quad (4)$$

$$\lambda_1 = \frac{l_1^2}{2 \cdot \Delta T_0} \cdot (K_{c\lambda} \cdot \Delta T - b \cdot h), \quad (5)$$

здесь b – скорость нагревания поверхности металлических пластин, ºС/ч; λ_1, λ_2 – коэффициент теплопроводности металла и древесины соответственно, Вт/(м · ºС); a_1 – коэффициент температуропроводности древесины, м^2/с; c_1, c_2 – удельная теплоемкость металла и древесины, Дж/(кг · ºС); γ_1, γ_2 – плотность металла и древесины, кг/м^3 [1].

Результаты исследований. В ходе проведенных экспериментальных исследований был определен характер изменения температуры поверхностных и внутренних слоев древесины во времени. На рис. 3 показаны графические зависимости, полученные для образцов из древесины сосны толщиной 40 мм, начальной влажностью $W_{нач}$ = 30%, прогреваемых при температуре среды t_c = 40ºС и 60ºС. Нагрев осуществлялся в радиальном направлении.

Анализ графиков, представленных на рис. 3, показывает, что температура воздуха в термошкафу устанавливается на требуемом уровне (40ºС и 60ºС) уже через 3–10 мин после начала нагревания. После этого она остается неизменной на протяжении всего эксперимента. Таким образом, можно считать, что нагревание древесины проходит при постоянной температуре обрабатывающей среды.

Нагревание поверхностных слоев образцов древесины начинается сразу, а внутренних – с некоторым опозданием. Через 20 мин после начала процесса разница температур на поверхности и внутри образцов достигает максимальной величины и составляет 4ºС и 7ºС при температуре среды 40ºС и 60ºС соответственно.

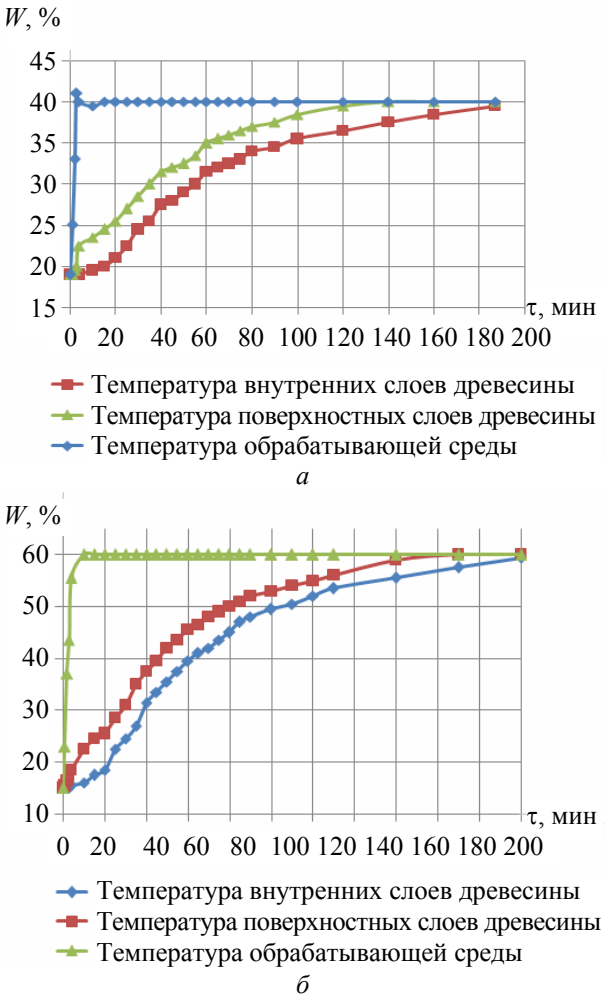


Рис. 3. Изменение температуры древесины сосны во время прогрева при температуре обрабатывающей среды: *а* – 40ºС; *б* – 60ºС

При дальнейшем нагревании различие температур поверхностных и внутренних слоев древесины остается практически постоянным вплоть до момента достижения поверхностью образца температуры обрабатывающей среды. В первом случае это произошло через 140 мин после начала процесса нагревания, во втором – через 190 мин. Далее при постоянной температуре поверхностных слоев увеличивается только температура внутри образца, что приводит к их полному выравниванию. В результате продолжительность полного прогрева образцов сосновой древесины толщиной 40 мм и начальной влажностью 30% составила: 187 мин при температуре обрабатывающей среды 40ºС, 220 мин – при температуре 60ºС.

Обращает на себя внимание тот факт, что в процессе нагревания древесины возникает и длительное время поддерживается значительная разность температур среды и поверхности образца древесины. Это однозначно свидетельствует о том, что нагревание сопровождается

испарением влаги с поверхности древесины, т. е. об одновременном протекании тепло- и влагопереноса.

Графические зависимости, аналогичные представленным на рис. 3, были получены и для других условий эксперимента, указанных в табл. 1. Во всех случаях характер изменения температуры поверхностных и внутренних слоев в процессе нагревания был одинаковым. Сопоставление полученных графиков между собой позволило отметить следующее.

1. С повышением температуры увеличивается продолжительность процесса прогрева, а также возрастает скорость изменения температуры на поверхности и внутри древесины.

2. При увеличении влажности древесины скорость изменения температуры древесины уменьшается и, как следствие, возрастает продолжительность прогрева.

3. С увеличением толщины образца увеличивается продолжительность прогрева, а скорость изменения температуры древесины остается практически одинаковой.

Для определения характера изменения теплофизических характеристик древесины во времени при прогреве были выполнены расчеты величины удельной теплоемкости, коэффициентов теплопроводности и температуропроводности по вышеприведенным формулам.

Поскольку закономерности изменения теплофизических характеристик древесины для всех условий прогрева аналогины, для примера в табл. 3 приведены результаты расчетов для древесины сосны толщиной 40 мм, с начальной влажностью $W_н$ = 30%, а в табл. 4 − для образцов толщиной 40 мм, начальной влажностью $W_н$ = 53%. Нагрев происходил в радиальном направлении.

Таблица 3

Теплофизические свойства сосновой древесины влажностью $W_н$ = 30%

τ, мин	T = 40ºC			T = 60ºC		
	$a \cdot 10^{-6}$	c	λ	$a \cdot 10^{-6}$	c	λ
20	0,31	2,10	0,28	0,31	2,26	0,42
40	0,17	2,22	0,21	0,22	2,38	0,26
60	0,14	2,55	0,18	0,12	2,48	0,21
80	0,12	2,70	0,16	0,11	2,6	0,18
100	–	–	–	0,10	3,0	0,15
Сред.	0,19	2,39	0,21	0,18	2,54	0,24

Таблица 4

Теплофизические свойства сосновой древесины влажностью $W_н$ = 53%

τ, мин	T = 40ºC			T = 60ºC		
	$a \cdot 10^{-6}$	c	λ	$a \cdot 10^{-6}$	c	λ
20	0,35	2,60	0,55	0,4	2,47	0,54
40	0,23	2,66	0,36	0,28	2,50	0,41
60	0,17	2,74	0,28	0,23	2,54	0,35
80	0,15	2,84	0,25	0,22	2,64	0,34
100	0,11	3,16	0,20	0,22	2,74	0,37
120	–	–	–	0,19	2,85	0,32
сред	0,20	2,80	0,33	0,26	2,62	0,39

Анализируя данные, представленные в табл. 3 и 4, отметим, прежде всего, что полученные значения всех теплофизических характеристик древесины не противоречат сведениям, известным в литературе [2]. При этом удельная теплоемкость и коэффициент теплопроводности, измеренные у древесины с начальной влажностью $W_н$ = 53%, больше, чем у более сухой древесины ($W_н$ = 30%), что также согласуется с современными представлениями о свойствах древесины: прогрев древесины сопровождается увеличением удельной теплоемкости и снижением коэффициента теплопроводности. Коэффициент температуропроводности также уменьшается.

Заключение. Для исследования теплофизических характеристик сосновой древесины применен комплексный метод, позволяющий определить теплоемкость, теплопроводность и температуропроводность в нестационарных условиях. Получены зависимости, отражающие характер изменения температуры на поверхности и внутри прогреваемой древесины. Установлено, что прогрев древесины сопровождается увеличением удельной теплоемкости, а также уменьшением коэффициентов теплопроводности и температуропроводности.

Литература

1. Лыков, А. В. Методы определения теплопроводности и температуропроводности / А. В. Лыков. – М.: Энергия, 1973.

2. Серговский, П. С. Гидротермическая обработка и консервирование древесины / П. С Серговский, А. И. Рассев. – М.: Лесная пром-сть, 1987.

Поступила 14.03.2012

УДК 674.04.047.3

О. Г. Рудак, аспирант (БГТУ)

ИЗМЕНЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ ПО ТОЛЩИНЕ ПРИ ПРОГРЕВЕ В НЕНАСЫЩЕННОЙ СРЕДЕ

Исследовано изменение влажности поверхностных и внутренних слоев древесины сосны при прогреве в ненасыщенной среде ($\varphi < 1$). Рассчитаны растягивающие внутренние напряжения, возникающие на поверхности прогреваемых сортиментов. Сделан вывод о безопасности процесса прогрева для целостности древесины.

The change of moisture content of surface and inner layers of wood-dreams during heating in an unsaturated environment. Calculated the internal tensile stress of occurring on the surface of heated assortments. It is concluded that the Safety of the process of heating from the standpoint of the integrity of the surface layers of wood.

Введение. Сушка предварительно непрогретых пиломатериалов может привести к нарушению целостности поверхностных слоев. Поэтому первой технологической операцией, предшествующей сушке, является начальный прогрев.

Современные технологии сушки предполагают использование режимов начального прогрева, при которых степень насыщенности обрабатывающей среды $\varphi < 1$, а разница показаний психрометра Δt не превышает 5°С. Продолжительность прогрева должна быть не менее 6 ч и устанавливается в зависимости от породы и толщины пиломатериалов. Следует отметить, что продолжительность начального прогрева в настоящее время определяется без учета начальной влажности древесины, ширины штабелей, скорости подъема температуры в камере и других факторов.

Начальный прогрев в ненасыщенной среде предполагает использование температуры, не превышающей температуру сушки на первой ступени режима. Как правило, она не более 70°С. При таких условиях интенсивность испарения влаги с поверхности сортиментов и перемещение ее из внутренних более влажных слоев к наружным значительно ниже, чем непосредственно в процессе сушки пиломатериалов. И хотя это не исключает полностью возникновения влажностных напряжений, их величина значительно ниже допустимого значения.

Процесс прогрева древесины в ненасыщенной среде характеризуется неравномерным распределением влаги по толщине пиломатериалов. В результате испарения влаги из поверхностных слоев возникает перепад влажности по толщине сортимента, который и является причиной возникновения влажностных внутренних напряжений

Цель работы. Целью настоящей работы было установление характера изменения влажности пиломатериалов по толщине при прогреве в ненасыщенной среде, а также оценка величины возникающих при этом внутренних напряжений.

Методика проведения исследований. Исследования были проведены в производственных условиях ОАО «Пинскдрев-Адриана». Сушильный цех предприятия оснащен сушильными камерами CATHILD французского производства вместимостью 75 м^3.

При загрузке камеры пиломатериалами в центральной, верхней и нижней частях штабеля закладывали контрольные образцы, роль которых выполняли сосновые обрезные доски толщиной 40 и 50 мм, шириной 120 мм и длиной 5500 мм (рис. 1, *а*). В середине каждого контрольного образца устанавливали датчики для измерения влажности древесины (рис. 1, *б*). Датчики, предназначенные для измерения влажности поверхностных слоев, размещали на глубине 3–4 мм, внутренних – на глубине, равной половине толщины контрольного образца.

Аналогично измерители влажности устанавливали по краям контрольных образцов на расстоянии 4*S* от торцов.

Перед загрузкой в сушильную камеру пиломатериалы подвергались атмосферной сушке, в результате чего начальная влажность древесины составляла 32–34%. В период начального прогрева температуру обрабатывающей среды поддерживали на уровне $t = 58$°С, а степень насыщенности – $\varphi = 0{,}78$. Продолжительность процесса начального прогрева составляла для пиломатериалов толщиной 40 мм $\tau = 6{,}0$ ч, а для толщины 50 мм – $\tau = 7{,}5$ ч.

Результаты измерения, полученные от датчиков влажности, передавались в карту памяти контроллера автоматической системы управления процессом сушки. Далее эта информация поступала на компьютер оператора сушильной камеры.

Текущие значения влажности древесины фиксировали с периодичностью в 30 мин. На протяжении всего периода сушки контролировали также температуру обрабатывающей среды.

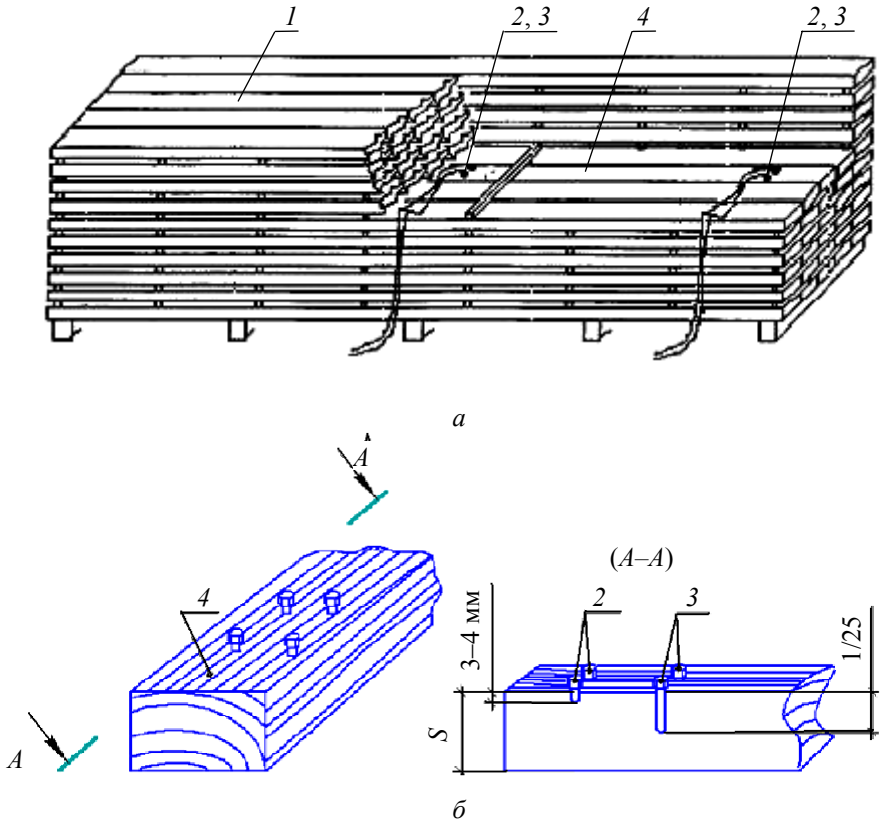


Рис. 1. Схема эксперимента в сушильной камере CATHILD:
а – схема расположения образцов в штабеле; *б* – схема установки датчиков влажности в образце;
1 – штабель пиломатериалов; *2* – датчик измерения влажности на поверхности образца;
3 – датчик измерения влажности внутри образца; *4* – контрольный образец

Итоговая информация о результатах измерений представлялась в форме, показанной на рис. 2.

Результаты исследований. Графические зависимости, показывающие изменение влажности древесины на поверхности и внутри сортиментов, представлены на рис. 3.

Анализ полученных результатов показывает, что влажность внутренних слоев остается постоянной и равной начальной влажности на протяжении всего периода начального прогрева. Влажность внутренних слоев с течением времени уменьшается, достигает значения 15%, после чего не изменяется. Нетрудно заметить, что стабилизация влажности на поверхности прогреваемых сортиментов происходит на уровне значения устойчивой влажности при десорбции, соответствующей заданным параметрам обрабатывающей среды. Перепад влажности по толщине пиломатериалов изменяется от 5–7% в начале процесса до 24% – в конце. Следует обратить особое внимание на то, что влажность поверхностных слоев древесины ниже влажности предела гигроскопичности $W_{п.г}$ = 26%, а влажность внутренних слоев больше этой величины.

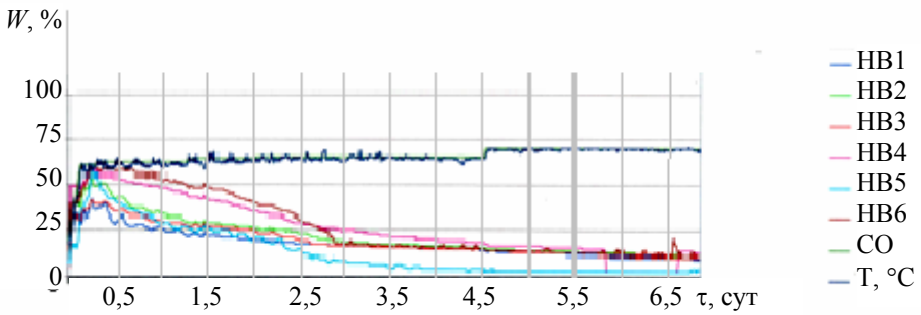


Рис. 2. Форма представления экспериментальных данных
НВ–НВ6 – влажность древесины, измеряемая датчиками № 1–6;
СО – степень насыщенности обрабатывающей среды; *Т* – температура обрабатывающей среды

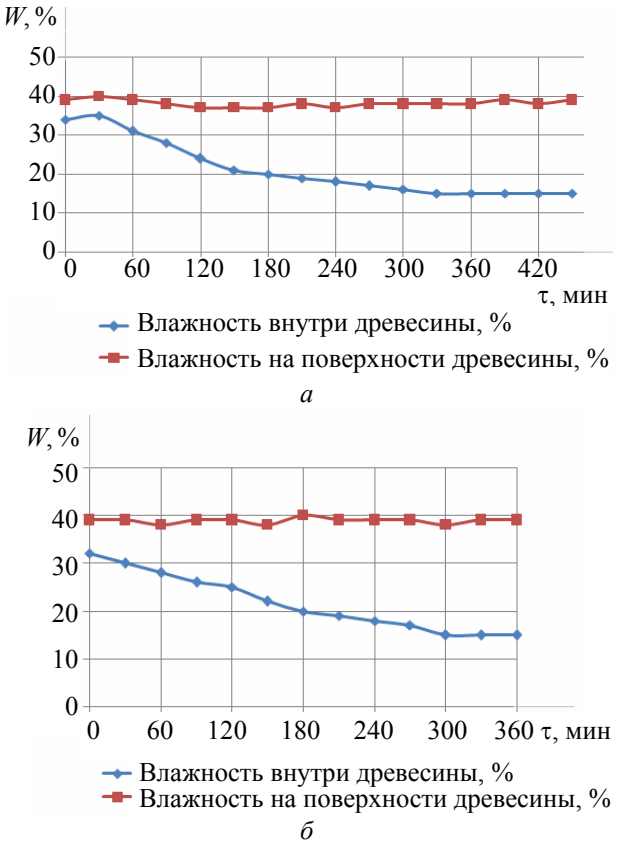


Рис. 3. Изменение влажности древесины поверхностных и внутренних слоев: сосновая доска толщиной 50 мм (*а*) и 40 мм (*б*)

Известно, что если влажность поверхностных слоев древесины меньше влажности предела насыщения клеточных стенок, то они испытывают деформации растяжения. Поскольку влажность внутренних слоев древесины больше этой величины, усушка не происходит и в них развиваются сжимающие внутренние напряжения. Для описанного влажностного состояния древесины Б. Н. Уголевым была предложена формула для расчета величины влажностных внутренних напряжений [1, с. 63].

С использованием приведенной формулы, были выполнены расчеты величины внутренних напряжений, возникающих при прогреве древесины в ненасыщенной среде. Характер изменения величины напряжений для сосновых пиломатериалов толщиной 50 мм и 40 мм оказался идентичным. В таблице показаны результаты определения величины внутренних напряжений для пиломатериалов толщиной 50 мм.

Величина внутренних напряжений

$W_{внутр.}$, %	$W_{пов}$, %	ΔW, %	σ, МПа
37	28	9	0,016
37	24	13	0,06
37	21	16	0,15
38	20	18	0,043
37	19	18	0,057
38	18	20	0,097
38	17	21	0,091
38	16	22	0,12
39	15	24	0,14
38	15	23	0,13
39	15	24	0,13

Как видно из таблицы, в процессе прогрева в ненасыщенной среде на поверхности древесины возникают растягивающие внутренние напряжения. Однако они не превышают допустимого значения σ = 5,4 МПа и, более того, меньше его в десятки раз. Это говорит о том, что имеется возможность максимально приблизить величину температуры и степени насыщенности обрабатывающей среды к параметрам режима сушки, поддерживая на безопасном уровне величину внутренних напряжений. Этот технологический прием позволит сократить общую продолжительность процесса сушки древесины и снизить энергозатраты.

Заключение. Проведено исследование характера изменения влажности поверхностных и внутренних слоев древесины сосны при прогреве в ненасыщенной среде ($\varphi < 1$). Рассчитаны растягивающие внутренние напряжения, возникающие на поверхности прогреваемых сортиментов. Сделан вывод о безопасности процесса прогрева для целостности древесины.

Литература

1. Уголев, Б. Н. Деформативность древесины и напряжения при сушке / Б. Н. Уголев. – М.: Лесная пром-сть, 1971. – С. 63–64 с.

Поступила 14.03.2012

УДК 674.048

И. К. Божелко, ассистент (БГТУ)

БИОЗАЩИТА КЛЕЕНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Представлена технология биозащиты клееных деревянных конструкций. Выполнен анализ биоразрушающих факторов деревянных конструкций. Приведены основные требования к современным антисептикам. Проведены исследования по определению влияния биозащитных средств и способа пропитки на предел прочности по клеевому соединению. Представленная технология позволяет достичь высокого уровня биозащиты клееных деревянных конструкций без снижения прочностных показателей клеевых соединений.

The technology of bioprotection glued wooden designs is presented. There are performed the analysis of the factors biodegradation of wooden structures. There are carried the basic requirements for co-temporary antiseptics. There are carried out researches by definition of influence of preservatives and a way of impregnation on strength on glutinous connection.. The presented technique allows to achieve a high level of biosecurity glued wooden structures without reducing the strength properties of adhesive joints.

Введение. С каждым годом клееные деревянные конструкции становятся популярнее и все чаще применяются в гражданском и промышленном строительстве. Это объясняется легкостью и долговечностью материала. Благодаря современным технологиям возможно изготовление практически любых конструкций из клееного бруса. Эти конструкции дают возможность реализовывать самые сложные технические проекты. Материал легкий, но способен выдерживать значительные нагрузки. Кроме обычных клееных конструкций производятся гнутые конструкции с кривизной от 6 м. Легкость обработки также является немаловажным достоинством этого материала. Важным является и значительная, по отношению к металлу, пожаростойкость. Конструкции сохраняют свои несущие свойства в течение более длительного времени в условиях повышенных температур. Способность древесины выдерживать воздействие солей и других химических веществ выгодно отличает этот материал от бетона и металла, которые подвергаются сильному разрушению при контакте с химическими веществами. Несомненным достоинством клееных деревянных конструкций являются экологичность и высокие эстетические качества. В настоящее время деревянные клееные конструкции применяются для строительства спортивных и торговых объектов, манежей, мансард, мостов и др. Большую популярность этот материал завоевал в малоэтажном домостроении. В нем используется клееный стеновой брус, балки перекрытий и стропила. Любое строение с использованием клееного деревянного бруса делает его уникальным и неповторимым.

Наряду с представленными преимуществами деревянные конструкции имеют и существенный недостаток – они требуют защиты от биологических факторов [1].

Наиболее опасными разрушителями деревянных конструкций являются домовые грибы. К наиболее опасным и распространенным домовым грибам относятся: настоящий домовой гриб (*Merulius lacrymans*), белый домовой гриб (*Poria Vaporaria*), пленчатый домовой гриб (*Coniophora Puteana*), шахтный гриб (*Paxillus acheruntius*).

Значительный урон древесине наносят различные насекомые: жуки (усачи, златки, короеды, долгоносики, древогрызы, точильщики), рогохвосты, термиты, муравьи и другие. Как особо вредоносного следует отметить мебельного точильщика (*Anobium punctatum*). Он поражает как твердые, так и мягкие породы древесины, обычно повреждая заболонь. Дровосек-усач черный домовой (*Hylotrupes bajulus*) считается самым опасным вредителем для строительной древесины в Республике Беларусь. Он нападает на заболонь сухой мягкой древесины.

География сбыта продукции белорусских домостроительных заводов постоянно расширяется. В нее начинают попадать страны южного региона, например Венесуэла. При изготовлении строительных конструкций обязательно следует учитывать особенности последующей их эксплуатации. Среди таких особенностей следует выделить опасность поражения наиболее страшными разрушителями древесины термитами, поскольку территории южных стран попадают в регионы их распространения (рис. 1).

Рис. 1. Обжитые термитами регионы

Одним из самых эффективных способов защиты древесины от биоразрушений является автоклавная пропитка. Так, в рамках стран Евросоюза пропитывается 18 млн. м^3 древесины [2]. Распределение пропитываемой древесины по классам эксплуатации приведено в табл. 1.

Таблица 1

Объемы пропитки древесины в Европе

Класс эксплуатации древесины	Объемы древесины, млн. м^3
НС 1/2	10,3
НС 3	6,6
НС 4	1,8

Однако для применения данного способа защиты требуется тщательное изучение влияния антисептиков и способа пропитки на прочность клеевых соединений деревянных конструкций с целью обеспечения требуемой надежности строительных конструкций.

Целью данной работы стало исследование возможности автоклавной пропитки клееных деревянных конструкций для придания им био- и огнезащитных свойств.

Основная часть. Биозащита деревянных клееных конструкций с помощью автоклавной пропитки может быть реализована двумя путями. Первый способ заключается в предварительной пропитке ламелей и последующем их склеивании. Данная технология позволяет достичь высокого уровеня биозащиты древесины, но является наиболее трудозатратной и трудоемкой. Второй путь – пропитка готовых клееных деревянных конструкций. Быстрый и надежный способ, но требующий размеров автоклавов, соответствующих габаритам деревянных элементов. Таким оборудованием в Республике Беларусь обладает ОАО «Борисовский шпалопропиточный завод». Для исследований применялся второй способ биозащиты. Он легко реализуется на практике и отличается большей экологичностью производства, поскольку не требует механической обработки пропитанной древесины.

К защитным средствам, используемым для пропитки древесины, можно выделить ряд требований. Они должны соответствовать ГОСТ 30495 и ГОСТ 30704, т. е. антисептики должны быть высокоэффективными по отношению к плесневым, окрашивающим грибам, дереворазрушающим грибам и одновременно малотоксичными для теплокровных, хорошо проникать в древесину, иметь низкую коррозионную агрессивность, не снижать более чем на 20% физико-механические показатели древесины, обеспечивать долговременную защиту в зависимости от класса условий службы. Помимо фунгицидных защитному средству должны быть обязательно присущи и инсекцицидные свойства. При экспортировании пропитанной древесины в страны Евросоюза антисептики должны соответствовать действующим там требованиям.

ГОСТ 20022.0 определяет перечень антисептиков для пропитки древесины. К ним относятся: каменноугольное масло, сланцевое масло, НМ-М, ХМ, ХМФ-БФ, ХМФС, Сенеж, Аквабор, ХМФ, ХМББ, ХМК, ББ. Предлагаемые антисептики достаточно эффективны и проверены временем, однако они не соответствуют современным экологическим требованиям и имеют механизм воздействия на грибы прошлого поколения. Директива Еврокомиссии, принятая в 2003 г., ограничивает применение древесины, обработанной ССА-солями.

В настоящее время рынок в области защиты древесины предлагает широкое многообразие защитных средств. Отсутствие достоверных данных о долговечности антисептиков и лабораторных методиках по определению срока службы пропитанной древесины затрудняет определение области применения и требуемого поглощения пропиточных составов. Под классификацию ГОСТ 20022.0 не попадают не только зарубежные, но и современные отечественные антисептики. Трудности использования действующих стандартов также сопряжены со значительным несоответствием европейским нормативным документам.

Для пропитки клееных конструкций использовались водорастворимые и масляные антисептики. В качестве первых предложено применять современные защитные средства со щелочной средой на основе солей меди и органических биоцидов. Подходящими соединениями меди являются сульфат, ацетат, гидроксид, оксид, борат, фторид, гидроксокарбонат меди. Металлокомплексы солей обеспечивают успешную борьбу с грибными болезнями и, что особенно важно, с гнилями. Большинство современных антисептиков содержат такие активные биоциды, как азолы (как правило, это производные имидазола и триазола). Противогрибковое действие азолов обусловлено нарушением целостности мембраны клетки гриба. Азолы нарушают синтез эргостерола – основного структурного компонента клеточной мембраны грибов. Для предупреждения развития устойчивости у грибов и технических вредителей к антисептику современные биозащитные средства обладают сразу несколькими механизмами воздействия, которые зачастую проявляют синергетический эффект.

К такого типа защитным средствам относятся Tanalith E, Bochemit Forte, Korasit,

Bio-Wood 0108 [3]. Исследования проводились с использованием антисептика Tanalith E 3492.

В качестве масляного защитного средства применяли пропиточный состав СМПС, производимый в Республике Беларусь.

Исследования проводились на образцах из деревянного клееного бруса, спрессованного с использованием меламинокарбамидоформальдегидной смолы «Каскомин 1242» и отвердителя 2542 производства компании «Akzo Nobel». Заготовки для образцов размером 50×50×180 выпиливались из торцевых частей из бруса с толщиной отпада не менее 50 мм (рис. 2).

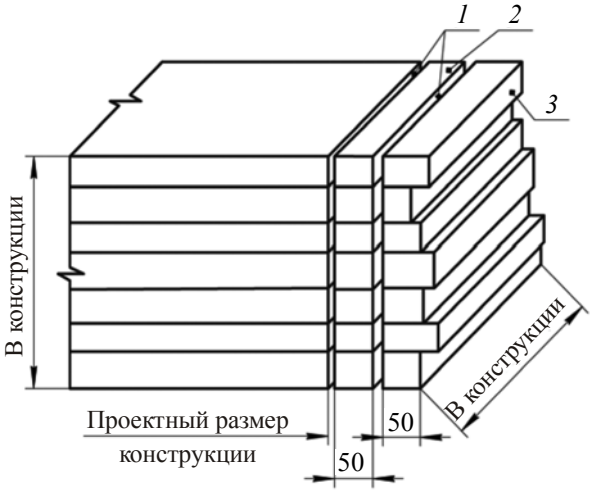


Рис. 2. Изготовление образцов:
1 – пропилы; *2* – заготовка для образцов; *3* – отпад

Заготовки распиливались на образцы в виде прямоугольной призмы сечением ((50×50)±0,5) мм и высотой *h*, равной высоте сечения элементов (рис. 3).

Далее одна часть полученных образцов подвергалась автоклавной пропитке под давлением 1,1 МПа водорастворимым антисептиком Tanalith E 3492, другая – масляным защитным средством СМПС. Кинетика процесса пропитки представлена на рис. 4.

Поглощение при этом составило для биозащитного раствора с концентрацией Tanalith E 3492 4,5% – 143 кг/м^3; для антисептика СМПС – 96 кг/м^3. Данное поглощение превышает требуемое для эксплуатации древесины в особо тяжелых условиях более чем в 1,2 раза [4].

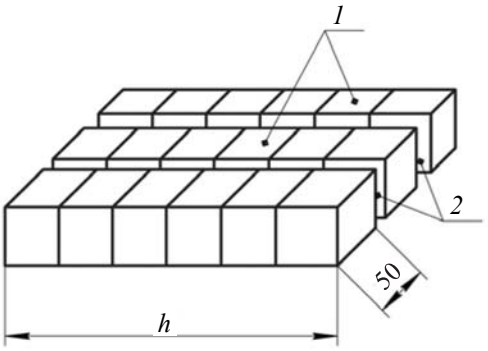


Рис. 3. Изготовление образцов:
1 – образцы; *2* – пропилы

После доведения до влажности 12% образцы подвергались испытаниям по ГОСТ 25884 на послойное скалывание клеевых соединений. Приспособление для проведения испытаний представлено на рис. 5.

Предел прочности клеевого соединения при скалывании τ определялся с точностью до 0,1 МПа по формуле

$$\tau = \frac{P}{F}, \qquad (1)$$

где P – разрушающая нагрузка, Н; F – площадь поперечного сечения, м^2.

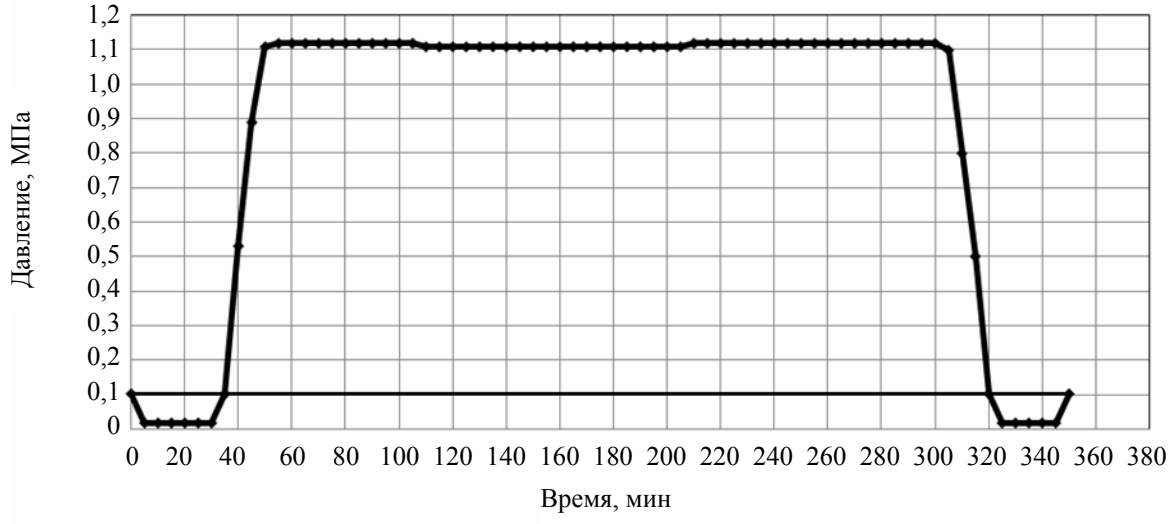


Рис. 4. Диаграмма пропитки образцов под давлением

Таблица 2

Результаты исследований предела прочности по клеевому шву пропитанной древесины

Тип пропитки	Площадь скалывания образца F, м^2	Разрушающая нагрузка P, кН	Предел прочности клеевого соединения τ, МПа	Предел прочности клеевого соединения по отношению к непропитанной древесине, %	Характер разрушения клеевого соединения
Образцы древесины при послойном скалывании					
Tanalith E 3492	0,0025	20,4	8,16	96,2	когезионное
СМПС	0,0025	20,7	8,28	97,6	когезионное
Контрольные непропитанные образцы	0,0025	21,2	8,5	–	когезионное

Из результатов испытаний, представленных в табл. 2, установлено, что автоклавная пропитка деревянных клееных конструкций под давлением не более 1,2 МПа водорастворимым защитным средством Tanalith E 3492 и масляным антисептиком СМПС для класса эксплуатации НС 4 незначительно снижает предел прочности клеевого соединения.

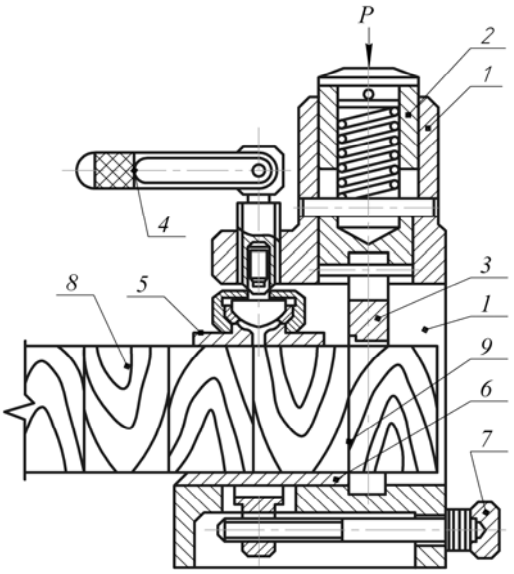


Рис. 5. Приспособление для испытаний:
1 – корпус; *2* – пуансон; *3* – нож пуансона; *4* – рукоятка; *5* – прижимная опора; *6* – передвижная опорная площадка; *7* – винт упора; *8* – образец; *9* – клеевое соединение

Заключение. Качественная биозащита клееных деревянных конструкций может быть достигнута путем автоклавной пропитки современными биозащитными средствами, такими как Bio-Wood 0107, Tanalith E 3492, СМПС.

Предлагаемый способ биозащиты обеспечивает прочность клеевых соединений требованиям ГОСТ 20850–84.

Литература

1. Божелко, И. К. Биозащита деревянных изделий // Архитектура и строительные науки. – Минск: БААРХ, 2011. – № 1 (11). – С. 60–63.

2. Mike Connell, issues facing preservative suppliers in a changing market for treated wood. Final Workshop COST Action E22 «Environmental Optimisation of Wood Protection» Lisboa – Portugal, 22nd – 23rd March 2004.

3. Божелко, И. К. Эффективная защита древесины // Архитектура и строительные науки. – Минск: БААРХ, 2009. – № 1(9). – С. 66–68.

4. Божелко, И. К. Определение долговечности защитных средств для древесины / И. К. Божелко // Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 24–26 ноября 2010 г. – Минск: БГТУ, 2010. – С. 423–426.

Поступила 16.03.2012

УДК 691.11:674.21

С. С. Гайдук, аспирант (БГТУ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ И ВОДОСТОЙКОСТИ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПВА ДИСПЕРСИЙ

Работа посвящена исследованию прочности и водостойкости клеевых соединений. Для проведения испытаний по определению прочности и водостойкости использовалась европейская методика согласно DIN EN 204 и DIN EN 205. Дана оценка клеевых материалов, используемых на деревообрабатывающих предприятиях Республики Беларусь для производства мебели и столярно-строительных изделий. Рассмотрены также свойства модифицированных отечественных клеев.

The work is devoted to the study of strength and water resistance of adhesive joints. For the tests to determine the strength and water resistance technique was used according to European DIN EN 204 and DIN EN 205. The estimation of adhesives used in wood processing enterprises in the Republic of Belarus for the production of furniture and joinery products. We also consider the properties of modified domestic adhesives.

Введение. Использование натуральной древесины является на сегодняшний день приоритетным направлением развития производства мебели и столярно-строительных изделий. Натуральная древесина получила широкое распространение из-за ряда достоинств: высокая прочность и малый вес, простота обработки и утилизации, высокая морозостойкость и др. Для получения высококачественного изделия из массивной древесины ее нужно склеивать. Это необходимо для увеличения формоустойчивости изделия и рационального использования сырья. Для производства мебели применяется клееный мебельный щит. Его получают путем склеивания узких ламелей в широкий щит. В свою очередь, ламели получают методом сращивания коротокомерных заготовок в длинные.

На качество изделия в конечном итоге оказывает влияние большое количество разнообразных факторов: качество сушки древесины, ориентация ламелей в щите, используемый клей и т. д. Для склеивания мебельного щита на сегодняшний день наиболее часто используется поливинилацетатный клей (ПВА). Данный клеевой материал обладает рядом достоинств, основным из которых является экологичность.

На рынке клеевых материалов ПВА клей представлен различными фирмами-производителями, в основном европейскими. В нашей стране также есть производство поливинилацетатного клея, однако данный клеевой материал обладает низкими физико-механическими свойствами и поэтому не находит широкого применения.

В производстве мебели наиболее часто используются клеи марки D3. Клеевые соединения на основе клеев данной марки могут эксплуатироваться внутри помещения при частом кратковременном воздействии проточной или конденсированной воды и (или) повышении на короткое время влажности.

Для определения прочности и водостойкости клеевых соединений в Европе используются два стандарта: DIN EN 204 [1] и DIN EN 205 [2]. Данные стандарты описывают методику проведения испытаний и требуемые значения при определении прочности древесины на сдвиг вдоль волокон.

Целью проводимых исследований являлись:

− исследование прочности и водостойкости клеевых соединений, полученных на основе ПВА дисперсий различных производителей;

− изучение возможностей модификации отечественных клеев ПВА для получения клеевых соединений, соответствующих европейским стандартам.

Основная часть. Для более полной оценки свойств клеевого материала необходимо также рассматривать технологию его производства. Поливинилацетат получают в результате эмульсионной свободнорадикальной полимеризации. Исходный полимер является абсолютно хрупким, но его можно модифицировать путем сополимеризации с другими мономерами, в частности с этиленом. При увеличении содержания этилена в сополимере полимер становится более пластичным и снижается его температура стеклования. Однако нельзя снижать температуру стеклования полимера до очень низкого уровня, так как это может приводить к слишком малой прочности клеевого слоя.

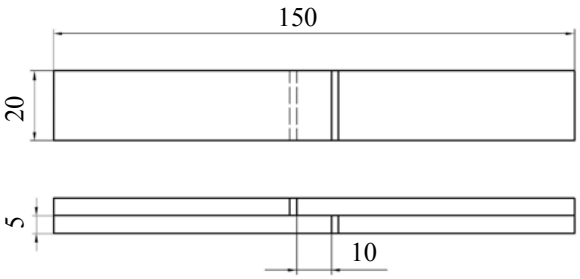
Поливинилацетатные эмульсии можно также получать с использованием ряда сомономеров, например различных акрилатов и дибутилмалеината. Кроме синтеза исходного полимера, полимеры и сополимеры типа поливинилацетата могут быть получены с дополнительным введением пластификаторов и веществ, повышающих липкость. Также могут быть добавлены совместные растворители и сшивающие агенты. Внешние пластификаторы типа диоктилфталата могут быть введены в рецептуру в количествах,

при которых они сохраняют совместимость в эмульсии. Это же справедливо и в случае эмульсий с использованием повышающих липкость веществ. Совместные растворители, например 2-бутоксиэтанол, который растворим и в воде, и в поливинилацетатной эмульсии, оказывают положительное влияние на слипание частиц эмульсии, когда вода начинает испаряться.

Важным моментом в разработке рецептуры стабильных поливинилацетатных эмульсий является использование поверхностно-активного вещества и защитного коллоида. Эти материалы стабилизируют эмульсии. Защитными коллоидами могут быть определенные полиуретаны, известные как «ассоциативные» защитные коллоиды, или материалы на основе целлюлозы, например оксиэтилцеллюлоза. Кроме стабилизации эмульсии, защитный коллоид повышает тиксотропность клея. Одним из материалов, одновременно используемым как поверхностно-активное вещество и как часть коллоидной защитной системы, является гидролизованный или частично гидролизованный поливинилацетат. Этот материал является либо поливиниловым спиртом, либо сополимером поливинилацетата с поливиниловым спиртом. Такие сочетания поверхностно-активных веществ и целлюлозных защитных коллоидов позволяют оптимизировать свойства клея, тем самым обеспечивают улучшенную смачиваемость различных поверхностей или возможность сшивания полимера. Сшивание может быть также реализовано в результате сополимеризации винилацетата с каким-либо карбоксилсодержащим мономером, например акриловой кислотой. Сшивание приводит к повышению сопротивления клея ползучести, однако это часто увеличивает хрупкость, что в ряде случаев может иметь существенное значение [3].

Для проведения испытаний согласно DIN EN 205 используют пластины из древесины бука с плотностью 700±100 кг/м^3 и влажностью 12 %. Волокна древесины должны располагаться вдоль плоскости склейки (по направлению растяжения при испытании), а годичные кольца – под углом 30−90° к плоскости склейки. Образцы получают методом склеивания по пластям двух пластинок длиной 150 мм, шириной 20 мм и толщиной 5 мм. Образцы после склеивания выдерживаются 7 сут при нормальном климате, после чего делаются поперечные запилы на расстоянии 10 мм. Общий вид образца для проведения испытаний представлен на рисунке [1].

Для определения прочности образцов использовалась разрывная машина РМ-0,5 (5000 Н), скорость нагружения составляла 50 мм/мин.



Образцы для определения прочности клеевых соединений

Для отнесения клеевого соединения к группе нагрузки D3 согласно DIN EN 205 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°C и φ = 50−70%)	≥10
7 дней при нормальном климате 4 дня в холодной воде (t = 20−23°C)	≥2
7 дней при нормальном климате 4 дня в холодной воде 7 дней при нормальном климате	≥6

Для проведения испытаний были выбраны клеи ПВА марки D3, наиболее часто используемые на наших предприятиях. Установлено, что различия клеев состоят не в разных добавках в водную фазу клея, а в химических составах макромолекул ПВА. При этом коренное отличие состоит в том, что импортный клей в составе макромолекул содержит несколько процентов ОН-групп. Роль этих групп – образование нерастворимых сшитых полимеров, что резко повышает водостойкость и теплостойкость клеевых швов.

Для исследования возможностей увеличения прочности и водостойкости клеевого соединения в отечественный клей были введены наноматериалы: аэросил и бентонит в виде суспензии «жидкость-наноматериал».

При склеивании расход клея составил 200 г/м^2, давление прессования – 1 МПа; время выдержки в прессу – 1 ч для ПВА и 5 ч для карбамидного клея. В каждом опыте испытывалось по 12 образцов.

Результаты проведения испытаний представлены в табл. 2.

Таблица 2

Прочность склеивания древесины клеем

Вид клея	Прочность при продольном скалывании, МПа		
	после выдержки 7 сут после склеивания	после выдержки 7 сут + в воде 4 сут	после выдержки 7 сут + в воде 4 сут + + выдержка 7 сут
Немецкий клей № 1	10,95	2,07	8,85
Финский клей	10,80	2,04	8,75
Немецкий клей № 2	9,46	–	–
Немецкий клей № 3	8,65	1,01	6,65
ДФ51/15ВП + 0,025 % аэросил	10,75	1,34	6,52
ДФ51/15 ВП + 0,050% аэросил	10,20	1,24	5,72
ДФ51/15 ВП + 0,100% аэросил	10,15	1,24	5,81
ДФ51/15ВП + 0,025 % бентонит	10,43	1,35	5,48
ДФ51/15ВП + 0,050% бентонит	10,68	1,43	5,85
ДФ51/15ВП + 0,100 % бентонит	10,38	1,34	6,00
ДФ51/15ВП + 15 % финского клея	10,22	1,04	5,87
ДФ51/15ВП + 30 % финского клея	10,36	1,24	6,05
ДФ51/15ВП + 50 % финского клея	10,65	1,48	7,08
ДФ51/15ВП	9,45	0,44	5,20
Карбамидный клей	7,0	6,2	8,0

Анализ проведенных испытаний показывает, что полный цикл испытаний прошли только два клеевых материала – немецкий № 1 и финский. Образцы, склеенные немецким клеем № 2, после выдержки в воде развалились, поэтому определить их водостойкость не представлялось возможным.

Клеевые соединения на основе немецкого клея № 3 и ДФ 51/15 ВП не прошли испытаний для определения соответствия группе нагрузки D3 ни на одном этапе.

Установлено, что отечественный клей имеет низкий показатель водостойкости. Модификация данного клея наноматериалами увеличивает прочность (1,10−1,13 раза) и водостойкость (2,8−3,25 раза). Увеличение прочности и водостойкости происходит за счет изменения краевого угла смачивания древесины. Также следует отметить, что бентонит при ограничении пространства для свободного разбухания в присутствии воды образует плотный гель, который препятствует дальнейшему проникновению влаги, что и приводит к увеличению водостойкости клеевого соединения.

Добавление финского клея в отечественный клей ДФ 51/15 ВП позволяет значительно увеличить водостойкость клеевого соединения (2,37−3,36 раза).

Определить действительную прочность клеевого соединения, образованного карбамидным клеем, не удалось, т. к. практически все образцы имели излом по древесине.

Заключение. В результате проведения испытаний определены прочность и водостойкость клеевых соединений, образованных клеями ПВА различных фирм-производителей. Установлено, что только два клеевых материала (немецкий клей № 1 и финский) соответствуют требованиям европейского стандарта DIN EN 204/205, а немецкие клеи № 2 и № 3, а также ДФ 51/15 ВП не соответствуют требования данного стандарта.

Проведенные испытания также показывают, что модификация отечественных клеев наноматериалами и финским клеем увеличивают прочность и водостойкость клеевого соединения, что позволяет использовать их вместо дорогостоящих импортных клеев.

Проведена сравнительная характеристика водостойкости соединений на основе карбамидного и ПВА клеев. Установлено, что водостойкость клеевого соединения на основе карбамидного клея выше в несколько раз (3−14 раз), чем у соединения на основе клея ПВА.

Литература

1. Клеи. Клеи неконструкционные для дерева. Определение прочности склеивания продольных склеек испытанием на разрыв: DIN EN 205−2003. – Введ. 21.11.2002. – CEN, 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. – CEN, 2001. – 5 с.

3. Поциус, А. Клеи, адгезия, технология склеивания: перевод с англ.; под ред. Г. В. Комарова / А. Поциус. − СПб.: Профессия, 2007. – 376 с.

Поступила 15.03.2012

УДК 621.792.053:678.061

С. С. Гайдук, аспирант (БГТУ);
Н. А. Бедик, научный сотрудник (ИТМО им. А. В. Лыкова НАН Беларуси)

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛИВИНИЛАЦЕТАТНЫХ ДИСПЕРСИЙ

Работа посвящена исследованию реологических показателей клеевых материалов на основе поливинилацетата. Для проведения испытаний использовался реометр с системой коаксиальных цилиндров. Определены такие показатели, как эффективная вязкость и статический предел текучести, установлено влияние температуры на изменение эффективной вязкости. Результаты проведенных испытаний представлены в виде графиков и математических моделей.

The work is devoted to the study of the rheological parameters of adhesive materials based on polyvinyl acetate. For testing we used a rheometer system of coaxial cylinders. Determined by such parameters as the effective viscosity and the static yield stress, determined the effect of temperature on the change in the effective viscosity. The results of these tests are presented in graphs and mathematical models.

Введение. На сегодняшний день для склеивания древесины наиболее часто используются поливинилацетатные клеи. Данные клеи имеют широкое распространение благодаря своей экологичности. Для получения высококачественного клеевого соединения необходимо знать свойства склеиваемых поверхностей и клеевого материала. Фирмы-производители зачастую дают минимальную характеристику своего клеевого материала. Значительный интерес представляет исследование реологических свойств клеевых материалов.

Реология – наука о деформациях и текучести вещества. Она рассматривает процессы, связанные с необратимыми остаточными деформациями и течением разнообразных вязких и пластических материалов (неньютоновских жидкостей, дисперсных систем и др.), а также явления релаксации напряжений, упругого последействия и т. д.

С проблемами реологии приходится встречаться при разработке технологии разнообразных производственных процессов, при проектных работах и конструкторских расчетах, относящихся к самым различным материалам.

Основная часть. Ставилась задача исследовать реологические свойства ПВА клеев. Для исследования реологических свойств материалов, определения предела текучести (пластичности) и эффективной вязкости применяются различные методы. К наиболее традиционным методам измерения текучих систем относится ротационная вискозиметрия.

В ротационной вискозиметрии жидкость помещается в зазор между двумя поверхностями, движущимися друг относительно друга, что создает в ней деформацию сдвига. Измеряемыми величинами являются обороты и крутящий момент. Данные интегральные характеристики позволяют судить о локальных величинах – касательном напряжении и скорости сдвига и о реологических параметрах системы.

Ротационные вискозиметры могут быть трех типов:

1) коаксиальные цилиндры;
2) система конус – пластина;
3) система пластина – пластина.

В случае коаксиальных цилиндров исследуемая жидкость помещается в зазор между двумя цилиндрами, один из которых приводится во вращение с постоянной угловой скоростью Ω. В этом случае касательное напряжение определяется по формуле

$$\tau = \frac{M}{2\pi L r^2}, \qquad (1)$$

где M – крутящий момент на измерительном цилиндре, Н·м; L – длина цилиндра, м; r – радиус цилиндра, м.

Скорость сдвига определяется по формуле

$$\gamma = f(\tau) = -r\frac{d}{dr}\left(\frac{v}{r}\right), \qquad (2)$$

где v – скорость движения жидкости на расстоянии r от оси, м/с.

В этом случае

$$\Omega = \frac{1}{2}\int_{\tau_1}^{\tau_2}\frac{f(\tau)}{\tau}d\tau, \qquad (3)$$

где τ_1 и τ_2 – напряжение сдвига на внутреннем и внешнем цилиндрах, Па [1–4].

Изучение вязкопластических свойств клеев проводили с использованием реометра «Physica MCR 301» фирмы «Anton Paar» (Австрия). Измерительная ячейка прибора представляет собой систему коаксиальных цилиндров, состоящую из наружного неподвижного цилиндра с погруженным в него цилиндрическим ротором. Диаметр внутреннего цилиндра 26,7 мм, внешнего – 28,9 мм, зазор между цилиндрами – 1,13 мм. Исследуемая среда помещалась в

кольцевом зазоре цилиндров и термостатировалась. Задавалась скорость вращения внутреннего цилиндра и измерялся момент сил, действующий на цилиндр, по которому рассчитывалось напряжение сдвига. Общий вид прибора представлен на рис. 1.

Рис. 1. Общий вид реометра «Physica MCR 301

В табл. 1 указан состав исследованных образцов, представляющих собой ПВА клей марки ДФ51/15 ВП, модифицированный углеродными, силикатными нанодобавками, а также широко применяемым в мебельном производстве Беларуси ПВА клеем финского производства – «Кестокол».

Таблица 1

Состав образцов модифицированной ПВА дисперсии

№ п/п	Состав ПВА клея
1	ДФ 51/15 ВП
2	ДФ 51/15 ВП + 0,025 % УНМ
3	ДФ 51/15 ВП + 0,050 % УНМ
4	ДФ 51/15 ВП + 0,100 % УНМ
5	ДФ 51/15 ВП + 0,050 % аэросил
6	ДФ 51/15 ВП + 0,050 % бентонит
7	ДФ 51/15 ВП + 15 % «Кестокол»

На рис. 2 представлены экспериментально полученные зависимости эффективной вязкости (η) от скорости сдвига (γ) исследованных образцов при температуре 20°С.

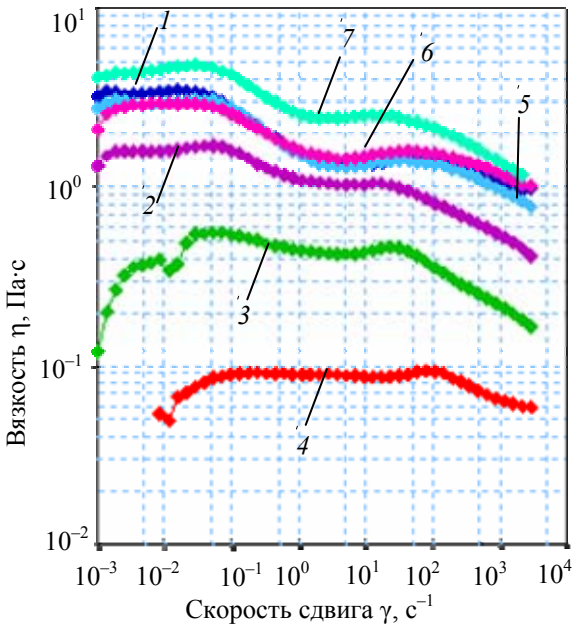


Рис. 2. Кривые течения ПВА дисперсий, полученные экспериментально

На рис. 3 показаны зависимости, полученные путем обработки экспериментальных данных с помощью уравнения Каро или Каро – Галайтнера.

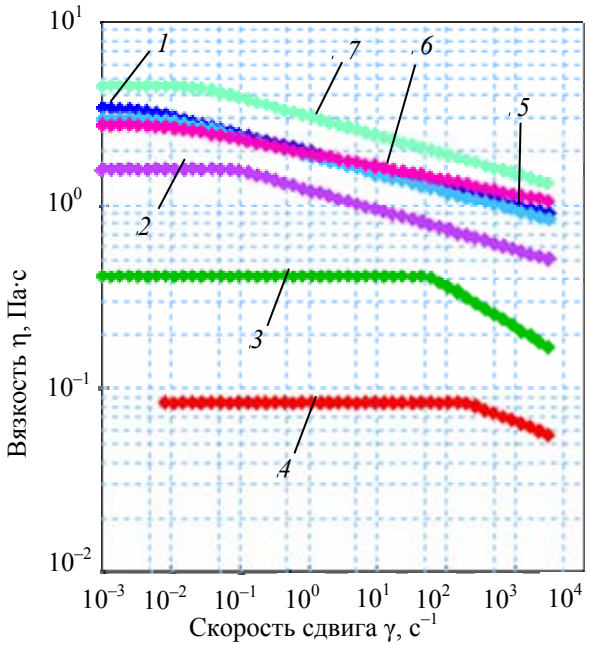


Рис. 3. Кривые течения ПВА дисперсий, полученные путем математической обработки

Уравнения Каро и Каро – Галайтнера имеют следующий вид:

$$\eta = \frac{\eta_0 - \eta_{inf}}{\left(1 + (a \cdot \gamma)^2\right)^p} + \eta_{inf}, \qquad (4)$$

уравнения Каро – Галайтнера:

$$\eta = \frac{\eta_0 - \eta_{inf}}{\left(1 + \left(a \cdot \gamma\right)^b\right)^p} + \eta_{inf}. \quad (5)$$

Уравнение Каро описывает кривую вязкости материала в области разжижения при средних скоростях сдвига. Эта модель эквивалентна уравнению Каро – Галайтнера с параметром $b = 2$. Как правило, данные модели используют тогда, когда материал обнаруживает область ньютоновского поведения при низких и очень высоких скоростях сдвига, а между ними можно наблюдать область разжижения при сдвиге [2].

Анализ результатов показывает, что с увеличением скорости сдвига эффективная вязкость уменьшается. Данное явление можно объяснить следующим образом. Макромолекулы поливинилацетата в состоянии покоя находятся в термодинамически выгодном пространственном положении – в виде клубков, переплетенных между собой так, чтобы выполнялось условие минимума свободной энергии. При деформации клубки создают сопротивление сдвиговому потоку, ориентируясь поперек течения – с этим связана высокая вязкость образцов. При дальнейшем интенсивном перемешивании происходит «распутывание» клубков из макромолекул, длинные цепочки ориентируются вдоль потока, эффективная вязкость снижается.

На втором этапе были проведены испытания по определению статического предела текучести.

Статический предел текучести τ_0 – величина напряжения сдвига, при достижении которой имеет место разрушение структуры вещества и начало вязкого течения.

Методы определения предела текучести подразделяются на прямые и косвенные. К косвенным методам относятся метод линейной экстраполяции и расчет по реологическим моделям. Статический предел текучести τ_0 ПВА дисперсий определен методом роста напряжения. Метод роста напряжения предполагает сдвиг жидкости при линейно возрастающем от нуля напряжении сдвига. Разработаны также многочисленные прямые методы измерения предела текучести непосредственно на основе экспериментально полученных величин напряжения, деформации и скорости сдвига. В случае, если измерения проводятся в области обратимых упругих деформаций с приближением к величине деформации, соответствующей началу вязкого течения, то определяется статический, или истинный, предел текучести τ_0.

Исследовались ПВА дисперсии производства Лидкой лакокраски (ДФ 51/15 ВП) и производства Германии (Klebit 303). В качестве нанодобавки использовались углеродные нанотрубки марки «Суспензия». Состав образцов представлен в табл. 2.

Таблица 2

Состав образцов ПВА дисперсии

№ п/п	Состав ПВА клея
1	ДФ 51/15 ВП
2	ДФ 51/15 ВП + УНМ «Суспензия»
3	Klebit 303
4	Klebit 303 + УНМ «Суспензия»

Результаты исследований представлены на рис. 4. и рис. 5

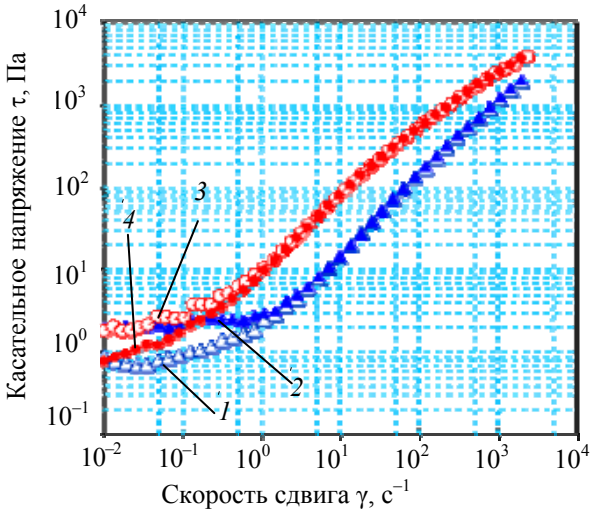


Рис. 4. Зависимости напряжения сдвига от скорости сдвига образцов клеевых материалов при температуре 20°С. Кривые получены методом нарастания скорости сдвига

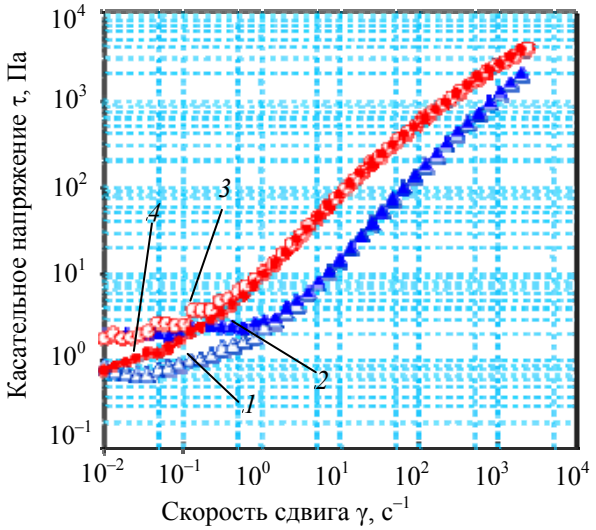


Рис. 5. Зависимости напряжения сдвига от скорости сдвига образцов клеевых материалов

при температуре 20°С. Кривые получены методом уменьшения скорости сдвига

Полученные данные свидетельствуют о том, что исследуемая среда обладает нелинейно вязкопластичными свойствами. Сравнение рисунков 4 и 5 показывает, что ход кривых течения образцов, снятых различными методами, совпадает. Это свидетельствует об отсутствии у образцов тиксотропных свойств [3].

Тиксотропия – это увеличение вязкости жидкости, не испытывающей механического воздействия. Что касается склеивания древесины – это способность клея не стекать с вертикальной поверхности после нанесения.

На данном этапе также было исследовано влияние температуры на вязкопластические свойства модифицированной ПВА-дисперсии. Результаты испытаний представлены на графике (рис. 6). Так как для всех клеевых материалов характер изменения свойств был практически одинаковый, то в результатах исследований представлен только один образец.

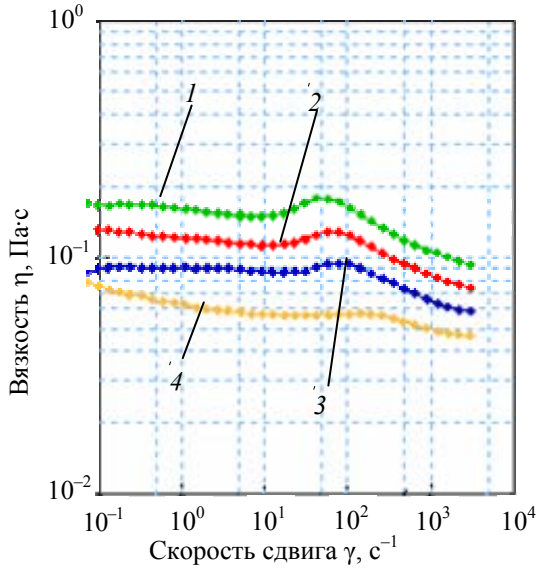


Рис. 6. Зависимость эффективной вязкости ПВА дисперсий от скорости сдвига при температуре: *1* – 2°С; *2* – 10°С; *3* – 20°С; *4* – 30°С

Полученные данные согласуются с общепринятыми представлениями о влиянии температуры на вязкость большинства жидкодисперсных материалов, а именно, с повышением температуры вязкость снижается. Методика эксперимента заключалась в том, что одна и та же проба образца исследовалась в интервале температур 2–30°С путем постепенного нагрева.

Нагревание до 60–80°С показало, что при данных температурах образцы начинают необратимо полимеризоваться, что не позволяет получить адекватные результаты.

Заключение. Обобщение полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

1. Определены вязкопластичные характеристики (напряжение сдвига, вязкость, пластичность) ПВА клеев (отечественного и импортного) с нанодобавками. Показано, что ПВА дисперсии проявляют неньютоновский характер течения.

2. Модификация ПВА дисперсий нанодобавками снижает их эффективную вязкость и пластичность. По-видимому, это происходит вследствие снижения концентрации ПВА молекул в составе клея за счет увеличения количества воды.

3. Модификация ПВА дисперсии финским клеем «Кестокол» приводит к увеличению вязкости и снижению пластичности. По-видимому, такая модификация нецелесообразна, поскольку, с одной стороны, приводит к повышенному расходу клея вследствие увеличения его вязкости, а с другой – к утрате пластичных свойств, что не позволяет использовать вертикальные методы нанесения клея на заготовки.

4. Модификация ПВА дисперсии аэросилом и бентонитом не оказывает заметного влияния на вязко-пластичные свойства клея

5. Показано, что немодифицированная ПВА дисперсия наравне с модифицированной аэросилом, бентонитом и «Кестоколом» обладает ярко выраженными тиксотропными свойствами и в целях экономии клеев требует интенсивного перемешивания перед нанесением.

Литература

1. Шульман, З. П. Магнитореологический эффект / З. П. Шульман, В. И. Кордонский. – Минск: Наука и техника, 1982. – 184 с.

2. Уилкинсон, У. Л. Неньютоновские жидкости / У. Л. Уилкинсон. – М.: Мир, 1964. – 216 с.

3. Nguyen, Q. D. Measuring the Flow Properties of Yield Stress Fluids / Q. D. Nguyen, D. V. Boger // Annual Review Fluid Mech. – 1992. – Vol. 24. – P. 47–88.

4. Steffe, James F. Rheological Methods in Food Process Engineering / James F Steffe – East Lansing, MI, USA: Freeman Press, 1996. – 418 p.

Поступила 15.03.2012

УДК 674.812

Т. В. Стукач, ассистент (БГТУ); **Д. Л. Рапинчук**, ассистент (БГТУ);
И. Г. Федосенко, кандидат технических наук, ассистент (БГТУ)

АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ РАЗЛИЧНЫХ ПОРОД, ЭКСПЛУАТИРУЕМОЙ НА ОТКРЫТОМ ВОЗДУХЕ

В статье изложены результаты исследования эксплуатационных свойств древесины ясеня, сосны и ели, антисептированной ели, а также термомодифицированной древесины. Проведенные исследования показали, что в результате термомодификации древесины снижается водопоглощение и влагопоглощение на 20–50%, уменьшается усушка древесины и соответственно увеличивается ее формоустойчивость, снижаются прочностные свойства древесины: способность удерживать крепления поперек волокон снижается на 10–50%, вдоль волокон – 30–50%, прочность на скалывание вдоль волокон снижается на 20–50%.

The article presents the results of a study of operational properties of wood ash, pine and spruce, fir antiseptized and thermomodified wood. These researches has shown, that as a result of reduced termomodifikation wood absorption water and water absorption by 20-50%, reduced shrinkage of the wood and thus increase its dimensional stability, reduced strength properties of wood: the ability of holding attachment across the fibers is reduced by 10-50%, along fiber - 30-50%, resistance to shearing along the fibers is reduced by 20-50%.

Введение. Древесина является натуральным, экологичным, возобновляемым материалом с широким спектром цветовой гаммы и текстуры. Она имеет невысокую объемную массу, высокую прочность, легко обрабатывается. Все это обусловило широкое распространение данного материала во всех отраслях промышленности и народного хозяйства.

При эксплуатации деревянные конструкции и элементы обшивки на открытом воздухе подвергаются постоянному воздействию разрушающих климатических и биологических факторов. К основным климатическим дереворазрушающим факторам относится ультрафиолетовое излучение, суточные и сезонные колебания температуры и влажности воздуха, воздействие атмосферных осадков, порывов ветра и т. д.

В последнее время для изготовления конструкций и элементов обшивки, эксплуатируемых на открытом воздухе, производители рекомендуют использовать термомодифицированную древесину (ТМД). Термомодификация древесины представляет собой специальную технологию термической обработки, предназначенную для придания ей дополнительной прочности, стабильности геометрических размеров, устойчивости к воздействию факторов внешней среды.

Основная часть. Различные породы древесины имеют разную стойкость по отношению к разрушающим воздействиям внешней среды, помимо этого, стойкость может варьироваться в пределах одной породы условий произрастания, а также в зависимости от расположения вырезки в сечении бревна.

Для изучения и сравнения эксплуатационных свойств древесины, применяемой для изготовления изделий, служащих в условиях атмосферной среды, были отобраны образцы наиболее распространенных в условиях Республики Беларусь хвойных пород сосны и ели, а также образцы ясеня.

В условиях эксплуатации на открытом воздухе незащищенная древесина быстро темнеет и подвергается воздействию биологических дереворазрушающих факторов (поражение грибами, насекомыми и микроорганизмами). Наиболее распространенными методами повышения стойкости древесины к внешним воздействиям является ее обработка защитными составами (антипиренами, антисептиками, красками, маслами и т. д.). В связи с этим для испытаний были отобраны образцы ели антисептированной, а также образцы вышеуказанных пород, термомодифицированные в паровоздушной среде при разных температурных режимах.

Древесина является гигроскопическим материалом, и в условиях переменной влажности воздуха и воздействия осадков влажность древесины, эксплуатируемой на открытом воздухе, колеблется в больших диапазонах, вызывая постоянное изменение линейных размеров и объема древесины. Эти колебания приводят к возникновению в древесине внутренних напряжений, ее растрескиванию, ослаблению элементов крепления и т. д.

Для определения гигроскопических свойств образцов древесины и их формоустойчивости были проведены испытания по определению водопоглощения (ГОСТ 21523.5–77) [1], влагопоглощения (ГОСТ 16483.19–72) [2], а также усушки в радиальном и тангециальном направлении (ГОСТ 16483.37–88) [3], результаты которых отражены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты испытаний по исследованию гигроскопических свойств контрольных образцов сосны, ели, ясеня, ели антисептированной и термомодифицированной древесины

Образец	Равновесная влажность при t = 18°С, φ = 65%	Влаго-поглощение, %	Водопогло-щение, %	Усушка, %, в направлени	
				радиальном	тангенциаль-ном
Ясень					
Контрольный образец	6,2	33,11	118,94	5,5	9,5
ТМД при t = 180°С	4,0	26,39	107,73	5,3	6,5
ТМД при t = 200°С	2,8	20,63	74,86	3,7	5,1
ТМД при t = 220°С	2,4	15,14	69,82	2,9	3,7
Ель					
Контрольный образец	7,7	48,97	204,46	4,6	5,9
ТМД	2,7	34,43	180,52	2,7	5,2
Антисептированная	7,9	15,06	155,07	4,1	5,7
Сосна					
Контрольный образец	7,8	36,05	91,14	6,2	6,0
ТМД при t = 180°С	5,5	23,95	62,16	5,3	8,1

Из данных, приведенных в таблице, видно, что равновесная влажность контрольных образцов всех пород и антисептированной древесины при температуре 18°С и относительной влажности воздуха 65% примерно равна и составляет около 7–8%. Равновесная влажность древесины, термомодифицированной в паровоздушной среде при тех же условиях, значительно ниже и колеблется в пределах 2,5–4%, причем равновесная влажность тем ниже, чем выше температура, при которой проводилась модификация.

Та же тенденция изменения параметров наблюдается в данных по водопоглощению и влагопоглощению. При термомодификации древесины увеличивается и формоустойчивость образцов, т. е. снижаются усушка и разбухание древесины как в радиальном, так и в тангенциальном направлении.

Прочностные свойства древесины имеют большое значение при конструировании и изготовлении из нее готовой продукции. К таким свойствам относятся прочность при скалывании вдоль волокон, прочность при статическом изгибе, а также способность удерживать гвозди и другие металлические крепления.

Многие из перечисленных прочностных свойств зависят от плотности, влажности и анатомического строения древесины.

При изготовлении изделий из древесины и древесных материалов в качестве закрепительных элементов широко используются шурупы. Для изучения способности контрольных образцов и образцов термомодифицированной древесины удерживать крепления были проведены испытания согласно ГОСТ 16483.33–77 [4].

Исследования показателей прочности при статическом изгибе проводились на малых образцах, согласно методике [5]. Размеры образцов составляли 7×7 мм в сечении и 100 мм по длине. Помимо прочности древесины при статическом изгибе, определяли модуль упругости.

Исследования прочности древесины при скалывании вдоль волокон проводились согласно ГОСТ 16483.5–73 [6]. Результаты прочностных испытаний приведены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, способность древесины удерживать крепления при термомодификации снижается на 30–60% как вдоль, так и поперек волокон, снижается и прочность при скалывании вдоль волокон на 20–50% по отношению к контрольным образцам. Прочность термомодифицированной древесины при статическом изгибе снижается в меньшей степени (на 5–15%).

Выводы. В результате анализа данных, полученных при исследовании образцов древесины различных пород (сосны, ели и ясеня), антисептированной древесины и древесины, термомодифицированной в воздушной среде, установлены следующие закономерности.

1. Снижается водопоглощение и влагопоглощение в образцах сосны на 30%, ели – 15–30%, ясеня – 20–50%, уменьшается усушка древесины и соответственно увеличивается ее формоустойчивость. Разница между аналогичными показателями для контрольных образцов ели и ели антисептированной древесины незначительна.

2. Снижаются прочностные свойства древесины: способность удерживать крепления поперек волокон: для образцов сосны – на 50%, ели – на 10%, ясеня – на 13–30%, вдоль волокон: для образцов сосны – на 54%, ели – 5,6%, ясеня – 30–40%; прочность на скалывание вдоль волокон снижается на 20–50%.

Таблица 2

Результаты испытаний по исследованию прочностных показателей контрольных образцов сосны, ели, ясеня, ели антисептированной и термомодифицированной древесины

Образец	Влажность образцов, %	Удельное сопротивление древесины выдергиванию шурупов $P_{уд}$, МПа		Прочность древесины при скалывании вдоль волокон, σ, МПа	Прочность, при статическом изгибе, МПа		Модуль упругости, ГПа	
		поперек волокон	вдоль волокон		σ_w	σ_{12}	E_w	E_{12}
Ясень								
Контрольный образец	6,2	213,7	207,0	14,00	114,4	87,83	10,5	9,9
ТМД при t = 180°С	4,0	185,8	142,0	10,69	130,6	88,83	13,0	12,0
ТМД при t = 200°С	2,8	158,6	133,5	8,63	112,6	71,14	14,8	13,6
ТМД при t = 220°С	2,4	154,1	129,5	7,58	97,0	60,13	14,0	12,8
Ель								
Контрольный образец	7,6	72,2	64,9	5,85	63,4	52,2	5,1	4,9
ТМД	2,7	64,0	60,0	3,52	73,6	61,3	7,4	7,1
Антисептированная	7,8	68,0	63,0	5,64	93,9	59,0	10,1	9,3
Сосна								
Контрольный образец	7,8	155,7	140,1	9,47	121,9	101,4	9,8	9,42
ТМД при t = 180°С	5,5	74,2	64,2	4,49	100,8	74,2	9,8	9,21

Анализ результатов исследования свойств древесины, термомодифицированной в паровоздушной среде, показал, что, несмотря на улучшенные гигроскопические свойства, значительное снижение прочностных свойств ограничивает ее использование для изготовления конструкций и элементов, несущих значительные нагрузки.

Литература

1. Древесина модифицированная. Метод определения водопоглощения ГОСТ 21523.5-77. – Введ. 01.01.1978. – М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1977. – 12 с.

2. Древесина. Метод определения влагопоглощения: ГОСТ 16483.19–72. – Введ. 01.01.1974. – М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1974. – 10 с.

3. Древесина. Метод определения усушки: ГОСТ 16483.37–88. – Введ. 01.01.1990. – М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1990. – 7 с.

4. Древесина. Метод определения удельного сопротивления выдергиванию гвоздей и шурупов ГОСТ 16483.33–77. – Введ. 01.01.1978. – М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1978. –15 с.

5. Федосенко, И. Г. Влияние размеров малых чистых образцов на показатели прочности древесины при статическом изгибе / И. Г. Федосенко // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2009. – Вып. XVII. – С. 203–207.

6. Древесина. Методы определения предела прочности при скалывании вдоль волокон. ГОСТ 16483.5–73. – Введ. 01.01.1989. – М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1988. – 9 с.

Поступила 16.03.2012

УДК 674.093.3

В. И. Пастушени, кандидат технических наук, доцент (БГТУ)

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НА СКЛАДЕ ПРИ ДОСТАВКЕ СЫРЬЯ РАЗНЫХ ПОРОД В ХЛЫСТАХ

Статья посвящена разработке технологического процесса на складе сырья, обеспечивающего качественную подготовку бревен к раскрою, при поставке сырья разных пород в хлыстах. Рассмотрены требования к подготовке бревен к раскрою, которые дают возможность рационально и комплексно использовать сырье. Обоснована необходимая дробность сортировки бревен перед их распиловкой, необходимость окорки бревен перед их раскроем с целью получения из кусковых отходов лесопиления высококачественной технологической щепы. В статье обоснован выбор грузоподъемного и транспортного оборудования. Рассмотрены и представлены особенности технологического процесса при раскряжевке, сортировке и окорке сырья твердых лиственных пород. Разработаны и представлены схемы технологического процесса и технологической планировки склада сырья.

In this article the questions of the log yard processes engineering are covered. While the raw material is delivered in tree-length log it is important to provide corresponding log sawing preparation. Requirements to preparation work which allow the efficient and multiple use of raw wood are considered. The ground for necessary amount of sort groups is given. The importance of primary debarking is determined by high quality of wood chips that are produced of lump wood. The choice of handling and transport equipment was proved in the article. Processing features of bucking, sorting and debarking of the hardwood timber are reviewed and represented. Process flow diagram and process diagram of the log yard that provide integrated mechanization of all technological, weight-lifting and transport operations were developed and are demonstrated.

Введение. Лесопиление является первой и основной частью деревообрабатывающей промышленности. Ежегодно в Беларуси распиливается более 4,5 млн. м^3 сырья и вырабатывается около 2,5 млн. м^3 пиломатериалов, из которых значительная часть является товарной. Основная задача лесопильного производства – повышение эффективности использования пиловочного сырья за счет рационального и комплексного его использования с целью увеличения объемного выхода качественных пиломатериалов, удовлетворяющих требованиям спецификации. Для решения этой задачи необходимо не только рационально распилить бревна по оптимальным поставам на высокопроизводительном оборудовании, но и создать условия для возможности такой распиловки за счет качественной подготовки бревен к раскрою. Подготовка бревен к раскрою выполняется на складах сырья. От правильной организации технологических процессов на складе сырья зависит эффективность всего лесопильного производства. Недостаточная дробность сортировки бревен по диаметрам, подача в распиловку по одному поставу нескольких смежных диаметров приводит к снижению общего, и особенно, спецификационного выхода пиломатериалов соответственно на 2,1–23%. Отсутствие тепловой обработки бревен приводит к невозможности их качественной окорки в зимний период. Отсутствие окорки бревен, особенно зараженных радиоактивной пылью, ведет к попаданию вместе с корой и щепой радионуклидов в древесные плиты, а вместе с ними в мебель и в наши квартиры. Кроме того, отсутствие окорки приводит к снижению культуры производства, повышенному затуплению и износу режущего инструмента, невозможности использования щепы в бумажной промышленности для производства качественной сульфитной целлюлозы, а это значит к закупке ее за рубежом, несмотря на то, что сырья для ее производства в республике достаточно. Все эти недостатки приводят к нерациональному использованию сырья и снижению рентабельности производства. Устранить их можно за счет внедрения современных инновационных технологий на складах сырья и пиломатериалов.

В Республике Беларусь в соответствии с Государственной программой инновационного развития предусмотрено строительство новых и модернизация существующих лесопильных предприятий с внедрением новых технологических процессов и высокопроизводительного оборудования не только в лесопильных цехах, но и на складах сырья и готовой продукции. Совершенствование технологических процессов на складах следует проводить не только на крупных предприятиях концерна «Беллесбумпром», но и на средних предприятиях, в том числе Минлесхоза, вырабатывающих пиломатериалы для реализации [1].

На многих лесопильных предприятиях, находящихся вблизи от мест заготовки сырья, его доставка осуществляется в хлыстах автотранспортом.

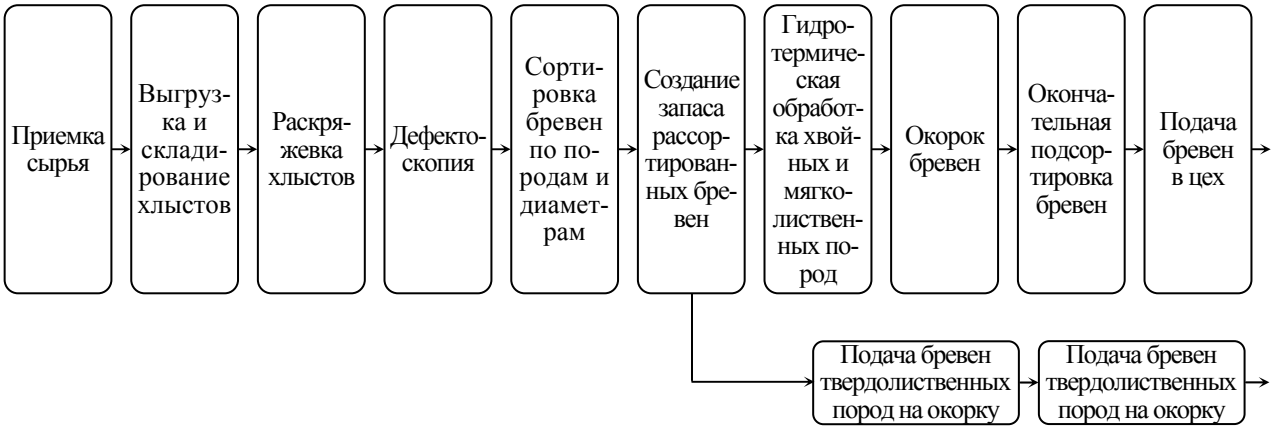


Рис. 1. Последовательность технологических операций при поставке сырья разных пород в хлыстах и подготовке бревен к распиловке

При этом сырье доставляется разных пород – хвойных, мягколиственных и твердолиственных. Для рационального раскроя такого сырья необходима качественная подготовка его к распиловке за счет применения на складах сырья усовершенствованных технологических процессов.

Основная часть. С целью улучшения качества подготовки сырья к раскрою разработан технологический процесс, обеспечивающий механизацию раскряжевки хлыстов на сортименты, необходимую дробность сортировки бревен и возможность их окорки. При этом предусмотрены следующие основные грузоподъемные транспортные и технологические операции: выгрузка хлыстов из транспортных средств, создание запаса хлыстов, раскряжевка хлыстов на сортименты, сортировка бревен по качеству, породам и диаметрам, создание запаса рассортированных бревен, гидротермическая обработка, окорка и подача бревен в лесопильный цех. Схема технологического процесса при поставке сырья разных пород в хлыстах представлена на рис. 1 [2]. При этом бревна твердых лиственных пород подаются на окорку и в распиловку, минуя бассейны, так как их удельный вес близкий к удельному весу воды и они могут утонуть. Для разгрузки хлыстов и их разделки предусмотрено дополнительное оборудование: кран большой грузоподъемности и установка для раскряжевки хлыстов ЛО-15А. Поставка сырья в хлыстах требует применения на складах сырья специального оборудования для выгрузки и транспортировки хлыстов. На крупных предприятиях используют портальные, консольно-козловые и мостовые краны большой грузоподъемностью: ЛТ-62, ККЛ-32, КМ-3001 или разгрузочно-раскряжевочные установки РРУ. На предприятиях малой мощности, распиливающих до 50 тыс. м^3 сырья в год, применяются установки РРУ, состоящие, как правило, из разгрузочно-растаскивающих устройств типа ЛТ-10 (ЛТ-74) и раскряжевочных установок типа ЛО-15А, ЛО-68 и МР-8. Технологический процесс построен с учетом необходимости подачи хлыстов на раскряжевку комлем вперед, а подачи бревен на сортировку–вершиной вперед.

Эти требования учтены при разработке предлагаемого варианта схемы технологической планировки склада сырья.

При разработке варианта схемы технологического процесса для разгрузки хлыстов принят высокопроизводительный козловой кран ЛТ-62 большой грузоподъемности – 32 т. Технологическая схема разреза на участке разгрузки хлыстов представлена на рис 2.

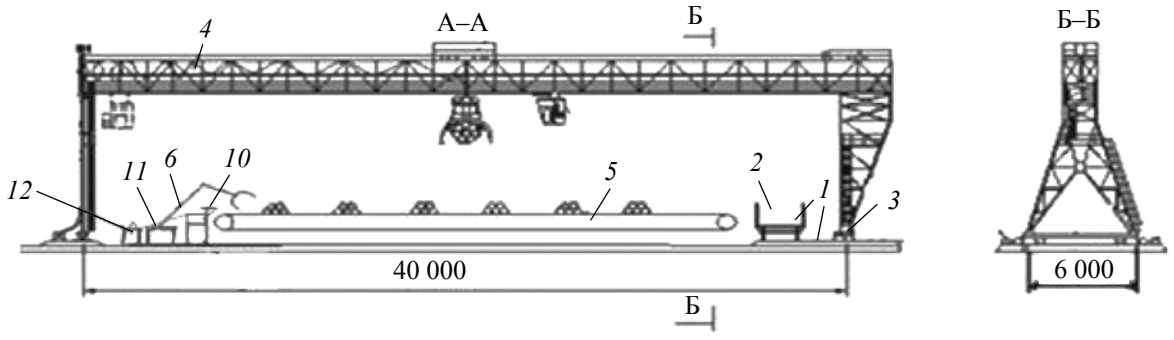


Рис. 2. Технологическая схема разреза на участке разгрузки хлыстов с краном ЛТ-62. Обозначения см. на рис. 4

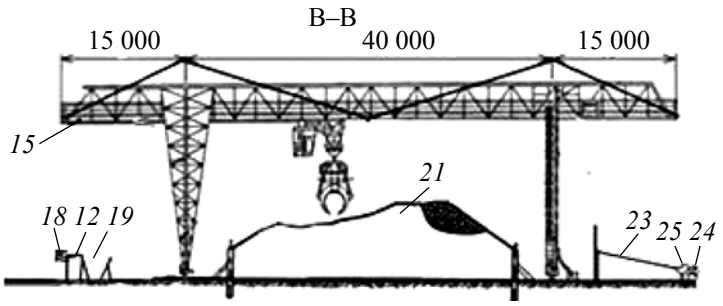


Рис. 3. Технологическая схема разреза склада сырья на участке сортировки бревен с консольно-козловым краном. Обозначения см. на рис. 4

Для раскряжевки бревен принята установка ЛО 15А, имеющая в своем составе два манипулятора, предназначенные для механизации подачи хлыстов на двухцепной продольный транспортер, подающий их к балансирной раскряжевочной пиле. Полученные сортименты передаются на сортировочный транспортер при помощи сбрасывателя бревен, поперечного транспортера и механизма поштучной выдачи бревен, который обеспечивает передачу бревен с определенным интервалом, дающим возможность правильно оценить, рассортировать и сбросить их в определенные карманы-накопители. На участке сортировки бревен основным грузоподъемным оборудованием являются краны различных типов и колесные лесопогрузчики (фирмы «Амкодор»). Выбор типа грузоподъемного оборудования зависит от объема перерабатываемого сырья, способа и графика его поставки [2].

Для предприятий средней мощности, перерабатывающих 60–150 тыс. м^3 сырья в год, наиболее приемлемыми являются консольно-козловые краны грузоподъемностью 8–15 т, с пролетом 32–40 м и вылетом консолей 8–15 м. Такие краны обладают сравнительно высокой производительностью и могут быть использованы в качестве грузоподъемного и транспортного оборудования при выгрузке сырья из транспортных средств, разгрузке карманов накопителей у сортировочных транспортеров и перемещении пачек бревен на небольшие расстояния. Они обеспечивают формирование ровных штабелей без свеса бревен, так как крановщик в момент укладки пачки бревен в штабель находится непосредственно над местом укладки. Для взятия пачек бревен, их перемещения и укладки используется грейфер. Схема технологического разреза с краном на участке сортировки бревен представлена на рис. 3.

Окорка бревен – одна из основных операций при подготовке сырья к раскрою. Особенно необходима окорка бревен для условий Беларуси, имеющей большие территории, зараженные радионуклидами. Раздуваемые с этих территорий пыль и песок разносятся по всей местности, оседая и застревая в коре деревьев. Объем коры составляет ≈ 10% от объема стволовой древесины, и в технологической щепе ее удельный вес может составлять до 40%. Если кору не удалять перед распиловкой, то она вместе со щепой и опилками будет попадать в древесные плиты, мебель и другие виды продукции, изготовляемые из отходов лесопиления [3].

Окорка зачастую не производится из-за того, что в зимний период времени качественно окорить бревна без предварительной гидротермической обработки практически невозможно, а заводские бассейны для такой обработки отсутствуют или используются не по назначению. Заводские бассейны предназначены для создания необходимого буферного запаса бревен между складом сырья, окорочным и лесопильным цехами, для обмывки бревен, оттаивания их поверхности перед окоркой и для более тщательной сортировки по диаметрам. Средства механизации работы в бассейнах состоят из ускорителей для передвижения бревен из сортировочного коридора во дворики и устройств для насадки бревен на цепи бревнотаски. Ускорители движения бревен бывают тросовыми, барабанными и гидравлическими. Различные виды оборудования позволяют поразному механизировать работу в бассейнах [4]. Предусмотрено, что гидротермическая обработка бревен и их подсортировка в заводских бассейнах будет производиться с бревнами хвойных и мягких лиственных пород, бревна твердых лиственных пород будут подаваться на окорку и в распиловку минуя заводские бассейны, так как они тяжелые и могут утонуть.

Раскряжевка хлыстов твердых лиственных пород ведется с учетом того, что более качественное сырье должно перерабатываться на строганый шпон. Длина ванчесов для производства строганого шпона 3,2–3,3 м, поэтому из твердолиственных хлыстов в основном вырабатываются сортименты такой длины. Исходя из приведенных данных разработана схема технологической планировки склада для среднего лесопильного предприятия, перерабатывающего до 150 тыс. м^3 сырья в год, при поставке разных пород в хлыстах, рис. 4.

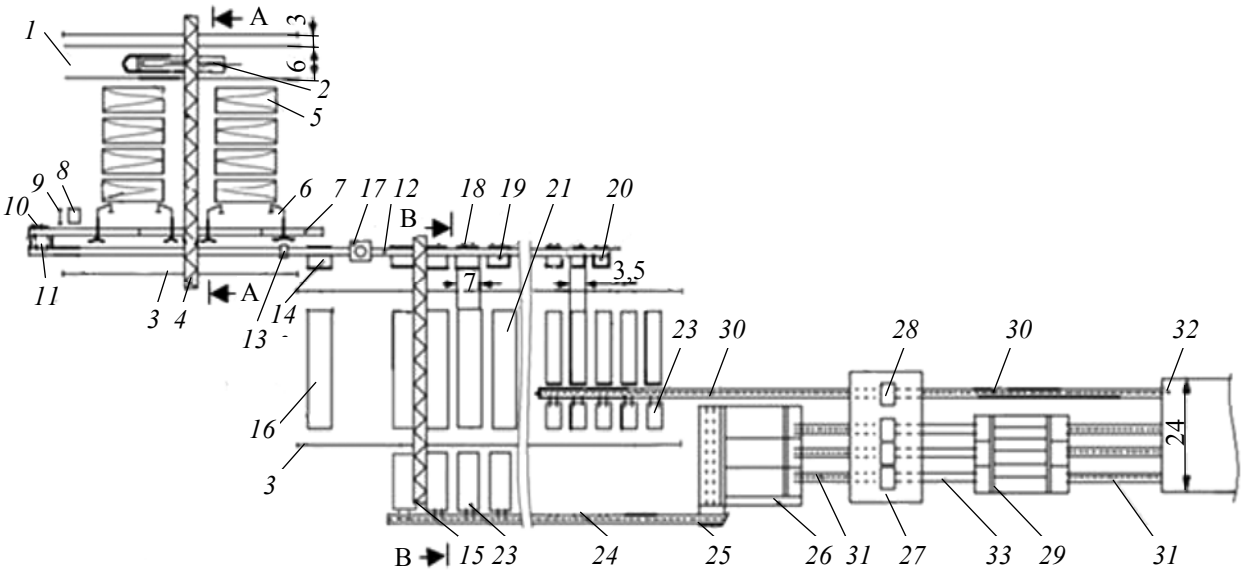


Рис. 4. Схема технологической планировки склада с поставкой сырья разных пород в хлыстах, с окоркой бревен и заводскими бассейнами для их оттаивания и подсортировки:
1 – дорога для доставки хлыстов; *2* – автолесовоз; *3* – подкрановый путь; *4* – кран для разгрузки хлыстов ЛТ-62; *5* – место складирования хлыстов; *6* – манипуляторы; *7* – продольный двухцепной транспортер; *8* – пульт управления разделкой хлыстов; *9* – балансирный торцовочный станок; *10* – сбрасыватель сортиментов; *11* – перечный транспортер с механизмом поштучной выдачи; *12* –сортировочный транспортер; *13* – дефектоскоп-металлоискатель; *14* – карман-накопитель для некондиционного сырья; *15* – консольно-козловой кран;*16* – штабель некондиционного сырья; *17* – пульт управления сортировкой сырья; *18* – сбрасыватели бревен; *19* – карманы-накопители для хвойных и мягких лиственных пород; *20* – карманы-накопители для твердолиственных пород; *21* – штабеля рассортированных бревен хвойных и мягких лиственных пород; *22* – штабеля рассортированных бревен твердых лиственных пород; *23* – накопительная площадка с механизмом поштучной выдачи бревен; *24* – продольный цепной транспортер; *25* – рычажный сбрасыватель бревен; *26* – бассейн для оттаивания бревен; *27* – окорочный цех; *28* – окорочные станки; *29* – заводской бассейн для подсортировки бревен; *30* – транспортеры для подачи твердолиственного сырья в лесопильный цех минуя бассейны; *31* – бревнотаски; *32* – лесопильный цех; *33* – спусковой лоток для подачи окоренных бревен в бассейн перед лесопильным цехом

Заключение. Предлагаемые технологические решения позволили разработать схему технологической планировки склада при поставке сырья разных пород в хлыстах. Принятые решения позволяют:

1) комплексно механизировать все технологические, грузоподъемные и транспортные операции.

2) обеспечить на складе сырья необходимую подготовку бревен к раскрою с учетом рациональной, комплексной и экономически эффективной переработки древесины за счет необходимой дробности сортировки бревен по каждому четному диаметру, окорки бревен перед распиловкой, возможности их гидротермической обработки перед окоркой в зимний период, раскряжевки и сортировки сортиментов твердых лиственных пород с учетом их качества и назначения.

Результаты разработанных решений могут быть использованы в учебном процессе и на производстве при проектировании и реконструкции складов сырья лесопильных предприятий.

Литература

1. Пастушени, В. И. Основы механической обработки древесины: учеб. пособие / В. И. Пастушени. – Минск: БГТУ, 2005. – 169 с.

2. Пастушени, В. И. Складские работы на лесопильных предприятиях: учеб.-метод. пособие / В. И. Пастушени. – Минск: БГТУ, 2011. – 149 с.

3. Янушкевич, А. А. Технология лесопильного производства: учебник / А. А. Янушкевич. – Минск: БГТУ, 2010. – 330 с.

4. Песоцкий, А. Н. Проектирование лесопильно-деревообрабатывающих предприятий: учебник / А. Н. Песоцкий, В. С. Ясинский. – М.: Лесная пром-сть, 1976. – 376 с.

5. Волынский, В. Н. Каталог деревообрабатывающего оборудования / В. Н. Волынский. – М.: АСУ-Импульс, 2003. – 378 с.

Поступила 15.03.2012

УДК 674.816.3–037.87

В. В. Ширяев, аспирант (БГТУ)

НАТУРАЛЬНЫЙ ЛИНОЛЕУМ КАК КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ЛЬНЯНОГО МАСЛА И ДРЕВЕСНОЙ МУКИ

В статье приводится анализ технологии комплексного использования древесины. В общих чертах излагается технология производства натурального линолеума. Приводится описание полезных свойств одного из компонентов представленного покрытия (льняного масла), а также преимуществ натурального линолеума перед другими напольными покрытиями: бактерицидность, антистатичность, износостойкость, пожаробезопасность и другие. Вместе с тем отмечены следующие недостатки: высокая стоимость, хрупкость, сложность укладки.

In article the analysis of one of technologies of complex use of wood is resulted. The production technology of a floor covering is in general stated. The detailed description of useful properties of one of components of the presented covering (linseed oil), and also advantages of natural linoleum before other floor coverings is provided: bactericidal, antistatic, wear resistance, fire safety, and others. However, noted the following disadvantages of linoleum: high cost, fragility, complexity of installation.

Введение. Экономические и социальные прогнозы как по отдельным странам, включая наиболее развитые в экономическом отношении, так и по планете в целом предполагают дальнейший рост объемов потребления древесины. Однако во многих странах лесные сырьевые ресурсы весьма ограничены, объем заготовок держится практически на одном и том же уровне и даже немного снижается. На предприятиях деревообрабатывающей промышленности ежегодно образуется значительное количество отходов. Часть из них возвращается в технологический процесс, часть используется в качестве топлива, небольшое количество, около 25%, применяется в различных отраслях промышленности, а остальное поступает в отвалы. В этих условиях рациональное использование древесных отходов приобретает самое актуальное значение.

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что древесные отходы в виде обрезков, сучьев, щепы, коры, опилок, стружек – дешевое сырье для производства многих строительных материалов и изделий, так называемых новых побочных продуктов.

В данной статье особое внимание уделяется использованию получаемой из отходов древесной муки как наполнителя в производстве натурального линолеума.

Цель статьи – показать еще одно возможное направление использования отходов деревообрабатывающих производств.

Основная часть. *Древесная мука.* Древесная мука – измельченная древесина, основная масса которой (95%) проходит сквозь сито с размером ячеек 1,25×1,25 мм или менее. Точный размер частиц древесной муки не регламентируется, т. к. ввиду их продолговатой формы и возможности прохождения в диагоналях ячеек сита их линейные размеры, конечно же, могут быть больше линейного размера просвета сита.

На деревообрабатывающем заводе и мебельной фабрике имеется шлифовальный цех, в котором основным древесным отходом является древесная пыль. Древесно-шлифовальная пыль представляет собой смесь древесных частиц размером в среднем 250 мкм с абразивным порошком, отделившимся от шлифовальной шкурки в процессе шлифования древесного материала. Содержание абразивного материала в древесной пыли может доходить до 1% по массе. Фракционный состав древесной пыли, образующейся на шлифовальных станках, имеет диапазон изменения размеров частиц от 40 до 500 мкм. Состав пыли, образующейся на одних и тех же станках, непостоянен и зависит от ряда факторов: свойств обрабатываемого материала, его влажности, зернистости шлифовальной шкурки и т. п. Пыль можно собрать с помощью пневмотранспорта или аспирационной сети и направить для дальнейшего использования в производстве древесной муки.

Натуральный линолеум. Слово «натуральный» не совсем корректно использовать для изделий, выработанных из несинтетических материалов. Больше для таких материалов подошло бы название «натурагенный», т. е. имеющий натуральное происхождение. Если не разграничивать эти понятия, хотя бы в уме, то натуральным можно назвать все, что угодно. Для нас же представляет ценность натуральное как гипоаллергенное и безвредное для организма. Но не все натуральное таковым является.

Сегодня линолеум у многих ассоциируется с гладким синтетическим напольным покрытием, но изначально это был материал, произведенный на основе натуральных растительных волокон и льняного масла. Само слово «линолеум» является производным от латинского «oleum lini» – льняное масло.

Основные компоненты натурального линолеума – льняное масло, древесная мука, смола сосновых деревьев, порошок из известняка и натуральные красители. Несущая основа тоже натуральная – джутовая ткань [1].

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 с постоянной температурой около 33ºС. Затем в массу добавляют натуральные красители и в результате оксидирования льняного масла получают разноцветные гранулы. После смешивания гранул различных цветов и концентраций полученную смесь спрессовывают в каландровой машине. Полученный материал шириной 1 м рубят на полосы, укладывают их внахлёст на основу из джута и вновь пропускают через каландр. Получается исключительно плотная структура (массу спрессовывают от толщины 5 см до 2 мм). Шлейф из этого материала перемещают в сушильные камеры, где он вызревает в течение 10–14 дней, превращаясь к концу процесса в линолеум. Полученное покрытие обрабатывают специальной системой easy to clean (ETC) – это необходимо для повышения износостойкости и практичности материала. После затвердевания финишного слоя полотнище линолеума разрезают на части длиной около 30 метров, упаковывают и отправляют на склад.

В качестве наполнителя может применяться линолеумная мука, которая представляет собой размолотые отходы производства линолеума. Такая добавка ускоряет процесс его созревания, т. к. связующие линолеумных отходов уже прошли процесс окисления. И, кроме того, использование отходов производства снимает проблему их вывоза и утилизации.

Свойства линолеума. Натуральный линолеум выделяется на рынке строительных и отделочных материалов целым рядом положительных особенностей:

- экологически чистый материал (состоит только из натуральных компонентов);
- наличие бактерицидных свойств;
- высокая износостойкость;
- пожаробезопасность;
- антистатичность;
- сильное сопротивление химическим реактивам;
- срок службы свыше 20 лет.

Натуральный линолеум обладает естественными бактерицидными свойствами и отвечает требованиям к простоте дезинфекции, чистки, ухода. Поэтому он нашел широкое применение в медицинских, оздоровительных учреждениях, а также в детских и учебных заведениях (детских садах, школах, университетах). Бактериостатичность (способность препятствовать размножению бактерий) осуществляется за счет находящегося в составе линолеума льняного масла. Льняное масло само по себе является лечебным и профилактическим средством. Наиболее важными компонентами льняного масла являются жирные ненасыщенные кислоты. Эти кислоты активно препятствуют размножению болезнетворных бактерий и способствуют снижению уровня холестерина в крови. Кроме того, они уменьшают риск раковых заболеваний, способствуют резкому снижению аллергических и воспалительных реакций и т. д. Результаты испытаний подтверждают воздействие натурального линолеума на бактерию радужного стафилококка. Использование воды в процессе эксплуатации не снижает это свойство натурального линолеума, т. к. масло не растворяется водой.

Согласно EN 433, определяется величина остаточной деформации при вдавливании плоского штампа с заданным усилием в течение 150 мин и после снятия нагрузки в течение 150 мин. Среднее значение глубины поверхности вдавливания для покрытия толщиной 3,2 мм не должно превышать 0,15 мм, а для более толстых покрытий – соответственно 0,2 мм. Столь малые остаточные деформации говорят о возможности применения натурального линолеума в помещениях с высокими эксплуатационными нагрузками.

В соответствии со стандартом DIN 4102, определяющим огнестойкость строительных материалов, натуральный линолеум имеет класс B1 (трудновоспламеняемые материалы).

EN 1399 определяет устойчивость эластичных покрытий к воздействию сигаретного жара: при вдавливании сигареты и при ее тлении. В первом случае на линолеуме после очистки с помощью абразивных чистящих средств не должно оставаться заметных следов, а во втором случае, соответственно, допустимо легкое изменение цвета.

Линолеум устойчив к неконцентрированным кислотам, этиловому спирту, жирам, но разрушается при длительном воздействии щелочи.

По своей природе линолеум антистатичен и, следовательно, не притягивает пыль. Антистатичным считается покрытие, которое при хождении по нему в обуви с поливинилхлоридной подошвой заряжается не более чем на 2 кВ, а у линолеума, между прочим, этот показатель не поднимается более 0,8 кВ. Отдельные виды линолеума имеют повышенную устойчивость к скольжению (R10) и рекомендуются для помещений с особыми требованиями к противоскольжению.

Важным показателем является уровень светостойкости (EN 20105-B02). Покрытия могут иметь светостойкость от 1 до 8 баллов. Светостойкость натурального линолеума находится на уровне 6 баллов.

Линолеум обладает хорошими теплоизоляционными характеристиками. Уровень теплопроводности линолеума находится в прямой зависимости от его толщины. Так, к примеру, термическое сопротивление покрытия толщиной 2 мм составляет 0,012 ($м^2$·К)/Вт, а толщиной 4 мм уже 0,023 ($м^2$·К)/Вт. (Теплоизоляционные свойства рассмотрены на примере линолеума производства Armstrong DLW).

От толщины линолеума зависят и его акустические свойства. Линолеум, приклеенный непосредственно к основанию, снижает уровень шума на 3–6 дБ. А использование специальной звукопоглощающей подложки или комбинированного линолеума на пробковой основе позволит снизить шум на 14–16 дБ и попутно повысить теплоизоляционные свойства покрытия (требования к звукопоглощению указаны в стандарте DIN 4109).

Особенностью натурального линолеума является так называемая «вуаль созревания» (временное изменение цвета линолеума, которое впоследствии исчезает под воздействием УФ-лучей). «Вуаль созревания» возникает при высыхании растительных масел. В зависимости от цвета покрытия вуаль созревания бывает разной: голубой и серый цвет перемещается ближе к зеленому, бежевый в сторону желтого цвета. На некоторых желтоватых и красных тонах вуаль созревания вообще не видна.

Свет ослабляет проявление вуали созревания. Полуденное солнце на улице примерно за 1 ч, а полуденный свет при облачной погоде за 3 ч может устранить вуаль на 80%. В сравнительно темных помещениях с рассеянным светом даже при хорошем освещении могут потребоваться недели для достижения такого же эффекта. Таким образом, если часть работ по раскрою линолеума производилась на улице, а часть внутри помещения, части полотнища, даже если они вырезаны из одного рулона, приобретут разный цветовой оттенок. То же произойдет, если укладку линолеума в светлом солнечном помещении приостановить, например, на выходные дни. Из-за более длительного воздействия света тот материал, который был уложен раньше, не совпадет по цвету с тем, который укладывался позже.

Разница в цвете при рассеянном освещении помещения будет выравниваться очень медленно. Если, например, одна часть (находившаяся на ярком свете более длительное время) утратила вуаль созревания на 50%, а другая часть – лишь на 30%, то эта разница в 20% будет сохраняться до тех пор, пока обе части не утратят вуаль созревания полностью. В условиях помещения этот процесс может длиться недели.

Также стоит обратить внимание на недостатки данного напольного покрытия.

- Высокая стоимость.

Натуральный линолеум дороже любого другого – примерно в полтора-два раза. В общем-то, именно поэтому он сейчас значительно менее распространен, чем ПВХ линолеум. Хотя, если умножить эту цену на срок службы, то эта цена вполне оправдывает себя.

- Хрупкость.

Материал нельзя перегибать, иначе он сломается.

- Сложность укладки.

Для того чтобы напольное покрытие прослужило вам долгое время, следует укладывать его на ровную поверхность. Рулон линолеума нельзя бросать и сильно перегибать, потому что оно может в процессе поломаться. Дать полежать развернутому линолеуму в помещении не меньше суток. Технология производства линолеума приводит к тому, что на материале появляются бугристые полосы, их нужно прокатать с помощью тяжелого валика. После того как линолеум приклеен, нельзя на него ничего ставить еще в ближайшие 5 суток, для того чтобы избежать образования вмятин.

Заключение. На основании изложенного выше можно сказать, что производство данного напольного покрытия является перспективным в Республике Беларусь, т. к. это долговечное и экологически чистое изделие. Также следует обратить внимание на то, что это импортозамещающий материал, который пользуется спросом в странах Западной Европы.

После анализа представленного материала поставлены следующие задачи:

1) разработка реутилизационной технологии производства натурального линолеума;

2) определение оптимальных режимов производства и норм расхода.

Литература

1. Официальный сайт компании DLW [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: http://www.armstrong.eu. – Дата доступа: 22.02.2012.

Поступила 16.03.2012

ОБЩЕИНЖЕНЕРНЫЕ ВОПРОСЫ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

УДК 621.785.532

Ф. Ф. Царук, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);
С. Е. Бельский, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой (БГТУ);
Д. В. Куис, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой (БГТУ)

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ЖЕЛЕЗА И ЛАЗЕРНОГО УПРОЧНЕНИЯ НА ФРАКТОГРАФИЮ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ УСТАЛОСТНЫХ ИЗЛОМОВ ОБРАЗЦОВ ИЗ СПЛАВА АК8М3

Показано использование высокочастотного циклического нагружения для определения характера изменения усталостных свойств алюминиевого сплава АК8М3 с лазерным упрочнением.

The equipment and techniques of accelerated fatigue tests allowed to determine an optimum iron content in the secondary aluminium alloy AK8M3 strengthened by laser processing.

Введение. В настоящее время сплавы на основе алюминия благодаря наличию хороших служебных свойств по объему производства занимают в мире второе место после сплавов на основе железа. При этом следует отметить, что получение тонны первичного алюминия требует на порядок выше энергозатрат по сравнению с получением тонны сплава на основе железа. Поэтому весьма актуальной является задача всемерного увеличения использования вторичного алюминия, получение которого позволяет снизить энергозатраты до двадцати раз по сравнению с первичным при существенно меньшей экологической нагрузке на среду обитания. Известно, что в Европейском Союзе производство вторичных алюминиевых сплавов растет быстрее, чем производство первичных, причем переработкой вторичного сырья занимаются порядка двухсот заводов [1].

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 циклов необходимо затратить 555 ч непрерывной работы (более 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 [2].

Основная часть. Объектом исследований в данной работе являлись плоские балочные образцы толщиной 2,0 мм из вторичного алюминиевого сплава АК8М3 с различным содержанием железа и разным состоянием поверхности (таблица). Общий вид образцов без лазерного воздействия с усталостным разрушением и с лазерным воздействием без усталостной трещины приведены в литературе [3].

Нагружение образцов производилось на специально разработанной исследовательской установке с резонансной частотой колебаний $f_{рез} = 18$ кГц.

Характеристики исследуемого сплава

Маркировка сплава	Содержание Fe, %	Технология получения и состояние поверхности
11	0,40	Плавка под покровно-рафинирующим флюсом (62% NaCl, 13% KCl, 25% NaF) + + модифицирование по пат. № 57584А, затем литье и термообработка по режиму Т6. Импульсная лазерная обработка на установке КВАНТ-12 с оплавлением поверхности, время импульса 4 мс, длина волны 0,6943 мкм, перекрытие пятен – 30%. Зона лазерного воздействия глубиной около 200 мкм
33	0,92	
55	1,45	

Образцы подвергались нагружению на второй собственной форме колебаний. Размеры и форма образцов были выбраны такими, что усталостное разрушение происходило в месте максимальных циклических напряжений, расположенных примерно посередине прямолинейного участка, что позволяло удобно исследовать изменение свойств материала и развитие усталостной трещины.

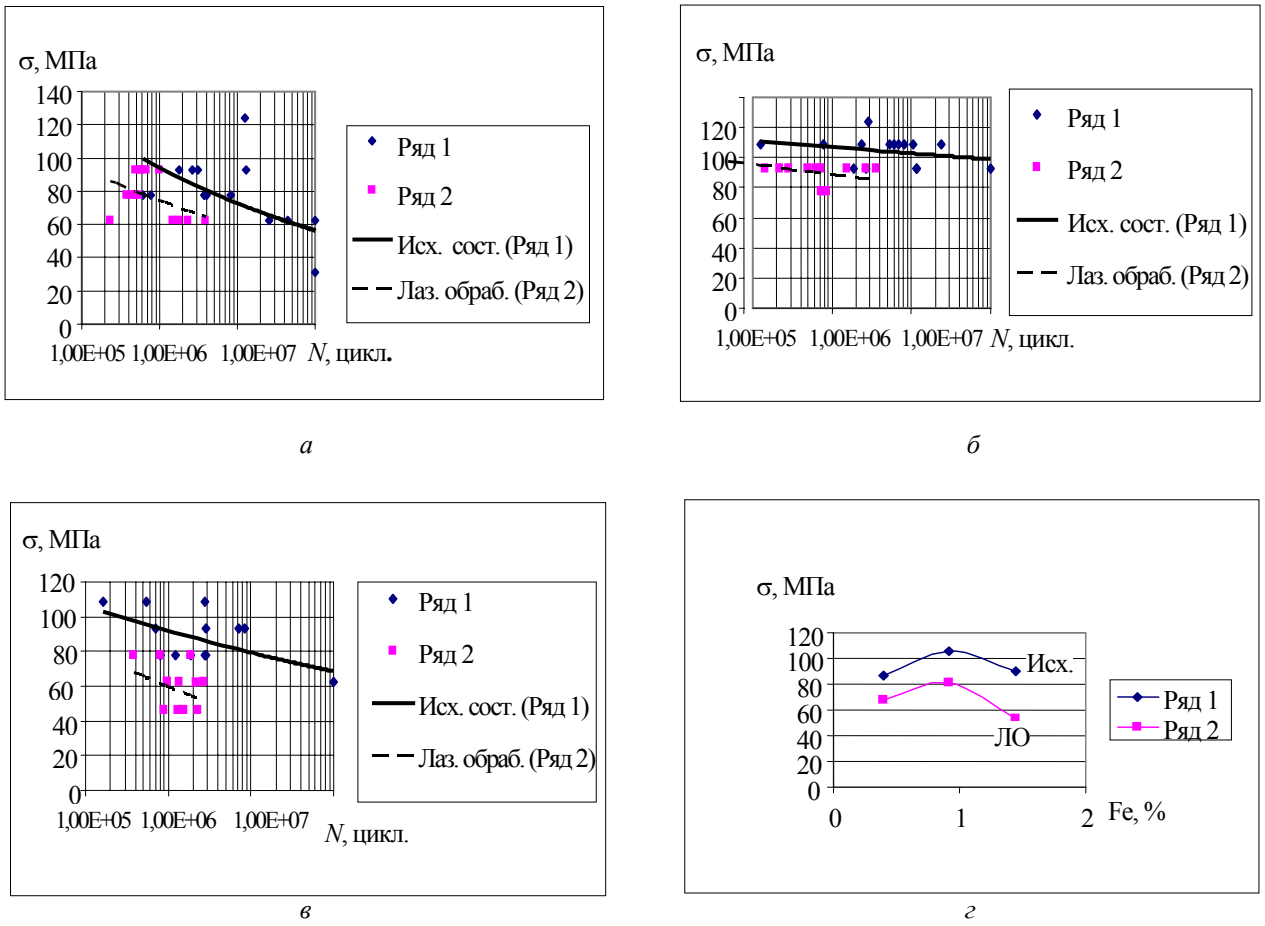


Рис. 1. Усталостные кривые для образцов с различным содержанием железа и влияние содержания железа в сплаве АК8М3 (*а*, *б*, *в*) и лазерной обработки поверхности на ограниченный предел выносливости на базе $N = 2 \cdot 10^6$ циклов (*г*):
а – 0,40% Fe; *б* – 0,92% Fe; *в* – 1,45% Fe;
Исх. – исходное состояние; ЛО – лазерная обработка

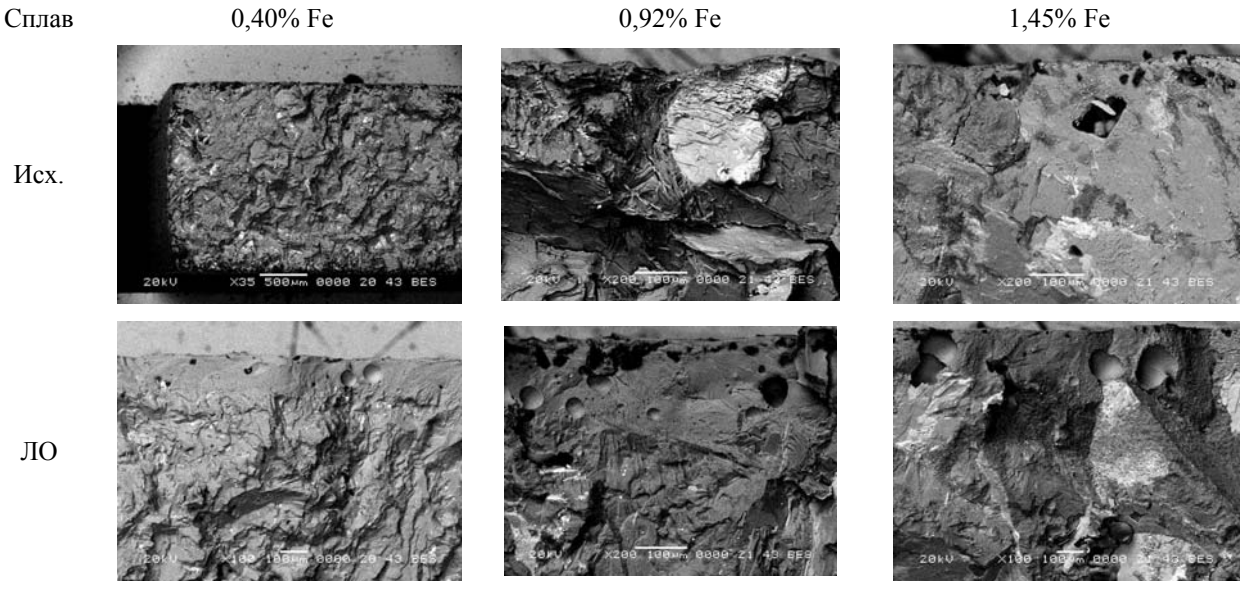


Рис. 2. Фрактография высокочастотных усталостных изломов для образцов с различным содержанием железа в сплаве АК8М3.
Исх. – исходное состояние; ЛО – лазерная обработка

Кинетику повреждения образца оценивали по падению резонансной частоты колебаний с развитием усталостной трещины [4]. После достижения определенной величины падения частоты испытания прекращались. Исследования полученной диаграммы распределения усталостных трещин по длине образцов позволили установить хорошее совпадение места появления усталостных трещин с местоположением максимума расчетной величины циклических напряжений для данной формы колебаний образца.

Усталостные кривые для сплава с различными содержанием железа и состоянием поверхности представлены на рис. 1, *а–в*, а фрактография усталостных изломов на рис. 2.

Как можно заметить из представленных фотографий, лазерное воздействие существенно влияет на поведение исходной литой структуры всех сплавов и приводит к значительным ее изменениям. Так, наряду с увеличением гомогенности структуры лазерная обработка приводила к появлению в зоне термического влияния газовых полостей округлой формы, через которые и проходила усталостная трещина.

Выводы. 1. Использование высокочастотного нагружения позволяет проводить сравнительные испытания 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.

2. Экспериментально установлена оптимальная величина процентного содержания железа в исследуемом сплаве с точки зрения повышенного уровня его усталостных свойств, которую можно принять в пределах одного процента, с допустимой величиной отклонения не более половины процента Fe. Можно предположить, что данное влияние примеси железа сохранится и для других видов обработки поверхности данного сплава.

3. Установлено, что лазерная обработка существенно влияет как на внешний вид поверхности исследованных вариантов сплава, делая ее более шероховатой, так и на структурные составляющие поверхностных слоев, приводя к оптически более гомогенной структуре, одновременно вызывая появление газовых включений существенной величины, по которым и проходит фронт усталостного повреждения.

4. Совокупность данных изменений неоднозначно влияет на поведение усталостных характеристик для всех исследованных вариантов сплава. С одной стороны, для фронта усталостной трещины слой лазерного воздействия из-за отсутствия значительных неоднородностей в объеме, способствующих увеличению концентрации слабых элементов структуры, представляет большее сопротивление ее развитию по сравнению с показателями исходной структуры. Но в то же время, с другой стороны, шероховатость поверхности и газовые включения под поверхностным слоем способствуют зарождению данных трещин и, таким образом, являются факторами, существенно снижающими общие характеристики усталости. Представляется возможным, что подбором параметров лазерного воздействия на данный класс сплавов можно получать однородные структуры, не имеющие дефектов в виде крупных газовых включений и, благодаря этим обстоятельствам, обладающие повышенными характеристиками сопротивления усталости.

5. Таким образом, установлено, что использованные в данной работе параметры лазерной технологии упрочнения не могут быть рекомендованы для повышения уровня усталостных характеристик исследованного сплава. Для правильного выбора параметров лазерного упрочнения необходимо проведение дальнейших исследований в данном направлении.

6. Результаты данной работы являются хорошей иллюстрацией эффективного применения метода высокочастотного нагружения [5] для оперативного выявления дефектов, привносимых либо исследуемой технологией, или же нарушением традиционной упрочняющей технологии, которые существенно влияют на усталостные характеристики конструкционных материалов.

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. Кузьменко, В. А. Усталостные испытания на высоких частотах нагружения / В. А. Кузьменко. – Киев: Наук. думка, 1979. – 336 с.

3. Царук, Ф. Ф. Влияние содержания железа и лазерной обработки на высокочастотные усталостные свойства сплава АК8М3 / Ф. Ф. Царук, С. Е. Бельский // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2010. – Вып. XVII. – С. 323–326.

4. Estimation of influence of frecuency 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.

5. 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.

Поступила 01.04.2012

УДК 621.785.532

М. Н. Пищов, кандидат технических наук, старший преподаватель (БГТУ);
Ф. Ф. Царук, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);
А. И. Сурус, кандидат технических наук, доцент (БГТУ)

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОМПЛЕКСНОГО БОРИРОВАНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ

Исследовано влияние комплексного борирования, а также температурно-временных параметров процесса на микротвердость поверхностного слоя деталей лесных машин. Изучена шероховатость и стабильность размеров упрочняемых деталей.

The influence of both the complex borating and temperature-temporal parameters of the process on microhardness of coating surface of logging machinery is examined. Roughness and stability of the dimensions in the the strengthen machine elements are considered.

Введение. Условия эксплуатации ряда сложнонагруженных деталей лесных машин характеризуются значительным трением, а также вибрациями широкого амплитудно-частотного диапазона, способствующими интенсивному износу их рабочих поверхностей, и другим «видам» разрушения, в том числе усталостного.

Из многочисленных исследований и опыта эксплуатации различных машин и механизмов известно, что сопротивление усталости и изнашиванию зависит от ряда факторов, в том числе от поверхностной твердости материала детали. С возрастанием твердости, как правило, достигается повышение допускаемых контактных и изгибных напряжений и повышение износостойкости.

Однако в условиях максимальных нагрузок, возникающих при работе ряда лесных машин, например трелевочных тракторов, твердость сложнонагруженных деталей, и в частности зубчатых колес трансмиссии, является недостаточной. В связи с этим актуальной остается разработка методов упрочнения материалов, позволяющих получать более высокую поверхностную твердость деталей при минимальных временных и энергетических затратах.

Для повышения износостойкости деталей машин широко применяют различные виды поверхностного упрочнения: цементацию, азотирование, цианирование и др [1–3].

Технологический процесс упрочнения деталей борированием и боросилицированием по сравнению с другими способами диффузионного насыщения (например, цементацией) проводится при относительно меньшем времени насыщения. Это преимущество наряду с практически одинаковой температурой насыщения (920–950°С) и обусловило исследование данных методов с целью применения их для упрочнения деталей трансмиссий трелевочных тракторов, которое может осуществляться в ремонтных мастерских лесопромышленных предприятий.

При целесообразности упрочнения поверхностей зубьев зубчатых колес трансмиссии трелевочных тракторов возникает вопрос о влиянии применяемого метода химико-термической обработки на стабильность размеров и шероховатость упрочняемых поверхностей, что существенно влияет на работу зубчатых передач.

В связи с этим в данной работе проведены исследования влияния технологических параметров комплексного борирования на поверхностную твердость, шероховатость и стабильность размеров упрочненых поверхностей деталей.

1. Исследование микротвердости упрочненного поверхностного слоя. Исследование распределения микротвердости по глубине упрочненных слоев при борировании и боросилицировании проводилось на микротвердомере ПМТ-3М. На рис. 1 приведено распределение микротвердости по глубине поверхностного слоя образцов, выполненных из стали 25ХГТ и упрочненных борированием и боросилицированием. Результаты, полученные при различных температурно-временных параметрах процессов, показывают, что понижение твердости идет постепенно на всех исследуемых образцах. Выявлено, что как при борировании, так и при боросилицировании, максимальная твердость достигается на поверхности образцов с постепенным уменьшением по глубине упрочненного слоя.

Характер распределения микротвердости по глубине слоя, упрочненного борированием и боросилицированием, связан с его фазовым составом. Было установлено, что при борировании образуется достаточно резкое снижение твердости при переходе от упрочненного слоя к основе металла, что способствует созданию на границе дополнительных напряжений. Связано это с образованием в упрочненном слое фазы FeB. При упрочнении боросилицированием наблюдается более плавный переход к основе металла, отсутствуют резкие изменения микротвердости по глубине слоя, что свидетельствует об образовании в слое менее твердых фаз Fe_2B и FeSi. Можно выделить три зоны с соответствующей микротвердостью при боросилицировании: зона, насыщенная бором и кремнием (11200–11800 МПа), переходная зона (7800–9000 МПа) и сердцевина (5000–5600 МПа).

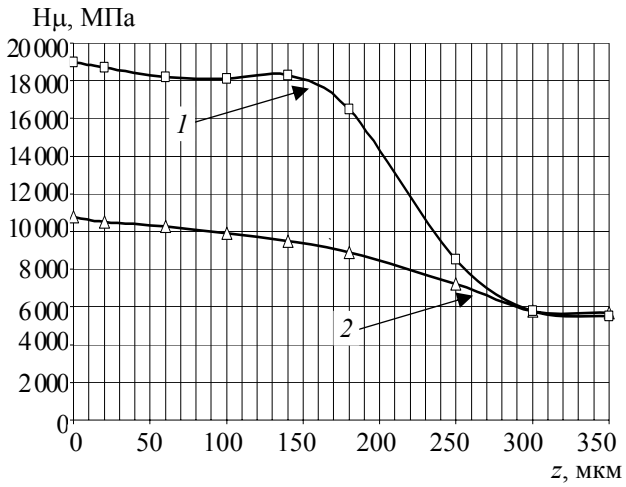


Рис. 1. Распределение микротвердости по толщине упрочненного борированием и боросилицированием слоя с различной толщиной образцов стали 25ХГТ: *1* – борирование; *2* – боросилицирование (толщина слоя 200–220 мкм)

Приведенная микротвердость характеризует образование и расположение по глубине упрочненного слоя, различных по своей структуре и химическому составу фаз. Аналогичный характер изменения микротвердости можно отметить и для различных составов насыщающей смеси, что хорошо согласуются с данными других авторов [2].

Как было отмечено, работа трелевочного трактора сопровождается высокими динамическими нагрузками на детали трансмиссии, которые при неправильном назначении ХТО могут привести к скалыванию поверхностного упрочненного слоя с контактных поверхностей зубьев. В связи с этим упрочненный слой наряду с обеспечением высокой поверхностной твердости должен обладать и низкой хрупкостью.

На основании полученных результатов распределения микротвердости по толщине упрочненного слоя было установлено, что при боросилицировании повышение твердости на глубине 200–250 мкм приводит к увеличению допускаемых контактных напряжений для предотвращения образования пластических деформаций не только на поверхности, но и на указанной глубине и обеспечивает предотвращение глубинного контактного выкрашивания упрочненного слоя. Это делает возможным применение данного способа упрочнения для зубчатых колес трансмиссии трелевочных тракторов.

Как отмечено выше, износостойкость поверхности и качество работы деталей передач зависят от шероховатости поверхности и стабильности размеров, которые могут изменятся после проведения химико-термической обработки.

2. Исследование шероховатости и стабильности размеров упрочненной поверхности. Шероховатость поверхности определяли по параметру *Ra* на профилографе-профилометре. Исследование проводилось на образцах из сталей 45, 40Х и 25ХГТ, обработанных на различную чистоту поверхности, а затем подвергнутых упрочнению борированием и боросилицированием при температуре насыщения 950°С и времени выдержки 3 ч (рис. 2).

Результаты исследований показывают, что состояние поверхности после диффузионного насыщения как при борировании, так и боросилицировании ухудшается на всех образцах. Упрочнение изделий вызывает изменения их линейных размеров, что связано с активной адсорбцией атомов легирующих элементов на поверхности и образованием в упрочненном слое твердых растворов внедрения. При этом изменения линейных размеров после проведения ХТО зубчатых колес не должны выходить за пределы допуска на погрешность профиля зуба.

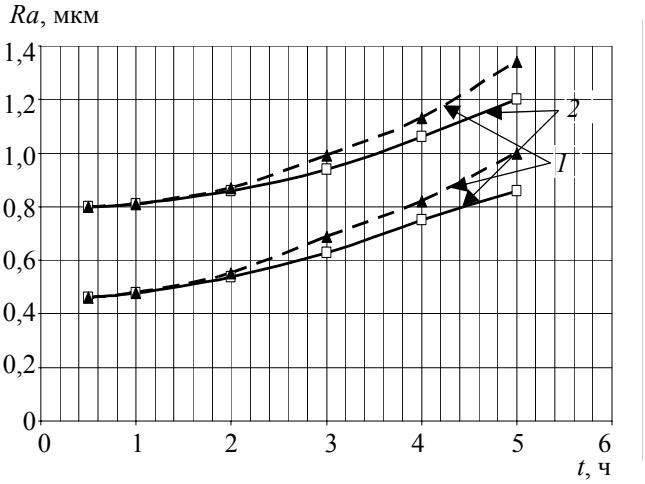


Рис. 2. Влияние времени насыщения на шероховатость поверхности при различной величине исходной *Ra* при борировании и боросилицировании: *1* – борирование; *2* – боросилицирование

Исследования проведены на цилиндрических образцах из стали 25ХГТ диаметром 20 мм и длиной 10 мм, подвергнутых борированию и боросилицированию при температуре 950°С и времени обработки от 0,5 до 5,0 ч. Изменения диаметров образцов фиксировались при помощи вертикального оптиметра типа ИКВ с ценой деления 0,001 мм. Отмечен (рис. 3) прирост размеров (Δl), пропорциональный увеличению времени выдержки и толщины поверхностного упрочненного слоя.

Увеличение размеров составляет приблизительно 18–22% от толщины как борированного, так и боросилицированного слоев. При общей толщине упрочненного боросилицированием

слоя деталей трансмиссий трелевочных тракторов в 200– 250 мкм увеличение размеров составит около 36–55 мкм.

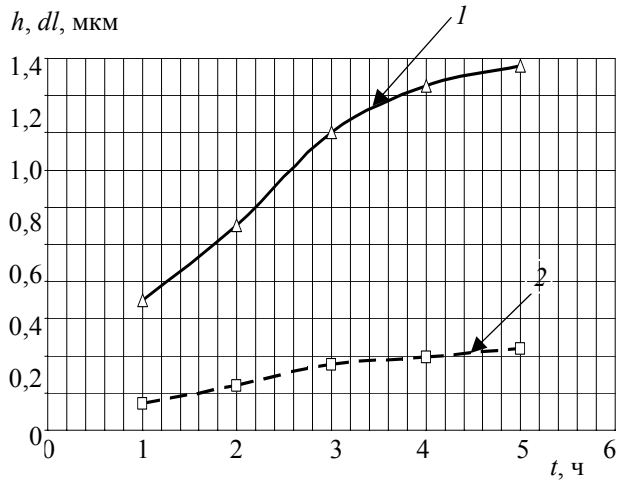


Рис. 3. Влияние времени насыщения на толщину упрочненного боросилицированием слоя (*h*) и прирост размеров (*dl*) образцов из стали 25ХГТ

Близкий к линейному характер зависимости прироста размеров от времени обработки облегчает установление соответствующих корреляционных зависимостей (Δl от t) и, тем самым, назначение оптимальных допусков на механическую обработку. В ряде случаев, наоборот, погрешности механической обработки могут быть исправлены установлением соответствующего времени поверхностного насыщения.

Как показали проведенные исследования, прирост размеров при боросилицировании не превышает допуск на погрешность профиля зуба конических передач, что не предполагает использования дополнительной механической обработки, связанной с уменьшением размеров. Для уменьшения шероховатости упрочненных конических зубчатых колес деталей трансмиссий трелевочного трактора ТТР-401 после проведения боросилицирования в качестве финишной обработки предусматривается хонингование.

Выводы. На основании изучения изменения шероховатости и линейных размеров деталей после обработки было установлено: после борирования и боросилицирования увеличение размеров находится в пределах 18–22% от толщины упрочненного слоя (200–250 мкм), что составляет около 36–55 мкм и не превышает допуск на погрешность профиля зуба крупномодульных зубчатых колес.

Незначительное увеличение параметра шероховатости *Ra* (в среднем с *Ra* = 1,6 мкм перед упрочнением до *Ra* = 1,72–1,94 мкм после проведения ХТО) наблюдается как при борировании, так и боросилицировании, в связи с чем в качестве финишной обработки упрочненных зубчатых колес целесообразно проводить хонингование.

Результаты исследований показали, что борирование, несмотря на высокую поверхностную микротвердость (18 000–20 000 МПа), не целесообразно использовать для упрочнения деталей лесных машин, так как при данном процессе образуется достаточно хрупкий упрочненный слой.

Результаты упрочнения боросилицированием по исследованным параметрам удовлетворяют требованиям, предъявляемым к работающим в сложнонагруженных условиях деталям, в частности для зубчатых колес трансмиссии трелевочных тракторов.

Литература

1. Аникин, Н. И. Снижение динамической нагруженности и повышение долговечности трансмиссий лесопромышленных колесных тракторов на основе анализа динамических процессов в характерных условиях эксплуатации: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.21.01 / Н. И. Аникин. – Химки, 1988.

2. Сусин, А. А. Качество тяжелонагруженных зубчатых колес энергонасыщенных машин и технология ХТО / А. А. Сусин // Новые материалы и ресурсосберегающие технологии термической и ХТО – основа повышения надежности и долговечности деталей машин и инструмента / А. А. Сусин. – Телави, 1987.

3. Тескер, Е. И. Повышение контактной прочности поверхностно-упрочненных зубчатых колес за счет оптимизации параметров упрочненного слоя / Е. И. Тескер // Вестник машиностроения. – 1986. – № 7.

Поступила 15.03.2012

УДК 674.023

А. Ф. Дулевич, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);
С. В. Киселев, преподаватель (БГТУ)

РАЗРАБОТКА РЕЖИМОВ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ЛЕНТОЧНЫХ ПИЛ ДЛЯ РАСПИЛОВКИ ДРЕВЕСИНЫ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ДОЛГОВЕЧНОСТИ

В статье рассмотрен метод повышения усталостной долговечности ленточной пилы за счет создания искривленного состояния полотна и внутренних компенсирующих напряжений. Определены оптимальные режимы упрочнения, при которых обеспечивается максимальная усталостная долговечность пил для различных марок сталей. Представлена конструкция установки для проведения подготовки к работе ленточной пилы.

The method for increasing the fatigue life of the band saw through the creation of a curved blade and the internal state of inner compensation is regarded in the article. The stable regime when the maximum saw life lasting for various sorts of steel is determined as well. The design of the installation for the preparation of the work band saw.

Введение. Одной из наиболее острых проблем, возникающих при эксплуатации узких ленточных пил для распиловки бревен, является их недостаточная усталостная долговечность. Известно много возможных путей увеличения срока службы данного вида дереворежущего инструмента [1], но наиболее перспективным является создание компенсирующих напряжений в полотне пилы совместно с созданием его предварительно искривленного состояния с помощью упругопластического деформирования.

Основная часть. Сущность метода упругопластического деформирования заключается в том, что новую пилу до установки на станок обкатывают на шкиве малого диаметра. При этом в пиле, на участке где она обхватывает шкив, возникают напряжения изгиба, превышающие предел текучести материала пилы. После обкатки пила приобретает искривленное состояние с остаточным радиусом кривизны $\rho_{ост}$, а в поверхностных слоях возникают внутренние остаточные напряжения сжатия. При установке пилы на шкивы ленточнопильного станка напряжения от изгиба в полотне уменьшаются за счет того, что пила изгибается уже из искривленного состояния и за счет компенсации остаточными напряжениями.

Величину остаточных напряжений $\sigma_{ост}$ в поверхностных слоях пилы можно определить по формуле [2]

$$\sigma_{ост} = \sigma_т - \frac{6\left(\sigma_т \frac{s^2}{4} - \frac{\sigma_т^3}{3E^2}(R_т + 0{,}5s)^2\right)}{s^2}, \quad (1)$$

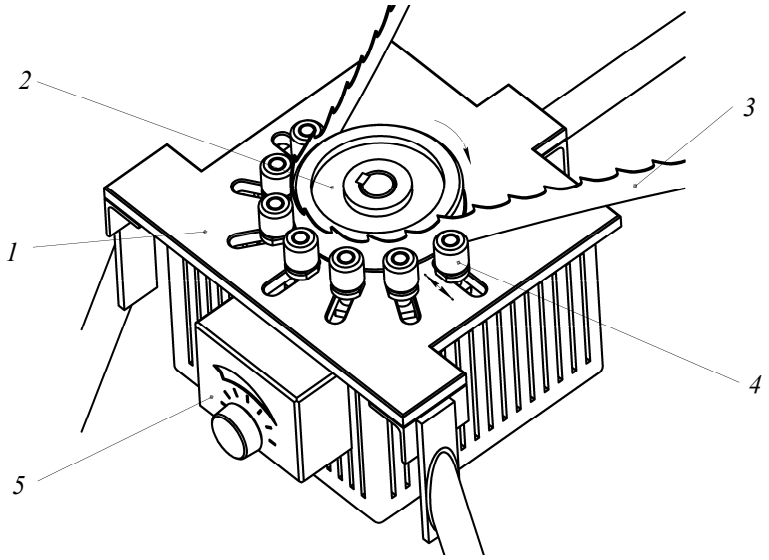
где $\sigma_т$ – предел текучести материала пилы, МПа; s – толщина пилы, мм; E – модуль упругости материала пилы, МПа; $R_т$ – радиус шкива, на котором проводится деформирование.

Остаточный радиус кривизны полотна $\rho_{ост}$ определяется по зависимости

$$\frac{1}{\rho_{ост}} = \frac{1}{R_т + 0{,}5s} - \frac{12\sigma_т}{E}\left(\frac{1}{4s} - \frac{1}{3s}\left(\frac{\sigma_т(R_т + 0{,}5s)}{E \cdot s}\right)^2\right). \quad (2)$$

Для определения режимов проведения операции деформирования необходимо знать механические свойства материалов, из которых изготовлены пилы. Исследования [1] показали что стали ленточных пил можно разделить на три группы. Группа I – углеродистые, аналогом которых являются сталь 70А и сталь 75А, группа II – легированные никелем, аналог сталь 75Н2А, группа III – легированные с содержанием углерода 0,45%, аналог сталь 45ХГНМФА. Для каждой группы были определены основные прочностные характеристики – модуль упругости, предел текучести и предел прочности, твердость.

Для проведения операции упругопластического деформирования была разработана конструкция и изготовлена установка (рисунок). Она представляет собой основание *1*, на котором размещены приводной шкив *2*, по нему обкатывается ленточная пила *3* и прижимные ролики *4*, имеющие возможность радиального перемещения относительно оси вращения шкива. Количество прижимных роликов и их расположение обеспечивают полный контакт полотна пилы со шкивом с углом охвата не менее 180°. Остальная часть пилы поддерживается на опорах. Привод шкива и механизм перемещения прижимных роликов находятся под основанием.



Установка для проведения упругопластического деформирования ленточной пилы:
1 – основание; *2* – шкив; *3* – ленточная пила;
4 – прижимной ролик; *5* – регулятор скорости

Для определения эффективности проведения операции упругопластического деформирования, а также для определения рациональных режимов данной операции были проведены исследования [3]. Основными параметрами проведения операции упрочнения являются скорость деформирования, радиус шкива, на котором проводится обкатка, и связанные с ним величина остаточных напряжений и остаточный радиус кривизны $\rho_{ост}$.

Так как обкатка пилы ведется в области пластических деформаций, то наиболее оптимальным режимом будет являться случай, при котором пила будет деформироваться только один раз. Это объясняется тем, что при обкатке большим количеством раз в полотне пилы будут накапливаться повреждения, что негативно скажется на усталостной долговечности пилы.

Результаты исследований показали, что минимальное время для установления заданного значения остаточного радиуса кривизны составляет 8–9 с. При этом значение остаточного радиуса кривизны достигает расчетного и не изменяется.

Оценка эффективности применения операции упрочнения была определена путем проведения усталостных испытаний образцов пил согласно рекомендациям ГОСТ 25.502–79 «Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость». Испытания проводились на экспериментальной установке, описанной в работе [4].

Испытания образцов проводились для различных уровней величины остаточных напряжений в образцах ленточной пилы. Определялось количество циклов нагружения изгибающей силы до разрушения образцов. Анализ результатов показал, что усталостная долговечность растет по мере увеличения остаточных напряжений в поверхностных слоях ленточной пилы. Однако, достигнув значения 150–200 МПа, долговечность практически не изменяется и при дальнейшем росте величины остаточных напряжений она уменьшается.

Это связано с тем, что повреждения, возникшие в полотне ленточной пилы в процессе упругопластического деформирования на режимах, обеспечивающих большие значения остаточных напряжений (более 200 МПа), уменьшают влияние снижения напряжений от изгиба на шкивах.

Таким образом, наибольший эффект повышения усталостной долговечности будет наблюдаться в том случае, когда величина остаточных напряжений в поверхностных слоях ленточной пилы будет находиться в пределах 150–170 МПа. В этом случае наблюдается увеличение предела выносливости материала на 19–23%.

На основании полученных результатов исследований были определены режимы деформирования полотна ленточной пилы, обеспечивающие ее максимальную усталостную долговечность. К таким параметрам относятся максимальная скорость деформирования и диаметр шкива. Их значения для различных групп сталей и толщин пилы приведены в таблице.

Для оценки эффективности мероприятий по повышению усталостной долговечности ленточных пил в условиях деревообрабатывающих предприятий были проведены производственные испытания ленточных пил, прошедших операцию упругопластического деформирования.

Диаметр шкива, на котором проводится деформирование ленточной пилы, обеспечивающей ее максимальную долговечность

Марка стали	Толщина полотна пилы					
	0,9 мм		1,0 мм		1,1 мм	
	Диаметр шкива, мм	Скорость деформирования, не более, см/с	Диаметр шкива, мм	Скорость деформирования, не более, см/с	Диаметр шкива, мм	Скорость деформирования, не более, см/с
Группа I	96	1,51	106	1,66	116	1,82
Группа II	92	1,44	102	1,6	110	1,72
Группа III	88	1,38	98	1,54	108	1,7

Исследование проводилось в условиях лесопильных цехов ЗАО «Молодечномебель» и ОАО «Поставымебель».

На данных предприятиях установлены горизонтальные ленточнопильные станки, с помощью которых производится распиловка бревен на необрезные и обрезные доски. Преобладающими являются твердолиственные породы.

Анализ эксплуатации ленточных пил показал, что значительная часть пил выходит из строя по причине зарождения и развития усталостных трещин (до 58%) и лишь 34% по причине уменьшения ширины пилы до минимального значения. Среднее значение объема распиливаемого сырья одной пилой составил 18–20 м^3.

Партия пил, соответствующая месячному потреблению, проходила операцию деформирования в соответствии с режимами, приведенными в таблице. Дальнейшая подготовка к работе и эксплуатация проводились аналогично пилам, не проходившим операцию упрочнения.

Результаты испытаний показали, что аварийный выход ленточных пил по причине разрыва снизился до 38%. При этом точность пиления оставалась на уровне пил, не прошедших операцию упрочнения. Среднее значение объема распиливаемого сырья одной пилой составил 25–27 м^3

Заключение. Операция упругопластического деформирования ленточной пилы в силу своей эффективности и простоты проведения является перспективным направлением повышения усталостной долговечности ленточных пил для распиловки древесины. Эффективность проведения данной операции по подготовке к работе была подтверждена лабораторными и производственными испытаниями. При соблюдении рациональных режимов подготовки можно повысить усталостную долговечность полотна ленточной пилы на 20–23%.

Литература

1. Дулевич, А. Ф. Пути повышения долговечности ленточных пил для распиловки древесины А. Ф. Дулевич, С. В. Киселев // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. промсть. – 2010. – Вып. XVIII. – С. 316–320.

2. Дулевич, А. Ф. Способ повышения усталостной долговечности ленточных пил путем создания внутренних компенсирующих напряжений / А. Ф. Дулевич, С. С. Макаревич, С. В. Киселев // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2009. – Вып. XVII. – С. 334–336.

3. Дулевич, А. Ф. Влияние параметров упругопластического деформирования на усталостную долговечность ленточных пил для распиловки древесины / А. Ф. Дулевич, С. В. Киселев // Труды БГТУ. – 2011. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 322–324.

4. Дулевич, А. Ф. Установка для ускоренных испытаний ленточных пил / А. Ф. Дулевич, С. В. Киселев // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2008. – Вып. XVI. – С. 318–322.

Поступила 19.03.2012

УДК 621.185.532

А. В. Блохин, ассистент (БГТУ)

РАСЧЕТ УСИЛИЙ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ЭЛЕМЕНТЫ КРЕПЛЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ, МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В работе рассмотрена проблема расчета усилий, действующих на детали крепления образцов методом конечных элементов. Детали крепления работали в условиях циклического нагружения.

Для определения усилий, действующих на различные элементы крепления, составлены расчетная схема и модель методом конечных элементов.

Анализ результатов исследований расчетной схемы и твердотельной модели показал, что при частотах испытаний 18 кГц для достижения напряжений изгиба в опасном сечении 100–120 МПа сила прижима должна достигать от 800 Н до 1500 Н.

The article dwells upon the calculation of stresses acting on fastening parts of samples by the finite element method. Fastening elements were working in the circumstances of cyclic loading. To determine the stress acting on different fastening parts, the design diagram and model was drawn up by the finite element method.

The analysis of the design diagram and solid-state model research results showed that at test frequencies 18kHz force of pressing should be from 800H to 1500H for reaching bend tension of 100–120 MPa in dangerous section.

Введение. Большинство деталей современных машин лесозаготовительной и деревообрабатывающей промышленности работают в условиях, сочетающих как статические, так и динамические нагрузки, нередко при повышенных температурах. Наряду с материалами, полученными на основе железа, широкое распространение получили сплавы из цветных металлов. Наиболее широко применяются различные алюминиевые сплавы [1]. Такие материалы все чаще используют для изготовления деталей, подверженных знакопеременным нагрузкам. Например, блоки цилиндров, поршни, кронштейны передней растяжки, рычаги передней подвески, кронштейны крепления двигателя и др.

Более широкое применение сплавов, полученных на основе алюминия, в настоящее время ограничивается их высокой стоимостью, обусловленной сложностью получения чистого алюминия электролизом. В первую очередь это связано со значительными затратами электроэнергии. Изготовление алюминиевых сплавов с использованием вторичного сырья позволяет существенно снизить удельные расходы электроэнергии. Поэтому замещение первичных алюминиевых сплавов на сплавы, полученные с использованием вторичного сырья, обеспечивает снижение себестоимости производства машин в целом.

Существенной проблемой, ограничивающей применение алюминиевых сплавов, полученных с использованием вторичного сырья, являются их низкие механические характеристики.

Решение данной задачи может быть обеспечено большим объемом ускоренных усталостных испытаний, реализуемых с использованием высоких частот нагружения.

Для испытаний на высоких частотах нагружения часто используют установки, в основу работы которых положены магнитострикционные преобразователи [2]. Принципиальная схема установки, позволяющей проводить испытания на частоте 18 кГц, приведена на рис. 1.

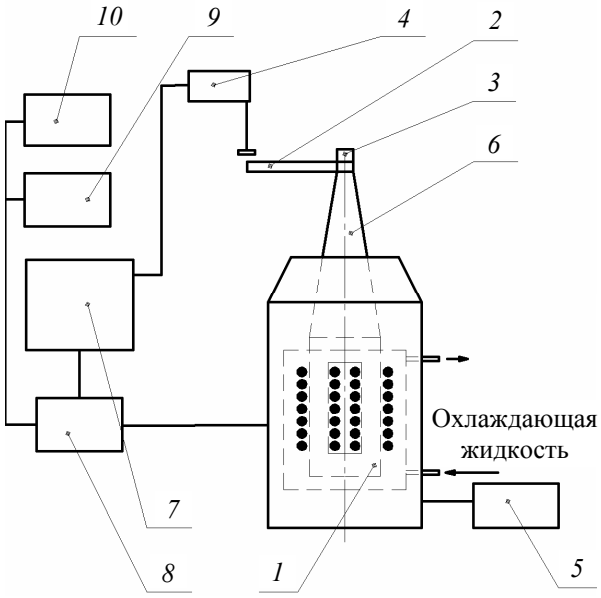


Рис. 1. Принципиальная схема высокочастотного испытательного стенда для возбуждения изгибных колебаний: *1* – магнитострикционный преобразователь с катушками возбуждения и подмагничивания; *2* – образец; *3* – устройство крепления; *4* – виброметр МРТИ; *5* – модуль подмагничивания; *6* – концентратор-волновод; *7* – прибор стабилизации амплитуды ПСА; *8* – частотомер; *9* – осциллограф; *10* – устройство вывода на печать

Наиболее нагруженным элементом испытательной установки является устройство крепления *3* (рис. 1).

Широко применяется способ крепления модельных образцов к концентратору при помощи винта, который вставляется в отверстие образца в его хвостовой части и завинчивается в отверстие с резьбой (рис. 2), расположенное в торцевой части концентратора [3].

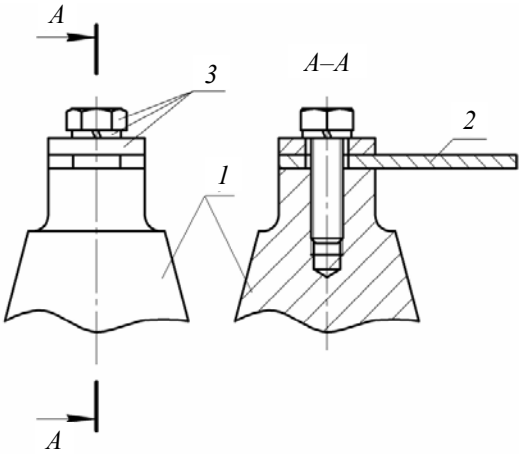


Рис. 2. Устройство крепления образца винтом с прижимной планкой:
1 – концентратор; *2* – образец;
3 – элементы устройства крепления

Недостатком крепления такого типа является пониженная жесткость и надежность крепления. Повышение усилия затяжки для увеличения жесткости заделки повышает вероятность разрушения винта.

Еще один способ крепления, когда на конец концентратора, имеющий меньший диаметр, навинчивается специальный клиновой захват, в который вставляется плоский хвостовик образца, фиксация последнего осуществляется при помощи клина, одна из плоскостей которого перемещается по плоскости хвостовика образца, а вторая имеет уклон, движение осуществляется за счет винтовой пары. Недостатком такого способа является низкая надежность и наличие значительных инерционных масс, снижающих возможную амплитуду колебания образца.

Известен способ крепления, когда хвостовая часть испытуемого образца имеет резьбу и непосредственно ввинчивается в резьбовое отверстие в концентраторе. Недостатком такого способа крепления являются сложность изготовления образцов, низкая надежность, невозможность использования для испытаний листовых материалов.

Из перечисленных выше способов наиболее широко применяется первый, в силу простоты своей конструкции.

Целью данной работы является определение усилий, действующих на отдельные детали крепления в процессе нагружения образцов при проведении усталостных испытаний.

Основная часть. Для анализа усилий, действующих на элементы крепления, был выполнен расчет методом конечных элементов. Для этого была построена твердотельная модель образца (рис. 3) и проанализированы силы, действующие на различных участках хвостовика (рис. 4, 5). Анализ модели показал, что при амплитудных напряжениях в опасном сечении 100 МПа необходимо обеспечить минимальное усилие прижима не менее 1400 Н.

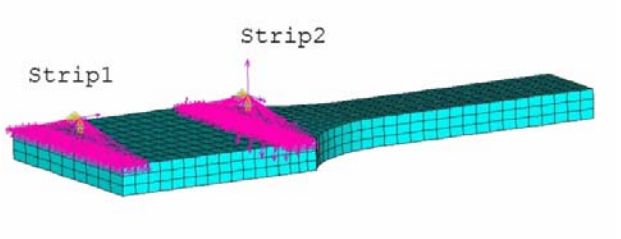


Рис. 3. Расчетная схема к определению усилия прижима методом конечных элементов

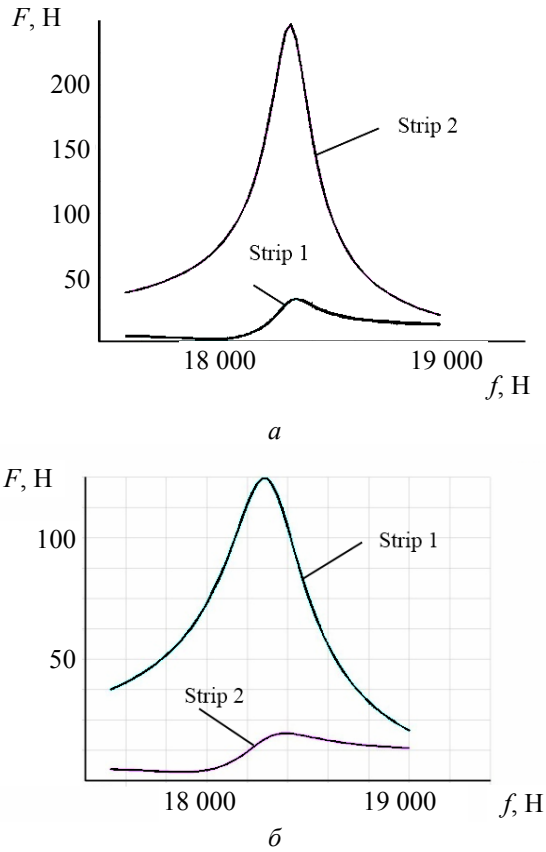


Рис. 4. Усилия, действующие на различных участках хвостовика образца, при нагружении знакопеременным изгибом, полученные моделированием методом конечных элементов при коэффициенте демпфирования:
а – 0,01; *б* – 0,05

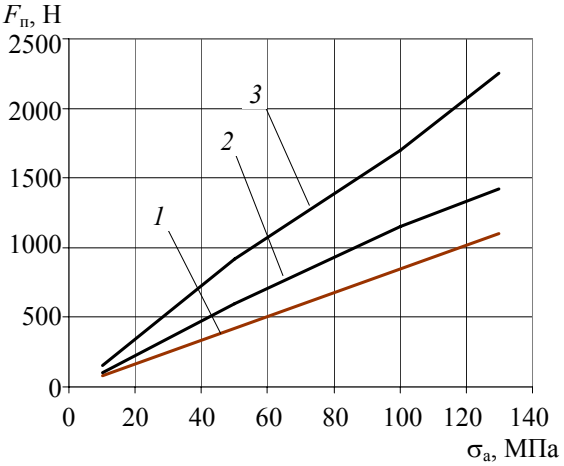


Рис. 5. Сила прижима образца (частота нагружения 18 кГц) для различных уровней изгибных напряжений в опасном сечении: *1* – для жесткой заделки; *2* – для податливой заделки при коэффициенте демпфирования 0,01; *3* – для податливой заделки при коэффициенте демпфирования 0,005

Для реализации необходимых усилий прижима, повышения надежности устройства крепления, повышения точности позиционирования образцов при частоте испытаний 18 кГц было предложено устройство крепления, конструкция которого показана на рис. 6.

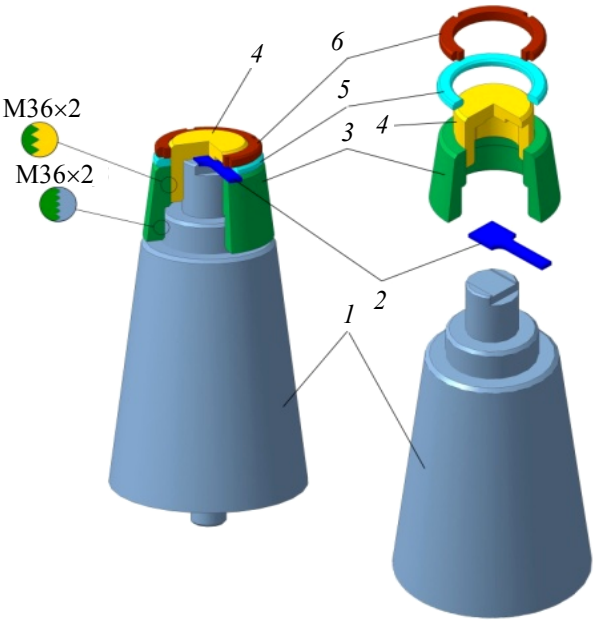


Рис. 6. Конструкция устройства крепления образца к концентратору: *1* – концентратор-волновод; *2* – образец; *3* – дифференциальная гайка; *4* – втулка; *5* – шайба; *6* – контргайка

Конический концентратор-волновод *1* имеет ступенчатый хвостовик, на торцевой части ступени меньшего диаметра выполнен призматический паз, ширина которого определяется размером хвостовой части образца *2*, а глубина составляет около 40% процентов высоты его поперечного сечения. На ступени большего диаметра выполнен участок резьбы, на который накручивается дифференциальная гайка *3*, имеющая два участка внутренней резьбы с различным шагом и две лыски на наружной конической поверхности под ключ. Отношение длин ступеней выбирается равным отношению шагов резьб дифференциальной гайки *2*.

Втулка *4* выполнена в виде стакана, имеющего прорезь для установки образца и призматический паз, имеющий аналогичную форму и глубину такую же, как у концентратора-волновода *1*. На наружной поверхности втулки *4* нарезана резьба.

Контргайка *6* имеет на наружной поверхности четыре шлицевые прорези, расположенные через 90 градусов. Для снижения инерционно колеблющихся масс число полных витков резьбы контргайки принято равным трем.

Шайба *5* имеет прорезь для установки образца. Высота шайбы выбирается в зависимости от высоты поперечного сечения образца *2* и от необходимых зазоров между образцом и торцами дифференциальной гайки *3* и контргайки *6*.

Для снижения влияния элементов крепления на коэффициент усиления концентратора-волновода *1* дифференциальная гайка, втулка, шайба и контргайка выполняются из материала концентратора-волновода, а образующие их наружной поверхности являются продолжением образующей концентратора-волновода.

Выводы. Использование моделирования методом конечных элементов позволило определить усилия, действующие на детали крепления. Была предложена конструкция крепления, которая за счет существенного увеличения диаметра резьб (в 4–5 раз) позволила повысить его надежность. Это дало возможность сократить время нагружения образцов при исследовании характеристик усталости конструкционных материалов за счет сокращения остановок испытательного оборудования по причине выхода из строя устройства крепления.

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. Блохин, А. В. Комплекс оборудования для усталостных испытаний элементов технологического оборудования / А. В. Блохин, Ф. Ф. Царук, Н. А. Гайдук // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2002. – Вып. X. – С. 213–215.

3. Усталостные испытания на высоких частотах нагружения / под ред. В. А. Кузьменко. – Киев: Наукова думка. – 1979. – 335 с.

Поступила 14.03.2012

УДК 621.777.4

А. В. Алифанов, доктор технических наук, профессор (БрГУ), заведующий отделом (ФТИ НАН Беларуси); **А. М. Милюкова**, заведующая лабораторией (ФТИ НАН Беларуси); **Н. В. Бурносов,** кандидат технических наук, доцент (БГТУ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛО- И ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДАМИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

В статье содержатся результаты исследований по разработке конструкции режущего инструмента, состоящего из двух металлов, свойства которых различны. Проведенные исследования подтвердили возможность их использования в разных технологических процессах обработки металлов и древесины.

In this article results researches on working out of a design of the cutting tool consisting of two metals which properties are various contain. The conducted researches have confirmed possibility of their use in various technological processes of processing of metals and wood.

Введение. Осевой (концевой) режущий инструмент является одним из наиболее применяемых в металло- и деревообработке. Этот инструмент изготавливается из дорогостоящих высоколегированных сталей или твердых сплавов, и поэтому очень актуальным является вопрос снижения расхода этих материалов путем изготовления концевого инструмента в биметаллическом исполнении или составным.

В физико-техническом институте НАН Беларуси разрабатываются методы получения биметаллического концевого режущего инструмента, состоящего из рабочей (режущей) части (сталь Р6М5) и хвостовика (сталь 40Х), горячим пластическим деформированием через профильную матрицу, при этом одновременно с деформированием стружечных канавок происходит прочное неразъемное соединение составных частей биметаллического инструмента. В некоторых случаях, например при изготовлении крупногабаритного инструмента (сверл, разверток, фрез) диаметром 30 мм, целесообразно применять сборный инструмент, в котором рабочая часть изготавливается в виде полого цилиндра, надеваемого на стержень из конструкционной стали. В этом случае рабочая часть, с целью экономии быстрорежущей или другой инструментальной стали, получается методом горячего выдавливания на оправке через профильную матрицу. Для успешного осуществления этого процесса необходимо исследовать напряженно-деформированное состояние заготовки в процессе ее пластического деформирования. В данной работе рассматриваются методика определения деформированного состояния заготовки и результаты исследования деформированного состояния заготовки крупногабаритного режущего инструмента.

Методика определения деформированного состояния режущего инструмента, полученного методами пластической деформации. Для определения основных параметров и характеристик исследуемого или проектируемого процесса прессования применяются различные методы. Так, для получения данных о деформированном состоянии прессуемого металла применяют такой экспериментальный метод исследования характера течения металла, как метод координатной сетки, который применяется как на моделях, так и в производственных условиях прессования [1].

Сущность метода координатной сетки заключается в разделении заготовки по одной из профильных плоскостей симметрии на два равных полуцилиндра, на поверхность разъема которых наносят координатную сетку в виде продольных или поперечных канавок глубиной и шириной не менее 0,25–1,00 мм (в зависимости от размеров образцов), образующих квадраты или прямоугольники. В канавки, образующие сетки, закладывают проволоку или набивают их огнестойкой массой. Нанесенные ячейки сетки замеряют или фотографируют. Затем части заготовки составляются вместе и подвергаются прессованию, как цельное металлическое тело. После прессования заготовки разъединяются, а искаженная деформацией сетка измеряется.

Ввиду того, что поверхность разъема полуцилиндров является плоскостью симметрии, при одинаковых физических состояниях обоих полуцилиндров одновременная симметричная деформация их не может вызвать появления касательных напряжений в этой плоскости. Степень искажения плоскости разъема заготовки может служить качественным показателем совпадения плоскости сечения с главной плоскостью напряженно-деформированного состояния [2] и позволяет установить характер и количественные показатели происшедшей деформации.

Применяется также метод составных образцов, который заключается в том, что образец

для исследования делают составным из дисков или концентрических слоев исследуемого металла, а также из элементов других форм [3].

Метод вставок заключается в закладке в поверхностный слой образца вставок из металлов примерно одинаковой вязкости в условиях прессования [4].

Структурный метод заключается в изучении макро- и микрошлифов отдельных участков продольных и поперечных сечений отпрессованного образца вместе с прессостатком.

Поляризационно-оптический метод, или метод фотопластичности [5, 6], позволяет определить некоторые закономерности течения металла в процессах прессования, близких по своему состоянию к плоскодеформированному.

Метод твердости и структурный метод применять нецелесообразно, потому что деформация в реальном технологическом процессе осуществляется при температурах, превышающих порог рекристаллизации.

Наиболее целесообразно исследовать деформированное состояние прессуемых заготовок с использованием метода координатной сетки. При этом необходимо учитывать сложную конфигурацию режущего инструмента, который может иметь винтовые режущие грани, выполняться не только цельным, но и пустотелым и др. С учетом этих особенностей была разработана следующая методика эксперимента.

В тонкостенный стакан (рис. 1, *а*) вставляются полуцилиндрические элементы (рис. 1, *а*, *б*), имеющие на боковой стенке ячейки высотой H_0 и шириной A_0. На торцевой поверхности полуцилиндра наносится сетка, образующая концентрические полуокружности с радиусами R_1, R_2, …, R_n и 10 радиальных рисок, разбивающих полуокружности на 10 частей – т. е. угол $\gamma = 18°$.

Эти полуцилиндры вставляются в стакан, чередуясь с элементами, не имеющими координатной сетки. Вторая половинка образца аналогична вышеописанной. Риски, образующие координатную сетку, заполняются меловым порошком. Предложенная конструкция образца обеспечивает его разъем после деформации. Измерение элементов координатной сетки до деформации и после нее дает возможность оценить деформированное состояние по следующим параметрам.

1) Локальные вытяжки в различных сечениях по высоте образца (сечения I, II, III) на различном удалении от оси образца (сечения 1, 2, 3, …, *n*):

$$\lambda = \ln \frac{H_0}{H_1}, \qquad (1)$$

где H_0 и H_1 – высота ячеек соответственно до деформации и после деформации.

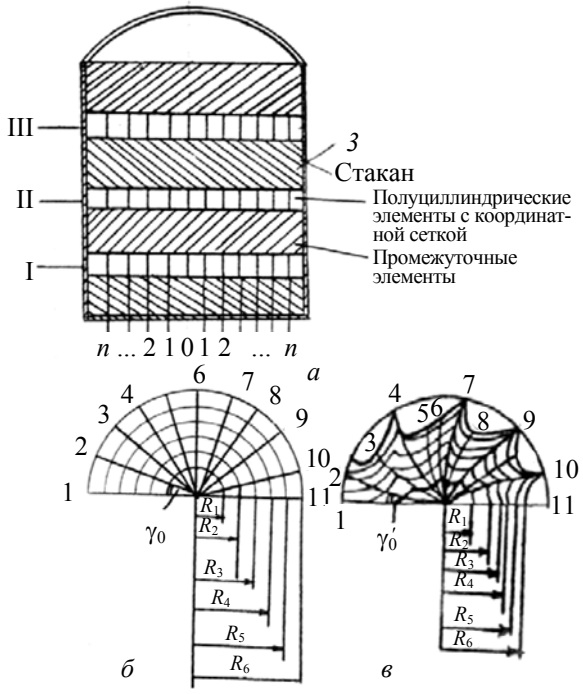


Рис. 1. Эскиз составной заготовки для исследования деформированного состояния крупногабаритного режущего инструмента:
а – тонкостенный стакан с полуцилиндрическими элементами; *б* – параметры координатной сетки на торце полуцилиндрического элемента; *в* – вид координатной сетки после деформации

2) Поперечные деформации (распределенные по те же сечениям, что λ):

$$\beta = \ln \frac{A_0}{A_1}, \qquad (2)$$

где A_0 и A_1 – ширина ячеек соответственно до деформации и после деформации.

3) Радиальные деформации в различных местах поперечного сечения и по высоте образца:

$$\delta = \ln \frac{R_n - R_{n-1}}{R_n' - R_{n-1}'}, \qquad (3)$$

где значения радиальных размеров без штриха – до деформации, а со штрихом – после деформации.

4) Угол закручивания радиальных линий (этот параметр определяется только для винтового инструмента) на различном удалении от оси заготовки (т. е. на расстоянии R_1, R_2, R_3, …, R_n) и на различных по высоте сечениях I, II, III:

$$\begin{aligned} \gamma_n &= f(\mathrm{I}, \mathrm{II}, \mathrm{III}, ..., N); \\ \gamma_n' &= f(1, 2, 3, ..., n). \end{aligned} \qquad (4)$$

Исследование деформированного состояния крупногабаритного режущего инструмента. Первоначально для исследования

деформированного состояния крупногабаритного режущего инструмента были использованы прошитые круглые заготовки, изготовленные из быстрорежущей стали Р6М5. Для изучения деформированного состояния при пластическом деформировании заготовок была использована описанная выше методика координатных сеток. Размеры ячеек сетки были приняты равными 2×2 мм. Предварительно сваренные части заготовок, на диаметральных плоскостях которых были нанесены сетки, подвергали выдавливанию на прессе при оптимальной для стали Р6М5 температуре 1320 К (1050°С) в диапазоне избранных степеней деформации (50–70%).

Измерения деформированной координатной сетки осуществляли с помощью оптического микроскопа с точностью 0,1 мм.

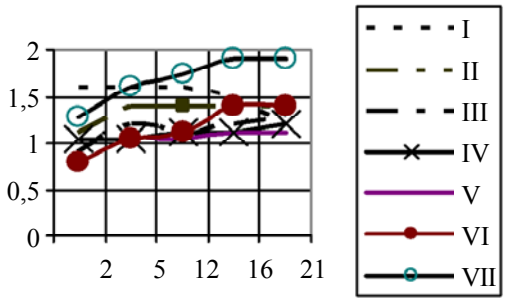
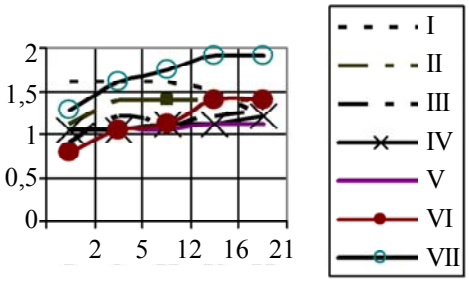


Рис. 2. Распределение частных деформаций вытяжки в режущем инструменте

Анализ экспериментальных данных пластического деформирования заготовок режущего инструмента с общей степенью деформации 80% показывает, что частные деформации вытяжки $\ln(b_0 / b)$ распределены по длине относительно равномерно. Некоторое уменьшение частных деформаций вытяжек наблюдается в периферийных слоях заготовки, находящихся в процессе выдавливания в стадии неустановившегося течения. Небольшим деформациям вытяжки подвергаются наружные слои заготовки, что объясняется различными контактными условиями трения центральных и периферийных слоев.

Наибольшие радиальные деформации $\ln(a_0 / a)$ наблюдаются в слоях, близлежащих к наружной поверхности (V–VI и VI–VII), что объясняется влиянием внешнего трения, приводящего к дополнительным сдвиговым деформациям и деформациям вытяжки в поверхностных слоях, а следовательно, и к увеличению в них частных деформаций сжатия.

Распределение частных деформаций вытяжки



Номер поперечного сечения

Рис. 3. Распределение частных радиальных деформаций в режущем инструменте

С удалением от переднего торца заготовки к прессутяжине радиальные деформации возрастают и достигают наибольших значений в зоне формирования прессутяжины.

Заключение. Исследования деформированного состояния заготовок режущего инструмента показали, что неравномерность частных деформаций незначительна как по длине, так и по сечению выдавленной заготовки. следовательно, при выбранных степенях деформации (до 80%) процесс деформирования заготовки осуществляется в стационарном режиме, без вероятности образования микро- и макротрещин, что обеспечивает получение качественного, высокопрочного инструмента.

Литература

1. Перлин, И. Л. Теория прессования металлов / И. Л. Перлин, Л. Х. Райтберг. – М.: Металлургия, 1975. – 446 с.

2. Смирнов-Аляев, Г. А. Экспериментальные исследования в обработке металла давлением / Г. А. Смирнов-Аляев, В. П. Чикидовский. – Л.: Машиностроение, 1972. – 358 с.

3. Колмогоров, В. Л. Механика обработки металлов давлением / В. Л. Колмогоров. – М.: Металлургия, 1986. – 689 с.

4. Макушок, Е. М. Новые методы исследования процессов обработки металлов давлением / Е. М. Макушок. – Минск: Наука и техника, 1973. – 293 с.

5. Губкин, С. И. Фотопластичность / С. И. Губкин, С. И. Добровольский, Б. Б. Бойко. – Минск: Издательство АН БССР, 1957. – 165 с.

6. Воронцов, В. К. Фотопластичность. Применение метода к исследованию процессов обработки металлов давлением / В. К. Воронцов, П. И. Полухин. – М.: Металлургия, 1969. – 400 с.

Поступила 14.03.2012

УДК 674.055

П. В. Рудак, кандидат технических наук, старший преподаватель (БГТУ);
А. А. Гришкевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой (БГТУ)

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ДЕРЕВОРЕЖУЩИХ ХВОСТОВЫХ ФРЕЗ НА УРОВЕНЬ ШУМА

В статье приводятся результаты экспериментального исследования уровней звукового давления (воздушного шума) в процессе обработки древесины различных пород, а также древесных материалов хвостовыми фрезами двух различных конструкций: с непрерывными и прерывистыми каналами отвода стружки из зоны резания. Установлено, что непрерывный канал для отвода стружки является источником повышенного уровня звукового давления как на холостых оборотах, так и при резании. Наибольший воздушный шум возникает при резании древесины дуба (95,3 дБА), а наименьший – при обработке MDF (80,9 дБА).

In the article results over of experimental research of levels of voice pressure (air noise) are brought in a process to treatment of wood of different breeds, and also arboreal materials by the end milling cutters of two different constructions: with continuous and irregular canals taking of shaving from the area of cutting. Experiments realized at the facility, established on the basis of the machining center CNC ROVER B 4.35 (BIESSE, Italy). Continuous drainage channel chip is exposed to high sound pressure levels, both at idle and during cutting. The largest air noise occurs during the cutting of oak (95,3 dBA), and the smallest – MDF (80,9 dBA).

Введение. На деревообрабатывающих предприятиях одной из актуальных проблем является сокращение уровней звукового давления (воздушного шума), основным источником которого является дереворежущий инструмент в процессе эксплуатации.

Одним из наиболее распространенных типов дереворежущего инструмента являются хвостовые фрезы. Хвостовые дереворежущие фрезы эксплуатируются при повышенных частотах вращения (10 000–24 000 мин$^{-1}$), имеют удлиненную рабочую часть и, в связи с этим, часто становятся источником высоких уровней звукового давления [1].

Конструкции современных хвостовых фрез разнообразны. На основании анализа литературно-информационных источников установлено, что для обработки древесных материалов широко используются монолитные (цельные) и сборные хвостовые фрезы.

В табл. 1 представлены хвостовые фрезы наиболее распространенных конструкций.

Обладая различными внешними очертаниями и структурой режущих элементов, хвостовые фрезы становятся источниками воздушного шума различных акустических параметров в процессе эксплуатации на различных режимах.

Кроме того, в процессе применения хвостовые фрезы позиционируют относительно заготовки с различной длиной консольной части, которая претерпевает различные упругие деформации, что может оказывать влияние на величину формируемого уровня звукового давления.

Проведены исследования уровней звукового давления при эксплуатации концевых фрез двух конструкций: с непрерывными и с прерывистыми межзубыми впадинами.

На рис. 1 представлен чертеж первой испытываемой хвостовой фрезы (монотонная межзубая впадина). На рис. 2 представлен чертеж второй испытываемой хвостовой фрезы (прерывистая межзубая впадина). Диаметры окружностей резания, число резцов, угловые характеристики хвостовых фрез двух конструкций не отличались.

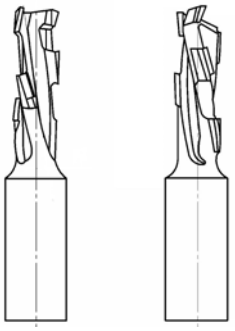


Рис. 1. Хвостовая фреза с монотонной межзубой впадиной (фреза 1)

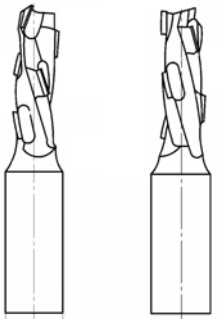
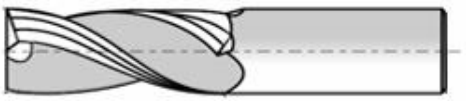
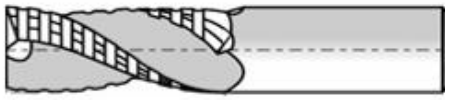
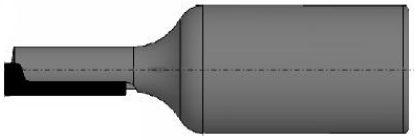
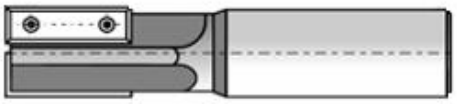


Рис. 2. Хвостовая фреза с прерывистой межзубой впадиной (фреза 2)

Таблица 1

Распространенные конструкции хвостовых фрез для обработки древесных материалов

Тип	Внешний вид концевой фрезы	Описание конструкции
Монолитные из твердого сплава		Монолитная со спиральным лезвием из твердого сплава
		Монолитная со спиральным разделенным лезвием из твердого сплава
Сборные с резцами из твердого сплава		Сборная с неразъемным креплением твердосплавного резца пайкой
		Сборная со спиральным разделенным лезвием из твердого сплава, сформированным неразъемным креплением твердосплавных резцов пайкой
		Сборная с механическим креплением твердосплавных резцов

Целью данной работы являлось установление на основе эксперимента влияния особенностей конструкции хвостового фрезерного инструмента на уровень звукового давления (воздушного шума) при обработке древесины и древесных материалов в широком диапазоне параметров режима резания.

Основная часть. Эксперименты осуществлялись на установке, созданной на базе обрабатывающего центра с ЧПУ ROVER B 4.35 (BIESSE, Италия). Использовался комплекс измерительный переносной K5101 (National Instruments, США), оснащенный микрофоном 4942-A-021 типа IEPE.

Выполнялись измерения среднего квадратичного значения звукового давления в логарифмическом масштабе при А-взвешивающем фильтре в частотном диапазоне 8–16 000 Гц при чувствительности микрофона 48,3 мВ/Па [2].

Предварительно было исследовано влияние положения хвостовой фрезы относительно заготовки (наибольший возможный вылет фрезы относительно заготовки (+1), наименьший возможный вылет фрезы (–1), среднее положение (0)) на уровень звукового давления. В эксперименте использовалась хвостовая фреза с монотонной межзубой впадиной (фреза 1), обладающая меньшим поперечным сечением корпуса и в несколько большей мере подверженная упругим изгибам под воздействием составляющих силы резания.

Режимы, при которых осуществлялся эксперимент, и результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2

Режимы эксплуатации хвостовой фрезы в эксперименте по влиянию положения фрезы относительно заготовки

Обрабатываемый материал	Положение фрезы	Частота вращения фрезы, n, мин$^{-1}$	Скорость подачи, м/мин	Уровень звукового давления (фреза 1), дБА	
				холостой ход	резание
ДСтП	1	12 000	6,6	77,6	85,2
	1	16 000	8,8	78,5	86,1
	1	20 000	11,0	83,9	90,3
	0	12 000	6,6	77,8	85,4
	0	16 000	8,8	78,3	86,3
	0	20 000	11,0	83,6	90,8
	–1	12 000	6,6	77,5	85,8
	–1	16 000	8,8	78,9	86,5
	–1	20 000	11,0	83,4	89,9

Анализ результата эксперимента показал, что положение хвостовой фрезы относительно заготовки не оказывает существенного влияния на уровень звукового давления при резании.

В связи с этим исследование влияния частоты вращения хвостовой фрезы на уровень звукового давления далее осуществлялось при положении инструмента медиально относительно обрабатываемого материала.

Режимы, при которых осуществлялся эксперимент, и результаты приведены в табл. 3.

Таблица 3

Влияние частоты вращения хвостовых фрез двух конструкций на уровень звукового давления

Обрабатываемый материал	Частота вращения, n, мин$^{-1}$	Скорость подачи, м/мин	Уровень звукового			
			фреза 1		фреза 2	
			хол. ход	рез	хол. ход	рез
MDF	12 000	6,6	78,4	85,9	74,7	84,4
	16 000	8,8	78,5	84,7	76,7	80,9
	20 000	11,0	82,4	88,9	82,4	87,0
ДСтП	12 000	6,6	78,8	85,4	73,2	82,8
	16 000	8,8	78,4	86,3	74,2	83,5
	20 000	11,0	82,9	91,2	76,1	87,7
Бук	12 000	6,6	77,1	92	74	88,6
	16 000	8,8	78,3	93,2	75,4	89,5
	20 000	11,0	85,1	95,7	82,1	92,3
Дуб	12 000	6,6	77,3	93,2	74,2	91,9
	16 000	8,8	78,3	91,5	73,8	90,5
	20 000	11,0	86,4	96,6	82,2	95,3
Береза	12 000	6,6	76,7	89,1	74,4	88,4
	16 000	8,8	77,9	89,7	73,8	89,2
	20 000	11,0	81	92,3	80,1	91,2
Среднее	12000		**77,66**		**74,1**	
	16000		**78,28**		**74,8**	
	20000		**83,56**		**80,6**	

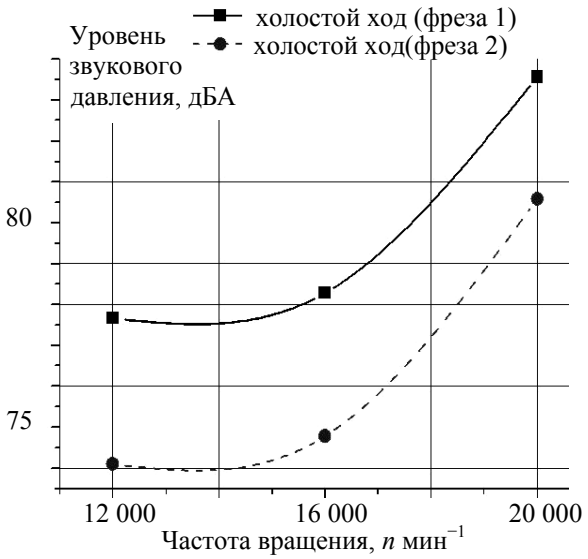


Рис. 3. Графики зависимостей уровней шума от частот вращения фрез (без резания)

По результатам экспериментальных исследований построены графические зависимости уровней звукового давления хвостовых фрез от частот их вращения при холостом ходе и в процессе резания при обработке древесины дуба, а также древесного материала – MDF (рис. 3, 4).

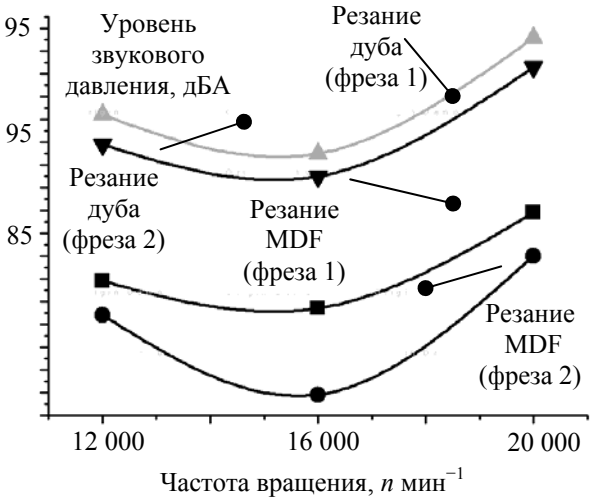


Рис. 4. Графики зависимостей уровней шума от частот вращения фрез при резании

Заключение. Непрерывный канал для отвода стружки является источником повышенного уровня звукового давления как на холостых оборотах, так и при резании.

Наибольший воздушный шум возникает при резании древесины дуба (95,3 дБА), а наименьший – при обработке MDF (80,9 дБА).

Литература

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

2. Месхи Б. Ч. Улучшение условий труда операторов металлорежущих станков за счет снижения шума в рабочей зоне (теория и практика) / Б. Ч. Месхи. – Ростов н/Д: Издат. центр ДГТУ, 2003. – 131 с.

Поступила 15.03.2012

УДК 674.055:621.934(043.3)

А. В. Алифанов, доктор технических наук, профессор (БрГУ), заведующий отделом (ФТИ НАН Беларуси); **А. А. Гришкевич**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой (БГТУ); **В. В. Чаевский**, кандидат физико-математических наук, доцент (БГТУ); **В. Н. Гаранин**, кандидат технических наук, ассистент (БГТУ)

ВЛИЯНИЕ TiN-ПОКРЫТИЙ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ НОЖЕЙ НА ЭКСПЛУАТАЦИЮ ДЕРЕВОРЕЖУЩЕГО ФРЕЗЕРНОГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ОБРАБОТКЕ ЛАМИНИРОВАННЫХ ДСтП

Проведены исследования влияния TiN-покрытий на поверхности ножей дереворежущего фрезерного инструмента на процесс износа ножей при открытом фрезеровании ламинированного ДСтП. TiN-покрытия были сформированы методом конденсации с ионной бомбардировкой на поверхности импортных ножей фрезерного инструмента. Элементный состав покрытий и инструмента, морфология поверхности ножей изучались с помощью рентгеноспектрального микроанализа и растровой электронной микроскопии. Установлено, что исследуемые импортные ножи имеют состав из твердого сплава типа ВК-3. При фрезеровании ламинированных ДСтП инструментом с двухлезвийными ножами с покрытиями TiN значение периода стойкости инструмента увеличивается на 20% в сравнении с инструментом без покрытия. Определен вид износа поверхности кромок твердосплавных ножей фрезерного инструмента как абразивно-химический.

The influence of TiN-coatings surface of cutters mill wood tools on wear of cutters for milling special woods was investigated. The TiN-coatings were formed on surfaces of import cutting inserts of mill tools by the method of condensation from a plasma phase in a vacuum with ion bombardment of surface. The element composition coatings and tools, the surface morphology of cutting tools were studied by X-ray microanalysis and transmission electron microscopy. The phase composition of import cutting tools is a hard alloy with type of WC-3. The tools consist of double-blade cutters with TiN coatings for milling special woods showed growth of wear resistance by 20% in comparison with bare tools. There is abrasive chemical type of wear on surface coating of cutters mill tools.

Введение. В настоящее время в Республике Беларусь наблюдается тенденция расширения ассортимента обрабатываемых материалов на основе древесины. Кроме того, для механической обработки древесины используется только импортный дереворежущий инструмент. Поэтому увеличение периода стойкости как основного показателя ресурса работы применяемого дереворежущего инструмента, создание новых материалов для изготовления отечественного дереворежущего инструмента является актуальной и экономически обоснованной задачей.

В сравнении с используемым ранее способом получения максимального значения периода стойкости дереворежущего инструмента за счет только расчета его рациональной конструкции и геометрии, нахождения оптимальных режимов резания [1] в настоящее время ведущие зарубежные фирмы по производству дереворежущего инструмента (Leitz, AKE, JSO, TIGRA, Stark, Gold, Schunk, Faba, LEUCO, KANEFUSA CORPORATION) инструмент для повышения периода его стойкости изготавливают из твердых сплавов или быстрорежущей стали с уникальной конфигурацией, широко применяя также твердосплавные напаенные пластинки [2].

Предлагаемый среди технологических новинок зарубежных компаний дереворежущий инструмент с применением синтетического алмаза, несмотря на привлекательную перспективу его использования, не всегда находит применение в условиях производства предприятий Республики Беларусь.

Одним из наиболее эффективных материалов для деревообработки с точки зрения износостойкости является нанесение на поверхность зуба твердого сплава на основе карбида вольфрама WC. На рынке Республики Беларусь дереворежущего фрезерного инструмента, используемого при обработке древесины и плитных материалов, для изготовления элементов фрез применяются в основном мелкозернистые с низким содержанием связующих компонентов твердые сплавы импортных производителей (табл. 1), что позволяет повысить надежность и стойкость фрез.

Среди наиболее эффективных способов модификации поверхности стальных и твердосплавных лезвий дереворежущих инструментов также является метод конденсации вещества из плазменной фазы в вакууме с ионной бомбардировкой поверхности (КИБ), существенно увеличивающий ресурс работы резцов [3].

Целью данной работы было получение TiN ионно-плазменных покрытий на поверхности лезвий ножей фирмы Leitz (Германия) фрезерного дереворежущего инструмента, исследование элементного состава импортных ножей, влияния покрытий на износ лезвий инструмента при обработке ламинированных ДСтП.

Таблица 1

Общая классификация твердых сплавов различных фирм производителей

Фирма производитель (страна)	Стандарт ISO										
	0,1	0,5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
(Россия)	ВК3 ВК3М				ВК6						
			ВП322				ВК8				
TIZIT			TW10								
			TW15								
					TW220						
					TW20		TW30		TW40		
		TSM10									
			TSM20								
					TSM30						
TIGRA	T03SMG										
		T04F			T06MF		T08MF		T10MF		T12MF
			T06MG		T06MG		T10MG				Tigra
Ceranetal			HC05		HC20		HC27				
							HC35				
Ceratizil	BC01										
		BC05	BC10		BC20		TS30				

Основная часть. На деревообрабатывающих предприятиях часто сталкиваются с большими трудностями при выборе материала для дереворежущего инструмента. Исходя из каталогов фирм-производителей твердого сплава, можно выделить основные свойства, характеризующие твердые сплавы:

1) размер зерна (табл. 2);
2) количество связующего вещества.

От этих характеристик зависят физико-механические свойства твердого сплава.

Таблица 2

Маркировка зерен твердых сплавов

Маркировка	Размер зерна, мкм
NG	<0,2
UMG	0,2–0,5
SMG	0,5–0,7
MG	0,7–1,0
F	1,0–1,4
MF	1,4–2,5
M	2,5–4,0
C	4,0–10
EC	10>

Установлено, что количество связующего материала (кобальта) влияет на стойкость и восприятие ударных нагрузок. Чем выше содержание кобальта, тем выше предел прочности инструмента.

Несмотря на то, что с увеличением размера зерна улучшается стойкость инструмента, подготовка инструмента с небольшими углами заострения становится затруднительной. Снижение размера зерна (при неизменной концентрации связующего вещества) ведет не только к снижению стойкости инструмента, но и к более равномерному износу ножа, что дает возможность более качественно вести подготовку инструмента.

На рис. 1 представлена схема взаимодействия режущего элемента ножа с обрабатываемым плитным древесным материалом.

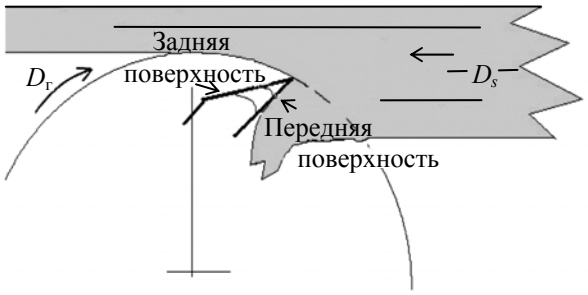


Рис. 1. Схема взаимодействия режущего элемента фрезы с обрабатываемым материалом

Специфика обработки плитных материалов, в отличие от резания натуральной древесины, заключается в том, что по передней поверхности отсутствует образование стружки [4]. Эта особенность отражается на характере износа режущего элемента (более интенсивная потеря режущей способности по его задней поверхности).

Из этого следует, что упрочнение режущих элементов следует проводить по их задней поверхности, что позволит, с одной стороны, снизить основной износ ножа, а с другой – сохранить упрочненный слой после восстановления режущей способности.

TiN-покрытия осаждались на поверхность двухлезвийных ножей хвостовых фрез методом КИБ на установке ВУ-1Б «Булат» на кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов (ДОСиИ) БГТУ в два этапа – с предварительной обработкой ионами титана в вакууме 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 атмосфере азота при давлении 10^{-1} Па [5]. Для получения высокой адгезии покрытия к лезвию ножа варьировалось время предварительной ионной очистки и время непосредственного осаждения покрытия. Температура при осаждении покрытия соответствовала 400 – 450ºС. Толщина полученных покрытий не превышала 1,5 мкм.

Для выяснения элементного состава импортного инструмента, механизма износа лезвий инструмента и определения периода стойкости ножей с TiN-покрытиями при обработке ДСтП были выполнены с помощью методов рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) и растровой электронной микроскопии (РЭМ) на сканирующем электронном микроскопе JSM-5610 LV (Япония) фрактографические исследования морфологии и элементного состава изношенных режущих кромок лезвий инструмента. Лабораторные испытания на износостойкость лезвий ножей сборной фрезы диаметром 21 мм при резании ламинированной ДСтП толщиной 25 мм с двусторонней отделкой пластей проводились на кафедре ДОСиИ БГТУ на обрабатывающем центре ROVER-B 4.35 (Италия) 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. Критерием потери режущей способности резца являлось появление сколов отделки плиты.

Ранее установлено, что TiN-покрытия, осажденные методом конденсации вещества из плазменной фазы в вакууме с ионной бомбардировкой поверхности на неперетачиваемые твердосплавные ножи (производство – Германия), имеет ОЦК структуру с текстурой (111), формирование которой связано с ростом зерен в направлении плазменного потока [5].

В результате выполненной работы по формированию TiN-покрытий на поверхности двухлезвийных ножей инструмента была определена оптимальная геометрия расположения кромок лезвий ножей при осаждении покрытия – поверхность кромок лезвий ножей должна полностью находиться в зоне плазменного потока.

Установлено, что состав испытуемых ножей WC ~ 96%, Co ~ 4% (табл. 3) соответствует твердому сплаву ВК-3.

Таблица 3

Результаты определения состава ножей

Элемент	Концентрация, ат. %	Погрешность измерения, ат. %
C	32,89	0,22
W	62,86	0,33
Co	4,25	0,34

Согласно данным табл. 1, материал импортного инструмента соответствует мелкозернистому твердому сплаву T03SMG фирмы TIGRA. Использование представленного материала для изготовления фрезерного инструмента, эксплуатируемого при обработке плитных материалов и древесины, обосновано снижением вероятности вырыва зерен карбидов из кобальтовой связки. Это в конечном итоге приводит к повышению надежности дереворежущего инструмента и его периода стойкости.

Исследования морфологии поверхности изношенных кромок лезвий ножей подтверждают вывод о мелкодисперсном характере структуры материала ножей (рис. 2). На основании данных РЭМ можно предположить, что размер зерен Co в структуре материала ножей менее 0,1 мкм.

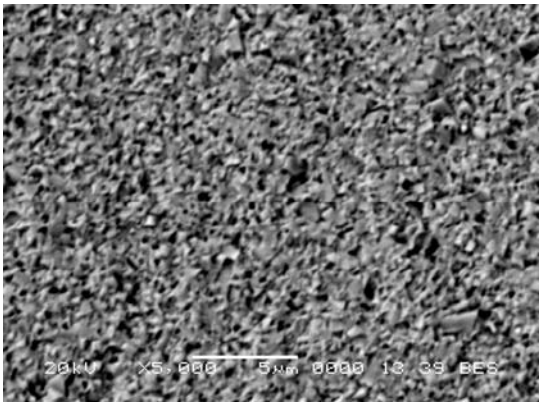


Рис. 2. РЭМ-изображение поверхности изношенной кромки лезвия ножа

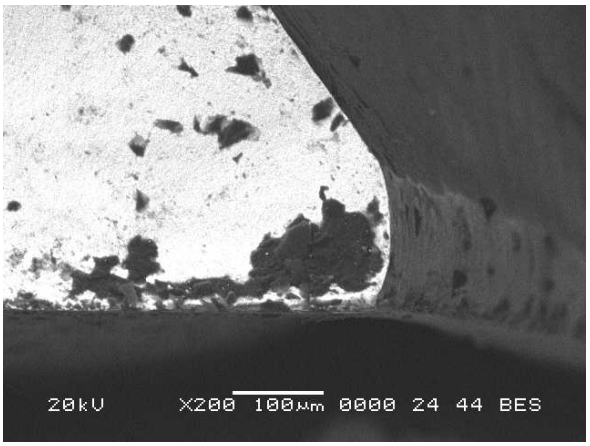
Результаты расчета размеров изношенных кромок ножей при резании плиты (табл. 4), выполненные на основании измерения режущих кромок на РЭМ-снимках (рис. 3), показали, что максимальное значение периода стойкости имеют лезвия ножей с наибольшей полученной толщиной TiN-покрытия.

Таблица 4

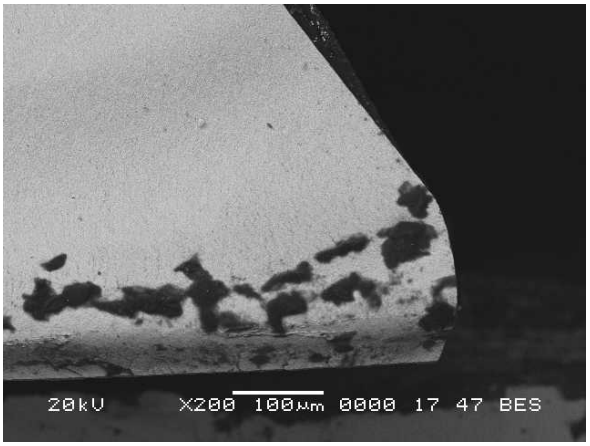
Параметры осаждения TiN-покрытия и результаты расчета размеров изношенных кромок ножа

№ ножа	Время ионной очистки ножа, с	Время осаждения TiN-покрытия на нож, мин	Напыляемая кромка ножа	Размеры кромок ножа $b \times a$, мкм, при фрезеровании ламинированного слоя ДСтП (b – задняя кромка ножа, a – передняя кромка ножа)	Толщина h TiN-покрытия кромки ножа, мкм
1	–	–	–	245×165	0
2	80	5	задняя	230×145	0,5
3	80	10	задняя	210×140	0,8
6	140	10	задняя	45×34	1,2

Ранее установлено, что рабочая поверхность твердосплавных ножей без покрытия подвержена хрупкому разрушению в виде скалывания и выкрашивания в процессе эксплуатации [6].



а



б

Рис. 3. РЭМ-изображение поверхности торца лезвия ножа без покрытия (*а*), лезвия ножа (№ 3) с TiN-покрытием (*б*) после резания ДСтП

На основании полученных РЭМ-снимках изношенных кромок лезвий с TiN-покрытиями (рис. 4) можно заключить, что данные покрытия на поверхности резца не меняют характер износа режущей кромки инструмента.

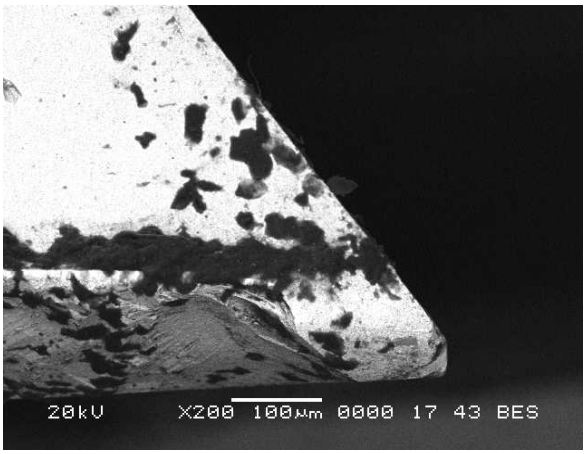


Рис. 4. РЭМ-изображение изношенного лезвия задней кромки ножа (№ 6) с TiN-покрытием после резания ламинированного ДСтП

Промышленные испытания периода стойкости инструмента с неперетачиваемыми режущими пластинами с TiN-покрытиями, проведенные на ОАО «Минскдрев» (г. Минск) при резании ДСтП, показали увеличение периода стойкости инструмента с покрытиями на 20% по сравнению с резцами без покрытия.

Заключение. Установлено, что испытываемые ножи дереворежущего фрезерного инструмента имеют состав мелкозернистого твердого сплава типа ВК-3 и соответствуют материалу ножей импортного инструмента марки T03SMG фирмы TIGRA (Германия).

В связи с тем, что характер износа ножа связан с более интенсивной потерей режущей способности по его задней кромке, упрочнение режущих элементов необходимо проводить по их задней поверхности, что позволит, с одной стороны, снизить основной износ ножа, а с другой – сохранить упрочненный слой после восстановления режущей способности.

Осажденные методом КИБ TiN-покрытия на импортные двухлезвийные ножи из твердых сплавов типа ВК-3 хвостовых фрез обеспечивают при обработке материалов из ламинированных ДСтП существенное повышение периода стойкости режущего инструмента. Максимальное значение периода стойкости имеют лезвия

ножей с наибольшей полученной толщиной TiN-покрытий. Опытно-промышленные испытания модифицированного инструмента с TiN-покрытиями на ОАО «Минскдрев» (г. Минск) подтверждают актуальность проведенных исследований, а также необходимость повышения периода стойкости и тем самым ресурса работы дереворежущего инструмента.

При резании ламинированных ДСтП двухлезвийными твердосплавными ножами наблюдается абразивно-химический вид износа поверхности твердосплавных лезвий фрезерного инструмента.

Литература

1. Кузнецов, А. М. Износостойкость твёрдосплавного инструмента при обработке ДСТП / А. С. Янюшкин, А. М. Кузнецов // Технология машиностроения. – М.: Издат. центр «Технология машиностроения», 2008. – № 11. – С. 29–31.

2. Каталоги фирм: Leitz, Leuco, Guhdo, Stehle, Faba, Freud. – 2008–2009.

3. Гришкевич, А. А. Влияние ионно-плазменных покрытий на износостойкость стальных резцов при резании древесины на фрезерно-брусующих станках / А. А. Гришкевич, В. В. Чаевский // Труды БГТУ. Сер II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2010. – Вып. XVIII. – С. 348–351.

4. Раповец, В. В. Практические результаты экспериментальных исследований резания древесины двухлезвийными резцами на фрезерно-брусующих станках / В. В. Раповец // Труды БГТУ. Сер II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2008. – Вып. XVI. – С. 205–208.

5. Эффективность применения TiN-, ZrN-, Ti–Zr–N- и Ti-покрытий на твердосплавных резцах при обработке ламинированных древесностружечных плит концевыми фрезами / А. А. Гришкевич [и др.] // Труды БГТУ. Сер. VI, Физ.-мат. науки и информатика. – 2008. – Вып. XVI. – С. 52–54.

6. Моисеев, А. В. Контактные явления в микрообласти лезвия при резании древесины и их влияние на природу затупления инструмента: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.03.01 / А. В. Моисеев; Моск. гос. ун-т леса. – М., 1983. – С. 15–16.

Поступила 19.03.2012

УДК 674.055.621.54(035)

С. А. Гриневич, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);
В. Н. Гаранин, кандидат технических наук, ассистент (БГТУ); **Д. А. Ревяко**, магистрант (БГТУ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ НА МОЩНОСТЬ ХОЛОСТОГО ХОДА В ПРИВОДЕ РЕЗАНИЯ СТАНКА UNIMAT 23 EL

Определены экспериментальные значения мощности холостого хода привода резания четырехстороннего фрезерного станка Unimat 23 EL при различных частотах вращения инструмента и для различных типов инструмента. Экспериментально установлено, что зависимость мощности холостого хода привода резания от частоты вращения носит криволинейный характер, а от квадрата частоты вращения близка клинейной. Это противоречит теоретическим данным, полученным путем расчетов по методике для металлорежущих станков. Следовательно, методика расчета мощности холостого хода является неприменимой к дереворежущим станкам не только вследствие большого расхождения расчетных и опытных значений, но и по причине несоответствия характера экспериментальных и расчетных зависимостей.

Experimental values of capacity at idling of a quadrilateral milling machine Unimat 23 EL cutting drive are defined at various tool rotation speed and various tool types. It is experimentally established that dependence of cutting drive idling capacity on tool rotation speed has curvilinear character, and dependence of cutting drive idling capacity on tool rotation speed square is close to the linear. It contradicts the theoretical data received by a way of calculations by a technique for metalcutting machines. Accordingly, the idling capacity calculating technique is inapplicable to woodcutting machines not only owing to big divergence of calculated and experimental values, but also because of character discrepancy of experimental and settlement dependences.

Введение. Современные дереворежущие станки являются высокопроизводительным оборудованием. Увеличение производительности деревообрабатывающего оборудования и требования высокого качества обработки предопределяют применение высоких частот вращения инструмента, особенно для фрезерного инструмента. Однако увеличение частоты вращения инструмента и промежуточных звеньев кинематической цепи ведет к увеличению затрат мощности, не связанных с резанием.

Мощность, расходуемая приводом, включает в себя не только мощность на резание, но и мощность холостого хода. Мощность холостого хода – мощность, затрачиваемая источником энергии на вращение привода при отсутствии полезной нагрузки. Эта мощность затрачивается на работу сил трения в опорах и уплотнениях механизмов привода, аэродинамические потери и т. п. [1, с. 133–136].

В литературе [2, с. 241–244] исследовалось влияние частоты вращения правого вертикального шпинделя станка Unimat 23 EL на мощность холостого хода. Результаты экспериментов сопоставлялись с расчетными величинами. При этом для теоретических расчетов применялась методика определения мощности холостого хода для металлорежущих станков, поскольку для дереворежущих станков соответствующей методики не существует. Выявлено, что рассматриваемая методика расчета мощности холостого хода неприменима к приводу станка Unimat 23 EL вследствие больших расхождений расчетных и опытных значений мощности холостого хода (200–525%).

В данной работе исследуется влияние частоты вращения шпинделя на мощность холостого хода привода резания.

Основная часть. Описание экспериментальной установки приведено в работе [2, с. 241–242].

Для проведения экспериментальных исследований использовались фрезы трех типов:

– фреза с креплением PowerLock (которая использовалась при проведении экспериментов в исследованиях [2, с. 241–244]);

– алюминиевая фреза с креплением с непосредственной посадкой на шпиндель (через переходник HSK) с множеством ножевых элементов на длине фрезы;

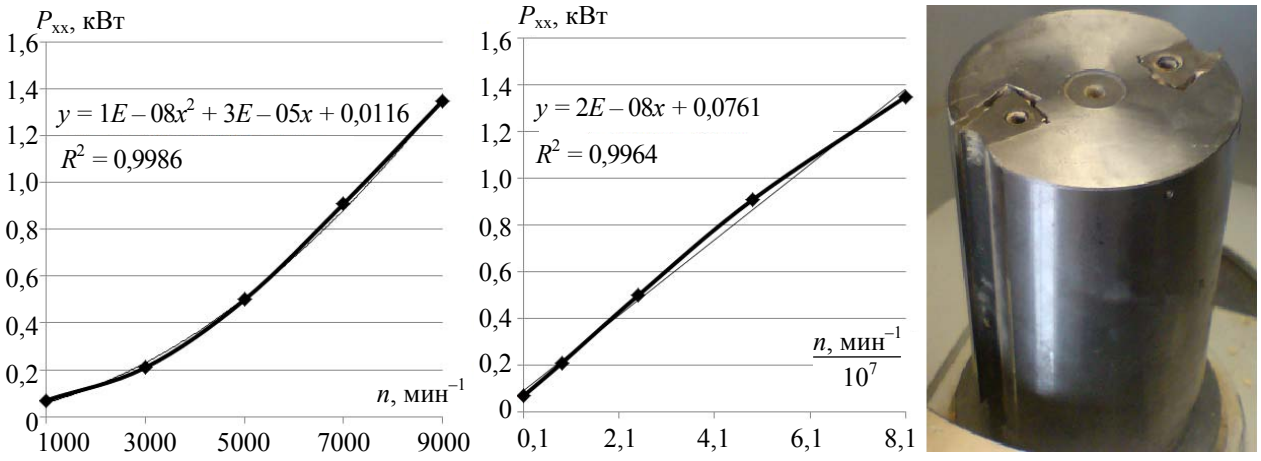
– набор из четырех фрез с креплением с непосредственной посадкой на шпиндель (через переходник HSK).

Параметры фрез (диаметр резания d, длина фрезы или суммарная длина фрез в случае с набором фрез b, тип крепления, материал корпуса) приведены в табл. 1. Фотографии фрез представлены на рис. 1, *в*; 2, *в*; 3, *в*.

Исследования проводились при частотах вращения инструмента от 1000 мин$^{-1}$ до 9000 мин$^{-1}$.

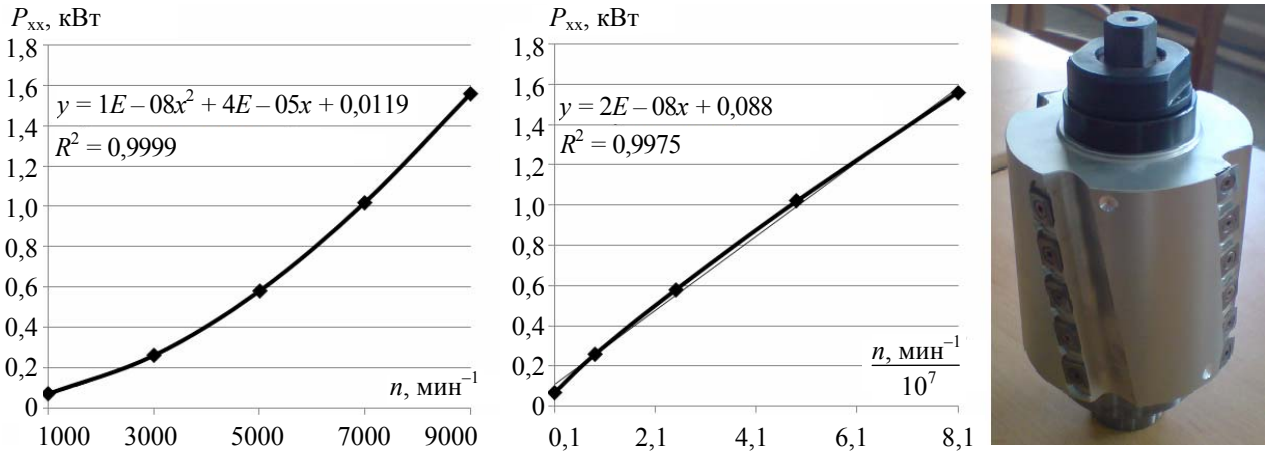
В результате проведения экспериментов получены значения мощности холостого хода P_{xx} в зависимости от частоты вращения инструмента n для каждого инструмента (табл. 2).

По данным табл. 2 для фрезы каждой конструкции строим графики зависимости мощности холостого хода от частоты вращения и производим их аппроксимацию (рис. 1, *а*; 2, *а*; 3, *а*).



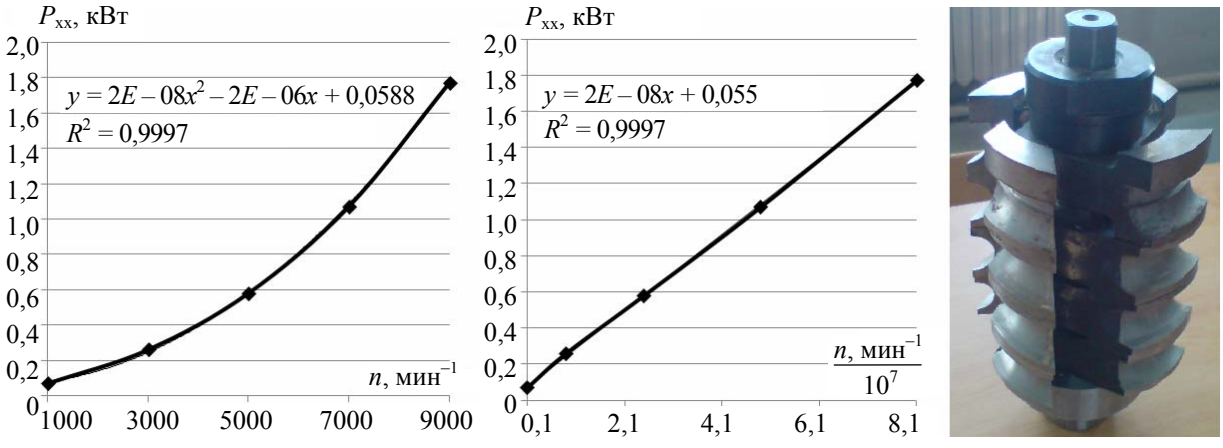
а *б* *в*

Рис. 1. График зависимости мощности холостого хода при использовании фрезы 1:
а – от частоты вращения инструмента и аппроксимация кривой графика; *б* – от квадрата частоты вращения инструмента и аппроксимация кривой графика; *в* – фотография фрезы 1



а *б* *в*

Рис. 2. График зависимости мощности холостого хода при использовании фрезы 2:
а – от частоты вращения инструмента и аппроксимация кривой графика; *б* – от квадрата частоты вращения инструмента и аппроксимация кривой графика; *в* – фотография фрезы 2



а *б* *в*

Рис. 3. График зависимости мощности холостого хода при использовании фрезы 3:
а – от частоты вращения инструмента и аппроксимация кривой графика; *б* – от квадрата частоты вращения инструмента и аппроксимация кривой графика; *в* – фотография фрезы 3

Очевидно, что характер зависимостей для разных фрез идентичен в указанном диапазоне частот вращения (все кривые описываются полиномом второй степени). На рис. 1, *б*; 2, *б*; 3, *б* представлены графики, для построения которых использовались те же данные мощности холостого хода, но эти графики построены в зависимости от квадрата частоты вращения режущего инструмента. Полученные графики близки к линейным. Последнее указывает на то, что мощность холостого хода прямо пропорциональна квадрату частоты вращения. В то время как по расчетным данным [2, с. 241–244] мощность холстого хода шпинделя является преобладающей в общем балансе мощности холостого хода привода резания. Согласно формулам (1) [1, с. 135] и (2) [3, с. 194], ее значение прямо пропорционально частоте вращения.

Таблица 1

Параметры фрез

Параметр	Фреза		
	1	2	3
Диаметр резания *d*, мм	93	130	125
Длина корпуса фрезы *b*, мм	100	140	148
Материал	Сталь	Алюминий	Сталь
Тип крепления	Power-Lock	С непосредственной посадкой на шпиндель (через переходник HSK)	С непосредственной посадкой на шпиндель (через переходник HSK)

Таблица 2

Результаты экспериментов

n, мин$^{-1}$	$P_{хх}$, кВт		
	Фреза 1	Фреза 2	Фреза 3
1000	0,07	0,07	0,07
3000	0,21	0,26	0,26
5000	0,50	0,58	0,58
7000	0,91	1,02	1,07
9000	1,35	1,56	1,77

Мощность холостого шпинделя определяется по формуле

$$P_{хш} = k_м k_{шп} n \frac{d_{шп}}{10^6}, \qquad (1)$$

где $k_м$ – коэффициент, характеризующий сложность конструкции элементов привода и качество изготовления; $k_{шп}$ – коэффициент, учитывающий потери на трение в шпиндельном узле; $d_{шп}$ – диаметр шпинделя механизма резания в передней опоре, мм.

Мощность холостого хода привода резания определяется по формуле

$$P_{хш} = \frac{d_1}{10^6}\left(\sum n + k_1 \frac{d_0}{d_1} n_0\right) k_2, \qquad (2)$$

где d_1 – средний диаметр шеек под подшипник всех промежуточных валов, мм; $\sum n$ – сумма частот вращения всех промежуточных валов, мин$^{-1}$; n_0 – частота вращения шпинделя, мин$^{-1}$; k_1 – коэффициент, учитывающий повышенные за счет предварительного натяга потери в шпиндельном узле; d_0 – диаметр шеек шпинделя, мм; k_2 – коэффициент, учитывающий совершенство системы смазывания.

Мощность холостого хода для всего привода не является постоянной величиной. Ряд потерь холостого хода возрастает пропорционально квадрату скорости, например, потери на преодоление сил трения, возникающих под действием центробежных сил, аэродинамические потери. При эксплуатации металлорежущих станков используются небольшие частоты вращения инструмента (как правило, до 3000 мин$^{-1}$). Так как диапазон частот мал, зависимость мощности холостого хода от частоты вращения инструмента можно считать линейной. В то время как для дереворежущих станков применяются высокие частоты вращения инструмента. При этом затраты мощности существенно увеличиваются и зависимость линейной считать нельзя. Следовательно, линейная зависимость мощности холостого хода от частоты вращения привода не может быть применена для расчетов деревообрабатывающих станков, работающих в более широких диапазонах скоростей.

Заключение. Экспериментально установлено, что зависимость мощности холостого хода привода резания от частоты вращения носит криволинейный характер, а от квадрата частоты вращения близка к линейной. Это противоречит теоретическим данным, полученным путем расчетов по методике для металлорежущих станков. Следовательно, методика расчета мощности холостого хода, приведенная в литературе [1, с. 133–136], является неприменимой к дереворежущим станкам. Причем, не только вследствие большого расхождения расчетных и опытных значений, но и по причине несоответствия характера экспериментальных и расчетных зависимостей.

Литература

1. Кучер, И. М. Металлорежущие станки. Основы конструирования и расчета / И. М. Кучер. – Л.: Машиностроение, 1975. – С. 133–136.

2. Гаранин, В. Н. Исследование затрат мощности на холостой ход в приводе механизма резания станка Unimat 23 EL / В. Н. Гаранин, Д. А. Ревяко // Труды БГТУ. – 2011. – № 2 (140): Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 241–244.

3. Пуш, В. Э. Металлорежущие станки: учебник для машиностроительных втузов / В. Э. Пуш. – М.: Машиностроение, 1985. – С. 194.

Поступила 14.03.2012

УДК 613.6.027:674

Г. А. Чернушевич, старший преподаватель (БГТУ);
В. В. Перетрухин, кандидат технических наук, доцент (БГТУ)

ПРОГНОСТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНИВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА ЗДОРОВЬЯ РАБОТАЮЩИХ (НА ПРИМЕРЕ ОАО «ИВАЦЕВИЧДРЕВ»)

В статье проведен анализ методик оценки профессионального риска здоровья работающих. Рассмотрена идентификация опасностей, оценка профессиональных рисков, порядок подготовки и реализации мероприятий по снижению рисков. Оценка рисков представляет собой процесс значительно более глубокого исследования всех возможных вредных и опасных факторов производственной среды и трудового процесса для выявления, в каких ситуациях они могут нанести вред здоровью работающего и насколько серьезным может быть этот вред.

The article dissects the techniques for occupational risk assessment, oj workers health. The aufhor considers danger indentijication, occupational risk assessment, order of risk arrangements decnease its reoliration. Risk assessment represents much deeper investigation process of all possible dangerous and harmful factors oj manufacturing and occupational process. This process lights the situations in which these factors can badly affect the worker′s health and determines the severity of this effect.

Введение. Цель работы – рассмотрение методик прогнозной оценки профессионального риска здоровья работающих.

В настоящее время общеизвестны системы управления (менеджмента) качества, создаваемые на основе международных стандартов серии ISO 9000 Международной организации по стандартизации (ISO).

Спецификация OHSAS 18001 «Система менеджмента профессионального здоровья и безопасности» по структуре и идеологии управления соответствует международным стандартам ISO 9001 и ISO 14001. Общие требования OHSAS 18001 к системам управления охраной труда используются в практике многих стран, хотя он и не является официальным международным стандартом [1].

На основе OHSAS 18001 Госстандартом Республики Беларусь с 2005 г. введен СТБ 18001-2005 «Системы управления охраной труда. Общие требования» и государственный стандарт СТБ 18002-2005 «Руководство по применению СТБ 18001-2005» с рекомендациями организациям по внедрению системы управления охраной труда.

В настоящее время в Республике Беларусь действует стандарт СТБ 18001-2009. На его основе можно строить в любой организации систему управления охраной труда.

Система управления охраной труда (СУОТ) – часть общей системы управления организацией, обеспечивающая управление рисками в области охраны труда, охраны здоровья и безопасности труда, связанных с деятельностью организации.

В целях снижения производственного травматизма в соответствии со статьей 13 Закона Республики Беларусь «Об охране труда» (2009 г.) работодатель обязан обеспечить идентификацию опасностей, оценить профессиональные риски, подготовить и реализовать мероприятия по снижению рисков с проведением анализа их эффективности.

Основная часть. Понятие «профессиональный риск» в деятельность по охране труда впервые было введено в декрете Президента Республики Беларусь (2003 г.) «Об обязательном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний». Указом Президента Республики Беларусь (2006 г.) «О страховой деятельности» было введено новое понятие «профессиональный риск».

Сложность решения задач по оценке профессионального риска для нашей страны во многом обусловлена тем, что долгие годы у нас не практиковалось использование даже самого термина *«риск»*.

В Республике Беларусь накоплен существенный опыт по разработке, внедрению и сертификации систем управления охраной труда в соответствии с СТБ 18001.

В СТБ 18001-2009 в понятие *«риск»* внесено иное в сравнении с СТБ 18001-2005 содержание. В настоящее время риск включает:

– профессиональный риск (в понимании Закона Республики Беларусь «Об охране труда»;

– иной риск, связанный с деятельностью подрядных организаций, поставщиков, других работающих, заказчиков, клиентов и т. д.

При таком определении, если нет «иного риска», то понятие «риск» тождественен «профессиональному риску».

В связи с тем, что в деятельности по охране труда рассматривается только один риск – ***риск повреждения здоровья работающего,*** словесные сочетания типа «производственные риски», «риски организации в области охраны труда», «риски деятельности организации», на наш

взгляд, должны быть выведены из оборота.

Опасность нельзя устранить или снизить. От опасности можно защитить работающего, или, выражаясь по-современному, снизить риск повреждения здоровья работающего от соответствующей опасности.

Результаты оценки рисков должны стать исходными в осуществлении всей последующей деятельности по охране труда. Неточные и ненадежные результаты оценки рисков могут послужить основанием для принятия ошибочных решений и серьезных материальных потерь вследствие осуществления таких решений.

Риск – категория многофакторная. Сложность его оценки состоит в том, что при этом должны быть учтены не только влияющие на состояние здоровья и работоспособность работающего вредности и опасности производственной среды и характер трудового процесса, но и личностные факторы, зависящие от поведения работающего и степени исполнения им требований безопасности и гигиены труда, а также действия других юридических и физических лиц [2].

Существуют многочисленные подходы к изучению рисков, связанных со здоровьем и безопасностью человека:

– методы страховой статистики, основывающейся на массовом наблюдении случаев утраты здоровья из-за несчастных случаев и заболеваний;

– методика оценки риска по шкале Россера, используемая для количественного анализа детерминированных эффектов, а также для определения зависимости между степенью травмирования и потерянным временем жизни человека;

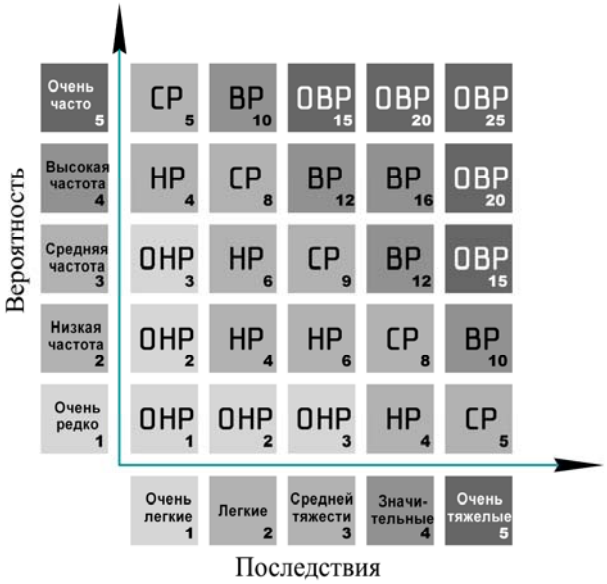
– оценка с помощью карт опасности. Во многих государствах ЕС широкое распространение получили матрицы риска, которые ощутимо облегчают процесс классификации риска.

О методиках оценки рисков. На сегодняшний день существует большое число методик как общей оценки профессионального (производственного) риска, так и оценок риска при воздействии отдельно взятых факторов, которые применяются в различных отраслях промышленности.

Условно все используемые методы оценки величины профессионального риска можно разделить на количественные и качественные.

Рассмотрим наиболее простой *метод качественного* предварительного анализа, особенно когда отсутствуют необходимые данные или их очень мало, – это метод диаграмм в системе координат «Вероятность события (ось *y*) – последствия события (ось *x*)» (рисунок). Такие диаграммы, как правило, представляются в категории риска от соотношения вероятности события и тяжести его последствий (таблица).

Матрица рисков показывает зависимость уровня (категории) риска от соотношения вероятности события и тяжести его последствий.



Матрица риска

Пояснения к матрице риска

Уровень (категория) риска	Величина риска	Что надо делать?
ОНР (очень низкий риск)	1–3	Выполнение текущих процедур
НР (низкий риск)	4–6	Выполнение специфических процедур ответственным исполнителем по охране труда
СР (средний риск)	5–9	Требуется соответствующий мониторинг и выполнение специальных процедур и требований
ВР (высокий риск)	10–16	Требуются плановые действия, информирование высшего руководства для принятия решений
ОВР (очень высокий риск)	15–25	Требуются незамедлительные действия

Вероятность и последствия опасного события условно делятся на пять категорий, каждая из которых характеризуется качественными характеристиками: *очень низкая*, *низкая, средняя*, *высокая и очень высокая.* Затем этим категориям присваиваются соответствующие цвета опасности, или баллы, например, от 1 до 5. Величина риска будет равна произведению баллов, характеризующих вероятность события и

его последствия. Так, очень часто происходящее событие, оцениваемое экспертами в 5 баллов, приводящее к легким последствиям, оцениваемым в 2 балла, представляет высокий уровень риска с величиной 10 баллов.

Этот метод оценки представляется несколько упрощенным, так как в нем не учитывается так называемый человеческий фактор, лежащий в основе 60…70% несчастных случаев.

Количественные методы оценки рисков могут быть прямыми и косвенными.

Прямые методы оценки рисков предполагают выявление потенциальных опасностей, экспертное оценивание вероятности их проявления в различных вариантах, в том числе и возможной тяжести последствий реализации каждого варианта.

Косвенные методы оценки рисков не предполагают непосредственного выявления и идентификации опасностей на рабочих местах и при выполнении производственных операций. Сущность косвенной оценки рисков основана на предположении учета всех (или большей части) опасностей в нормативных актах по охране труда, промышленной и пожарной безопасности (государственных, отраслевых и др.).

Несмотря на то, что существуют более точные методы оценки профессионального риска, основанные на использовании математического аппарата, на практике более распространенными являются упрощенные экспертные оценки рисков. Иногда применение таких методов является просто необходимым (в частности, для целых отраслей).

В настоящее время около 90% организаций Республики Беларусь для оценки профессиональных рисков в ходе разработки и сертификации систем управления охраной труда в основном пользуются методом оценки рисков по вероятности их возникновения и серьезности последствий. Данный метод взят за основу в «Методических рекомендациях. Системы управления охраной труда. Порядок проведения работ по оценке рисков в области охраны труда», утвержденных Государственным комитетом по стандартизации Республики Беларусь, и рекомендован для организаций, в которых зафиксированы несчастные случаи и травматизм за длительный период времени. Оценка рисков (R) заключается в нахождении произведения между вероятностью возникновения опасности (P) и серьезностью последствий воздействия опасности (S):

$$R = P \cdot S,$$

где R – величина риска; P – вероятность возникновения опасности; S – серьезность последствий возникновения опасности.

При отсутствии статистических данных оценка вероятностей возникновения опасности может осуществляется по качественным характеристикам. Оценку рисков по данной методике в организациях проводит, как правило, сам наниматель, часто – с привлечением независимых экспертов. Поэтому полнота проделанной работы во многом зависит от квалификации и опыта эксперта, который, основываясь только на своих знаниях, опыте, ощущениях, решает, к какой категории отнести вероятность и тяжесть нежелательных последствий. В этом видна большая доля субъективизма, т. е окончательные результаты во многом зависят от квалификации и опыта эксперта, что не позволяет говорить об их достоверности и объективности.

На практике также используется и метод оценки рисков на основе системы Элмери, основанный на определении индекса безопасности, который равен отношению:

$$\frac{\text{пункты «хорошо»}}{\text{пункты «хорошо»} + \text{пункты «плохо»}} 100\% .$$

Например, соотношение 60% показывает, что 60 пунктов из 100 соответствуют предъявляемым требованиям. Основным недостатком системы Элмери является то, что все факторы, оказывающие влияние на безопасность труда, принимаются равнозначными без учета их весомости (например, отсутствие ограждений на при работе на высоте и недостаточная ширина проходов между столами в бухгалтерии).

Эта система не затрагивает оценки конкретных рисков – процессов выявления и идентификации опасностей на рабочих местах. Применение данной системы позволяет планировать мероприятия по охране труда с конкретной целью – для устранения выявленного несоответствия.

Однако, как показывает практика, ряд трудностей и вопросов вызывают идентификация опасностей и оценка связанных с ними рисков на рабочих местах.

Оценки рисков, сделанные в одной организации по одной и той же методике для одной и той же работы или профессии разными специалистами, зачастую отличаются. Это свидетельствует о значительной роли субъективного фактора в такой оценке.

Идентификация опасностей, оценка рисков и определение мер управления. Организация должна установить, внедрить и выполнять процедуры для постоянной идентификации опасностей, оценки рисков и определения необходимых мер управления.

Идентификация опасностей и оценка рисков должны представлять собой процесс значительно более глубокого исследования всех возможных

вредных и опасных факторов производственной среды и трудового процесса с тем, чтобы выявить, в каких ситуациях они могут нанести вред здоровью работающего и насколько серьезным может быть этот вред.

Иногда отдельные карты идентификации опасностей и оценки риска не охватывают даже опасностей и вредностей, для которых предусмотрены меры по защите работающих и инструкции по охране труда, т. е. результаты оценки рисков и инструкции по охране труда никак не связаны между собой.

Результаты идентификации опасностей и оценки связанных с ним рисков должны быть в полной мере учтены при разработке либо уточнении содержания инструкций по охране труда.

Данные, взятые из карт аттестации рабочих мест по условиям труда для составления карт идентификации опасностей и оценки риска не охватывают полного массива факторов, предопределяющих риск повреждения здоровья.

Поэтому как и при аттестации рабочих мест по условиям труда, идентификация опасностей и оценка рисков должны осуществляться после приведения условий труда к нормативным требованиям, при соблюдении работающими требований безопасности и гигиены труда, а также технологических требований по организации рабочего места.

Исследование опасностей и оценку риска нельзя проводить в организациях, при которой нарушаются требования по охране труда, например такие, как:

– на оборудовании, где проводится оценка риска, отсутствуют заземление, ограждения вращающихся частей машин;

– у работающих отсутствуют средства индивидуальной защиты;

– работающие выполняют работу в состоянии алкогольного или наркотического опьянения;

– неисправны системы освещения рабочих мест;

– имеются другие подобные грубейшие нарушения требований безопасности труда.

Проблемой в рассматриваемых методиках является вопрос о *величине приемлемого* (*допустимого*) *риска*.

В отличие от аттестации рабочих мест по условиям труда, где для оценки условий труда предписывается применять государственные гигиенические нормативы, при оценке рисков показатель его приемлемости (допустимости) организация устанавливает сама.

Зачастую величина допустимого риска устанавливается исходя из объема выделяемых ресурсов на охрану труда. Таким искусственным приемом создается иллюзия благополучия в деятельности по охране труда.

В нашей республике по состоянию на 01.01.2012 численность занятых в экономике составляет 4649,6 тыс. человек [3]. Тяжелые травмы в 2011 г. получили 736 человек, тогда профессиональный риск травматизма будет:

$$R = n / N = 736 / 4\,649\,600 = 1{,}58 \cdot 10^{-4}.$$

Это область неприемлемого (недопустимого) риска травматизма (10^{-6} в год), но меньше уровня социально-приемлемого риска ($6 \cdot 10^{-4}$ на человека в год).

На кафедре безопасности жизнедеятельности выполняется научно-исследовательская тема ГБ 25-11, в которой исследуются санитарно-гигиенические характеристики технологического процесса производства ДСП на ОАО «Ивацевичдрев». На начало 2012 г. на этом предприятии численность работающих составляла 1160 человек и за 2011 г. на нем произошло 6 несчастных случаев. Тогда профессиональный риск травматизма составит

$$R = n / N = 6 / 1160 = 5{,}17 \cdot 10^{-3}.$$

Как видно из расчета, этот показатель выше, чем профессиональный риск травматизма по республике, равный $R = 1{,}58 \cdot 10^{-4}$.

Отсюда можно сделать вывод, что на предприятии ОАО «Ивацевичдрев» недостаточно внимания уделяется созданию безопасных условий труда, предупреждению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости.

Заключение. Все приведенные методики объединяет наличие субъективизма в оценке риска повреждения здоровья работающего.

Наиболее приемлемым вариантом для оценки профессиональных рисков на рабочих местах является сочетание субъективных (экспертная оценка) и объективных подходов.

Основой объективного подхода должна стать оценка условий труда на каждом рабочем месте с выявлением вредных и (или) опасных производственных факторов, увязанная с последствиями нарушения состояния здоровья занятых на этих рабочих местах работников.

Литература

1. Семич, В. П. Еще раз к вопросу о профессиональных рисках // Охрана труда. Практикум. – 2010. – № 9. – С. 3–15.

2. Асаенок, И. С. Профессиональные риски: методология анализа и управление / И. С. Асаенок, Е. Е. Кученева, А. Ф. Минаковский. – Минск: Бестпринт, 2009. – 181 с.

3. Статистический ежегодник Республики Беларусь / Министерство статистики и анализа Респ. Беларусь. – Минск, 2011. – 634 с.

Поступила 12.03.2012

УДК 331.45:64

Б. Р. Ладик, старший преподаватель (БГТУ);
И. Т. Ермак, кандидат биологических наук, доцент (БГТУ);
В. Н. Босак, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой (БГТУ)

ШУМОВОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА РАБОТАЮЩИХ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ

Высокий уровень шума при производстве древесностружечных плит является одним из основных вредных производственных факторов на ОАО «Ивацевичидрев». Исследования показали, что наибольшее превышение допустимых уровней наблюдается на средних и высоких частотах, наиболее вредных для человека: на рабочем месте станочника стружечного станка PESSA и оператора сортировки стружки – от 1 до 14 ДБ, станочника форматной обрезки плит – от 3 до 17 дБ, оператора сепараторов – от 1 до 4 дБ. Для уменьшения вредного воздействия шума разработана конструкция звукоизолирующей кабины для операторов указанных рабочих мест.

High noise level in the production of particle is one of the main occupational hazards at the Joint-Stock Company «Ivatsevichidrev». Studies have shown that the maximum excess of permissible levels observed at mid and high frequencies, the most harmful to humans. In the workplace, levels from 1 to 14 dB were measured at workplace of shaving machine operator and the operator of the sorting chips machine PESSA, from 3 to 17 dB at machinist cutting board, from 1 to 4 dB at separator operators workplace. To reduce the harmful effects of noise, new sound insulating cab design was developed for the operators of these jobs.

Введение. Общая обстановка с охраной и условиями труда в Республике Беларусь не располагает к оптимизму. За последние пять лет в организациях произошло увеличение до 26% численности работников, занятых в условиях труда, не отвечающих санитарно-гигиеническим нормам.

Вследствие неудовлетворительного состояния условий труда, производственной и профессиональной заболеваемости общество несет значительные материальные потери. Так, только ежегодные страховые выплаты за счет средств обязательного страхования от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в Республике Беларусь составляет свыше 100 млрд. руб. [1].

Высокий уровень шума на рабочем месте является одним из основных вредных производственных факторов, воздействующих на работающих при производстве древесностружечных плит. Сильный шум вызывает трудности с распознаванием цветовых сигналов, снижает остроту зрения, нарушает восприятие визуальной информации, затрудняет речевое общение, необходимое для безопасности труда.

Длительное воздействие на человека повышенного уровня шума приводит к нервному переутомлению, снижает производительность труда работающих, увеличивает опасность несчастных случаев.

Известно также, что всякое отклонение условий труда на рабочих местах от гигиенических нормативов заставляет организм человека дополнительно тратить энергию для оказания противодействия неблагоприятному воздействию вредных и (или) опасных производственных факторов. Так, при интенсивности шума на рабочем месте до 90 дБА работник в среднем затрачивает на 20% больше физических и нервно-психических усилий для того, чтобы сохранить объем выполняемой работы, которую он обеспечивает при интенсивности шума 70 дБА [2]. Наиболее опасны внезапные, импульсные шумы, поскольку в этом случае не успевают сработать защитные механизмы, предохраняющие ухо человека от повреждений.

Основная часть. Авторами были выполнены исследования шумовых характеристик на некоторых рабочих местах технологической линии по производству древесностружечных плит. Для проведения исследований были выбраны: рабочее место станочника стружечного станка PESSA, оператора инерционных сепараторов, станочника форматной обрезки плит, на которых наблюдаются наиболее неблагоприятные условия труда по шуму.

На этих рабочих местах установлены для защиты от шума звукоизолирующие кабины.

В задачу проводимых исследований входила и проверка эффективности установленных звукопоглощающих кабин.

Исследования проводились по методике, изложенной в ГОСТ 12.1.050–86 ССБТ «Методы измерения шума на рабочих местах», с использованием интегрирующего шумомера-виброметра ШИ-01В. [3].

Как показали результаты исследований, превышение допустимых уровней имеет место на всех исследуемых рабочих местах. Результаты измерений приведены на рис. 1, 2, 3.

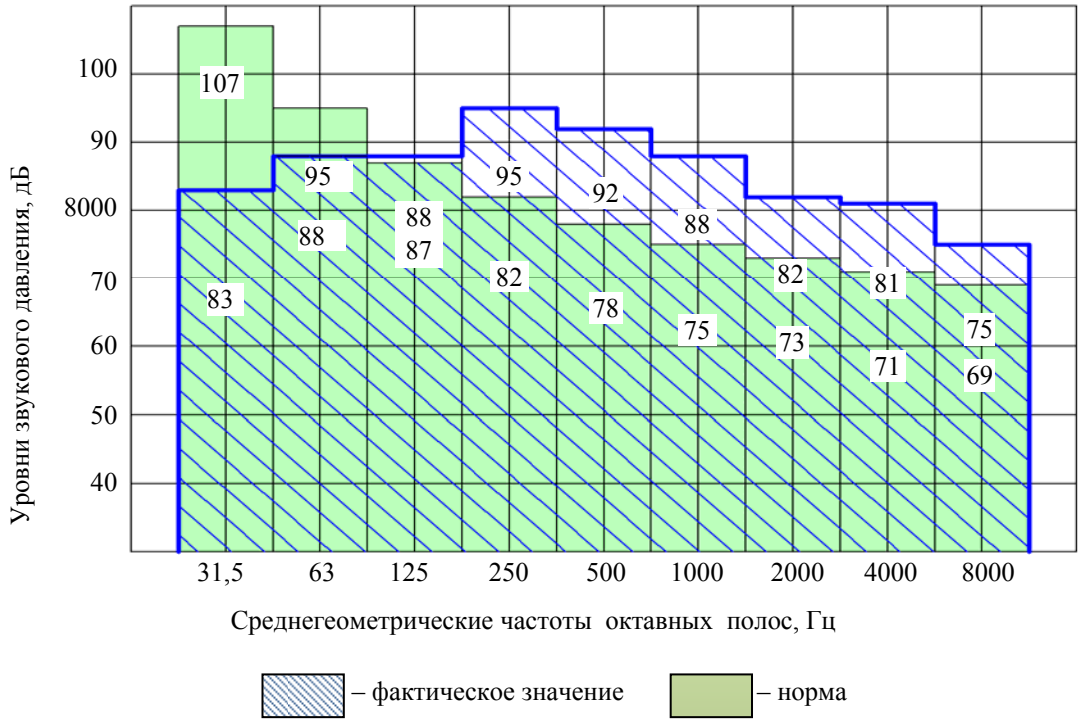


Рис. 1. Спектральная характеристика уровня звукового давления на рабочем месте станочника стружечного станка PESSA

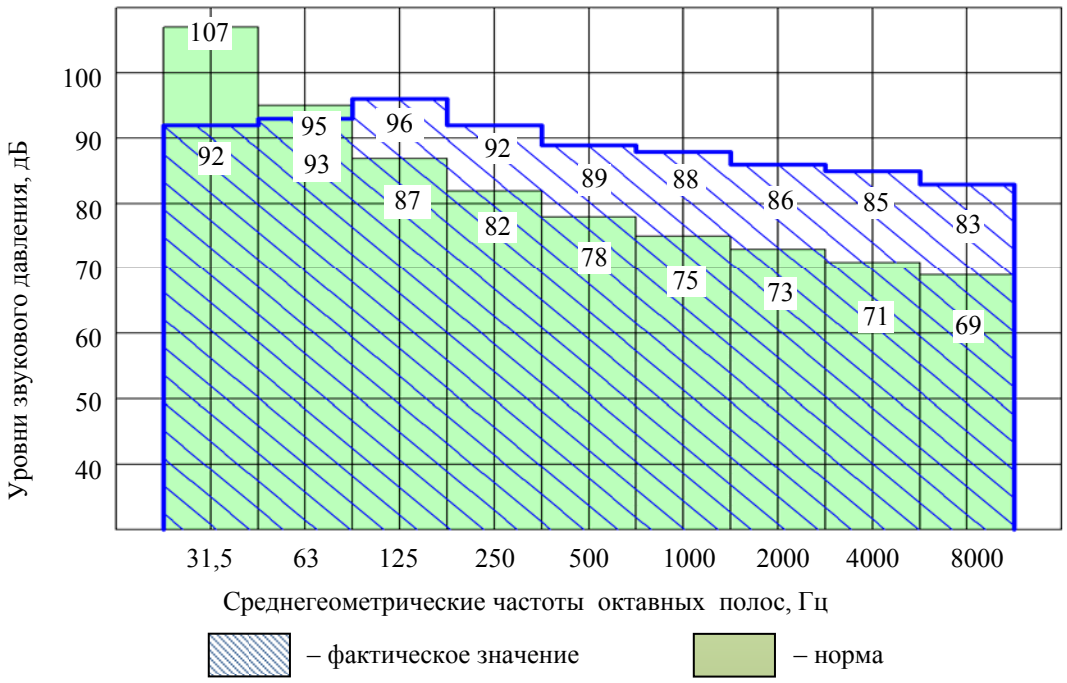


Рис. 2. Спектральная характеристика уровня звукового давления на рабочем месте оператора сортировки стружки

Наибольшее превышение допустимых уровней наблюдается на средних и высоких частотах (рис. 1, 2) на рабочем месте станочника стружечного станка PESSA и оператора сортировки стружки от 1 до 14 дБ, на рабочем месте станочника форматной обрезки плит – от 3 до 17 дБ.

Спектральный анализ шума показал, что превышения составляют на рабочем месте оператора сортировки стружки от 1 до 14 ДБ, на рабочем месте станочника форматной обрезки плит от 3 до 17 дБ, на рабочем месте операторов сепараторов – от 1 до 4 дБ на наиболее вредных для человека высоких частотах.

Рис. 3. Спектральная характеристика уровня звукового давления на рабочем месте станочника форматной обрезки кромок плит

Измерения, проведенные внутри звукоизолирующих кабин, показали их неэффективность, так как кабины имеют ряд существенных недостатков. У всех кабин отсутствует герметичность, что способствует проникновению шума внутрь кабины.

Выполнить кабины герметичными не предоставляется возможным из-за отсутствия воздухообмена внутри кабины. Материалы, из которых выполнены кабины, не обладают достаточным звукопоглощающими свойствами на частотах, где есть превышение допустимых уровней.

Заключение. С учетом вышесказанного нами предлагается конструкция звукопоглощающей кабины, обеспечивающей снижение уровней звукового давления внутри кабины до допустимых и одновременно необходимые показатели микроклимата.

Литература

1. Седюкевич, А. Г. Меры по снижению воздействия шума на производстве / А. Г. Седюкевич // Охрана труда и социальное страхование. – 2010. – № 4. – С. 29–32.

2. Санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы Шум на рабочих местах, в транспортных средствах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки: СНиП и ГН. – Введ. 01.01.12. – Минск: Министерство здравоохранения Респ. Беларусь, 2011. – 22 с.

3. Методы измерения шума на рабочих местах: ГОСТ 12.1.050–86 ССБТ. – Введ. 01.04.06. – М.: Государственный комитет по стандартам, 2005. – 16 с.

Поступила 10.03.2012

УДК 630*332:331.45

А. К. Гармаза, кандидат технических наук, доцент (БГТУ)

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ВЕТРОВАЛЬНО-БУРЕЛОМНЫХ ЛЕСОСЕК

В статье приведен анализ травматизма в лесной отрасли, а также причин несчастных случаев на производстве. Выявлен наиболее опасный вид лесосечных работ – разработка ветровально-буреломных лесосек. Описаны основные требования, предъявляемые к работникам при выполнении указанных работ, и безопасные приемы валки деревьев с применением бензиномоторного инструмента.

The article analyzes the cases of injury rate in the forestry as well as accidents in manufacturing. The author highlights the most dangerous types of logging work – the design of wind fallen trees areas. The principal requirements to the works employed in this type of work are described and the safest ways of with the use of petrol driving tools tree telling are considered.

Введение. По оперативным данным Департамента государственной инспекции труда, в 2011 г. в организациях республики в результате несчастных случаев на производстве погибли 197 работников. Наиболее неблагоприятная ситуация с гибелью людей на производстве отмечается в лесном хозяйстве, где коэффициент частоты смертельных случаев (количество погибших на 100 тыс. работающих) составляет 16,8, в то время как в промышленности – 4,6, а по республике – 4,4. При этом показатель производственного травматизма со смертельным исходом в лесном хозяйстве не сопоставим с численностью работающих в отрасли. Количество погибших в лесном хозяйстве от общего числа смертельно травмированных составляет 2,6%, а количество работающих в отрасли – 0,7% от общего числа занятых в экономике.

По данным головной организации по охране труда в лесном хозяйстве УП «Белгипролес», наиболее опасными видами работ являются лесосечные (57% из всех смертельных случаев), а наиболее опасными профессиями – лесорубы, вальщики (соответственно 13% и 12% из всех смертельных случаев).

Наиболее трудоемкой и травмоопасной технологической операцией при лесосечных работах является валка деревьев, осуществляемая вальщиками леса при помощи бензиномоторных пил.

Основными причинами несчастных случаев при ручной валке деревьев являются: невыполнение должностными лицами, руководителями работ своих обязанностей по охране труда; нахождение работников, участвующих в техпроцессе, в опасной зоне валки деревьев; несоблюдение вальщиками леса параметров спиливания деревьев; эксплуатация технически неисправного, не соответствующего стандартам безопасности производственного оборудования; допуск рабочих, принятых на работы с повышенной опасностью, к самостоятельной работе без проведения стажировки и проверки знаний по вопросам охраны труда и др.

В Республике Беларусь ежегодно ветровалом уничтожается от 0,5 до 2 млн. $м^3$ древесины. Все чаще приходится разрабатывать ветровально-буреломные лесосеки. Применение машин на таких работах не всегда экономически оправдано из-за частого выхода их из строя. Поэтому применяется ручная валка деревьев и от качества ее организации и проведения зависит уровень травматизма.

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 складируемые 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 (повышенная и пониженная температура воздуха, грозовые разряды, ливни, ураганы, гололед, туман, снегопад); ядовитые растения, 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 механизмами; травмирование падающими, перемещаемыми деревьями, хлыстами, сортиментами, сучьями и щепками; поражение молнией, переохлаждение и тепловые удары; отравления и заболевания от контактов с ядовитыми растениями, животными; отрицательное воздействие шума, вибрации, запыленности и загазованности.

К разработке ветровально-буреломных лесосек необходимо допускать наиболее опытных работников, прошедших предварительный и

периодический медицинские осмотры и признанных годными для выполнения соответствующих видов работ; прошедших инструктаж, стажировку, обучение и проверку знаний по охране труда, пожарной безопасности, оказанию первой медицинской помощи и имеющих специальное удостоверение.

К управлению лесосечными машинами, оборудованием и моторным инструментом допускаются лица, прошедшие специальное обучение и имеющие удостоверение на право управления машиной данной конструкции.

Закрепление лиц за определенным оборудованием, моторным инструментом оформляется приказом по предприятию.

Разработка ветровально-буреломных лесосек производится вальщиком леса с лесорубом.

Бригада должна иметь, кроме инструментов и вспомогательных приспособлений, необходимых для валки деревьев и обрезки сучьев, ручную переносную лебедку с металлическим канатом длиной не менее 35 м, пеньковый канат длиной 10 м, чокер длиной 5–8 м по одному на каждого работающего, а также бандаж для предотвращения сколов поврежденных деревьев. Не разрешается применять стальные канаты, сращенные узлами и имеющие на одном шаге свивки более 10% оборванных проволок (согласно нормам браковки стальных канатов).

Организационное руководство лесосечными работами осуществляет мастер непосредственно или через бригадира, распоряжения и указания мастера являются обязательными для всех работающих на лесосеке.

Лесосечные работы проводятся в соответствии с утвержденной на каждую лесосеку технологической картой, с которой работники должны быть ознакомлены под роспись. Она должна быть составлена применительно к условиям рельефа местности, характера, степени и направления ветровала, повреждений древостоя, захламленности территории.

Рабочие бригады при получении от мастера сменного задания обязаны ежедневно проходить целевой инструктаж на рабочем месте о возможных опасных ситуациях, которые могут возникнуть в процессе работы и мерах по их предупреждению. Без целевого инструктажа на рабочем месте приступать к работе не разрешается. Вальщик леса и лесоруб в присутствии мастера должны осмотреть участок ветровально-буреломного леса, подлежащий разработке на данный день, и определить возможные опасности: наклоненные, зависшие, сломанные и иные опасные деревья, а также зависшие сучья и вершины деревьев, уточнить порядок разработки участка.

Каждое дерево перед валкой должно быть тщательно осмотрено, и после этого выбран способ и направление его приземления. В первую очередь валке подлежат деревья, представляющие наибольшую опасность.

Валка дерева, имеющего неотделившийся слом, вершина которого лежит на земле, без предварительного опробования прочности соединения вершинной части с комлевой частью ствола не разрешается. Такие деревья валят следующим образом: если дерево имеет неотделившийся слом на высоте от земли менее 1 м, и сломанная часть его не может быть отделена ручной лебедкой или трактором от стоящей комлевой части, то отделяют сломанную часть ствола отпиливанием ее в том месте, где кончился слом. До начала отпиливания ствола под него должны быть уложены подкладки.

Отпиливание следует начинать сверху на глубину до легкого зажима пилы, затем снизу на расстоянии 2–3 см от плоскости первого реза. Если дерево имеет неотделившийся слом на высоте более 1 м и сломанная вершинная часть ствола не отделяется при помощи трактора, то в этом случае производится валка стоящей комлевой части без предварительного отделения от нее сломанной вершины. Перед валкой на комлевой части должен быть укреплен канат трактора. Навешивание каната на ствол дерева следует производить шестом, имеющим на конце специальный крюк, или ваточной вилкой с безопасного расстояния.

Валка комлевой части со сломанной вершиной должна производиться под углом 90° к вертикальной плоскости, проходящей через ось сломанной части дерева. Недопил необходимо оставлять в 2 раза больше нормального, после чего вальщик и лесоруб должны отойти на безопасное расстояние. Сламывание недопила комлевой части дерева вместе со сломанной вершиной производится трактором.

Если дерево имеет слом на любой высоте и сломанная часть отделена от стоящей комлевой части, то валка последней производится как отдельно стоящего дерева с соблюдением общих требований безопасности труда на валке леса.

Подрубать перед валкой дерево топором не допускается. Следует делать подпил бензомоторной пилой с удалением из подпила «ломтя» консольной частью пильной шины работающей пилы.

Валку наклоненных, отдельно стоящих деревьев с частично поврежденной корневой системой производят в сторону их наклона.

Наклоненные, надломленные и имеющие трещины от комля к вершине деревья разрешается спиливать только после предварительного стягивания нижней части дерева бандажом или обвязки ее цепью, веревкой (4–5 витков) с забивкой клина под обвязку. Подпил таких деревьев делают на глубину до 1/2 диаметра комля в зависимости от наклона.

У здоровых деревьев, имеющих наклон в сторону валки, глубина подпила делается не менее 1/3. Такие деревья валят с соблюдением общих требований безопасности труда на валке леса. Оставлять неповаленными стоящие комлевые сломы не допускается.

Снятие зависших, сломленных (надломленных) деревьев зависит от характера их зависания. Исходя из этого необходимо в каждом конкретном случае намечать способы валки (приземления) таких деревьев.

Если зависшее дерево:

– полностью отломилось от комлевой части и опирается о землю, его снимают трактором или лебедкой, для этого канат трактора (лебедки) укрепляют на комлевой части и в зависимости от местных условий стаскивают под углом или вдоль оси дерева;

– имеет неотделившийся от пня слом, то подпил дерева производят в месте слома с боковой стороны, с пропилом и оставлением недопила шириной 4–6 см, после дерево валят при помощи трактора или лебедки;

– имеет не отделившийся слом на высоте 1 м от земли (сломанная вершинная часть его прочно соединена с комлевой частью), его валят вместе со сломом; перед валкой такого дерева на его комлевой части закрепляют канат трактора (лебедки), делают подпил перпендикулярно (под углом 90°) к вертикальной плоскости, проходящей через ось сломанной части дерева, и пропил с оставлением недопила на 2 см больше нормального. Приземляют такие деревья трактором (лебедкой);

– если зависшее дерево с вывороченной корневой системой невозможно приземлить трактором (лебедкой), то к дереву крепят канат трактора (лебедки) под углом 90° к его продольной оси, со стороны натянутого каната делают подпил на глубину 1/2 диаметра комля дерева и пропил с обратной стороны подпила с оставлением недопила шириной 4–6 см, после чего дерево валят трактором или лебедкой. При наличии нескольких зависших деревьев снятие их следует производить трактором методами, указанными выше, каждое дерево снимают в отдельности, первым снимают дерево, которое находится наверху, и т. д.

При снятии зависшего дерева необходимо пользоваться валочной вилкой с загнутыми и заостренными концами, чтобы она не могла скользнуть по стволу дерева во время его сталкивания.

Лежащее на земле ветровальное дерево с вывернутой корневой глыбой разрабатывается одним из следующих способов:

– если дерево повалено с корнем, лежит на земле и имеет прогиб, то во избежание опрокидывания корневой глыбы в исходное положение необходимо ее укрепить специальным упором и только после этого отпиливать ствол дерева. Отпиливание ствола производится двумя резами сверху и снизу. Первый рез делается сверху на глубину не менее 1/2 диаметра, а второй снизу на расстоянии 2–3 см от плоскости первого реза (ближе к комлю). После отделения от ствола корневая глыба лебедкой или трактором ставится в исходное положение пнем вверх или выкорчевывается;

– у поваленного дерева, имеющего внешний прогиб, необходимо особенно надежно укреплять корневую глыбу, опиливать ствол двумя резами, при этом операции выполняют так, как описано выше;

– когда поваленное дерево плотно лежит на земле, под стволом вырывают канавку для свободного прохода пильной шины бензомоторной пилы, затем производят отпиливание корневой глыбы, как описано выше.

Ствол неотделившегося слома на высоте до 1 м отпиливают с укладкой подкладок под ствол. В необходимых случаях для предотвращения выброса стволовой части дерева в сторону до начала пиления дерево должно быть прочно прикреплено к пням или стоящим деревьям чекером или веревкой.

Во всех случаях при отпиливании ствола вальщик должен находиться со стороны, противоположной возможному развороту ствола.

На склонах местности крутизной более 10° корневая глыба, направленная пнем вниз под углом к склону, на место не ставится, но обязательно прочно крепится подпорками для предотвращения самовольного скатывания ее вниз по склону.

При разработке ветровально-буреломного леса не допускается: обрубать сучья у деревьев, на которые они опираются; ходить по сваленным деревьям; находиться в яме вывернутой корневой глыбы; подрубать корни у вывернутого дерева.

Заключение. Снижение травматизма при ручной валке деревьев возможно только при ответственном отношении к своим обязанностям мастеров и работников, 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 декабря 2008 г., № 211/39 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2009. – № 147. – 8/20979.

Поступила 13.03.2012

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);
В. С. Урбанович, кандидат технических наук (НПЦ НАН Беларуси по материаловедению);
Ю. А. Товстыко, студент (БГТУ)

О МЕХАНИЗМЕ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ОСОБОТВЕРДОЙ УГЛЕРОДНОЙ ФАЗЫ В НАНОКОМПОЗИТЕ СИСТЕМЫ Fe – C ДЛЯ ДЕРЕВОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

В статье высказана гипотеза о том, что формирование частиц серой особотвердой углеродной фазы происходит через стадию перехода наноуглеродной составляющей шихты в жидкое состояние в условиях спекания методом высокоэнергетической консолидации.

In the article hypothesized that the formation of particulate gray superhardness carbon phase occurs through a stage of transition nanocarbon component of the mixture into a liquid state under high-sintering method of consolidation.

Введение. В настоящее время происходит бурное развитие исследований и разработок в области наноматериалов и нанотехнологий – стратегически важной области исследований в развитых странах, с которыми связывается новая научно-техническая революция. Эти исследования являются междисциплинарными, на стыке физики, химии, биологии, медицины и материаловедения и требуют нового приборного оснащения для диагностики, чистых помещений, новых организационных подходов.

Наряду с созданием новой техники и новых технологий, благодаря более полному изучению процессов, происходящих на атомно-молекулярном уровне, открываются новые перспективы развития для всех отраслей народного хозяйства, в том числе медицинской, пищевой, парфюмерной, автомобильной, электронной и др.

Композиционные материалы приобретают принципиально новые качества, если они построены на основе наноструктурированных «строительных блоков». У них значительно изменяются механические, магнитные и оптические свойства. Так, известно, что у таких композитов сильно увеличивается твердость и прочность, а с другой стороны, возможно увеличение их эластичности и суперпластичности.

В последнее десятилетие авторами проводились работы в направлении поиска путей создания композитного материала на основе Fe – C инструментального назначения с использованием наноуглеродных добавок и нанотехнологий. В работе изучалась возможность замены дорогостоящих фуллеренов, используемых рядом авторов, на более дешевые наноуглеродные материалы.

Основная часть. В результате проведения комплекса работ были получены образцы нанокомпозитного материала на основе Fe – C с включениями частиц особотвердой (Hμ от 10 до > 30 ГПа), с высокой упругостью алмазоподобной углеродной фазы и железоуглеродной матрицей высокой твердости (Hμ 5–11 ГПа). Макротвердость образцов нанокомпозита находится в пределах 60–90 HRC. Основа композита всех образцов имеет наноструктурное состояние – размер кристаллитов ~10–40 нм. Для получения наноструктурированного композита использовался высокоэнергетический метод консолидации порошковых материалов – спекание под высоким давлением и наноуглеродные добавки – фуллеренсодержащая сажа, многостенные нанотрубки, экстракт фуллеренсодержащей сажи, фуллереновая чернь и частицы ультрадисперсного алмаза (УДА). Для сравнения, как эталонные в тех же условиях были изготовлены образцы с введением фуллеренов C_{60}, C_{70}, одностенных нанотрубок, углеродных микрочастиц размером 3, 4, 9 мкм и стандартного графита. В качестве железной основы использовали порошок карбонильного железа. Соотношение Fe : C составляло 97–90 : 3–10 мас. %. Особотвердую фазу содержат все изготовленные с наноуглеродными добавками образцы. Размеры, форма и количество сверхтвердой фазы различны и определяются кроме состояния исходных компонентов составом и технологией препарирования шихты, параметрами режимов компактирования [1].

Полученные результаты позволяют заключить, что в условиях применения высокоэнергетического метода консолидации нанопорошков образование «сверхупругих и твердых углеродных частиц» в Fe – C нанокомпозите происходит не только из фуллеренов, но и из других более дешевых, чем дорогостоящие фуллерены, наноуглеродных добавок: фуллереновой сажи, многостенных нанотрубок и др.

При анализе микроструктуры всех изготовленных образцов оказалось, что можно выделить четыре основных типа серой фазы (рис. 1, 2):

– серая фаза «камневидная», без следов шлифования-полирования, со сглаженным рельефом;

– серая фаза «основа», шлифуется и полируется;

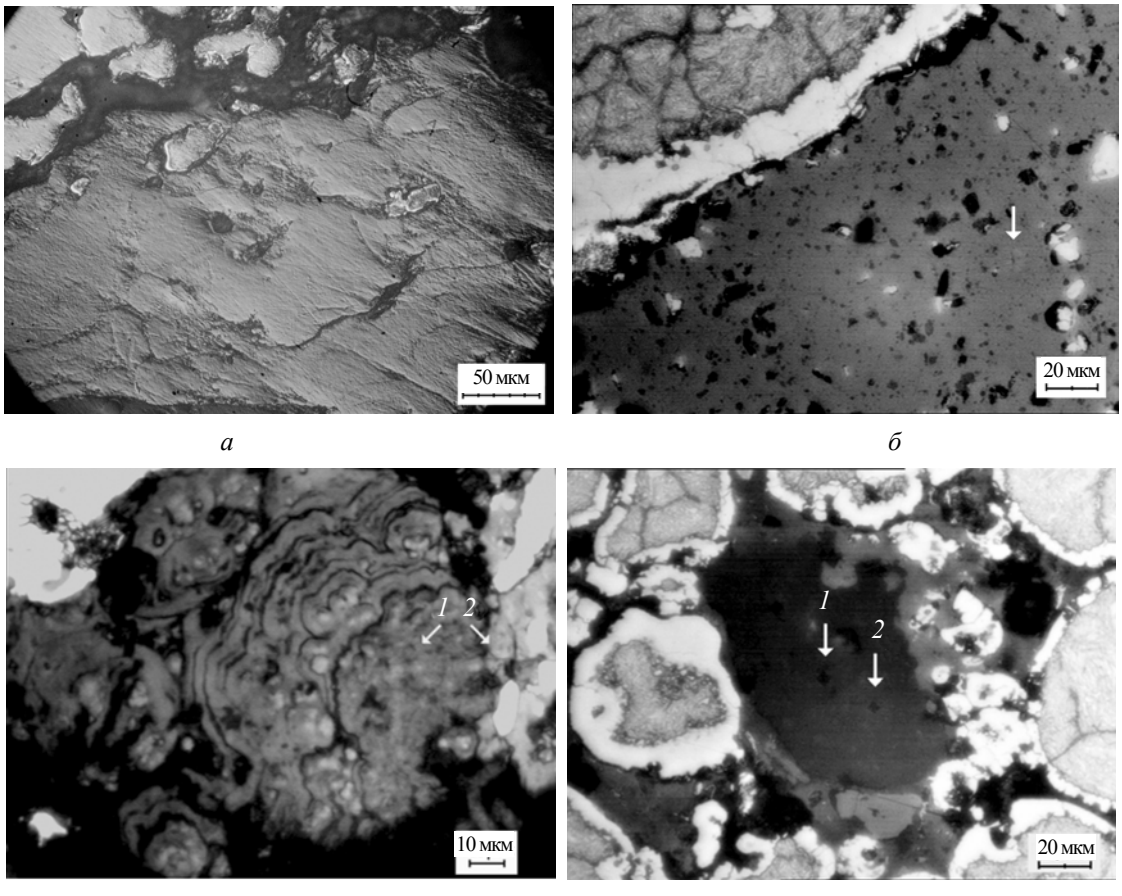
– серая фаза с рельефом «зигзаг», без следов шлифования-полирования с волнистым рельефом и дисперсными включениями;

– «темно-серая фаза, гладкая», с огранкой или округлая.

Каждая из морфологий фаз отличается своим особым сопротивлением вдавливанию алмазного индентора при измерении микротвердости (рис. 1): при замерах микротвердости многие отпечатки после их нанесения индентором отсутствуют (рис. 2, *а*), в других случаях вместо обычных четырехугольных отпечатков индентора (рис. 2, *г*) наблюдаются микроизображения либо «светящихся оптических крестов» (рис. 2, *б*, по стрелке), либо тонко очерченных крестов (рис. 1, *в*, по стрелке *1*). По размерам этих крестов часто и определялись диагонали отпечатков.

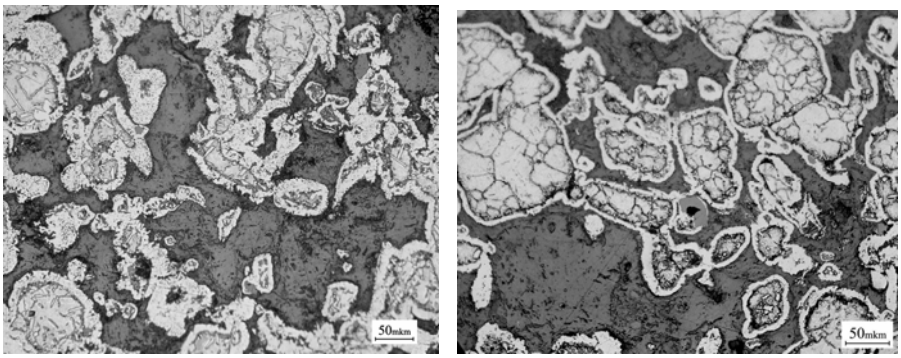
При анализе микроструктуры всех образцов оказалось, что в большинстве из них главная особенность морфологии серой фазы «основа», заключается в том, что частицы железной основы как бы вставлены в эту серую фазу, как если бы серая фаза находилась при спекании в жидком состоянии. Это иллюстрируется морфологией серой фазы «основа», в микроструктуре образцов на рис. 2 (90% Fe + 10% мас. С – фуллереновой сажи).

По результатам анализа микроструктуры всех изготовленных в 2006–2009 гг. образцов высказана гипотеза, что частицы особотвердой алмазоподобной углеродной фазы формируются через стадию перехода наноуглеродной составляющей шихты в жидкое состояние при спекании методом высокоэнергетической консолидации.



а *б* *в* *г*

Рис. 1. Морфология серой фазы в образцах – 90% карбонильного Fe:
а – серая фаза «камневидная» – 10% многостенных нанотрубок, отпечатки ◆, на изображении практически не видны, Hμ > 30 ГПа; *б* – серая фаза «основа» 10% фуллереновой сажи, отпечатки +, Hμ = 77,91 ГПа; *в* – серая фаза с рельефом «зигзаг» – 10% фуллереновой черни, после нанесения отпечатков на участке по стрелке *1*, при нагрузках *P* = 100 г, Hμ = 28,28 ГПа и *P* = 200 г, Hμ = 80,85 и 89,21 ГПа, отпечатков микротвердости на изображении практически не видно, один отпечаток отскочил – съехал с частицы вправо по стрелке *2*, изображение сфокусировано на светящийся оптический крест (по стрелке *1*); *г* – «темно-серая фаза, гладкая», отпечатки ◆, Hμ = 35,81, 64,33 ГПа (по стрелкам *1*, *2*)



а *б*

Рис. 2. Морфология серой фазы «основа»
в образцах – 90% Fe + 10% мас. фуллереновой сажи

Почему стало возможным это жидкое состояние углерода при спекании наших образцов?

Спекание данных образцов по отработанной технологии высокоэнергетической консолидации порошковых материалов проводилось при высоких давлениях – 4 и 5 ГПа, что находится на пределе для области существования жидкой фазы по фазовой диаграмме углерода, а температуры спекания – от 950 до 1200°С, ниже, чем по диаграмме – в интервале 4000–5000 К.

Однако известно, что повышение дисперсности частиц, зерен, кристаллитов ведет к снижению температур фазовых превращений [2, 3].

В результате можно предположить, что в условиях высокоэнергетической консолидации нанокристаллического углерода возможен сдвиг границ раздела графит – жидкость – пар – алмаз в направлении снижения температур и давлений.

Следовательно, применение в наших условиях высокоэнергетической консолидации нанокристаллического углерода под высоким давлением – 4, 5 ГПа и нанодисперсность частиц углерода, возможно, и обеспечивают условия образования жидкой углеродной фазы в процессе высокоэнергетической консолидации при температурах от 950°С до 1200°С, т. е. соответственно от 1223 до 1473 К.

Такое предположение о механизме структурообразования особотвердой алмазоподобной углеродной фазы является новым и может быть использовано для управления процессом создания новых материалов. На основе этих выводов и было проведено первое опытное изготовление образцов с обратным соотношением исходных компонентов – 90% фуллереновой сажи + + 10% мас. Fe. В результате получены образцы композита с тремя основными типами серой фазы: с рельефом «зигзаг», «темно-серая фаза, гладкая» с огранкой и серая фаза «основа», причем именно последняя фаза является основой композита, и ее в композите больше всего (рис. 3).

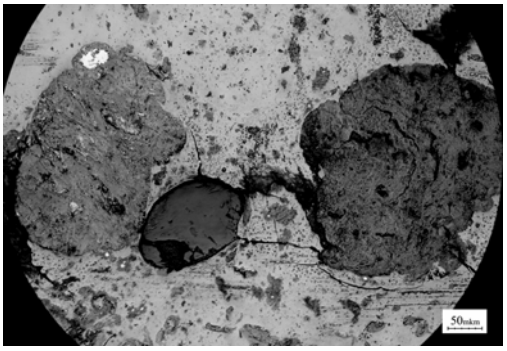


Рис. 3. Морфология частиц и «основы»
серой фазы в образце – 90% мас. фуллереновой
сажи + 10% карбонильного Fe

Заключение. Первые полученные результаты эксперимента, исходя из предположения о механизме структурообразования особотвердой алмазоподобной углеродной фазы, позволяют применять его при разработке технологии и составов создания новых материалов с использованием недорогих наноуглеродных материалов – фуллеренсодержащей сажи, многостенных нанотрубок, фуллереновой черни (последняя фактически неиспользуемый отход производства фуллеренов).

Литература

1. Структура и свойства нанокомпозита на основе железа и нанодисперсного углерода / Г. П. Окатова [и др.] // Углерод: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, технология: сб. тез. докл. 6-й Междунар. конф., Троицк, 28–30 окт. 2009 г. / ФГУ технол. ин-т сверхтвердых и новых углеродных материалов. – Троицк: Тровант, 2009. – С. 183.

2. Ультрадисперсные металлические среды / И. Д. Морохов [и др.]. – М.: Атомиздат, 1977. – 264 с.

3. Структура и свойства малых металлических частиц / И. Д. Морохов [и др.] // Успехи физ. наук. – 1981. – Т. 133, № 4. – С. 653–692.

Поступила 20.03.2012

УДК 674.055

П. В. Рудак, кандидат технических наук, старший преподаватель (БГТУ);
Д. В. Куис, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой (БГТУ);
В. В. Раповец, кандидат технических наук, ассистент (БГТУ)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ НЕПЕРЕТАЧИВАЕМЫХ РЕЖУЩИХ ПЛАСТИН С ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫМИ ПОКРЫТИЯМИ ПРИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ

В статье приводятся методика и результаты экспериментальных исследований коэффициентов трения, характеризующих процесс обработки древесностружечных плит хвостовыми фрезами, оснащенными твердосплавными неперетачиваемыми ножами с вакуумно-плазменными покрытиями. Разработанная методика определения коэффициента трения задней поверхности лезвия и примыкающей к ней части режущей кромки при фрезеровании основывается на синхронном динамометрировании касательной и нормальной сил резания по задней поверхности лезвия в процессе резания с нулевой высотой снимаемого припуска. Результаты исследований позволили выполнить научное обоснование триботехнических характеристик вакуумно-плазменных покрытий, нанесенных на режущие элементы, оптимизации параметров покрытий и режимов резания.

The article presents the methodology and results of experimental studies of friction coefficients that characterize the processing of chipboard tail cutters, knives equipped with vacuum-plasma coatings. The developed technique for determining the coefficient of friction of the back of the blade and the adjacent part of the cutting edge in milling based on the simultaneous registration of the tangential and normal cutting forces on the back of the blade during the cutting process with zero height allowance being taken. The research results have allowed to perform scientific basis of tribological characteristics of vacuum-plasma coatings deposited on the cutting elements, optimization of coating parameters.

Введение. При разработке составов эффективных ионно-плазменных покрытий дереворежущего инструмента следует учитывать особые условия его эксплуатации, в частности величины усилий, действующих на поверхностях режущего клина. Эти усилия могут быть рассчитаны по известным аналитическим соотношениям теорий резания древесины и древесных материалов. Точность данных расчетов решающим образом зависит от достоверности констант, в том числе и коэффициентов трения.

Известно, что изменение коэффициента трения при резании равносильно изменению угла резания и приводит к изменению формы стружкообразования. С уменьшением коэффициента трения стружка будет приближаться к сливной. Поэтому уменьшение коэффициента трения приводит также к улучшению качества обработки древесины [1].

Особенности трения в условиях резания древесных материалов по сравнению с обработкой других материалов ставит серьезные ограничения на применение стандартных методик определения триботехнических свойств дереворежущих резцов.

Фрезерование древесных материалов осуществляют при высоких частотах вращения инструмента, что характеризует такой процесс резания, как высокоцикличный. При этом сила резания при встречном фрезеровании меняется от минимального до максимального значения по мере увеличения толщины стружки при движении ножа по дуге контакта с обрабатываемым материалом.

Обрабатываемый древесный материал и образующаяся стружка обладают низкой теплопроводностью, в связи с этим практически вся теплота, образующаяся при резании, поглощается весьма ограниченной по площади зоной резца, которая может нагреваться до высоких температур (около 800ºС и более). Тепловые явления при резании оказывают значительное влияние на изменение микрогеометрии лезвия, а таким образом, и на износ инструмента. Известно, что значительно увеличивают интенсивность износа продукты термодеструкции древесины, особенно их фракция, содержащая органические кислоты.

Древесный материал обладает высокой упругостью – в зоне резания возможны упругие восстановления, причем в связи с волокнистым строением древесной основы процесс резания начинается только после достижения в волокнах достаточных механических напряжений – до этого лезвие сминает частицы обрабатываемого материала.

В связи с особенностями технологии изготовления физико-механические свойства древесностружечной плиты плоского прессования неравномерны по толщине и, как следствие, лезвие инструмента испытывает неравномерные механические, тепловые и другие нагрузки по своей длине – непостоянны и коэффициенты трения.

Наличие в древесностружечной плите твердых частиц законденсированного связующего (как правило, 8–12% карбамидоформальдегидной смолы) оказывает значительное влияние на процесс резания – возможна реализация механизмов контактной усталости. Низкая влажность древесной основы плиты, наличие законденсированного полимера в условиях высокой цикличности процесса резания могут приводить к электроэрозионному износу резцов.

Указанные особенности процесса резания древесностружечных плит значительны и уникальны – не могут быть всецело воссозданы на испытательных машинах для исследования триботехнических характеристик по стандартным методикам (например, по схеме возвратно-поступательного движения контактирующих тел на трибометре).

Таким образом, коэффициент трения следует устанавливать по результатам экспериментальных исследований в условиях реального процесса резания. Такие данные отсутствовали.

Цель работы – в реальных условиях фрезерования в широких диапазонах параметров режима резания установить коэффициенты трения, характеризующие процесс обработки древесностружечных плит (ДСтП) инструментом, оснащенным ножами из вольфрамокобальтового твердого сплава с вакуумно-плазменными покрытиями.

Основная часть. При проникновении лезвия в древесный материал на контактной поверхности лезвия создаются нормальное давление и силы трения. Для анализа процессов резания контактная поверхность может быть разделена на зоны. Для школы А. Л. Бершадского характерно деление контактного контура на две зоны [1] – передней и задней поверхностей.

Передняя поверхность лезвия деформирует срезаемый слой и стружку, создает в них напряжения и удаляет стружку. Сжатие срезаемого слоя и стружки при резании происходит в полузамкнутом пространстве. В теории резания древесины и древесных материалов принимают, что давление стружки на переднюю поверхность распределено равномерно. Режущая кромка надрезает материал в срезаемом слое, а передняя грань удаляет его.

Задняя поверхность лезвия испытывает нормальное давление со стороны обрабатываемого материала вследствие упругого восстановления обработанной поверхности. Так как деформации под задней поверхностью упругие, то эпюру нормальных давлений на ней можно принять треугольной. Заменяя эпюры нормальных давлений по контактным площадкам лезвия сосредоточенными усилиями, переходим к силам резания.

Заменим эпюру нормальных давлений в зоне передней поверхности лезвия сосредоточенной силой N и векторно прибавим к ней силу трения T (рис. 1).

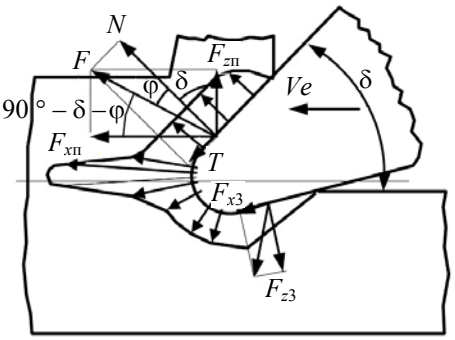


Рис. 1. Схема сил на лезвии ножа

Полученную силу F спроецируем на направление V_e скорости главного движения и на нормаль к нему. Получим следующие силы: $F_{xп}$ – касательную силу резания по передней поверхности; $F_{zп}$ – нормальную силу резания по передней поверхности.

Радиальная составляющая силы резания находится путем следующих рассуждений. Силы N и F образуют между собой угол трения φ (φ = = arctgμ , где μ – коэффициент трения древесины по передней грани). При этом силы $F_{zп}$ и $F_{xп}$ связаны между собой следующим уравнением:

$$F_{zп} = F_{xп}\,\mathrm{tg}(90° - \delta - \varphi), \qquad (1)$$

где δ – угол резания.

Обращаясь к силам резания на задней грани, можно получить касательную силу резания по задней поверхности F_{x3} и нормальную силу резания по задней поверхности F_{z3}. Так как упругопластическое деформирование поверхности резания задней гранью невелико (на величину радиуса округления режущей кромки, то есть не более 0,06 мм), можно рассматривать касательную силу по задней грани как силу трения:

$$F_{x3} = f \cdot F_{z3}, \qquad (2)$$

где f – коэффициент трения по задней поверхности лезвия.

Сила F_{z3} есть усилие, необходимое для заглубления лезвия в поверхность резания на величину радиуса закругления режущей кромки.

При исследованиях триботехнических свойств неперетачиваемых твердосплавных пластин с вакуумно-плазменными покрытиями, с целью разработки составов эффективных покрытий, с ориентацией на резание ДСтП целесообразно определять значение коэффициента трения задней поверхности лезвия и примыкающей к ней части режущей кромки.

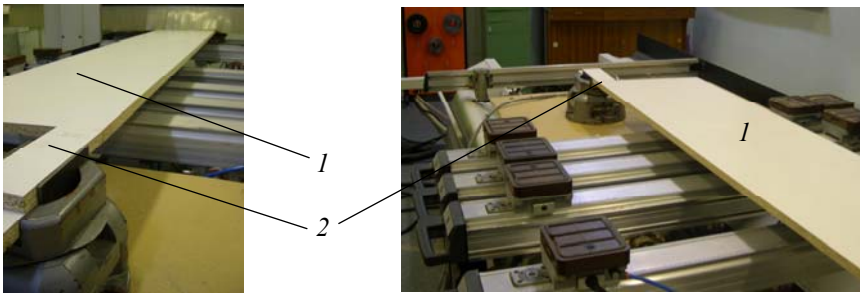


Рис. 2. Схема крепления заготовок на рабочих столах станка при проведении экспериментов:
1 – заготовка ДСтП на первом рабочем столе;
2 – заготовка ДСтП для динамометрирования

Разработанная на кафедре материаловедения и технологии металлов БГТУ методика определения коэффициента трения *f* задней поверхности лезвия и примыкающей к ней части режущей кромки при фрезеровании ДСтП основывается на синхронном динамометрировании касательной и нормальной сил резания по задней поверхности лезвия в процессе фрезерования с нулевой высотой снимаемого припуска.

Экспериментальная установка для реализации разработанной методики создана на базе современного деревообрабатывающего центра с ЧПУ ROVER B 4.35

Заготовка ДСтП на первом рабочем столе станка *1* (рис. 2, *а*) устанавливается встык с заготовкой для динамометрирования *2* (рис. 2, *б*).

Динамометр УДМ с зафиксированной заготовкой *2* жестко за креплен на втором столе станка. Регистрирующий прибор – тензометрическая измерительная система EX – UT10 с i.Link интерфейсом (фирма SONY, Япония), опрашивает тензодатчики УДМ и позволяет синхронно определять усилия по трем взаимно перпендикулярным направлениям, а также величину момента в горизонтальной плоскости. Тарировка измерительной системы экспериментальной установки осуществлялась путем нагружения через образец ДСтП, используемый в экспериментальных исследованиях, тензометрических датчиков универсального динамометра УДМ по трем координатным осям *X*, *Y*, *Z* статически при помощи поверенного универсального образцового динамометра ДОУ-3-1 кН в диапазоне 0…1000 Н. Линейная зависимость показаний датчиков используемого универсального динамометра от прилагаемой нагрузки подтверждает работоспособность датчиков в зоне упругих деформаций в пределах диапазона прилагаемых нагрузок.

Режущие элементы, используемые в качестве основы для нанесения покрытия, – неперетачиваемые пластины вольфрамокобальтового твердого сплава SMG 02. После каждого эксперимента фреза с резцом смещалась (заменялся нож) – обработка велась острой областью режущего элемента

Обрабатываемый материал – древесностружечная плита с отделкой с двух сторон ламинатом (EN 14322) производства компании «Pfleiderer Grajewo S.A.» (Польша). Толщина плиты – 18 мм.

Средняя плотность – 650 кг/м^3 – контролировалась определением средней массы по результатам замеров для 5 кубиков 18×18×18 мм, вырезанных с различных участков плиты.

Размеры заготовки для динамометрирования – 68×300×18 мм. Размеры заготовки для предварительной обработки – 2700×500×18 мм. Тип применяемого инструмента – однозубая концевая фреза. Диаметр окружности резания концевой фрезы – 21 мм. Тип применяемого патрона – ISO32.

Для определения необходимого числа наблюдений исходили из условий, что дисперсия измеряемой величины постоянна и известна, а ее распределение является нормальным. Данные характеристики выявлены в результате проведенных предварительных экспериментальных измерений выходных величин на этапе отладки экспериментальной установки.

Гипотеза нормального распределения измеряемой величины была проверена по критерию Пирсона χ^2 [2]. Для этого была поставлена серия опытов в центре эксперимента с наибольшей вариацией измеряемой величины. Количество опытов – 128 отсчетов (фиксирования составляющих сил резания с пересчетом в соответствующие значения коэффициента трения *f*) в интервале стабильного протекания процесса резания.

В результате выполненных расчетов необходимое число дублированных опытов при изучении коэффициента трения *f* составило 2,34 раза.

При выполнении экспериментальных исследований было принято трехкратное повторение каждого опыта методической сетки и определялись средние значения коэффициентов трения задней поверхности лезвия и примыкающей к ней части режущей кромки за периоды покоя и скольжения.

Структура экспериментальных исследований коэффициента трения f при фрезеровании ДСтП включала проведение серии однофакторных опытов с дублированием. При стабилизации одного из факторов частота вращения принималась 14 000 мин$^{-1}$, а скорость подачи – 6 м/мин. Отдельно испытывались резцы без покрытия и с покрытием TiN.

Методическая сетка опытов с результатами представлена в таблице.

Методическая сетка опытов

№ опыта	Частота вращения фрезы n, мин	Скорость подачи, V_s, м/мин	f	№ опыта	Частота вращения фрезы n, мин	V_s, м/мин	f
Резец без покрытия							
Влияние частоты вращения			Влияние скорости подачи				
1	10 000	6	**0,6**	6	14 000	2	**1,6**
2	12 000		**0,7**	7		4	**1,0**
3	14 000		**0,9**	8		6	**0,9**
4	16 000		**1,3**	9		8	**1,7**
5	18 000		**1,6**	10		10	**1,8**
Резец с покрытием							
Влияние частоты вращения			Влияние скорости подачи				
11	10 000	6	**0,5**	16	14 000	2	**1,3**
12	12 000		**0,5**	17		4	**0,6**
13	14 000		**0,6**	18		6	**0,6**
14	16 000		**1,0**	19		8	**1,4**
15	18 000		**1,3**	20		10	**1,6**

Перед динамометрированием выполнялось фрезерование закрепленных встык заготовок на первом и втором столе станка со снятием припуска 3 мм для устранения погрешностей установки заготовок. Данные подвергались математической фильтрации с применением цифрового запоминающего осциллографа, после чего рассчитывались коэффициенты трения [3].

Результаты экспериментов представлены в виде графических зависимостей (рис. 3, 4).

Заключение. Установлено, что резцы с вакуумно-плазменными покрытиями на основе TiN в реальных условиях эксплуатации характеризуются меньшими коэффициентами трения по сравнению с резцами без покрытий.

Анализ графических зависимостей на рис. 3 и рис. 4 позволяет сделать вывод о рациональности применения режима резания – скорость подачи 2–6 м/мин, частота вращения фрезы – 10 000–12 000 мин$^{-1}$ с точки зрения минимизации коэффициента трения.

Полученные результаты позволили произвести научное обоснование триботехнических качеств вакуумно-плазменных покрытий, нанесенных на режущие элементы этого инструмента, что является основой оптимизации параметров покрытий и режимов обработки ДСтП фрезерованием.

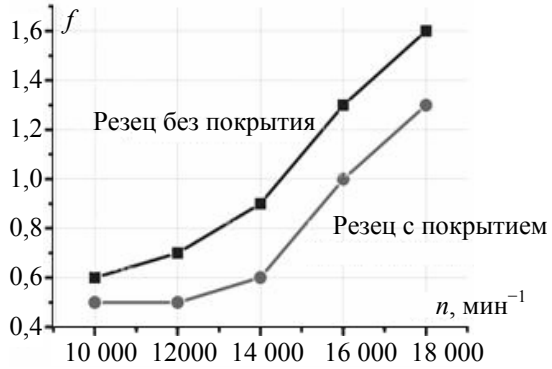


Рис. 3. Зависимость коэффициента трения f от частоты вращения хвостовой фрезы n

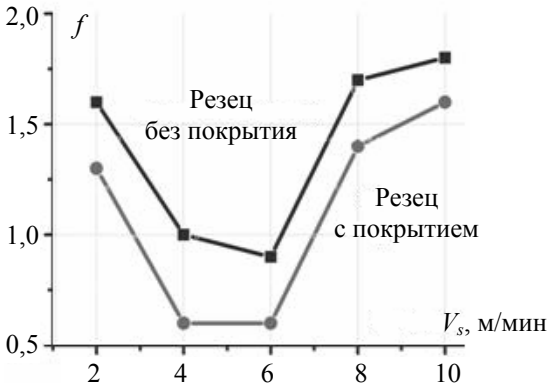


Рис. 4. Зависимость коэффициента трения f от скорости подачи V_s

Разработанная методика триботехнических испытаний инструмента при фрезеровании ДСтП представляет большое значение для установления закономерностей образования стружки, движения частиц стружки и пыли в зоне резания древесины и древесных материалов при фрезеровании в широких диапазонах параметров режима резания, для разработки методики и устройства улавливания стружки и пыли.

Литература

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

2. Пижурин, А. А. Моделирование и оптими-зация процессов деревообработки: учебник / А. А. Пижурин, А. А. Пижурин. – М.: МГУЛ, 2004. – 375 с.

3. Гольденберг, Л. М. Цифровая обработка сигналов / Л. М. Гольденберг, Б. Д. Матюшкин, М. Н. Поляк. – М.: Радио и связь, 1990. – 256 с.

Поступила 14.03.2012

УДК 674.05.621.9.02

С. С. Карпович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой (БНТУ);
С. Д. Латушкина, кандидат технических наук, заведующая лабораторией
(ГНУ ФТИ НАН Беларуси); **С. И. Карпович**, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);
О. Ю. Пискунова, инженер (БГТУ)

СТАТИЧЕСКАЯ ЖЕСТКОСТЬ ПОЛОТЕН КРУГЛЫХ ПИЛ

В статье рассмотрена методика оценки деформируемости полотна круглых пил. Качество обработки зависит от характера деформируемости зубчатого венца круглых пил, лучшее качество обработки обеспечивают пилы, зубчатый венец которых не смещается в противоположных направлениях по периметру пилы под действием осевой нагрузки.

In the article the technique of an estimation of deformability of a cloth of round saws is considered. Quality of processing depends on character of deformability of a gear wreath of round saws, better quality of processing is provided with the saws which gear wreath isn't displaced in opposite directions on perimeter of a saw under the influence of axial loading.

Введение. Работоспособность круглых пил определяется многими параметрами, в том числе статической и динамической жесткостью полотен. Под статической жесткостью понимают отношение осевой нагрузки в районе зубчатого венца пилы к величине деформации. На практике проще всего определять статическую жесткость полотна пилы и по этому параметру судить о технологических возможностях инструмента.

Основная часть. *Методика измерения статической жесткости круглых пил.*

При определении жесткости круглых пил необходимо учитывать, что реальный пильный диск деформируется не только по радиусвектору приложения поперечной силы, а и по всей поверхности диска.

Для определения связи между силовой нагрузкой и величиной деформации была смонтирована установка на базе шпинделя токарного станка 1К62. Этот узел изготавливают с максимально высокой точностью, что исключает случайные погрешности измерений. В кулачках токарного патрона фиксируется цилиндрический хвостовик узла, на котором между фланцами с помощью резьбового соединения закрепляется полотно пилы. На один из зубьев прикладывается нагрузка в осевом направлении и фиксируется величина его смещения с точностью, соответствующей цене деления лимба верхних салазок резцедержателя 0,05 мм. По периметру зубчатого венца установлены индикаторы часового типа (модель ИЧ 10МН, цена деления 0,01 мм, предел измерения по шкале 0–10 мм, допускаемая погрешность не более 4 мкм), с помощью которых фиксировалась деформация зубчатого венца в контрольных точках полупериметра пилы.

Опыты проводились в сравнительном плане. Рассматривались рабочие экземпляры дереворежущих пил, основные технологические возможности которых широко известны, а именно серийные заводские пилы, чисторежущие, пилы для продольной распиловки фирмы «*Leitz*» и экспериментальные. Точки измерений деформации зубчатого венца выбирались из условия, чтобы охватить полупериметр пилы, с учетом особенностей конструкции зубчатого венца. В каждом конкретном случае приводится схема точек, где осуществлялись измерения. В пилах с радиальными прорезями в зубчатом венце величина деформации фиксировалась по вершинам зуба перед прорезью и сразу после прорези, чтобы выявить их влияние на деформируемость зубчатого венца пилы.

Характеристика серийной пилы. Измерения деформируемости зубчатого венца проводились на серийной заводской пиле Минского инструментального завода для продольной распиловки древесины диаметром 360 мм, толщиной полотна 2,2 мм, с числом зубьев 48, подготовленной к работе на предприятии «Минскпроектмебель».

Величина деформации зубчатого венца фиксировалась в точках 0,25 ПП, 0,5 ПП, 1 ПП. Полученная графическая зависимость приведена на рис. 1.

По вертикальной оси отложены значения задаваемого осевого смещения зубчатого венца с градацией: 0,25; 0,5; 0,75; 1,5 мм. По горизонтальной оси – вызванные осевые отклонения в точках 0,25 ПП (45º), 0,5 ПП (90º), 1ПП (180º).

На удалении 0,25 ПП (45º) от точки приложения задаваемого смещения величина осевого отклонения зубьев в среднем уменьшается в 4 раза. Нулевое отклонение, т. е. мертвая точка «Н» находится на удалении ≈ 0,45 ПП при всех значениях задаваемого смещения в диапазоне от 0,25 до 1,5 мм. Дальше по полупериметру зафиксировано отклонение зубчатого венца в противоположном направлении, эта ситуация на графике показана в отрицательном диапазоне

значений оси *y*. В дальнейшем по мере приближения к противоположной точке полупериметра пилы (точка 1 ПП) величина отклонений имеет тенденцию к уменьшению и приближается к нулевому значению.

Деформация зубчатого венца строгальной пилы. Строгальная пила диаметром 310 мм, толщина полотна по режущему венцу $t = 3{,}2$ мм, число зубьев 64.

Характер деформации зубчатого венца строгальной пилы приведен на рис. 2. В сравнении с деформацией пилы производства Минского инструментального завода у строгальной пилы на удалении 0,25 ПП от точки принудительного смещения, осевое отклонение зубьев меньше в три раза. На удалении свыше 0,5 ПП оно незначительно и направлено в одну сторону, внешне напоминает начертание славянской литеры «С», в отличие от деформации зубчатого венца серийных пил, графические зависимости отклонений зубчатого венца которых переходят в отрицательную область значений оси *y* и приближаются к конфигурации латинской литеры «S». Полученные результаты хорошо согласуются с возможными схемами деформации полотен круглых пил, приведенными в источнике [1]. Характер деформации полотна круглой пилы определяет возможности процесса резания, наряду с величиной и знаком напряжений в полотне пилы [2]. Конусность полотна строгальной пилы обеспечивает возможность выполнения операций с высоким качеством обработки древесины.

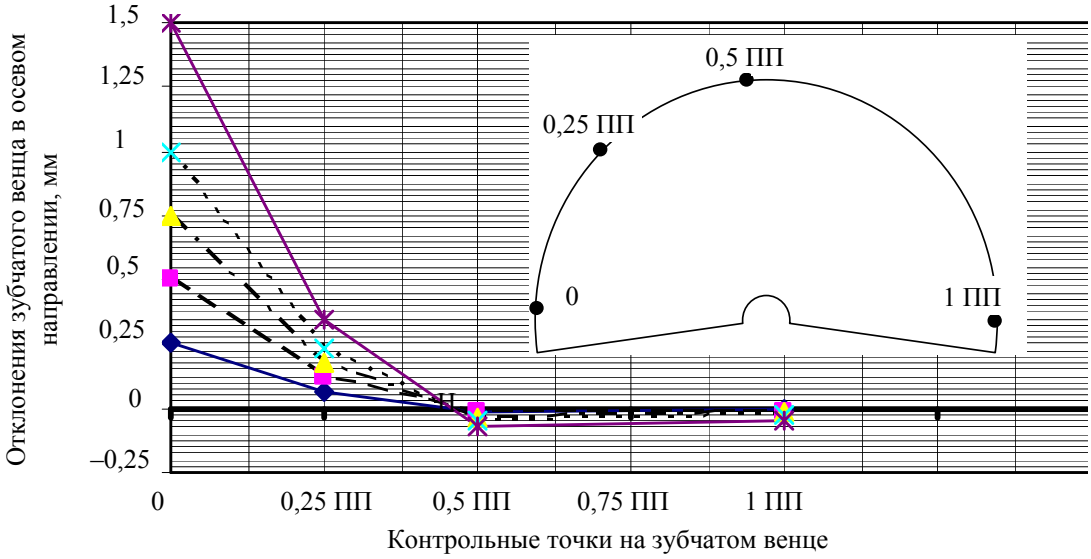


Рис. 1. Влияние величины задаваемого осевого смещения зубчатого венца на отклонение зубьев в контрольных точках полупериметра серийной пилы ($D = 360$ мм, $t = 2{,}2$ мм, $z = 48$)

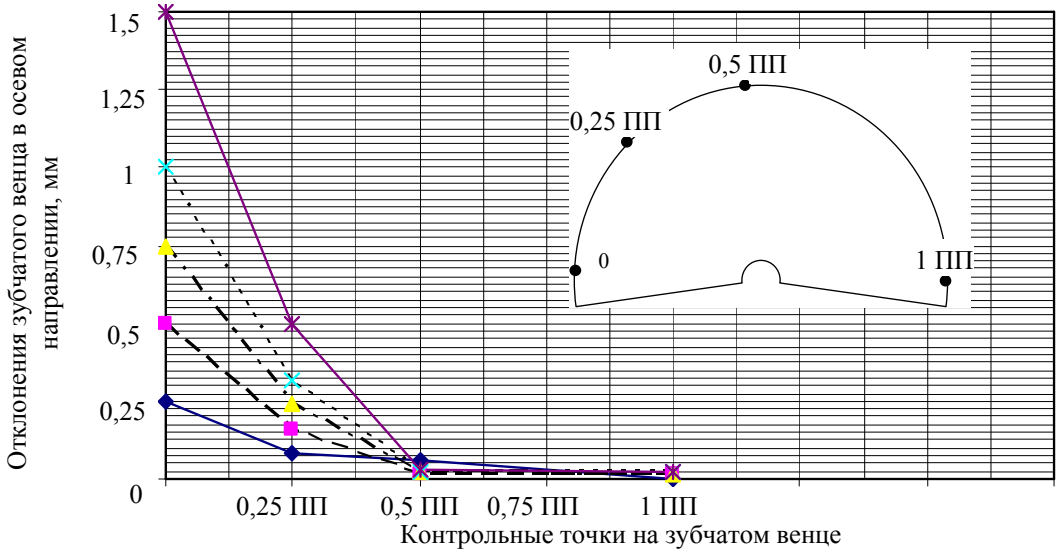


Рис. 2. Влияние величины задаваемого осевого смещения зубчатого венца на отклонения зубьев в контрольных точках полупериметра строгальной пилы ($D = 310$ мм, $t = 3{,}2$ мм, $z = 64$)

Деформация полотна круглой пилы при продольной распиловке фирмы «Leitz». Характеристика пилы для продольной распиловки фирмы «*Leitz*»: *HW – kreissageblat*, *WK* 850-2 058311, 300×3,2/2,2, *Z* = 96/9,82, σ = 25 791, n_{max} = 7600.

На полотне пилы имеются четыре радиальные компенсационные прорези в районе зубчатого венца на глубину 40 мм. Особенностью измерений деформации зубчатого венца у этой пилы является то, что фиксировалась величина отклонения вершины зуба до и после компенсационных прорезей.

Графическая зависимость деформации зубчатого венца пилы фирмы «*Leitz*» приведена на рис. 3.

Пунктирными линиями показаны отклонения перед компенсационными прорезями, а сплошными – после прорезей. Анализ графических зависимостей показывает, что наличие прорезей не оказывает принципиального влияния на характер отклонения зубчатого венца под действием статической поперечной нагрузки. Характер деформации зубчатого венца напоминает деформацию зубчатого венца строгальной пилы по С-образной кривой с некоторыми отличиями. Нулевое отклонение (точка «Н»), в отличие от аналогичной точки при отклонениях зубчатого венца серийной пилы (рис. 1), существенно смещена и находится на удалении ≈ 0,85 ПП при всех значениях задаваемого смещения. Зубья, лежащие на расстоянии после 0,85 ПП от точки приложения нагрузки, имеют тенденцию к незначительному отклонению в противоположном направлении, и значения отклонений переходят в отрицательную область значений оси *y*.

Деформация зубчатого венца опытной пилы с переменным сечением по радиусу. Параметры опытной пилы с переменным сечением по радиусу: диаметр пилы 370 мм, толщина в районе зубчатого венца 2 мм, толщина в районе проточки 1,3 мм, число блоков зубьев $z_б$ = 20.

Графическая зависимость деформации зубчатого венца опытной пилы приведена на рис. 4.

Анализ полученных графических зависимостей (рис. 4) показывает, что характер отклонений зубчатого венца опытной пилы под действием статических осевых нагрузок наиболее близок к характеру отклонений зубчатого венца строгальной пилы (рис. 2).

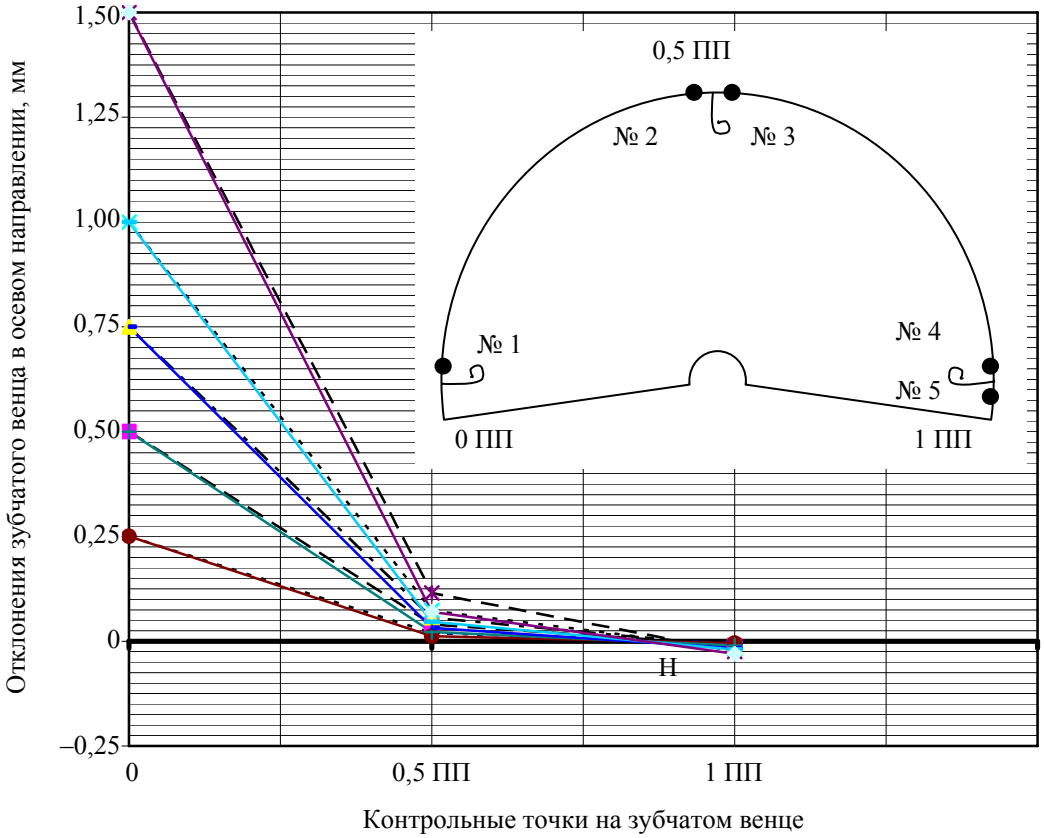


Рис. 3. Влияние величины задаваемого осевого смещения зубчатого венца на отклонения зубьев в контрольных точках полупериметра пилы фирмы «*Leitz*»
(*HW-Kreissageblatt*, *WK* 850-2 058311 300×3,2/2,2, *z* = 96/9,82, σ = 791, n_{max} = 7600)

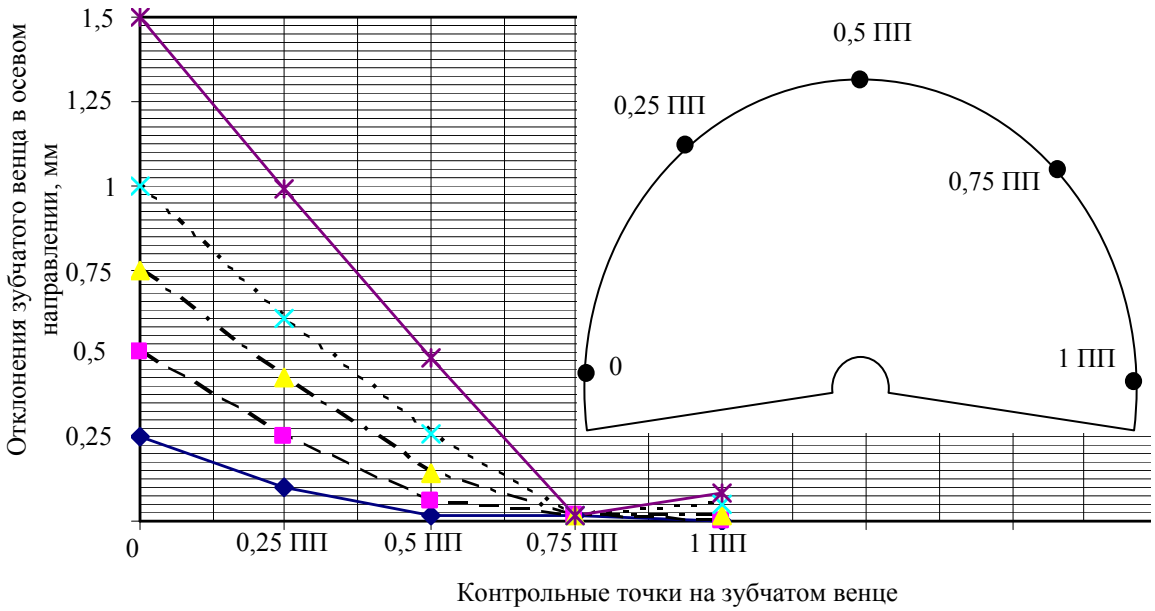


Рис. 4. Влияние величины задаваемого осевого смещения зубчатого венца на отклонения зубьев в контрольных точках полупериметра опытной пилы (D = 370 мм, t = 1,3 мм, $z_б$ = 20)

Уменьшение величины отклонения зубчатого венца, по мере удаления от точки принудительного осевого смещения, в сравнении со строгальной пилой происходит более плавно и достигает небольших значений в точке 0,75 ПП с дальнейшим приближением к нулевому значению по С-образной зависимости.

Это дает основание ожидать повышения качества поверхности пропила при работе опытными пилами с переменным сечением по радиусу аналогично уровню работы строгальных пил за счет профилирования сечения полотен круглых пил от фланцев к зубчатому венцу.

Заключение. Рассмотренная методика оценки деформируемости полотна круглых пил характеризуется простотой и возможностью применения в производственных условиях.

Исследованиями установлено: есть различия в деформируемости зубчатого венца круглых пил разного назначения и они фиксируются с высокой точностью. Сравнительный анализ показывает, что деформируемость полотен круглых пил имеет индивидуальный характер. Пилы из одной партии отличаются разными величинами осевых смещений зубьев по периметру при одинаковых условиях нагружения. Исходя из результатов проведенных исследований можно предположить, что это связано не только с погрешностью геометрических параметров пил, но и величиной остаточных напряжений в металле полотен пил, возникших на стадии предшествующих технологических операций (технологической наследственностью).

На данном этапе исследований можно сделать вывод, что лучшее качество обработки обеспечивают пилы, зубчатый венец которых по периметру не смещается в противоположных направлениях под воздействием статических осевых нагрузок в зоне зубчатого венца и изгиб полотна имеет конфигурацию С-образной кривой.

Литература

1. Szumani, R. Questions and Answers / R. Szumani // Wood Machining News (JSSN: 0743-5231). – USA, 2000. – P. 3.

2. Якунин, Н. К. Об улучшении качества круглых пил / Н. К. Якунин // Деревообрабатывающая промышленность. – 1985. – № 12. – С. 7.

Поступила 20.03.2012

УДК 001.891.55:627.8

Г. И. Касперов, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой (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, адъюнкт (КИИ МЧС Республики Беларусь)

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ НАТУРНЫХ ОБСЛЕДОВАНИЙ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ КАК ИСТОЧНИКОВ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА

Представлены методика и результаты натурных обследований искусственных водных объектов Республики Беларусь. По результатам выполненных обследований осуществлена оценка возможности возникновения гидродинамических аварий путем расчета коэффициентов потенциальной опасности. Анализ полученных данных по обобщенному классу потенциальной опасности позволил классифицировать водные объекты Республики Беларусь как источники чрезвычайных ситуаций природного характера.

Methodology and results of Belarus artificial water bodies' field surveys were presented. Based on these results potential risk coefficient for hydrodynamic accidents possibility estimation was counted. Belarus water bodies were classified as potential sources of natural emergencies.

Введение. Обследование искусственных водных объектов Республики Беларусь и оценка технического состояния сооружений напорного фронта проведены коллективом авторов в рамках выполнения научно-исследовательской работы «Разработка методик, алгоритмов и программных средств для оценки ущербов от чрезвычайных ситуаций на водных объектах Республики Беларусь различного типа» ГПНИ «Научное обеспечение безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций».

В настоящее время в Республике Беларусь в эксплуатации находятся свыше 150 искусственных водных объектов (водохранилищ). Срок эксплуатации многих из них превышает 30–40 лет. По мнению ряда исследователей, именно на таких объектах вероятность гидротехнических аварий (ГА) имеет тенденцию к росту [1].

Основная часть. С сентября 2005 года по ноябрь 2010 года авторами были проведены натурные исследования на 35 водохранилищах Республики Беларусь. Натурными обследованиями были охвачены все геоморфологические области и бассейны главных рек, на которых расположены водохранилища. Исследования выполнялись с целью выявления повреждений и деформаций гидротехнических сооружений напорного фронта и причин, их вызвавших, а также оценки технического состояния и включали в себя:

– обследования берегоукрепительных сооружений и напорных верховых откосов земляных плотин и дамб, мест их примыкания к коренным берегам водохранилищ в верхнем бьефе;

– наблюдения за состоянием водосбросных сооружений (отсутствие либо неисправность механизмов подъема затворов и их направляющих, наличие повреждений железобетонных и металлических конструкций);

– визуальные наблюдения за фильтрационными деформациями в нижнем бьефе гидроузлов (наличие суффозионного выноса грунта основания и тела плотины).

Регистрируемые параметры, по которым производилась оценка технического состояния сооружений, выбирались в соответствии с «Правилами технической эксплуатации прудов и малых водохранилищ» [2] .

По результатам проведенных обследований осуществлялась оценка возможности возникновения ГА посредством расчета коэффициентов потенциальной опасности (КПО), характеризующих состояние берегоукрепительных и водосбросных сооружений, а также напорных верховых откосов и мест их примыкания к коренным берегам и водосбросным сооружениям.

В основу оценки потенциальной опасности был положен метод ранжирования, предложенный А. Н. Разиньковым в работе [3], а также сотрудниками Воронежского государственного университета для разделения территории Воронежской области по классам опасности [4].

КПО, характеризующий состояние напорных верховых откосов и мест их примыкания к коренным берегам и водосбросным сооружениям, определялся по следующей формуле:

$$K_1 = L_{\text{п}} / L_{\text{общ}}, \qquad (1)$$

где $L_{\text{п}}$ – длина поврежденного участка напорного верхового откоса, м; $L_{\text{общ}}$ – общая длина плотины, м.

КПО, характеризующий состояние берегоукрепительных сооружений, определялся по следующей формуле:

$$K_2 = S_п / S_{общ}, \quad (2)$$

где $S_п$ – площадь разрушенных плит крепления, либо плит, имеющих сквозные трещины, м^2; $S_{общ}$ – общая площадь плит крепления, м^2.

КПО, характеризующий состояние водосбросных сооружений, определялся по следующей формуле:

$$K_3 = N_п / N_{общ}, \quad (3)$$

где $N_п$ – количество повреждений водосброса; $N_{общ}$ – общее количество возможных повреждений водосброса.

По полученным значениям коэффициентов K_1, K_2 и K_3, исходя из условия (4) определялся обобщенный класс потенциальной опасности, характеризующий возможность возникновения ГА на водохранилище с учетом технического состояния сооружений напорного фронта:

$$K = \max (K_1, K_2, K_3). \quad (4)$$

Полученные значения КПО разбивались на n интервалов, количество которых определялось по формуле

$$n = 5\lg N, \quad (5)$$

где N – число обследованных водохранилищ.

Величина интервалов определялась по следующей формуле:

$$A = (K_{max} - K_{min}) / n, \quad (6)$$

где $K_{max(min)}$ – максимальное (минимальное) значение КПО.

Затем рассчитывалась опытная вероятность по следующей формуле:

$$P_{оп} = m_i / N, \quad (7)$$

где m_i – количество значений в каждом интервале.

По полученному ряду коэффициентов осуществлялось построение кривых накопленных вероятностей согласно методике Ю. Н. Артемьева [5].

На разработанных кривых накопленных вероятностей были выделены три квантиля 25, 50 и 75%, что позволило разделить выборку на четыре равновероятных класса. Характеристика и границы указанных классов для каждого коэффициента приведены в табл. 1.

Анализ полученных данных по обобщенному классу потенциальной опасности позволил установить, что из всех обследованных водохранилищ 22,9% относятся к безопасному классу; 31,4% – умеренно опасному классу; 40% – опасному и 5,7% – чрезвычайно-опасному классам (табл. 2).

Приведенные в табл. 2 данные свидетельствуют о том, что наибольшую опасность представляют водосбросные сооружения, техническое состояние которых не позволит своевременно пропустить паводки высокой обеспеченности и может привести к переливу воды через гребень плотины. Именно по коэффициенту K_3 такие водохранилища, как Млынокское и Чигиринское, были отнесены к четвертому – чрезвычайно опасному классу.

Таблица 1

Граничные значения КПО

Граничные значения			Характеристика класса
K_1	K_2	K_3	
0–0,270	0–0,310	0–0,250	I – безопасный
0,270–0,540	0,310–0,620	0,250–0,500	II – умеренно опасный
0,540–0,810	0,620–0,930	0,500–0,750	III – опасный
0,810 и более	0,930 и более	0,750 и более	IV – чрезвычайно опасный

Таблица 2

Распределение обследованных водохранилищ по КПО

Распределение водохранилищ в зависимости от КПО, (шт/%)			
K_1	K_2	K_3	K
31/85,7	26/74,2	10/28,5	8/22,9
0/0	7/20	9/25,7	11/31,4
4/11,4	1/2,9	15/42,9	14/40
1/2,9	1/2,9	1/2,9	2/5,7

Примечание. В числителе приведено количество водохранилищ, отнесенных к различным классам, в знаменателе их процентное составляющее от общего количества обследованных водохранилищ.

а *б*

Последствия ГА на Млынокском водохранилище (обследование 29.04.2010):
а – вид левобережной части плотины; *б* – вид водосброса со стороны верхнего бьефа

На рис. приведены материалы натурных обследований, характеризующие последствия ГА на Млынокском водохранилище в результате разрушения водосброса в месте примыкания правобережной и левобережной частей плотины.

Заключение. Таким образом, в результате проведенных натурных обследований водохранилищ Республики Беларусь предложены КПО, характеризующие техническое состояние сооружений напорного фронта, а также возможность возникновения ГА. По этим коэффициентам построены кривые накопленных вероятностей, на основании которых были выделены четыре класса потенциальной опасности водохранилищ. Получены результаты расчета КПО по 35 водохранилищам и осуществлено их распределение по классам потенциальной опасности.

Разработанные коэффициенты были использованы в качестве событий, инициирующих возникновения ГА, и включены в разработанные деревья отказов для расчета вероятности возникновения аварий на гидротехнических сооружениях.

Литература

1. Малик, Л. К. Факторы риска повреждения гидротехнических сооружений. Проблемы безопасности / Л. К. Малик. – М.: Наука, 2005. – 354 с.

2. Правила технической эксплуатации прудов и малых водохранилищ: утв. М-вом мелиорации и водного хозяйства БССР 13.02.1987: текст по сост. на 01 февр. 2009 г. – Минск: Белгипроводхоз, 1987. – 31 с.

3. Разиньков, Н. Д. Геоэкологические риски возникновения чрезвычайных ситуаций на гидротехнических сооружениях Воронежской области: дис. … канд. геогр. наук: 25.00.36 / Н. Д. Разиньков. Воронеж. гос. ун-т. – Воронеж, 2006. – 191 с.

4. Курдов, А. Г. Водные ресурсы Воронежской области: формирование, антропогенное воздействие, охрана и расчеты / А. Г. Курдов. Воронеж. гос. ун-т, – Воронеж, 1995. – 224 с.

5. Артемьев, Ю. Н. Качество ремонта и надежность машин в сельском хозяйстве / Ю. Н. Артемьев. – М.: Колос, 1981. – 206 с.

Поступила 14.03.2012

УДК 001.891.55:627.8

Г. И. Касперов, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой (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, адъюнкт (КИИ МЧС Республики Беларусь);
А. А. Новиков, кандидат технических наук, доцент (БНТУ)

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМА СТОКОВЫХ ТЕЧЕНИЙ ВОДОХРАНИЛИЩ НА ОСНОВЕ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ БЕРЕГОУКРЕПИТЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Представлены результаты измерения стоковых течений в натурных и лабораторных условиях каскада водохранилищ Вилейско-Минской водной системы. По результатам исследований подготовлен программный продукт для расчета скоростного напора на водохранилищах. При решении задач моделирования на водных объектах были определены соответствующие расчетные схемы (алгоритмы), которые позволили выполнять расчет режима распределения скоростей и оценку устойчивости берегоукрепительных сооружений.

The results of laboratory and field surveys of Vileysko-Minskaya hydrologic system discharge currents were presented. Software for reservoirs currents dynamical pressure counting was developed basing on the results. Modeling in water bodies let invent calculation algorithms for currents speed spread mode counting and banks fixing constructions stability evaluation.

Введение. В Республике Беларусь насчитывается более 150 искусственных водных объектов (водохранилищ) различного типа с полным объемом более 1 млн. $м^3$ и суммарной площадью водного зеркала свыше 800 $км^2$, в том числе более 20, созданных на базе озер [1]. В стране с развитием промышленности, сельского хозяйства, транспорта и других отраслей происходит увеличение объемов энергопотребления. Для стабильной работы экономики государства необходимо увеличение количества энергопроизводящих объектов и наращивания их мощностей. В настоящее время ведется строительство крупнейшей в Беларуси гидроэлектростанции на реке Неман (Гродненской ГЭС) и планируется строительство каскадов водохранилищ гидроэнергетического назначения на реках Западная Двина, Днепр, Сож. Наряду с этим возникает проблема защиты населения и территорий, окружающей среды от гидродинамических опасных факторов, приводящих к возникновению чрезвычайных ситуаций гидрологического характера. Одним из основных вопросов при решении вышеуказанной проблемы является прогнозирование эксплуатации естественных защищенных и незащищенных береговых склонов, поскольку консервация первоначального на момент создания водохранилищ состояния берегов не обеспечивает эффективных технико-экономических решений.

Основная часть. В настоящее время полномасштабные исследования устойчивости сооружений и элементов берегоукрепительных сооружений водохранилищ проводят ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, Институт географии РАН, ЗАО «ДАРВОДГЕО» (Российская Федерация) и др. Наиболее известными исследованиями являются работы Б. А. Пышкина, Ю. А. Соболевского, Н. Е. Кондратьева, Э. И. Михневича и др. [2, 3]. Характерным повреждением берегоукрепительных сооружений является разрушение швов, что сопряжено в дальнейшем с выносом грунта, просадкой плит, появлением трещин и разломов и, как следствие, разрушением этих сооружений. Зачастую мероприятия по ремонту и восстановлению протекают очень медленно, что повышает вероятность повторных аварий на данных объектах.

Поэтому для того чтобы спрогнозировать негативные процессы в береговой зоне водохранилищ, авторами были проведены натурные измерения скоростей течения на каскаде водохранилищ Вилейско-Минской водной системы. Затем в лабораторных условиях был смоделирован аналогичный каскад водохранилищ, на котором проводились измерения скоростей течения в различных створах, совпадающих со створами на реальных объектах.

При решении задач моделирования в водных объектах, к которым относятся водотоки и водоемы, важную роль играет определение соответствующих расчетных схем (алгоритмов), по которым в последующем будет выполняться расчет режима распределения скоростей и оценка устойчивости сооружений.

Исходя из данных натурных и лабораторных исследований, был разработан программный продукт на языке Паскаль, позволяющий производить расчеты значения скоростей и напоров потока жидкости.

Поскольку при игнорировании роторной составляющей скоростного потока $\overline{v}(x, y)$, которая важна только при оценке процесса конвективной диффузии различных примесей, исходная модель (формулы (1) и (2))

$$h\rho UU_x + h\rho VU_y + P_x + \alpha F(h)U - \\ -\gamma(hU)_{xx} - \gamma(hU)_{yy} = 0; \quad (1)$$

$$h\rho UV_x + h\rho VV_y + P_y + \alpha F(h)V - \\ -\gamma(hV)_{xx} - \gamma(hV)_{yy} = 0;$$

$$(hU)_x + (hV)_y = 0 \quad (2)$$

будет описывать потенциальную составляющую скоростей $\overline{v}^*(x, y) = gradP(x, y)$.

Введенный потенциал $P(x, y)$ позволяет свести систему из трех уравнений (1)–(2) к одному уравнению типа Лапласа:

$$\nabla(F(x, y)\nabla P) = 0. \quad (3)$$

Граничными условиями для уравнения (3) являются требования непротекания на береговых линиях и задаваемый перепад отметок уровня на входном и выходном створах.

Реальные условия «прилипания» воды к береговой кромке реализуются за счет искусственного повышения шероховатости при малых глубинах, что вполне соответствует реальности.

Численное решение задач на базе уравнения (3) эффективно реализуется расщеплением по пространственным факторам, то есть путем сведения к малокритичному решению взаимозависимых одномерных задач.

Тестовым водоемом было выбрано водохранилище Криницы. В качестве исходной информации по координатной сетке задавались координаты контура береговой линии и глубины водоема, расчетные створы и острова.

Параллельно проводились лабораторные измерения скоростей течений на неразмываемых моделях водохранилищ путем использования маркера (красителя) для изучения характеристик распределения скоростей движения пятна (расстояние в единицу времени) с измерениями осредненной скорости потока жидкости микрокомпьютерным расходомером-скоростемером.

Анализ данных компьютерного моделирования и данных лабораторных исследований показывает их идентичность, что подтверждают данные натурных наблюдений за деформацией береговых склонов. На участках нахождения наибольших концентраций маркера (максимальных скоростей) прослеживается разрушение плит и берегов (абразии), что требует их дополнительного укрепления. Размыв склонов вызван при постоянной отметке уровня верхнего бьефа как ветроволновыми течениями (поперечное распределение скоростей), так и вдольбереговыми, что подтверждают результаты лабораторного моделирования.

Заключение. Анализ и проверка сходимости лабораторных и натурных данных с результатами расчетов, полученных по настоящей методике с применением экспериментального программного обеспечения по уравнениям Сен-Венана (Буссинеска – Лапласа), показал, что они могут применяться на малых водохранилищах.

Апробация программного продукта показала возможным осуществление расчета распределения скоростей с погрешностью до 15% на примере водохранилищ Вилейско-Минской водной системы, что является достаточным для инженерных расчетов, при суммарной погрешности баланса расходов (по любым створам) менее 1%.

Литература

1. Водохранилища Беларуси: справочник / М. Ю. Калинин [и др.]; под общ. ред. М. Ю. Калинина. – Минск: ОАО «Полиграфкомбинат им. Я. Коласа», 2005. – 182 с.

2. Пышкин, Б. А. Динамика берегов водохранилищ / Б. А. Пышкин. – Киев: Наукова думка, 1973. – 416 с.

3. Кондратьев, Н. Е. Расчет ветрового волнения и переформирование берегов водохранилищ / Н. Е. Кондратьев. – Л.: Гидрометеоиздат, 1951. – 107 с.

Поступила 14.03.2012

УДК 674.914:674.338

В. В. Раповец, кандидат технических наук, ассистент (БГТУ);
Н. В. Бурносов, кандидат технических наук, доцент (БГТУ)

ВЗАИМОСВЯЗЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЩЕПЫ И ДВУХЛЕЗВИЙНОГО НОЖА ПРИ ОБРАБОТКЕ БРЕВЕН НА ФРЕЗЕРНО-БРУСУЮЩИХ СТАНКАХ

В статье содержатся результаты исследований по установлению взаимосвязи геометрических параметров технологической щепы и двухлезвийного ножа при обработке бревен на фрезерно-брусующих станках. Представлен анализ графических зависимостей длины скошенной части технологической щепы, угла среза торца технологической щепы от величины смещения оси бревна по отношению к оси вращения фрез. Подтверждена целесообразность оснащения фрезерно-брусующих станков механизмами вертикального центрирования бревен.

In article results of researches on an establishment of interrelation of geometrical parametres technological chip and double blade a knife contain at processing of logs on chiper canter machine tools. The analysis of graphic dependences of length of an oblique part technological chip, a corner of a cut of an end face technological chip from size of displacement of an axis of a log in relation to an axis of rotation of mills are presented. The expediency of equipment chiper canter machine tools are confirmed by mechanisms of a vertical centering of logs.

Введение. Проблема комплексного использования сырья в лесопильной промышленности охватывает ряд вопросов, куда входят, в частности, оптимизация раскроя сырья, снижение энергоемкости процесса обработки, улучшение условий базирования пиломатериала [1], определение и внедрение в практику средств и методов использования отходов лесопиления, создание технологических процессов, исключающих или снижающих количество отходов при повышении (обеспечении) качества получаемой пилопродукции [2].

Существенный вклад в решение данной проблемы вносит комплексная обработка древесины фрезерованием [3], получившая широкое распространение не только в Республике Беларусь, но и в странах близкого и дальнего зарубежья. Реализуется она посредством применения дорогостоящего энергоемкого агрегатного оборудования в основном зарубежного производства: фрезерно-брусующих станков (ФБС) и линий на их основе.

На фрезерно-брусующих станках наиболее эффективна агрегатная обработка древесины диаметром 8–18 см с получением бруса и технологической щепы. Но опыт эксплуатации современных ФБС в Республике Беларусь и за рубежом показывает, что на данных станках в зависимости от технологии производства продукции обрабатываются бревна с вершинным диаметром свыше 18 см. Использование ФБС играет немаловажную роль для Республики Беларусь.

Основная часть. Изучение особенностей формообразования пилопродукции и технологической щепы позволило определить факторы, оказывающие влияние на качество получаемой продукции. В наибольшей степени они определяются геометрией режущего инструмента фрезерно-брусующих станков.

Фрезерно-брусующие станки оснащаются специальным режущим инструментом – фрезами со спиральным расположением цельных двухлезвийных ножей.

Геометрические параметры двухлезвийных ножей со спиральным расположением в корпусе фрезы влияют на процесс получения бруса и технологической щепы на фрезерно-брусующих станках и определяют качество получаемой продукции, энергетические затраты на процесс переработки древесины, а также эксплуатационные расходы на режущий инструмент.

Двухлезвийные ножи расположены по конической поверхности корпуса фрезы, срезают последовательно слои древесины толщиной 5 мм. Образуется технологическая щепа с углом среза торца 45º.

Проведенные экспериментальные исследования процесса резания древесины двухлезвийными ножами на ФБС [4, 5] позволили установить, что шероховатость поверхности пласти бруса зависит от угла входа ножей i (i = 1, 2, 3…) в древесину и угла выхода из древесины при обработке бревен, которые определяются величиной вертикального смещения оси бревна относительно оси вращения фрез.

Углы входа и выхода i-го ножа из древесины на соответствующей ему ширине пласти b_i бруса различные за счет конструктивной особенности фрезы и трансформации углов резания при вращении режущего инструмента.

Ранее было установлено, что длина элемента $l_э$ (мм) технологической щепы представляет собой сумму длины щепы $l_щ$ и проекции ее

скошенной части l_i и определяется по следующей формуле [6]:

$$l_{э,i} = l_щ + l_i = l_щ + \sqrt{R_i^2 - (a + \frac{b_i}{2})^2} - \sqrt{(R_i - \frac{S_щ}{\operatorname{tg}\varphi})^2 - (a + \frac{b_i}{2})^2}, \quad i = 1, 2, ..., \quad (1)$$

где $l_щ$ – длины щепы, мм; l_i – проекция скошенной части элемента щепы, мм; R_i – радиус резания i-м двухлезвийным ножом фрезы; a – величина смещения оси бревна по отношению к оси вращения фрезы, мм; b_i – ширина пласти бруса, которую формирует i-й двухлезвийный нож, мм; $S_щ$ – толщина щепы, мм; φ – угол наклона короткого лезвия ножа по отношению к длинному лезвию, град.

Из выражения (1) видно, что длина элемента $l_э$ технологической щепы изменяется только за счет проекции l_i скошенной ее части, поскольку длина $l_щ$ технологической щепы – величина постоянная (т. е. 25 мм).

Определим предельные значения величин a и b_i. Диапазоны изменения величин a и b_i, входящих в зависимость, находим исходя из технических характеристик фрезерно-брусующих станков, например PSP 500 (фирма-производитель SAB, Германия), схема обработки бревен, фрезерование на которых представлена на рис. 1.

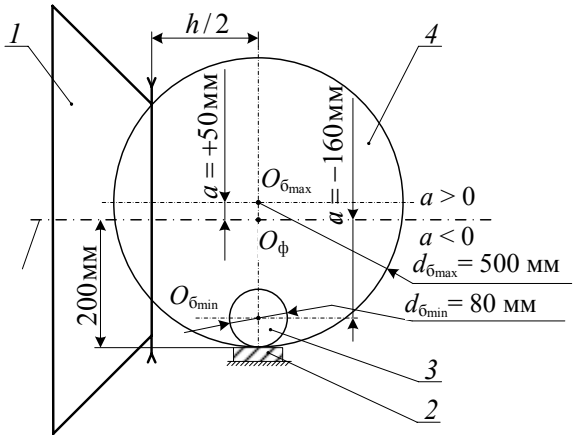


Рис. 1. Схема обработки бревен на фрезерно-брусующем станке PSP 500 (SAB, Германия):
1 – левая фреза с двухлезвийными ножами;
2 – опора; *3* – бревно минимального диаметра;
4 – бревно максимального диаметра

В процессе работы фрезерно-брусующего станка ось вращения $O_ф$ фрезы *1* не изменяет своего положения в вертикальной плоскости и находится на расстоянии 200 мм от поверхности опоры *2*, по которой базируются для обработки бревна *3* и *4* в диапазоне диаметров от $d_{б min}$ = 80 мм до $d_{б max}$ = 500 мм. На рис. 1 не показана правая фреза *1*, симметрично расположенная относительно опоры *2*. Оси бревен ($d_{б min}$, $O_{б max}$) могут смещаться на величину a выше оси вращения $O_ф$ фрез *1* ($a > 0$), ниже ($a < 0$) или совпадать ($a = 0$) с осью вращения фрез в зависимости от диаметра перерабатываемого бревна. Расстояние от оси вращения $O_ф$ фрезы *1* до оси бревна *3* минимального диаметра составляет a = – 160 мм, расстояние от оси вращения $O_ф$ фрезы *1* до оси бревна *4* максимального диаметра составляет a = +50 мм. Радиус резания R_1 первым двухлезвийным ножом фрезы *1*, близлежащим к поверхности пласти бруса, составляет 225 мм. Двухлезвийные ножи на фрезе срезают слои древесины толщиной $S_щ$ = 5 мм, угол наклона лезвий ножа φ = 45°. Если ширина пласти бруса $b_{i_{min}}$ = 0 мм (т. е. процесс резания не осуществляется и двухлезвийный нож пласть древесины не формирует); $b_{i_{max}} = 0{,}7d_{б max} = 350$ мм. Построим график зависимости l от a в заданных диапазонах изменения переменной величины b_i ($0 \le b_i \le 350$ мм).

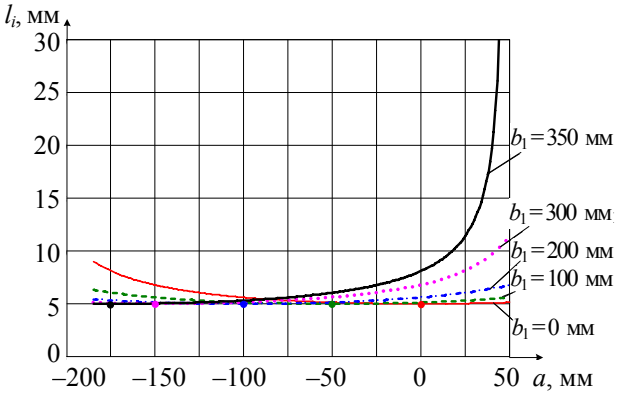


Рис. 2. Графики зависимости длины l_i скошенной части технологической щепы от величины a смещения оси бревна по отношению к оси вращения фрезы
(• – минимумы зависимости l_i от a при разных b_1)

В качестве примера на рис. 2 представлено пять графиков зависимости длины l_i от a в интервале от $-160 < a < +50$ мм при разных значениях b_1 ($0 \le a \le 350$ мм). Из рис. 2 видно, что минимальная длина скошенной части технологической щепы не превышает l_{min} = 5 мм. Наибольшее значение длины скошенной части технологической щепы в данном диапазоне изменения переменных величин a и b_i равно 47,17 мм для b_1 = 350 мм и a = 50 мм.

Из (1) следует, что длина скошенной части элемента технологической щепы зависит от толщины $S_щ$ получаемой щепы и угла φ наклона короткого лезвия ножа по отношению к длинному лезвию. Расчет по выражению (1) с учетом $l_щ$ = 25 мм показывает, что отношение $l_{э max}/l_{э min}$ достигает 2,41.

Качество поверхности среза торцов технологической щепы (поврежденность щепы) зависит от угла $\varphi_{щ}$ среза торца щепы [7], поэтому проанализируем зависимость $\varphi_{щ}$ от a при заданном значении b_i.

Тангенс угла $\varphi_{щ}$ среза торца технологической щепы при заданном значении толщины $S_{щ}$ обратно пропорционален длине l_i скошенной части щепы. С учетом формулы (1), получим:

$$\operatorname{tg}\varphi_{щ} = \frac{S_{щ}}{l_i} = \frac{S_{щ}}{\sqrt{R_i^2 - \left(a + \frac{b_i}{2}\right)^2} - \sqrt{\left(R_i - \frac{S_{щ}}{tg\varphi}\right)^2 - \left(a + \frac{b_i}{2}\right)^2}}. \quad (2)$$

На рис. 3 изображены графики зависимости $\varphi_{щ}$ от a в заданных диапазонах изменения переменной величины b_i ($0 \le b_i \le 350$ мм).

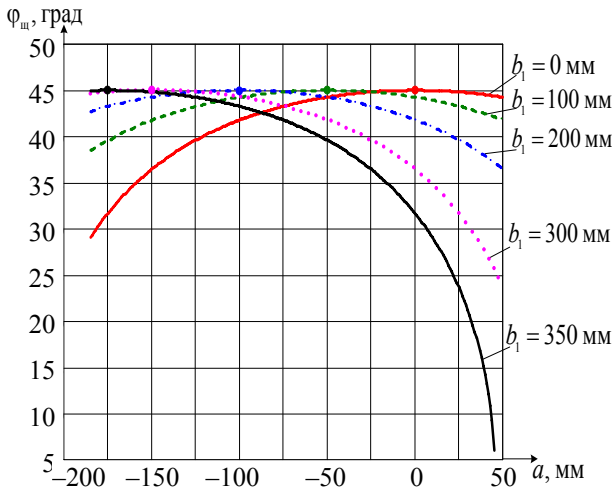


Рис. 3. Графики зависимости угла $\varphi_{щ}$ среза торца технологической щепы от величины a смещения оси бревна по отношению к оси вращения фрезы

В качестве примера на рис. 3 представлено пять графиков зависимости $\varphi_{щ}$ от a в интервале от $-160 < a < +50$ мм мм при разных значениях b_1 ($0 \le a \le 350$ мм). Из рис. 3 видно, что для $b_1 = 350$ мм угол среза торца технологической щепы имеет наименьшее значение $\varphi_{щ} = 6^{\circ}$ при расположении оси обрабатываемого бревна выше оси вращения фрез на величину $a = 45$ мм, а максимальный угол среза $\varphi_{щ_{max}} = 45^{\circ}$ достигается для всех b_i при $a = -b_i / 2$ (как это и должно быть, так как при $a = -b_i / 2$ длина l_i принимает минимальное значение).

Заключение. Представленные аналитические зависимости (1), (2) устанавливают связь параметров технологической щепы и двухлезвийного ножа (длины, толщины, угла перерезания волокон). Они влияют на производительность процесса обработки древесины фрезами со спиральным расположением ножей, а также на качественные показатели получаемой продукции, и поэтому их необходимо учитывать при расчетах режимов резания и проектировании фрез. Следует отметить, что представленные аналитические зависимости не учитывают угол заострения длинного и короткого лезвий ножа ($\beta_д$, $\beta_к$) и задний угол (α).

Проведенные теоретические исследования с анализом закономерностей, устанавливающих взаимосвязь геометрических параметров технологической щепы и двухлезвийного ножа, обосновывают и подтверждают целесообразность оснащения фрезерно-брусующих станков механизмами вертикального центрирования бревен.

Литература

1. Фефилов, Л. А. Исследование условий базирования в подающей системе лесопильных рам: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.05 / Л. А. Фефилов; Центр. науч.-исследоват. ин-т механ. обраб. древесины. – Архангельск, 1980. – 22 с.

2. Таратин, В. В. К проблеме комплексного использования пиловочного сырья с применением фрезернопильного оборудования / В. В. Таратин // Проблемы лесного комплекса России в переходный период развития экономики: материалы Всерос. науч.-техн. конф. / Волог. гос. техн. ун-т. – Вологда, 2003. – С. 108–110.

3. Лурье, Л. З. Агрегатные методы выработки пиломатериалов: автореф. дис. … д-ра техн. наук: 05.21.05 / Л. З. Лурье; Моск. лесотехн. ин-т. – М., 1978. – 42 с.

4. Раповец, В. В. Практические результаты экспериментальных исследований резания древесины двухлезвийными резцами на фрезерно-брусующих станках / В.В. Раповец // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2008. – Вып. XVI. – С. 205–208.

5. Раповец, В. В. Комплексная обработка древесины со спиральным расположением двухлезвийных ножей / В. В. Раповец // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообр. пром-сть. – 2010. – Вып. XVIII. – С. 246–251.

6. Микулинский, В. И. Расчет параметров щепы и резцов при резании спиральными фрезами / В. И. Микулинский // Респ. межвед. сб. / Бел. технол. ин-т им. С. М. Кирова. – Минск, 1985. – Вып. 15: Механическая технология древесины. – С. 105–111.

7. 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.

Поступила 14.03.2012

УДК 621.92

О. И. Костюк, аспирант (БГТУ);
А. П. Фридрих, кандидат технических наук, доцент (БГТУ)

ОСОБЕННОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСНЫХ ПЛИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ШЛИФОВАНИЯ

Статья посвящена особенностям обработки древесины и древесных плитных материалов методом шлифования. Описана теоретическая основа шлифования древесины и шлифовального инструмента различными учеными в этом направлении. В статье рассмотрены основные схемы шлифования древесины. К ним относятся шлифование с плоской зоной контакта, со шкивной частью (цилиндрической), свободной лентой, прижимом (узким и широким утюжком). В работе описан характер строения шлифовального инструмента, материал абразива, способы насыпки абразивного зерна.

The article is dedicated to particularity of the processing wood and slabby material by method grinding. It is described theoretical base grinding wood and polishing instrument different scientist in this direction. In article are considered main schemes grinding wood. To he pertain grinding with flat zone of the contact, with band wheel by part (cylindrical), with free tape, with pressed (narrow and broad ironing). In work is described nature of the construction of the polishing instrument, material abrasive, ways bulding of abrasive grain.

Введение. Важнейшими задачами деревообрабатывающей промышленности являются:

1) экономия электроэнергии, применение рациональных энергосберегающих режимов резания;

2) повышение производительности, качества и точности обрабатываемой продукции;

3) рациональное использование древесины и древесных плитных материалов.

В настоящее время в мировой практике мебельного столярно-строительного и других производств широко используется большое количество разнообразных станков и линий на основе комбинации способов фрезерования и шлифования. Основное внимание уделяется конструктивному совершенствованию моделей станков, построению рациональных технологических потоков на их базе с учетом режимов эксплуатации. Деревообрабатывающая промышленность с каждым годом увеличивает выпуск изделий и древесных плитных материалов.

Основная часть. Шлифованием называется процесс абразивной обработки с преобладанием резания поверхности детали в целях ее выравнивания до плоского состояния, придания ей высокой гладкости и калибрования щитовых деталей. Различают ленточное, цилиндровое и дисковое шлифование с целью выравнивания поверхности до плоского состояния, придания ей высокой гладкости и калибрования щитовых деталей. Различают ленточное, цилиндровое и дисковое шлифование.

Шлифовальную шкурку можно рассматривать как многолезвийный инструмент с большим числом режущих элементов – абразивных зерен с режущими кромками. Зерна из электрокорунда, карбида кремния или других абразивных материалов посредством связки из животного клея, карбамидной или фенольной смолы связаны друг с другом и с основой из бумаги, ткани, фибры или комбинации этих материалов.

Номер зернистости характеризует крупность зерен основной фракции (части) зернового состава: для шлифзерна и шлифпорошков он соответствует размеру (в сотых долях миллиметра) стороны ячейки сита, на котором задерживаются зерна основной фракции; для микропорошков и тонких микропорошков он равен наибольшему линейному размеру (в микрометрах) зерна в поперечнике.

Основные параметры режима шлифования для шкурки выбранной зернистости: давление на шлифуемой поверхности, направление шлифования относительно волокон древесины, скорость резания, скорость подачи, длина контакта с древесиной.

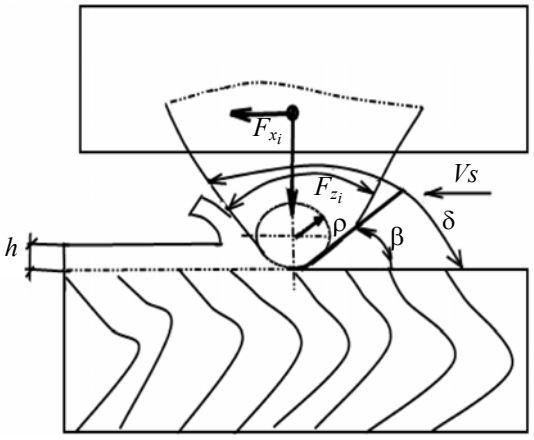


Рис. 1. Схема резания абразивным зерном

Каждое абразивное зерно воздействует на древесину с элементарной касательной и нормальной силой (формула (1)). Сумма этих элементарных

сил составляет общую касательную силу F_{x_i} и нормальную F_{z_i} (рис. 1).

Ввиду того, что процесс шлифования не имеет стабильных условий резания, касательную силу F_x рассматривают как функциональную силу трения:

$$F_x = C \cdot q_i \cdot A, \text{ Н}, \quad (1)$$

где A – площадь контакта: $A = bl_k$, м^2; l_k – длина контакта шлифовальной шкурки; b – ширина обрабатываемой заготовки; C – коэффициент сцепления абразивов с древесиной [1].

Давление q в зоне контакта шлифовального инструмента с обрабатываемым материалом влияет на количество активных режущих зерен и на производительность инструмента.

Увеличение давления мало влияет на среднюю толщину срезаемых стружек и на шероховатость шлифовальной поверхности. По опытным данным, повышение давления в 50 раз приводит к увеличению глубины неровностей всего на 5–14 %. Практика и специальные исследования показывают, что при чистовом шлифовании наилучшее качество поверхности достигается при шлифовании вдоль волокон (угол скоса $\varphi_c = 0^\circ$). В чистовом шлифовании поверхности под высококачественную отделку допускается угол скоса не более 15º. При $\varphi_c > 15^\circ$, как, например, при обработке щитов, облицованных в елку или в ромб, требуется шлифование до получения поверхностей с микронеровностями высотой не более 6–8 мкм: только тогда следы от зерен будут незаметны. Черновое шлифование рамных столярно-строительных изделий с продольными и поперечными брусками рекомендуется при $\varphi_c = 45^\circ$. Встречается шлифование с углом скоса 90º, т. е. поперек волокон (обработка паркетных досок).

При ленточном шлифовании существует измеряемая по направлению оптимальная длина контакта шкурки с древесиной. Зерна шкурки могут срезать и унести с поверхности изделия лишь то количество стружки, которое умещается в межзерновом пространстве. При чрезмерной длине контакта стружка постепенно заполняет все свободное пространство между зернами и оттесняет шкурку от изделия, из-за чего съем древесины вначале сокращается, а затем прекращается. Оптимальная длина контакта не зависит от скорости шлифования, мало зависит от давления и породы древесины, но определяющим образом зависит от зернистости шкурки [2]. Соотношение стандартов зарубежных и отечественных шлифовальных материалов приведено в таблице.

Для шлифования весьма сложно заранее предсказать геометрию шлифовальной поверхности, т. к. распределение абразивных зерен в инструменте случайно и незакономерно.

В производственной практике ожидаемую глубину неровностей на шлифованной поверхности, мкм, определяют по эмпирической формуле (2):

$$R_{m_{\max}} = (110 \pm 20) \cdot (d_i / \rho), \quad (2)$$

где d_i – размер зерен основной фракции зернистости, мм; ρ – плотность древесины, г/см^3; знак «плюс» – для острой шкурки, «минус» – для тупой.

Соотношение стандартов различных фирм-производителей шлифовальных материалов (зерно-оксид кремния черного)

Стандарт FEPA	ГОСТ 3647–1980	Размер зерна, мкм	Стандарт FEPA	ГОСТ 3647–1980	Размер зерна, мкм
P12	№ 160	1815	P220	№ 6	68
P16	№ 125	1324	P240	№ 5 и 4	58,5
P20	№ 100	1000	P260	№ М63	52,2
P22	№ 80	800	P280	№ М50	46,2
P24	№ 63	764	P320	№ М40	40,5
P30	–	642	P360	№ М28	35,0
P36	№ 50	538	P400	№ М20	18,3
P40	№ 40	425	P500	№ М14	15,3
P50	№ 32	336	P600	№ М10	12,6
P60	№ 25	269	P800	№ М7	8,4
P80	№ 20	201	P1200	№ М5	–
P100	№ 16	162	P1500	№ М3	–
P120	№ 12	125	P2000	№ М2	–
P150	№ 10	100	P2500	№ М1	–
P180	№ 8	82			

Скорость резания при шлифовании древесины вычисляется согласно схемам процесса как окружная скорость на поверхности шкива, приводящего в движение ленту цилиндра или диска. Проведенная глубина шлифования (толщина снимаемого слоя) за один проход представлена в формуле (3):

$$t_i = (\frac{2}{3})\left[R_{m_{\max(i-1)}} - R_{m_{\max(i)}} \right], \text{ мм}, \qquad (3)$$

где $R_{m_{\max(i)}}$ – средняя величина максимальных неровностей после обработки, мкм; $R_{m_{\max(i-1)}}$ – то же до обработки, мкм. Для сохранения высокой производительности процесса детали шлифуют за два-три прохода, уменьшая от прохода к проходу зернистость шкурки.

Чтобы расчитать скорость подачи для заданных условий шлифования, необходимо знать удельную производительность инструмента (шкурки). Удельная производительность шкурки $a_{ш}$ – это номинальный объем, см³, материала, удаляемого с 1 см² обрабатываемой поверхности при перемещении инструмента вдоль поверхности на 1 см. Следовательно, $a_{ш}$ имеет размерность см³/(см²·см).

Удельную производительность шкурки $a_{ш}$ определяют по импирической формуле (4):

$$a_{ш} = 1{,}12 \cdot 10^{-6} \frac{q}{\rho} \sqrt{d_i} \cdot a_{м} a_{н} a_{\rho n}, \qquad (4)$$

где q – давление, кПа; ρ – плотность древесины, г/см³; d_i – размер зерен основной фракции данного номера зернистости, мм; $a_{м}$ – поправочный множитель на вид материала абразива (электрокорунд – 1; кремень – 1,3; $a_{н}$ – оправочный множитель, характеризующий способ нанесения абразивных зерен на основу (гравитационный (–1); электростатический – 1,25); $a_{\rho n}$ – оправочный множитель, учитывающий остроту шкурки (острая – 1,4; средней остроты – 1; тупая – 0,7).

По известной $a_{ш}$ скорость подачи определяется по формуле (5):

$$\vartheta_s = 6 \cdot 10^4 a_{ш} \vartheta(l_k / t_i), \text{ м/мин}. \qquad (5)$$

При шлифовании различают общие касательную F_x, нормальную F_z и осевую F_y (например, при осциляции инструмента) силы, получающиеся от сложения соответствующих сил на всех режущих абразивных зернах. Осевая сила из-за ее малости обычно не учитывается.

В рассчетных формулах касательную силу определяют аналогично силе трения из-за определяющей роли процесса трения, и поскольку нормальная сила резания F_z, формула (6), практически, задается режимом шлифования как суммарная сила нормального давления по площади контакта f_k. Таким образом,

$$F_x = F_z f_{ш};\ F_z = 0{,}1 q f_k, \text{ Н}, \qquad (6)$$

где $f_{ш}$ – коэффициент шлифования, величина безразмерная; q – давление по площади контакта, кПа; $f_к = Bl_k$ – площадь контакта, см².

В зависимости от части ленты, участвующей в работе, и характера контакта между древесиной и шлифовальной лентой узколенточные станки делят на группы [3].

На широколенточных станках для выравнивания и чистовой обработки с обрабатываемой поверхности удаляют местные неровности (до 300 мм по поверхности и до 0,2…0,4 мм по высоте) и снижают ее шероховатость (рис. 2).

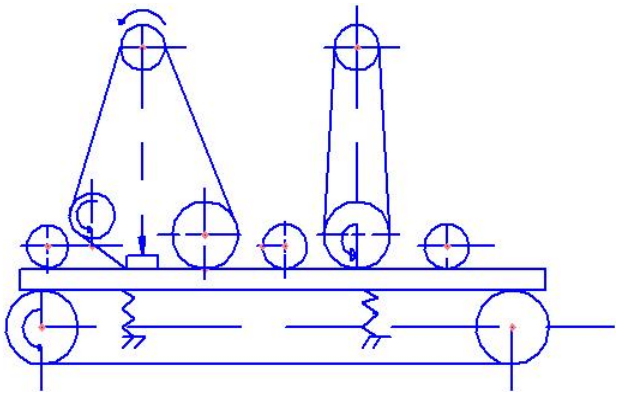


Рис. 2. Функциональная схема широколентного шлифовального станка

Схемы узколенточных шлиовальных станков: а) со шкивной частью ленты; б) неподвижным столом; в) контактным прижимом широким утюжком; г) то же с узким утюжком (рис. 3).

Станки со свободной лентой применяются для шлифования криволинейных деталей.

Станки с контактным прижимом делятся на две группы: с прижимом утюжком и шкивной частью.

Из числа первых можно выделить станки, в которых используется узкий утюжок размером меньше обрабатываемой детали, устанавливаемой на каретке, и станки, в которых длина утюжка больше детали, подаваемой на конвейере.

Абразивный материал может быть природного (гранат, наждак) или искусственного происхождения (карбит кремния, электрокорунд – оксид кремния), шлифовальная лента представлена на рис. 4.

Насыпка абразивного материала на основу может осуществляться механическим (поля гравитации) или электростатическим полем (действие кулоновских сил). Различают 100%-ную (плотную насыпку), 75%-ную и 50%-ную (редкую насыпку) [4].

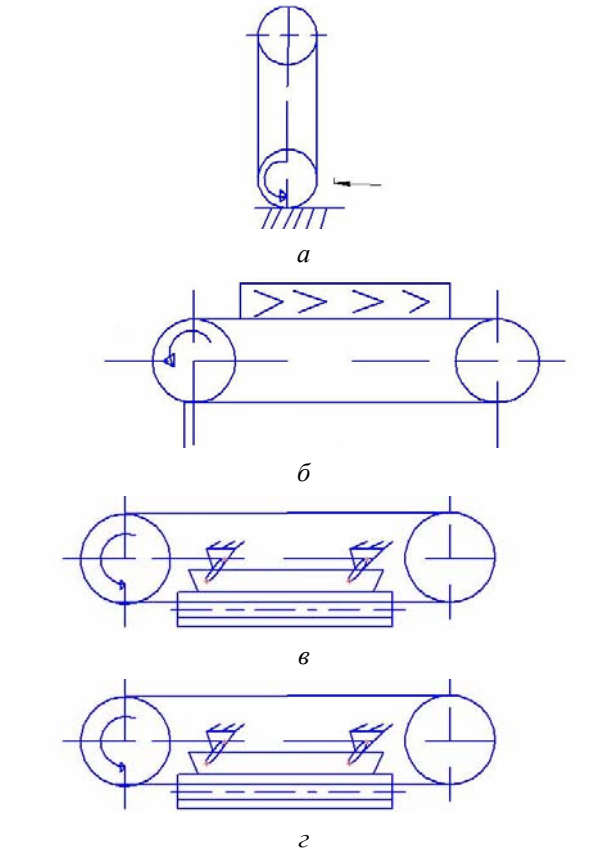


Рис. 3. Схемы узколенточных шлифовальных станков:
а – со шкивной частью ленты;
б – неподвижным столом; *в* – контактным прижимом широким утюжком; *г* – то же с узким утюжком

Таким образом, шлифование необходимо производить в последовательных циклах, начиная с крупного абразивного зерна, при каждом цикле следует применять более мелкое абразивное зерно, что позволит добиться более качественной шлифовки.

Большие успехи в рассмотрении механической обработки древесины и древесных плитных материалов методом шлифования имели различные ученые как – зарубежные так и отечественные. Большую роль шлифованию древесины уделяли отечественные исследователи, такие как В. В. Амалицкий, Н. В. Маковский, В. И Любченко, А. Б. Пижурин и т. д.

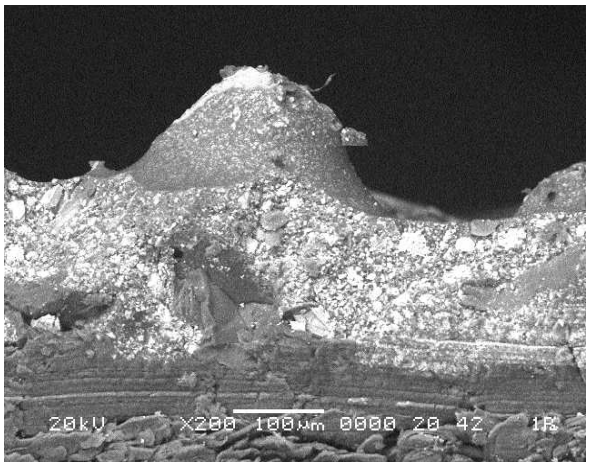


Рис. 4. Шлифовальная лента Р80 при увеличении под микроскопом

Заключение. По результатам проведенного литературного обзора и изучения практического опыта можно сделать следующие выводы.

1) Существует целесообразность выполнения научно-исследовательских работ по изучению динамики процесса шлифования древесных материалов.

2) Есть необходимость в установлении физико-механических закономерностей расхода энергоносителя при выполнении процесса шлифования с получением установленного качества (шероховатости) обработанной поверхности и с учетом расхода абразивного инструмента и его производительности.

Литература

1. Бершадский, А. Л. Резание древесины / А. Л. Бершадский, А. И. Цветкова. – Минск: Минск: Выш. шк., 1975.

2. Амалицкий, В. В. Оборудование отрасли: учебник / В. В. Амалицкий, Вит. В. Амалицкий. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2006.

3. Любченко, В. И. Резание древесины и древесных материалов / В.И. Любченко. – М.: Лесная пром-сть, 1986.

4. Грубэ, А. Э. Дереворежущие инструменты / А. Э. Грубэ. – М.: Лесная пром-сть, 1971.

Поступила 14.03.2012

УДК 620.1.08

А. В. Дорожко, кандидат технических наук, доцент (БГТУ)

ДАТЧИК ПРОГИБА С ЗАЩИТОЙ ОТ ПОВРЕЖДЕНИЯ

В статье рассмотрена конструкция датчика для измерения прогиба образца при испытаниях на изгиб. Датчик представляет собой плоскую раму, образованную четырьмя стержнями. Один из стержней (шток), является подвижным, другой представляет собой тензобалку и предназначен для преобразования ее деформации в электрический сигнал. При разрушении образца или другом неконтролируемом перемещении штока происходит размыкание соединения штока с тензобалкой. В результате этого датчик не получает повреждения. Для дальнейшего использования прибора необходимо установить шток в исходное положение. Получены расчетные зависимости для определения размеров стержней датчика при заданном диапазоне измерения.

This article examines the construction of sensor for measuring the sagging. It is the frame, which consists of four rods. One of the rods (stock) is mobile and is found in the contact with the model. Another rod (beam) is the elastic element, whose deformations are measured with the aid of the strain gage resistors. Remaining two rods lock the kinematics chain, transferring the measured displacement from the stock to the beam. The special feature of sensor is protection from damage, if model will be destroyed or will occur the uncontrollable motion of stock. For this connection of stock and beam it is executed by mobile. As a result this during the uncontrollable motion of stock, which exceeds the range of the measurement of sensor, connection is uncoupled without the destruction. The connection between the displacements of stock and free end of the beam is examined. The relationships between the sizes of rods, which ensure the correct work of sensor, are obtained on this base.

Введение. В экспериментальной практике прогиб измеряют при решении двух типов задач. Первой задачей является натурная тензометрия сооружений и конструкций с целью оценки их прочности и жесткости. Вторая задача – это измерение деформаций образцов в испытательных машинах и приспособлениях с целью определения характеристик жесткости непосредственно самого конструкционного материала.

Основная часть. При исследовании механических свойств материалов широко распространены испытания образцов на изгиб. Это обусловлено сравнительной простотой как изготовления образцов, так и самой процедуры испытания. Образцы имеют простую и технологичную форму прямой призмы, что обеспечивает невысокую стоимость их изготовления. Например, для испытания на растяжение используются образцы, имеющие форму двойной лопатки, что требует дополнительных технологических операций при их изготовлении.

В процессе испытания необходимо измерять деформацию образца и силу его сопротивления этой деформации. Измерение силы производится основным или дополнительным динамометром испытательной машины без каких-либо особенностей.

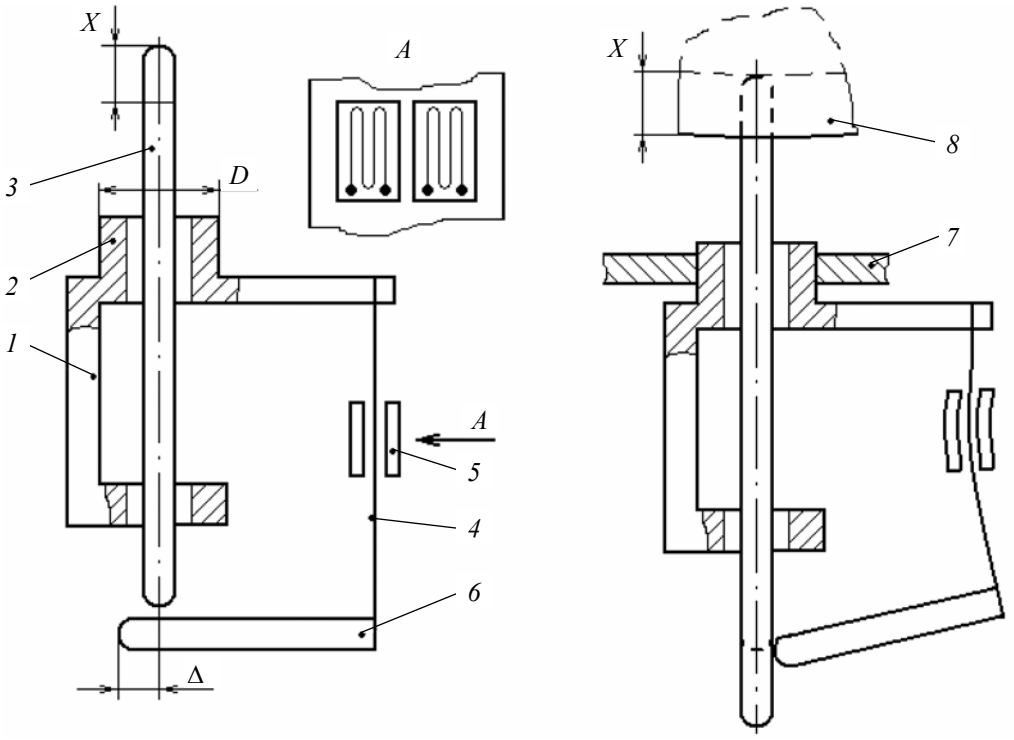
Среди множества различных методов измерения деформаций образца наиболее распространены два. Первый – это измерение прогиба в заданном сечении образца, второй – непосредственное измерение деформаций его внешних слоев [1].

В первом случае используется датчик прогиба, который устанавливается на основании испытательной машины обычно под образцом. Он измеряет перемещение всего сечения, под которым установлен.

Во втором случае используются различные типы специальных приборов, называемых тензометрами. Это приборы, которые крепятся на образце и служат для измерения линейных деформаций в месте установки. Наиболее распространенными для этих целей являются фольговые тензорезисторы, которые наклеиваются на образец и представляют с ним одно целое.

Выбор метода измерения деформации зависит от многих факторов. Основными являются вид структуры материала и экономические соображения.

Если материал образца обладает высокой степенью анизотропии, то использование наклеиваемых тензорезисторов может привести к существенной погрешности в измерении, вызванной поперечной чувствительностью датчика [2]. Кроме того, для композиционных материалов, особенно со слоистой структурой, результат измерения может зависеть от места наклейки тензорезистора [1]. Следует отметить, что градуировке подвергается непосредственно тот датчик прогиба, который используется при измерениях. При использовании тензорезисторов такая возможность отсутствует, поэтому градуируют контрольный экземпляр из партии подобных и его параметры приписывают всем остальным, что снижает достоверность эксперимента.



а *б*

Рис. 1. Принципиальная схема датчика прогиба

Из изложенного следует, что использование датчиков прогиба является предпочтительным. Это обусловлено их большей точностью и тем, что, в отличие от тензорезисторов, которые являются одноразовыми, датчики прогиба могут использоваться многократно, что более целесообразно и с экономической точки зрения.

Анализ конструкций известных датчиков прогиба показал наличие существенного недостатка, который заключается в том, что при разрушении образца весьма вероятно повреждение штока датчика или элементов, измеряющих перемещения [3].

На рис. 1, *а* показан общий вид прибора, свободного от указанного недостатка.

Он состоит из корпуса *1*, снабженного цилиндрическим хвостовиком *2*. В корпусе *1* имеется два отверстия, в которых установлены направляющие (условно не показаны) для измерительного штока *3*. Конструктивно каждая направляющая представляет собой три миниатюрных шарикоподшипника, установленных под углом 120 градусов в плоскости, перпендикулярной оси штока *3*, и контактирующих внешними обоймами с его поверхностью. Это обеспечивает минимальное трение и практическое отсутствие люфта в направляющих. Концы штока *3* закруглены и имеют форму полусфер.

Тензобалка *4* с наклеенными на нее четырьмя тензорезисторами *5* крепится одним из концов на корпусе *1*. Тензорезисторы соединены в полностью активный измерительный мост Уитстона, который подключается к стабилизированному источнику питания и вторичному измерительному прибору, например, к вольтметру.

Рычаг *6*, прикрепленный к противоположному концу тензобалки *4*, замыкает кинематическую цепь: корпус *1* – шток *3* – тензобалка *4*, образуя высшую кинематическую пару шток *3* – рычаг *6*. При этом свободный конец рычага *6* имеет форму боковой поверхности половины цилиндра с диаметром равным толщине рычага.

Прибор крепят в посадочном отверстии приспособления для испытаний образцов на изгиб *7* при помощи хвостовика *2*. При этом шток *3* контактирует с нижней поверхностью образца *8* (рис. 1, *б*).

Работает прибор следующим образом. Когда образец изгибается, его нижняя поверхность перемещает шток *3* на расстояние *x*, равное прогибу. Это перемещение через высшую кинематическую пару передается к рычагу *6*, который изгибает прикрепленную к нему тензобалку *4*. Вместе с ней деформируются тензорезисторы *5*. Причем их деформация пропорциональна перемещению штока *3*, а значит, и выходное напряжение на измерительной диагонали моста Уитстона *y* пропорционально измеряемому прогибу образца *x*.

Для вычисления действительного значения прогиба *x* по измеренному напряжению *y*

необходимо использовать градуировочную характеристику прибора $x = f(y)$ (функция преобразования). Ее получают перед испытанием. Для этого прибор закрепляют в специальном градуировочном приспособлении и задают перемещение штоку *3*. При этом одновременно измеряют перемещение x и выходное напряжение y образцовыми приборами. На основании регрессионного анализа этих данных получают градуировочную характеристику прибора $x = f(y)$.

Если в процессе испытания образец разрушится, то шток *3* получит значительное перемещение. Однако это не приведет к поломке прибора (разрушению тензорезисторов), поскольку высшая кинематическая пара шток *3* – рычаг *6* разъединится и шток *3* переместится на нужное расстояние, уже не изгибая тензобалку *4* (см. рис. 1, *б*). Для последующего использования прибора следует установить шток *3* в рабочее положение, отгибая рычаг *6*.

Очевидно, что для обеспечения установленного диапазона измерения x величина вылета конца рычага *6* за ось штока *3* – Δ должна иметь определенное значение. Рассмотрим методику его определения.

Расчетная схема прибора показана на рис. 2, где он представлен в виде плоской рамы *ABCD*.

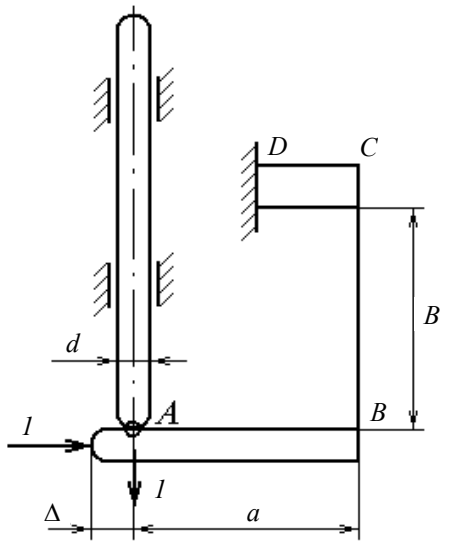


Рис. 2. Расчетная схема прибора

Жесткость участка *BC*, образованного тензобалкой *4*, принята равной *EI*, участки *AB* и *DC* приняты абсолютно жесткими. Исходя из этого, все перемещения в системе происходят вследствие деформаций участка *BC*.

Для определения связи между вертикальным и горизонтальным перемещениями точки *A*, принадлежащей рычагу *6*, воспользуемся интегралом Мора. С этой целью прикладываем к рычагу вертикальную и горизонтальную единичные силы *1*. Тогда вертикальное x и горизонтальное Δ перемещения будут равны:

$$x = \frac{1}{EI}\int_0^b M_1^V M_1^V dx = \frac{a^2 b}{EI};$$

$$\Delta = \frac{1}{EI}\int_0^b M_1^V M_1^H dx = \frac{ab^2}{2EI}.$$

Отсюда получаем соотношение $\Delta = x\dfrac{b}{2a}$ между измеряемым перемещением x и величиной вылета конца рычага *6* за ось штока *3* Δ.

Заключение. В результате проведенного анализа методики измерения деформаций образцов при изгибе установлено, что предпочтительным является использование выносных датчиков прогиба. При этом их конструкция должна обеспечивать сохранность датчика в случае возникновения запредельного перемещения, например, при разрушении образца.

Для выполнения указанных требований разработана конструкция датчика с защитой от повреждения, получены соотношения для расчета размеров элементов датчика прогиба, обеспечивающие требуемый диапазон измерения и сохранность датчика при его превышении.

Литература

1. Ашкенази, Е. К. Анизотропия конструкционных материалов: справочник / Е. К. Ашкенази, Э. В. Ганов. – Л.: Машиностроение, 1980. – 247 с.

2. Тарнопольский, Ю. М. Методы статических испытаний армированных пластиков / Ю. М. Тарнопольский, Т. Я. Кинцис. – М.: Химия, 1975. – 264 с.

3. Новицкий, П. В. Электрические измерения неэлектрических величин / П. В. Новицкий. – Л.: Энергия, 1975. – 576 с.

Поступила 06.03.2012

УДК 674.023

А. С. Кравченко, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);
С. Э. Бобровский, кандидат технических наук, старший преподаватель (БГТУ)

ОЦИЛИНДРОВКА КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ НОЖАМИ, ДАЮЩИМИ ВОЗМОЖНОСТЬ ПОЛУЧАТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКУЮ ЩЕПУ

В представленной работе проведен расчет силовых показателей при оцилиндровке круглых лесоматериалов специальными ножами, дающими возможность получать технологическую щепу, и сформулированы выводы по существу данного вопроса.

In this study, we calculated the power indices in cylindering round timber with special knives, making it possible to receive the wood chips and formulate conclusions on the merits of the issue.

Введение. В соответствии со стратегией устойчивого социально-экономического развития республики до 2015 г. предполагается обеспечить ввод жилья общей площадью 2,8–3,3 млн. м^2 ежегодно и в дальнейшем эти площади увеличивать. Решение данной проблемы непосредственно связано с необходимостью роста физических объемов производств деревянного домостроения и других видов столярно-строительной продукции. Производство деревянных домов тесно связано с оцилиндровкой круглых лесоматериалов.

В настоящее время актуальной является задача изготовления оборудования, позволяющего производить оцилиндровку круглых лесоматериалов надлежащего качества и приемлемой себестоимости.

Расчет силовых показателей при оцилиндровке древесины с получением технологической щепы. Расчет силовых показателей возможных вариантов при оцилиндровке древесины выполнен с учетом основных технических характеристик оцилиндровочного станка.

При выполнении оцилиндровки резец является активной частью режущего инструмента. Конструкция ножа должна соответствовать требованиям, предъявляемым к технологической щепе.

Конструкция ножа сборная. Режущий элемент представляет собой резец U-образной формы, который крепится к державке посредством двух винтов. Резец имеет боковую зарезную, главную режущую и боковую подрезную кромки.

Углы резания существенно влияют на процесс стружкообразования и выбираются в зависимости от условий резания.

Угол заточки β предопределяет режущие свойства резца. Анализ литературных источников и опыта эксплуатации оборудования по производству технологической цепы показывает, что данный угол может находиться в пределах 40–45°.

Для уменьшения сил трения между задней поверхностью резца и обрабатываемым материалом рекомендуется формировать режущие кромки с задним углом 12–15° в случаях выполнения операций по формированию стружки, что имеет место для зарезной и главной кромок. Подрезная же кромка практически не соприкасается с обрабатываемым материалом, поэтому можно рекомендовать задний угол в пределах 5–8°.

Использование составной конструкции ножа позволяет упростить монтаж инструмента и способ его регулирования. Ножи можно устанавливать при оцилиндровке по спирали в специальных кронштейнах в один или два ряда. Количество режущих элементов и их рядность зависят от диаметра обрабатываемых бревен (величины сбега) и их длины. Следует отметить, что при данном способе крепление ножей жесткое и величина падения спирали обусловлена толщиной щепы ($S_{щ}$).

Данный инструмент можно использовать и для окорки древесины. В этом случае устанавливают 1–2 ножа, но с использованием плавающей системы ориентации ножа по отношению к обрабатываемому материалу, т. е. требуется оснастить станок следящим устройством.

Для принятой принципиальной схемы скорость подачи определяется по формуле:

$$V_S = S_Z \cdot z \cdot n / 1000, \text{ м/мин}, \qquad (1)$$

где z – количество ножей, шт.; n – частота вращения ротора, мин; S_Z – продольная подача на нож ($S_Z = l_{щ}$), мм.

Скорость резания определяется по формуле

$$V_P = \pi \cdot D_{бр} \cdot n / 60 \cdot 1000, \text{ м/с}, \qquad (2)$$

где $D_{бр}$ – диаметр обрабатываемого бревна, мм.

Поправочные коэффициенты на породу древесины

Коэффициент	Мягкие породы						Твердые породы			
	липа	осина	ель	сосна	ольха	лиственн.	береза	бук	дуб	ясень
a_n	0,80	0,85	0,95	1,0	1,05	1,10	1,25	1,40	1,55	1,75

Из формулы (1) можно получить зависимость для определения количества режущих элементов:

$$z = 1000 \cdot V_S / S_Z \cdot n.$$

Длина щепы регламентирована ГОСТ 15.815–88, и для производства древесноволокнистых плит приемлемы параметры по длине 10–35 мм, толщине не более 5 мм, а для древесностружечных плит соответственно 10–60 мм. Условно для расчетов принято S_Z = 35 мм. Тогда для частот вращения ротора и скорости подачи оцилиндровочного станка, согласно техническим данным, получим необходимое количество режущих инструментов.

Количество режущих элементов можно определить с учетом толщины снимаемого слоя древесины:

$$h = D_{бр} - d,$$

где d – диаметр полученной заготовки, мм.

В этом случае

$$z = h / S_{щ}.$$

Сила резания при получении технологической щепы зависит от ее толщины и длины. Согласно исследованиям [1], расчетная формула имеет вид при получении щепы с параметрами

$$F = 366 - 0{,}63 \cdot l_{щ} - 109{,}5 \cdot S_{щ} + \\ + 1{,}88 \cdot l_{щ} \cdot S_{щ} + 14{,}3 \cdot S^2_{щ}, \text{ Н}. \quad (3)$$

При $l_{щ}$ = 35 мм и $S_{щ}$ = 5 мм имеем:

$$F = 366 - 0{,}63 \cdot 35 - 109{,}5 \cdot 5 + 1{,}88 \times \\ \times 35 \cdot 5 + 14{,}3 \cdot 5^2 = 482{,}9 \text{ Н}.$$

Приведенная формула действительна для обработки древесины сосны острыми резцами. В случаях обработки других пород затупленными резцами необходимо учитывать поправочные коэффициенты. Поправочные коэффициенты на породу представлены в таблице.

При критическом затуплении режущих элементов поправочный коэффициент на затупленность составляет a_{ρ} = 1,6. С учетом вышеизложенного

$$F_{\delta} = F_c \cdot a_n \cdot a_{\rho}.$$

Так, при обработке древесины березы затупленными резцами для принятых условий касательная суммарная сила резания составит

$$F_{\delta} = 482 \cdot 1{,}25 \cdot 1{,}6 = 965{,}8 \text{ Н}.$$

Мощность резания определяется по формуле

$$P = F \cdot V \cdot z / 1000 \cdot \eta,$$

где z – количество режущих элементов; η – к. п. д. механизма резания (η = 0,94).

При получении технологической щепы и заготовки диаметром 150 мм с числом ножей z = 1 имеем:

$$V = \pi \cdot d \cdot n / 60 \cdot 1000 = 3{,}14 \cdot 150 \times \\ \times 300 / 60 \cdot 1000 = 2{,}4 \text{ м/с}.$$

Мощность привода должна быть не менее

$$P_{дв} = 965{,}8 \cdot 2{,}4 \cdot 1/1000 \cdot 0{,}94 = 2{,}5 \text{ кВт}.$$

Заключение. Предложенный способ имеет следующие преимущества:

– возможность получения технологической щепы;

– использование одного ножа, позволяющее снизить энергозатраты на процесс оцилиндровки;

– высокое качество обработки;

– простота наладки механизма резания.

Недостатки способа:

– эффективность достигается за счет сортировки бревен вследствие жесткого крепления ножей.

Литература

1. Разработка технологии изготовления, подготовки к эксплуатации инструмента фрезерно-брусующих машин серии БРМ, тема 83-84: отчет о НИР; рук. темы И. Г. Лахтанов. – Минск: БТИ, 1985.

Поступила 12.03.2012

РЕФЕРАТЫ

УДК 630*6

Федоренчик А. С. **Инновационное производство технологической щепы на лесосеке** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 3–7.

Выполнена лесоэксплуатационная оценка лесосечного фонда ОАО «Витебскдрев». Показана целесообразность заготовки технологической щепы в насаждениях ольхи серой. Обоснованы технология и варианты систем машин для ее заготовки из целых или частей деревьев в условиях лесосеки.

Табл. 2. Ил. 1. Библиогр. – 7 назв.

УДК 630*36.001.6

Голякевич С. А., Гороновский А. Р. **Эффективность работы многооперационных лесозаготовительных машин с учетом ограничивающих факторов** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 8–11.

Публикация посвящена исследованию эффективности работы многооперационных лесозаготовительных машин. Предложен комплексный критерий оценки эффективности форвардеров и харвестеров. Проведена оценка эффективности использования форвардера МЛПТ-354 и харвестера МЛХ-414 в различных эксплуатационных условиях. Дан анализ эффективных приемов выполнения операции обрезки сучьев харвестером, а также рекомендации по эффективному использованию совмещения операций.

Ил. 2. Библиогр. – 5 назв.

УДК 630*383.7

Вырко Н. П., Леонович И.И., Карпович С.С. **Земляной бур с накопителем для обследования грунтов по трассе дорог** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 12–14.

В статье рассмотрена конструкция земляного бура с накопителем для обследования грунтов по трассе дорог, позволяющая совершенствовать процесс бурения и отбора проб грунта для исследований. В настоящее время бурение скважин выполняют как ручными бурами, так и механическими. Одним из недостатков такого бурения является осыпание грунта в пробуренное отверстие при извлечении бура из отверстия. Для устроения данного недостатка предложена новая конструкция бура с накопителем.

Ил. 5. Библиогр. – 2 назв.

УДК 630*36:519.23

Голякевич С. А., Гороновский А. Р. **Экспериментальные исследования нагруженности несущих конструкций шарнирно-сочлененных лесозаготовительных машин** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 15–17.

Работа посвящена экспериментальному исследованию нагруженности несущих конструкций харвестеров и форвардеров. Проведены тензометрические исследования нагруженности шарниров сочленения их полурам на различных операциях технологического цикла. Выполнена проверка адекватности разработанных математических моделей. Проанализирована взаимозависимость возникающих при работе силовых факторов. Даны рекомендации по снижению нагруженности несущих конструкций.

Ил. 9.

УДК 630*36

Мохов С. П., Голякевич С. А., Пищов С. Н., Арико С. Е. **Анализ тенденций развития конструкций многооперационных лесозаготовительных машин** // Труды БГТУ. – № 2: – 2012. – Лесная и деревообраб. пром-сть.– С. 18–20.

Работа посвящена анализу направлений развития отечественного и зарубежного лесного машиностроения. Рассмотрены направления совершенствования конструкций специализированных харвестеров и форвардеров. Выполнена оценка соответствия технических параметров многооперационной техники ПО «МТЗ» машинам ведущих мировых производителей. Указаны перспективные направления создания новых и модернизации существующих лесных машин.

Ил. 1.

УДК 630*363.7:630×79

Лой В. Н., Германович А. О. **Влияние различных характеристик древесного сырья на энергонасыщенность рубильной машины** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 21–24.

Работа посвящена влиянию различных характеристик древесного сырья на энергонасыщенность рубильной машины. Проведены основные расчетные схемы механизмов рубильной машины, а также зависимости изменения мощности от изменения различных параметров древесного сырья.

Ил. 8. Библиогр. – 3 назв.

УДК 630*383:625.7

Насковец М. Т., Корин Г. С., Драчиловский А. И. **Опытное строительство лесных дорог с применением геотекстильных материалов в ГЛХУ «Телеханский лесхоз»** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2012. – С. 25–27.

В статье изложен опыт строительства экономичных дорожных конструкций с использованием геосинтетических материалов, местных грунтов и отходов лесозаготовок.

Табл. 1. Ил. 7.

УДК 630*323.1

Мохов С. П., Симанович В. А., Арико С. Е. **Оценка влияния внешних силовых факторов на процесс падения дерева** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 28–31.

Рассмотрены процессы падения деревьев с различными средними объемами хлыста и упругодемпфирующими свойствами крон. Проведены исследования влияния усилия предварительного натяга дерева, взаимодействия сучьев крон, ветровой нагрузки и воздушной среды на реакцию в шарнире наклона захватно-срезающего устройства. Выполнена оценка влияния внешних силовых факторов на процесс падения дерева.

Ил. 5. Библиогр. – 5 назв.

УДК 625.711.83

Вырко Н. П., Леонович И. И., Федькин А. С. **Ровность дорожного покрытия – технико-эксплуатационный показатель работы автомобильного транспорта** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 32–34.

В статье рассмотрены вопросы влияния ровности дорожного покрытия на эксплуатационно-технические показатели, такие как скорость движения автомобилей, производительность их на вывозке леса, безопасность движения, износостойкость и работоспособность дороги, срок службы и прочность дорожной одежды.

Табл. 2. Ил. 2. Библиогр. – 2 назв.

УДК 630*03

Лыщик П. А., Бавбель Е. И. **Обоснование параметров лесотранспортных сетей на основе ГИС-технологий** // Труды БГТУ. − 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. − С. 35–38.

Автоматизированное проектирование транспортных сооружений позволяет в короткие сроки проанализировать и выбрать наиболее оптимальные их варианты. Взаимодействие разных систем программного комплекса CREDO при обработке материалов изысканий, проектировании обеспечивает сквозную технологию обработки информации, которая не только с успехом внедряется в производство, но и обеспечивает обмен электронными данными между организациями, повышает производительность труда и качество исходных материалов.

Применение ГИС-технологий и программного комплекса CREDO ДОРОГИ для проектирования автомобильных лесных дорог показывает, что его использование дает исключительные возможности в части ускорения самого процесса проектирования, улучшения качества проектов и снижения стоимости строительства. Переход на системное автоматизированное проектирование лесных автомобильных дорог позволил перестроить проектно-изыскательские работы и изменить методы проектирования с все более широким применением математического моделирования и оптимизацией проектных решений.

Табл. 1. Ил. 3. Библиогр. – 3 назв.

УДК 630*377.4

Исаченков В. С., Симанович В. А. **Обоснование параметров канатно-чокерного прицепного технологического оборудования** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 39–42.

Разработаны математические модели движения колесной трелевочной машины при различном компоновочном решении канатно-чокерного прицепного технологического оборудования. Проведена оценка динамической нагруженности колесной трелевочной машины. Обоснованы весовые и геометрические параметры прицепного технологического оборудования.

Ил. 3. Библиогр. – 3 назв.

УДК 625.7/8+539.376

Лащенко А. П. **Определение деформаций слоистых систем с учетом реологических свойств материалов //** Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 43–45.

В статье автором предлагается решение задачи по определению деформаций дорожных одежд и земляного полотна с учетом реологических свойств материалов на основе решения задач математической теории упругости и задач теории ползучести исходя из математических моделей исследуемых процессов. Рассматриваемая задача решена методом интегральных преобразований по временной координате.

Библиогр.– 3 назв.

УДК 630*6

Матвейко А. П. **Перспективы заготовки в Беларуси круглых лесоматериалов мобильными сучкорезно-раскряжевочными агрегатами** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 46–48.

Показана целесообразность применения на заготовке сортиментов мобильных сучкорезно-раскряжевочных агрегатов вместо бензиномоторных пил. Дана технология и организация работ на заготовке сортиментов этими агрегатами. Предложена формула для расчета производительности сучкорезно-раскряжевочных агрегатов и машин.

Ил. 1. Библиогр. – 2 назв.

УДК 634.377

Пищов С. Н., Мохов, С. П., Гороновский А. Р. **Обоснование параметров мобильной канатной трелевочной машины** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 49–50.

В статье представлены результаты теоретических исследований и анализа общетехнических параметров канатных трелевочных машин отечественного и зарубежного производства. Выполнены расчеты, по результатам которых рекомендованы основные рациональные параметры трелевочной машины и тяговых лебедок. Проанализированы и выбраны требуемые параметры базового шасси канатной трелевочной машины.

Ил. 1. Библиогр. – 2 назв.

УДК 630*307

Арико С. Е. **Результаты испытаний шин лесных машин** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 51–54.

В статье на примере харвестера МЛХ-414 рассмотрено влияние жесткости шин на распределение реакций между колесами лесозаготовительной техники, устойчивость технологического и энергетического модулей, а также многооперационной машины в целом. Определены номинальные жесткости шин для харвестеров, предназначенных для проведения различных видов рубок промежуточного пользования.

Ил. 4. Библиогр. – 9 назв.

УДК 630*2:502.174

Протас П. А., Федоренчик А. С., Ледницкий А. В., Завойских Г. И. **Состояние ветровально-буреломного лесфонда в Республике Беларусь и проблемы его освоения** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 55–57.

В статье выполнен анализ состояния ветровально-буреломного лесфонда в Республике Беларусь, определены основные проблемные вопросы его освоения. Приведены критерии оценки эффективности применения различных технологий и систем машин для разработки ветровально-буреломных лесосек.

Ил. 1.

УДК 674.093.4

Леонов Е. А. **Имитационное моделирование устойчивого функционирования склада древесного топлива** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 58–61.

В статье произведено имитационное моделирование, позволяющее 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.

Ил. 3. Библиогр. – 5 назв.

УДК 630*614

Хотянович А. И. **Экспериментальные исследования по оптимизации освоения лесосечного фонда с использование геоинформационных систем** / А. И. Хотянович // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 62–65.

В статье рассматриваются этапы экспериментальных исследований по оптимизации освоения лесосечного фонда с использованием разработанного автором ГИС-приложения для формирования рациональных условий лесопользования. В приведенных разделах публикации указаны объемы расчетной лесосеки по доступному и труднодоступному лесосечному фонду, отражены этапы анализа условий проведения сплошных и несплошных рубок главного пользования в лесхозе с 2005 по 2011 г., в процессе многовариантного анализа условий совместного осуществления в одном квартале сплошных и несплошных рубок главного пользования сформирована результирующая таблица для последующей оптимизации схемы организации территории лесосечного фонда Берестовицкого лесхоза, раскрыт смысл расчета ожидаемого экономического эффекта от внедрения применяемого в исследованиях программного комплекса.

Само программное обеспечение реализует следующие этапы: прогноз параметров рубок главного и промежуточного пользования на ревизионный период; создание вариантов совместного проведения рубок главного и промежуточного пользования в кварталах; территориальное планирование мест рубок и распределение их по годам ревизионного периода; формирование рациональных условий трелевки сортиментов.

Ил. 3. Библиогр. – 7 назв.

УДК 634.0.30

Клоков Д. В., Турлай И. В. **Модели работы лесных машин с учетом надежности** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 66–67.

Предложены новая модель функционирования лесопромышленных систем с учетом технических и технологических отказов на различных стадиях работы, формулы для установления эффективности работы систем по критериям вероятностей состояний с определением рациональных параметров функционирования: интенсивности подачи сырья, его обработки и ремонта оборудования.

Ил. 3. Библиогр. – 1 назв.

УДК 634.0.323

Жарков Н. И., Гиль В. И., Исаченков В. С. **Анализ конструкций лесотранспортеров** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 68–69.

Транспортировка и сортировка круглых лесоматериалов на предприятиях Республики Беларусь осуществляется в основном продольными сортировочными транспортерами. Основные показатели технических характеристик этих транспортеров не отвечают требованиям белорусских лесозаготовительных предприятий по ряду параметров. Замена устаревших конструкций и закупка нового оборудования сопряжена со значительными капиталовложениями. В результате анализа существующих конструкций предложена схема автоматизированной линии для сортировки круглых лесоматериалов, которая позволит значительно уменьшить длину транспортера, а также применить привод меньшей мощности и снизить металлоемкость конструкции.

Табл. 1. Ил. 1. Библиогр. – 2 назв.

УДК 625.75

Лыщик П. А., Науменко А. И. **Укрепление дорожных грунтов шлаковыми добавками** // Труды БГТУ. − 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. − С. 70–72.

Вопрос использования отходов черной металлургии очень актуален на сегодняшний день. Ежегодно металлургическая отрасль дает около 50 млн. т шлака, который, скапливаясь в отвалах, наносит существенный вред окружающей среде.

Исследуемые сталеплавильные шлаки обладают рядом преимуществ перед каменными дорожными материалами, используемыми в качестве крупного заполнителя при строительстве дорожной одежды.

Особо влиятельным фактором является их низкая стоимость по сравнению с другими материалами. При этом по прочностным характеристикам шлак весьма приемлем для использования в дорожном строительстве.

Табл. 1. Ил. 2. Библиогр. – 6 назв.

УДК 625.7

Кришна Ш. Чаккун. **Обоснование стратегии развития сети и организации строительства автомобильных дорог Республики Непал** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. − С. 73–76.

Развитие дорожной сети Непала всегда было достаточно сложным вопросом. Наличие таких факторов, как горный пейзаж, не имеющее выхода к морю географическое положение, ограниченные ресурсы и т. д., добавляют больше трудностей, чем возможностей на пути развития. В то же самое время просматривается необходимость

наличия дорог в самых труднодоступных местах. В статье показаны существующие трудности в развитии дорожной сети в стране, их взаимосвязь с экономической и социально-политической ситуацией и то, как, несмотря на бедственные ситуации, страна прилагала и продолжает прилагать все усилия, чтобы увеличить протяженность дорожной сети, которая является главной транспортной инфраструктурой. В этом контексте правительство Непала (DON) осуществляет различные долгосрочные и краткосрочные планы развития.

Библиогр. – 5 назв

УДК 630*383.4

Вырко Н. П., Демидко М. Н. **Условия и эффективность применения сборно-разборных покрытий на временных лесных автомобильных дорогах** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2012. – С. 77–79.

В статье изложены условия и эффективность применения сборно-разборных покрытий лесных автомобильных дорог, таких как железобетонные плиты, деревянные щиты, ленточные покрытия и другие. Рассмотрены их преимущества и недостатки. Сборно-разборные покрытия нашли широкое применение при транспортном освоении лесных массивов, расположенных на заболоченных участках. Они обладают высокими технико-экономическими показателями. Удельное сопротивление движению транспортных средств в 2–3 раза ниже, чем на грунтовых дорогах, также снижается расход топливосмазочных материалов, финансовых средств на содержание дороги.

Табл. 2. Библиогр. – 2 назв.

УДК 630*383:625.7

Насковец М. Т., Драчиловский А. И. **Совершенствование дорожных конструкций, повышающих транспортно-эксплуатационные показатели лесных дорог** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2012. – С. 80–82.

В статье рассмотрены вопросы повышения несущей способности оснований лесных автомобильных дорог, устраиваемых на слабых грунтах. Проанализированы современные и разработаны новые способы устройства подстилающих слоев в виде настилов из геосинтетической прослойки и поперечных элементов.

Ил. 3. Библиогр. – 3 назв.

УДК 630*63:630*37

Короленя Р. О. **Определение функции срочности перевозки древесины по основным схемам организации транспортного процесса** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 83–85.

Проанализированы основные схемы организации транспортно процесса поставок заготовленной древесины потребителям в Республике Беларусь. Отмечена актуальность разработки и практического использования гибких методов прогнозирования транспортного процесса. Приведена структура затрат времени на поставки по различным схемам перевозки. Получены зависимости для определения функции срочности перевозки древесины по основным схемам организации транспортного процесса поставок.

Ил. 6. Библиогр. – 5 назв.

УДК 625.731

Тумашик И. И., Федькин А. С. **Технология укрепления грунтовых лесных дорог введением скелетных добавок и минеральных вяжущих** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 86–88.

В статье указывается поочередность выполнения технологических операций при укреплении грунтов лесных дорог. Описан способ приготовления смеси и обработки грунта смешением при помощи многороторной однопроходной грунтосмесительной машины. Этот способ является более совершенным и производительным, чем использование дорожных фрез, требующих большого числа проходов по одному следу. В качестве скелетной добавки предлагается использовать фракционный шлак (отход металлургического производства Жлобинского БМЗ), а в качестве минерального вяжущего – цемент марки не ниже М400. Приведены техническая характеристика грунтосмесительной машины Д-391; состав отряда для укрепления грунтов ведущей машиной грунтосмесителем Д-391, указана последовательность операций по укреплению лесных автомобильных дорог с использованием выбранной ведущей машины.

Табл. 2. Ил. 1. Библиогр. – 3 назв.

УДК 625.731.2

Федькин А. С. **Экспериментальные лабораторные исследования композиционного материала на основе грунта и минерального вяжущего для укрепления грунтов лесных дорог** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2012. – С. 89–92.

Статья содержит результаты лабораторных исследований композиционного материала на основе грунта и минерального вяжущего. Указаны характеристики используемых материалов, таких как фракционный шлак, цемент, молотый шлак. Приведен порядок приготовления смеси, изготовления образцов и испытания их на сжатие. Указан характер разрушения образцов при испытаниях на сжатие. Проанализированы образцы следующих составов: 1) с изменяемым процентным содержанием цемента и постоянным процентным содержанием фракционного и молотого шлака; 2) постоянным процентным содержанием цемента и изменяемым процентным содержанием молотого и фракционного шлака; 3) постоянным процентным содержанием фракционного шлака при одновременном снижении процентного содержания цемента и увеличении процентного содержания молотого шлака в составе смеси (с градацией в 2%).

Табл. 5. Ил. 3. Библиогр. – 5 назв.

УДК 625.8

Леонович И. И. **Дороги Беларуси: прошлое, настоящее, будущее** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 93–98.

В статье проанализировано развитие дорог на территории современной Беларуси за длительный исторический период времени – от первобытного общества до наших дней. Сформулированы основные направления, на которые будут сосредоточены усилия дорожных организаций в перспективе.

Табл. 2. Библиогр. – 13 назв.

УДК 630*363.7

Германович А. О. **Основные направления совершенствования мобильных рубильных машин** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 99–102.

Работа посвящена основным направлениям совершенствования мобильных рубильных машин. Приведены основные источники сырья для получения щепы. Описаны пути совершенствования мобильных рубильных машин.

Ил. 5. Библиогр. – 2 назв.

УДК 656*02:656*07

Балгабеков Т. К. **Транспортные коридоры Казахстана: проблемы и перспективы** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. − С. 103–106.

Получены зависимости для расчета дохода операторской компании по обеспечению сырьем предприятии открытых разработок для перевозок подвижным составом АО «НК «КТЖ»; при разных технологиях перевозок: в арендованных вагонах локомотивами АО «НК «КТЖ»; собственных вагонах локомотивами АО «НК «КТЖ»; арендованных вагонах собственными локомотивами; собственных вагонах собственными локомотивами.

Библиогр. – 4 назв.

УДК 638.383

Воронина М. А. **Анализ и состояние лесных дорог Республики Коми** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. − С. 107–108.

В статье определены два основных фактора, влияющие на фактический модуль упругости в весенний и осенний периоды: введение новых мощностей различного рода лесопромышленных производств, в частности реализация проекта Троицко-Печорского целлюлозно-картонного комбината; отсюда и прогнозирование увеличения интенсивности движения; природно-климатический фактор.

Табл. 1. Библиогр. – 2 назв.

УДК 630*371

Коваленко Т. В. **Зонирование арендных лесных массивов в системе оптимизации транспортного освоения лесов** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2012. – С. 109–111.

В статье поднимаются вопросы зонирования арендных лесных массивов с учетом климатических факторов в целях рационального транспортного освоения лесов. Даются укрупненные принципы зонирования лесных массивов с учетом сезонности процесса вывозки заготовленной древесины. Приводится разделение лесных массивов на группы транспортной доступности. Также представлен метод учета климатических факторов через скорость движения лесовозного автопоезда.

Табл. 1. Библиогр. – 13 назв.

УДК 630*37.625.745.1

Виноградов А. Ю., Салминен Э. О., Куцанов П. С. **Гидрологические расчеты малых водопропускных сооружений лесных дорог** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2012. – С. 112–114.

Статья посвящена проблеме гидротехнических расчетов малых водопропускных сооружений лесных дорог с учетом местных гидрологических, почвенно-грунтовых условий и рельефа местности. Площадь водосбора разделяется на выдела – стокоформирующие комплексы. В каждом выделе рассматривается вертикальная почвенно-грунтовая колонка с растительным покровом, морфологическими, тепло- и гидрофизическими характеристиками почвенного покрова, глубиной залегания грунтовых вод и водоупорных горизонтов. Эти сведения позволяют рассчитать объем воды, задерживаемый в каждом выделе, и уточнить объем воды, поступающей к расчетному створу за расчетный период.

Библиогр. – 9 назв.

УДК 630*37

Артемьев В. В., Бессараб Г. А., Борозна А. А. **Расчет дорожных конструкций, армированных объемными георешетками** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2012. – С. 115–117.

Статья посвящена исследованию проблемы учета свойств геосинтетичеких материалов, а именно объемной георешетки, при армировании дорожной конструкции. Рассмотрена история создания и классификация геосинтетических материалов. Проанализированы существующие российские и зарубежные методики расчета армирования дорожной конструкции объемными георешетками. На ряду с представленными эмпирическими уравнениями предложено решение данной задачи по теории упругости.

Ил. 2.

УДК 630*384.4;525 814

Зубова О. В. **Исследование влияния гранулометрического состава грунтов на прочность зологрунтовой смеси, обработанной цементом** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2012. – С. 118–120.

В статье приведены результаты исследования влияния гранулометрического состава грунтов на прочность и водопоглощение дорожно-строительного материала на основе зологрунтовой смеси, укрепленной цементом. Приведены характеристики исходных материалов – мелкого песка, суглинка легкого, супеси легкой, кембрийской глины (зерновой состав, физические свойства), а также основные характеристики золы от сжигания осадков сточных вод. Получены результаты влияния добавки золы от сжигания осадка сточных вод на основные свойства дорожно-строительного материала. Результаты испытания образцов обработаны с использованием методов математической статистики с высокой степенью достоверности.

Ил. 2. Табл. 1. Библиогр. – 5 назв.

УДК 625*711.84

Чернякевич В. И. **Совершенствование технологии строительства лесовозных автомобильных дорог** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. − С. 121–123.

Рассматриваются проблемы строительства лесных дорог в России, анализируются отечественные и зарубежные технологические процессы их строительства. Предлагается малозатратная технология создания лесной дорожной инфраструктуры.

Ил. 2. Библиогр. – 1 назв.

УДК 638.383

Бурмистрова О. Н., Воронина М. А. **Основные принципы развития сети лесовозных автомобильных дорог Республики Коми** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. − С. 124–126.

В статье рассмотрены причины недоосвоения расчетных лесосек в Республике Коми. Предложена оптимальная схема территориальной организации сети лесовозных дорог – создание сети-«каркаса» постоянно действующих, круглогодичных лесовозных магистралей. Предложены меры по разгрузке дорог общего пользования. Рассмотрен пообъектный план строительства и реконструкции лесовозных автодорог и автодорог общего пользования. Предусмотрена организация подъездов к близлежащим населённым пунктам, нуждающимся в круглогодичном транспортном сообщении.

Библиогр. – 1 назв.

УДК 638.383

Бурмистрова О. Н., Король С. А. **Оценка транспортно-эксплуатационного состояния лесовозной автомобильной дороги Сыктывкар – Троицко-Печерск** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. − С. 127–129.

В статье определены два основных фактора, влияющие на фактический модуль упругости в весенний и осенний периоды: введение новых мощностей различного рода лесопромышленных производств, в частности

реализация проекта Троицко-Печорского целлюлозно-картонного комбината, прогнозирование увеличения интенсивности движения; природно-климатический фактор.

Ил. 1. Библиогр. – 1 назв.

УДК 625.7/.8

Леонович И. И., Мельникова И. С. **Инновации в системе эксплуатации автомобильных дорог, направленные на предупреждение и ликвидацию поверхностных дефектов** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 130–133.

Непрерывный инновационный процесс является основой повышения эффективности организации производства в дорожной отрасли. Переход на европейские стандарты пропуска нагрузок 11,5 и 13 т/ось и повышение долговечности республиканских дорог невозможен без перехода на обновленную нормативную базу в соответствии с европейскими нормами и требованиями, пересмотра широко применяемых технологий и материалов в дорожном строительстве, подхода к контролю качества и проведению ремонтных мероприятий. Статья посвящена рассмотрению и оценке применяемых в Республике Беларусь инновационных технологий, машин и механизмов, материалов, используемых для ремонта и диагностики автомобильных дорог.

Табл. 1. Ил. 2. Библиогр. – 4 назв.

УДК 629.113

Мохов С. П., Пищов С. Н., Асмоловский М. К. **Экспериментальная оценка показателей устойчивости самосвала повышенной грузоподъемности с задней разгрузкой** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 134–135.

В статье приведены результаты экспериментальных исследований продольной устойчивости и опорной проходимости трехосного автомобиля-самосвала увеличенной грузоподъемности с задней разгрузкой для работы в тяжелых дорожных условиях при выполнении транспортных и разгрузочных операций. Установлен характер распределения реакций под колесами переднего, среднего и заднего мостов порожнего и груженого самосвала.

Ил. 2. Библиогр. – 2 назв.

УДК. 684.4

Барташевич А. А., Лопачук В. А., Маханек А. А., Пендо В. В. **Расчет основных параметров устройства для уплотнения шпона** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 136–137.

Рассмотрено принципиальное устройство для уплотнения строганого шпона с помощью двух приводных вальцов, каждый диаметром 150 мм. Определено необходимое усилие сжатия шпона и усилие подачи шпона при его уплотнении. Предложена упрощенная схема нагрева листа шпона во время его уплотнения двумя парами вальцов. Выполнены численные оценки, показавшие возможность достижения температуры пластической деформации шпона примерно на 57% его толщины с внешних сторон листа.

Ил. 1. Библиогр. – 2 назв.

УДК 674.04+684.4.05

Прохорчик С. А., Чуйков А. С. **Сравнительный анализ стойкости к истиранию ламинированных и деревянных полов //** Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 138–139.

В работе представлены результаты исследования стойкости к истиранию лакокрасочных покрытий деревянных и ламинированных полов. Установлены наиболее стойкие к истиранию лакокрасочные покрытия на основе водоразбавляемых лакокрасочных материалов и произведена оценка качества ламинированных напольных покрытий.

Табл. 1. Библиогр. – 3 назв.

УДК 674.093

Мухурова Е. А., Шетько С. В. **Разработка рационального плана раскроя бревен на черновые мебельные заготовки целевого назначения** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 140–143.

Разработана методика, позволяющая быстро и рационально составить план раскроя лиственной древесины на черновые заготовки для клееного щита. В результате проведенных исследований получена программа, которая составляет оптимальные схемы распиловки бревен, предназначенные для заданной спецификации пиломатериалов. Схемы раскроя бревен, полученные при помощи разработанной программы, позволяют за три поворота бревна осуществить его раскрой на ленточнопильном оборудовании. Кроме того, программа составлена таким образом, что при втором резе открывается поверхность, размер которой кратен размеру черновой заготовки, вписанной в брус. Данная особенность позволяет составить рациональный план раскроя бревен при получении черновых мебельных заготовок целевого назначения.

Табл. 4. Ил. 1. Библиогр. – 6 назв.

УДК 692.53

Игнатович Л. В, Кривоблоцкий А. Н, Утгоф С. С. **Комплексная оценка качества напольных покрытий и затрат на их устройство, эксплуатацию** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 144–147.

В статье приведена методика комплексной оценки качественных и стоимостных характеристик различных видов современных напольных покрытий. В ходе исследования проведена оценка качества напольных покрытий по семи важнейшим параметрам, получены комплексный и интегральный показатели качества напольного покрытия. Результаты исследования показали, что натуральные покрытия обладают лучшими качественными и стоимостными характеристиками.

Табл. 2. Библиогр. – 2 назв.

УДК 674.817

Бучнева Е. А., Бахар Л. М. **Влияние прессмассы на свойства древесностружечных плит** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 148–150.

Представлены результаты исследований, отражающие влияние прессмассы, включающей шлифовальную пыль, получаемую от калибрования и шлифования древесностружечных плит, а также остатка от гидролиза верховых торфов, на физико-механические свойства древесностружечных плит. Описан способ получения прессмассы. Представленные зависимости аппроксимированы, получены математические уравнения, описывающие эти зависимости.

Ил. 6. Библиогр. – 4 назв.

УДК 674.049

Федосенко И. Г. **Физические и механические свойства древесины, термически модифицированной в органических маслах** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 151–153.

В статье определены следующие значения показателей физико-механических свойств термически модифицированной древесины в органических маслах: водопоглощение, влагопоглощение, максимальная усушка, пределы прочности при статическом изгибе, сжатии и скалывании вдоль волокон, модуль упругости при статическом изгибе. Повышение температуры и времени термической модификации приводит к ухудшению механических и улучшению физических свойств древесины. Установлено, что эксплуатация такой древесины целесообразна в условиях пониженных механических нагрузок или при их отсутствии, а также в условиях повышенной влажности.

Табл. 3. Ил. 5. Библиогр. – 4 назв.

УДК 674.047.3

Бабич Д. П., Снопков В. Б. **Расход тепловой энергии при сушке пиломатериалов в конвективных сушильных камерах периодического действия** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 154–157.

Проведены исследования расхода тепловой энергии при сушке пиломатериалов в конвективных сушильных камерах периодического действия. Установлено, что с увеличением жесткости режима уменьшается суммарный расход теплоты на сушку. Рекомендовано для уменьшения расхода тепловой энергии применять более жесткие режимы, которые обеспечивают бездефектную сушку.

Табл. 1. Ил. 6. Библиогр. – 4 назв.

УДК 674.048

Мазаник Н. В. **Сравнительный анализ статистических характеристик экспериментальных данных при использовании различных методов испытаний средств химической защиты древесины от биоповреждений** // Труды БГТУ. − 2012. − № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 158–160.

В статье описаны существующие методы испытания ингибирующей способности средств химической защиты древесины от биоповреждений. Рассмотрены гистограммы распределения ширины зоны разрастания мицелия гриба *Coniophora puteana* на непропитанных образцах и образцах, обработанных антисептиком ХМ-11. Приведен анализ влияния критерия оценки эффективности защитных средств на показатели достоверности результатов испытаний.

Табл. 1. Ил. 1. Библиогр. – 4 назв.

УДК 674.04.047.3

Рудак О. Г., Снопков В. Б. **Изменение тепловых свойств древесины в период прогрева в ненасыщенной среде** // Труды БГТУ. − 2012. − № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. − С. 161–164.

В статье приведены результаты исследования теплофизических характеристик древесины комплексным методом. Получены зависимости, отражающие характер изменения температуры на поверхности и внутри

древесины во времени. Определены закономерности изменения коэффициента теплопроводности, удельной теплоемкости, коэффициента температуропроводности древесины во времени при прогреве в ненасыщенной среде.

Табл. 4. Ил. 3. Библиогр. – 2 назв.

УДК 674.04.047.3

Рудак О. Г. **Изменение влажности пиломатериалов по толщине при прогреве в ненасыщенной среде** // Труды БГТУ. − 2012. − № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. − С. 165–167.

В статье приведены результаты исследования изменения влажности поверхностных и внутренних слоев древесины сосны при прогреве в ненасыщенной среде. Рассчитаны растягивающие внутренние напряжения, возникающие на поверхности прогреваемых сортиментов. Сделан вывод о безопасности процесса прогрева с точки зрения целостности поверхностных слоев древесины.

Табл. 1. Ил. 3. Библиогр. – 1 назв.

УДК 674.048

Божелко И. К. **Биозащита клееных деревянных конструкций** // Труды БГТУ. − 2012. − № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 168–171.

Статья посвящена технологии придания биозащитных свойств деревянным клееным конструкциям. Обоснована необходимость защиты деревянных конструкций от воздействия биологических факторов. Приведены основные требования к биозащитным средствам для древесины. Рассмотрены современные антисептики и принцип их действия. Проведены исследования по определению влияния пропиточного состава и способа пропитки на прочность клеевых соединений. Полученные результаты позволяют осуществлять качественную биозащиту клееных деревянных конструкций, обеспечивая при этом требования ГОСТ 20850–84.

Табл. 2. Ил. 5. Библиогр. – 4 назв.

УДК 691.11:674.21

Гайдук С. С. **Исследование прочности и водостойкости клеевых соединений на основе ПВА дисперсий** // Труды БГТУ. – 2012. − № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 172–174.

Работа посвящена исследованию прочности и водостойкости клеевых соединений. Для проведения испытаний по определению прочности и водостойкости использовалась европейская методика согласно DIN EN 204 и DIN EN 205. Дана оценка клеевых материалов, используемых на деревообрабатывающих предприятиях Республики Беларусь для производства мебели и столярно-строительных изделий. Рассмотрены также свойства модифицированных отечественных клеев.

Табл. 2. Ил. 1. Библиогр. – 3 назв.

УДК 621.792.053:678.061

Гайдук С. С., Бедик Н. А. **Реологические характеристики модифицированных поливинилацетатных дисперсий** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 175–178.

Работа посвящена исследованию реологических показателей клеевых материалов на основе поливинилацетата. Для проведения испытаний использовался реометр с системой коаксиальных цилиндров. Определены такие показатели, как эффективная вязкость и статический предел текучести, установлено влияние температуры на изменение эффективной вязкости. Результаты проведенных испытаний представлены в виде графиков и математических моделей.

Табл. 2. Ил. 6. Библиогр. – 4 назв.

УДК 674.812

Стукач Т. В., Рапинчук Д. Л., Федосенко И. Г. **Анализ эксплуатационных свойств древесины различных пород, используемой на открытом воздухе** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 179–181.

В статье изложены результаты исследования эксплуатационных свойств древесины ясеня, сосны и ели, антисептированной ели, а также термомодифицированной древесины. Проведенные исследования показали, что в результате термомодификации древесины снижается водопоглощение и влагопоглощение на 20–50%, уменьшается усушка древесины и соответственно увеличивается ее формоустойчивость, снижаются прочностные свойства древесины: способность удерживать крепления поперек волокон снижается на 10–50%, вдоль волокон – на 30–50%, прочность на скалывание вдоль волокон снижается на 20–50%.

Библиогр. – 6 назв.

УДК 674.093.3

Пастушени В. И. **Разработка технологического процесса на складе при доставке сырья разных пород в хлыстах** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообрабатывающая пром-сть. – 2012. – С. 182–185.

Статья посвящена разработке технологического процесса на складе сырья, обеспечивающего качественную подготовку бревен к раскрою при поставке сырья разных пород в хлыстах. Рассмотрены требования к подготовке бревен к раскрою, которые дают возможность рационально и комплексно использовать сырье. Обоснована необходимая дробность сортировки бревен перед распиловкой, необходимость окорки бревен перед их раскроем с целью получения из кусковых отходов лесопиления высококачественной технологической щепы. В статье обоснован выбор грузоподъемного и транспортного оборудования. Рассмотрены и представлены особенности технологического процесса при раскряжевке, сортировке и окорке сырья твердых лиственных пород. Разработаны и представлены схемы технологического процесса и технологической планировки склада сырья, обеспечивающие комплексную механизацию всех технологических, грузоподъемных и транспортных операций.

Ил. 4. Библиогр. – 5 назв.

УДК 674.816.3–037.87

Ширяев В. В. **Натуральный линолеум как композиционный материал на основе льняного масла и древесной муки** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 186–188.

В статье приводится анализ одной из технологий комплексного использования древесины. В общих чертах излагается технология производства натурального линолеума. Приводится описание полезных свойств одного из компонентов представленного покрытия (льняного масла), а также преимущества натурального линолеума перед другими напольными покрытиями: бактерицидность, антистатичность, износостойкость, пожаробезопасность и другие. Вместе с тем отмечены следующие недостатки: высокая стоимость, хрупкость, сложность укладки.

Библиогр. – 1 назв.

УДК 621.185.532

Царук Ф. Ф, Бельский С. Е., Куис Д. В. **Влияние содержания железа и лазерного упрочнения на фрактографию высокочастотных усталостных изломов образцов сплава АК8М3 //** Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 189–191.

Показано использование высокочастотного циклического нагружения как метода ускорения усталостных испытаний материалов на примере исследования влияния содержания железа и лазерного упрочнения на характеристики вторичного алюминиевого сплава. Установлено отрицательное влияние выбранных параметров лазерного упрочнения поверхности образцов, приводящее к возникновению в подповерхностном слое газовой пористости.

Табл. 1. Ил. 2. Библиогр. – 5 назв.

УДК 621.785.532

Пищов М. Н., Царук Ф. Ф., Сурус А. И. **Влияние технологических параметров комплексного борирования на характеристики поверхностного слоя деталей //** Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 192–194.

Установлено, что при упрочнении деталей лесных машин различными методами химико-термической обработки могут изменяться шероховатость поверхности, а также точность размеров. В связи с этим необходимо применять дополнительную финишную обработку упрочненных поверхностей. Также изучено влияние температурно-временных параметров процесса упрочнения на микротвердость упрочненного слоя.

Ил. 3. Библиогр. – 3 назв.

УДК 674.023

Дулевич А. Ф., Киселев С. В. **Разработка режимов упругопластического деформирования ленточных пил для распиловки древесины с целью повышения их долговечности //** Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 195–197.

В статье рассмотрен метод повышения усталостной долговечности ленточной пилы за счет создания искривленного состояния полотна и внутренних компенсирующих напряжений. Определены оптимальные режимы упрочнения, при которых обеспечивается максимальная усталостная долговечность пил для различных марок сталей. Представлена конструкция установки для проведения подготовки к работе ленточной пилы.

Табл. 1. Ил. 1. Библиогр. – 4 назв.

УДК 621.185.532

Блохин А. В. **Расчет усилий, действующих на элементы крепления образцов для механических испытаний, методом конечных элементов //** Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 198–200.

В работе рассмотрена проблема расчета усилий, действующих на детали крепления образцов методом конечных элементов. Детали крепления работали в условиях циклического нагружения. Для определения

усилий, действующих на различные элементы крепления, было использовано моделирование методом конечных элементов. Анализ результатов исследований твердотельной модели позволил оценить величину сил, действующих на детали крепления и обосновать внесение изменений в конструкцию крепления.

Ил. 6. Библиогр. – 3 назв.

УДК 621.777.4

Алифанов А. В., Милюкова А. М., Бурносов Н. В. **Исследование деформированного состояния металло- и деревообрабатывающего инструмента, полученного методами пластической деформации //** Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 201–203.

В статье содержатся результаты исследования деформированного состояния заготовок режущего инструмента, которые показали, что неравномерность частных деформаций незначительна как по длине, так и по сечению выдавленной заготовки. При выбранных степенях деформации процесс деформирования заготовки осуществляется в стационарном режиме, без вероятности образования микро- и макротрещин, что обеспечивает получение качественного, высокопрочного инструмента.

Ил. 3. Библиогр. – 6 назв.

УДК 674.055

Рудак П. В., Гришкевич А. А. **Результаты экспериментальных исследований влияния конструкций дереворежущих хвостовых фрез на уровень шума** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 204–206.

В статье приводятся результаты экспериментального исследования уровней звукового давления (воздушного шума) в процессе обработки древесины различных пород, а также древесных материалов хвостовыми фрезами двух различных конструкций: с непрерывными и прерывистыми каналами отвода стружки из зоны резания. Установлено, что непрерывный канал для отвода стружки является источником повышенного уровня звукового давления как на холостых оборотах, так и при резании. Наибольший воздушный шум возникает при резании древесины дуба (95,3 дБА), а наименьший – при обработке MDF (80,9 дБА).

Табл. 3. Ил. 4. Библиогр. – 2 назв.

УДК 674.055:621.934(043.3)

Алифанов А. В., Гришкевич А. А., Чаевский В. В., Гаранин В. Н. **Влияние TiN-покрытий твердосплавных ножей на эксплуатацию дереворежущего фрезерного инструмента при обработке ламинированных ДСтП** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 207–211.

В работе представлены результаты формирования TiN-покрытий на лезвия ножей фрезерного инструмента. Установлено, что в связи с более интенсивным износом задней кромки резца при обработке ламинированных ДСтП упрочнение режущих элементов необходимо проводить по их задней поверхности, что позволит, с одной стороны, снизить основной износ ножа, а с другой – сохранить упрочненный слой после восстановления режущей способности. Определен состав испытываемых ножей фрезерного инструмента, который имеет мелкозернистую структуру и соответствует материалу ножей импортного инструмента марки T03SMG фирмы TIGRA (Германия), что является аналогом отечественного твердого сплава типа ВК-3. При фрезеровании ламинированных ДСтП инструментом с двухлезвийными ножами с покрытиями TiN значение периода стойкости инструмента увеличивается на 20% в сравнении с инструментом без покрытия. Определен вид износа поверхности кромок ножей фрезерного инструмента как абразивно-химический.

Табл. 4. Ил. 4. Библиогр. – 6 назв.

УДК 674.055.621.54(035)

Гриневич С. А., Гаранин В. Н., Ревяко Д. А. **Исследование влияния частоты вращения на мощность холостого хода в приводе резания станка Unimat 23 EL** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 212–214.

В представленной работе исследуется влияние частоты вращения шпинделя на мощность холостого хода в приводе резания четырехстороннего продольно-фрезерного станка Unimat 23 EL.

Экспериментально установлено, что зависимость мощности холостого хода привода резания от частоты вращения носит криволинейный характер, а от квадрата частоты вращения близка к линейной. Это противоречит данным, полученным путем расчетов по методике для металлорежущих станков. Рассматриваемая методика расчета мощности холостого хода для металлорежущих станков является неприменимой к дереворежущим станкам не только вследствие большого расхождения расчетных и опытных значений, но и по причине несоответствия характера экспериментальных и расчетных зависимостей.

Табл. 2. Ил. 3. Библиогр. – 3 назв.

УДК 613.6.027:674

Чернушевич Г. А., Перетрухин В. В. **Прогностические аспекты оценивания профессионального риска здоровья работающих (на примере ОАО «Ивацевичдрев»)** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 215–218.

В статье проведен анализ методик оценки профессионального риска здоровья работающих. Рассмотрена идентификация опасностей, оценка профессиональных рисков, порядок подготовки и реализации мероприятий по снижению рисков. Оценка рисков представляет собой процесс значительно более глубокого исследования всех возможных вредных и опасных факторов производственной среды и трудового процесса для выявления, в каких ситуациях они могут нанести вред здоровью работающего и насколько серьезным может быть этот вред.

Табл. 1. Ил. 1. Библиогр. – 3 назв.

УДК 331.45:64

Ладик Б. Р., Ермак И. Т., Босак В. Н. **Шумовое воздействие на работающих при производстве древесностружечных плит //** Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 219–221.

Высокий уровень шума при производстве древесностружечных плит является одним из основных вредных производственных факторов на ОАО «Ивацевичидрев». Исследования показали, что наибольшее превышение допустимых уровней наблюдается на средних и высоких частотах, наиболее вредных для человека: на рабочем месте станочника стружечного станка PESSA и оператора сортировки стружки – от 1 до 14 дБ, станочника форматной обрезки плит – от 3 до 17 дБ, оператора сепараторов – от 1 до 4 дБ. Для уменьшения вредного воздействия шума разработана конструкция звукоизолирующей кабины для операторов указанных рабочих мест.

Ил. 3. Библиогр. – 3 назв.

УДК 630*332:331.45

Гармаза А. К. **Обеспечение безопасности при разработке ветровально-буреломных лесосек** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 222–224.

В статье приведен анализ травматизма в лесной отрасли, а также причин несчастных случаев на производстве. Выявлен наиболее опасный вид лесосечных работ – разработка ветровально-буреломных лесосек. Далее описаны основные требования, предъявляемые к работникам при выполнении указанных работ, и безопасные приемы валки деревьев с применением бензиномоторного инструмента.

Библиогр. – 1 назв.

УДК 669.24/29.018:[539/25+539/26]

Куис Д. В., Свидунович Н. А., Окатова Г. П., Урбанович В. С., Товстыко Ю. А. **О механизме структурообразования особотвердой углеродной фазы в нанокомпозите системы Fe – C для дереворежущего инструмента** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 225–227.

В статье высказана гипотеза о том, что формирование частиц серой особотвердой углеродной фазы происходит через стадию перехода наноуглеродной составляющей шихты в жидкое состояние в условиях спекания методом высокоэнергетической консолидации.

Ил. 3. Библиогр. – 3 назв.

УДК 674.055

Рудак П. В., Куис Д. В., Раповец В. В. **Экспериментальные исследования триботехнических свойств твердосплавных неперетачиваемых режущих пластин с вакуумно-плазменными покрытиями при цилиндрическом фрезеровании древесностружечных плит** // Труды БГТУ. − 2012. − № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 228–231.

В статье приводятся методика и результаты экспериментальных исследований коэффициентов трения, характеризующих процесс обработки древесностружечных плит хвостовыми фрезами, оснащенными твердосплавными неперетачиваемыми ножами с вакуумно-плазменными покрытиями. Разработанная методика определения коэффициента трения задней поверхности лезвия и примыкающей к ней части режущей кромки при фрезеровании основывается на синхронном динамометрировании касательной и нормальной сил резания по задней поверхности лезвия в процессе резания с нулевой высотой снимаемого припуска. Результаты исследований позволили выполнить научное обоснование триботехнических характеристик вакуумно-плазменных покрытий, нанесенных на режущие элементы, оптимизации параметров покрытий и режимов резания.

Табл. 1. Ил. 4. Библиогр. – 3 назв.

УДК 674.05.621.9.02

Карпович С. С., Латушкина С. Д., Карпович С. И., Пискунова О. Ю. **Статическая жесткость полотен круглых пил** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 232–235.

В статье рассмотрена методика оценки деформируемости полотна круглых пил. Установлено, что качество обработки зависит от характера деформации зубчатого венца круглых пил, лучшее качество обработки обеспечивают пилы, зубчатый венец которых не смещается в противоположных направлениях по периметру пилы под действием осевой статической нагрузки.

Ил. 4. Библиогр. – 2 назв.

УДК 001.891.55:627.8

Касперов Г. И., Левкевич В. Е., Пастухов С. М., Бузук А. В. **Методика и результаты натурных обследований искусственных водных объектов Республики Беларусь как источников чрезвычайных ситуаций природного характера** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 236–238.

Представлены методика и результаты натурных обследований искусственных водных объектов Республики Беларусь. По результатам выполненных обследований осуществлена оценка возможности возникновения гидродинамических аварий путем расчета коэффициентов потенциальной опасности. Анализ полученных данных по обобщенному классу потенциальной опасности позволил классифицировать водные объекты Республики Беларусь как источники чрезвычайных ситуаций природного характера.

Табл. 2. Ил. 1. Библиогр. – 5 назв.

УДК 001.891.55:627.8

Касперов Г. И., Левкевич В. Е., Пастухов С. М., Бузук А. В., Новиков А. А. **Моделирование режима стоковых течений водохранилищ на основе программных средств для оценки устойчивости берегоукрепительных сооружений** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 239–240.

Представлены результаты измерения стоковых течений в натурных и лабораторных условиях каскада водохранилищ Вилейско-Минской водной системы. По результатам исследований подготовлен программный продукт для расчета скоростного напора на водохранилищах. При решении задач моделирования на водных объектах были определены соответствующие расчетные схемы (алгоритмы), которые позволили выполнять расчет режима распределения скоростей и оценку устойчивости берегоукрепительных сооружений

Библиогр. – 3 назв.

УДК 674.914:674.338

Раповец В. В., Бурносов Н. В. **Взаимосвязь геометрических параметров технологической щепы и двухлезвийного ножа при обработке бревен на фрезерно-брусующих станках //** Труды БГТУ. – 2012. –№ 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С.241–243.

В статье представлены результаты исследований по установлению взаимосвязи геометрических параметров технологической щепы и двухлезвийного ножа при обработке бревен на фрезерно-брусующих станках. Выполненный анализ графических зависимостей длины скошенной части технологической щепы, угла среза торца технологической щепы от величины смещения оси бревна по отношению к оси вращения фрез показал, что они влияют на качественные показатели получаемой продукции и их необходимо учитывать при расчетах режимов резания и проектировании фрез. Обоснована и подтверждена целесообразность оснащения фрезерно-брусующих станков механизмами вертикального центрирования бревен.

Ил. 3. Библиогр. – 7 назв.

УДК 621.92

Костюк О. И., Фридрих А. П. **Особенности механической обработки древесины и древесных плитных материалов методом шлифования** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 244–247.

Статья посвящена особенностям обработки древесины и древесных плитных материалов методом шлифования. Описана теоретическая основа шлифования древесины и шлифовального инструмента различными учеными в этом направлении. В статье рассмотрены основные схемы шлифования древесины. К ним относится шлифование с плоской зоной контакта, шкивной частью (цилиндрической), свободной лентой, прижимом (узким и широким утюжком). В работе описан характер строения шлифовального инструмента, материал абразива, способы насыпки абразивного зерна.

Табл. 1. Ил. 4. Библиогр. – 4 назв.

УДК 620.1.08

Дорожко А. В. **Датчик прогиба с защитой от повреждения** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 248–250.

В статье рассмотрена конструкция датчика для измерения прогиба образца при испытаниях на изгиб. Датчик представляет собой плоскую раму, образованную четырьмя стержнями. Один из стержней (шток) является подвижным, другой представляет собой тензобалку и предназначен для преобразования ее деформации в электрический сигнал. При разрушении образца или другом неконтролируемом перемещении штока происходит размыкание соединения штока с тензобалкой. В результате этого датчик не получает повреждения. Для дальнейшего использования прибора необходимо установить шток в исходное положение. Получены расчетные зависимости для определения размеров стержней датчика при заданном диапазоне измерения.

Ил. 2. Библиогр. – 3 назв.

УДК 674.023

Кравченко А. С., Бобровский С. Э. **Оцилиндровка круглых лесоматериалов ножами, дающими возможность получать технологическую щепу** // Труды БГТУ. – 2012. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 251–252.

В представленной работе проведен расчет силовых показателей при оцилиндровке круглых лесоматериалов специальными ножами, дающими возможность получать технологическую щепу, и сформулированы выводы по существу данного вопроса.

Табл. 1. Библиогр. – 1 назв.

СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС. ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ 3

Федоренчик А. С. Инновационное производство технологической щепы на лесосеке 3
Голякевич С. А., Гороновский А. Р. Эффективность работы многооперационных лесозаготовительных машин с учетом ограничивающих факторов 8
Вырко Н. П., Леонович И. И., Карпович С. С. Земляной бур с накопителем для обследования грунтов по трассе дорог 12
Голякевич С. А., Гороновский А. Р. Экспериментальные исследования нагруженности несущих конструкций шарнирно-сочлененных лесозаготовительных машин 15
Мохов С. П., Голякевич С. А., Пищов С. Н, Арико С. Е. Анализ тенденций развития конструкций многооперационных лесозаготовительных машин 18
Лой В. Н, Германович А. О. Влияние различных характеристик древесного сырья на энергонасыщенность рубильной машины 21
Насковец М. Т., Корин Г. С., Драчиловский А. И. Опытное строительство лесных дорог с применением геотекстильных материалов в ГЛХУ «Телеханский лесхоз» 25
Мохов С. П., Симанович В. А., Арико С. Е. Оценка влияния внешних силовых факторов на процесс падения дерева 28
Вырко Н. П., Леонович И. И., Федькин А. С. Ровность дорожного покрытия – технико-эксплуатационный показатель работы автомобильного транспорта 32
Лыщик П.А., Бавбель Е. И. Обоснование параметров лесотранспортных сетей на основе ГИС-технологий 35
Исаченков В. С., Симанович В. А. Обоснование параметров канатно-чокерного прицепного технологического оборудования 39
Лащенко А. П. Определение деформаций слоистых систем с учетом реологических свойств материалов 43
Матвейко А. П. Перспективы заготовки в Беларуси круглых лесоматериалов мобильными сучкорезно-раскряжевочными агрегатами 46
Пищов С. Н., Мохов С. П., Гороновский А. Р. Обоснование параметров мобильной канатной трелевочной машины 49
Арико С. Е. Результаты испытаний шин лесных машин 51
Протас П. А., Федоренчик А. С., Ледницкий А. В., Завойских Г. И. Состояние ветровально-буреломного лесфонда в Республике Беларусь и проблемы его освоения 55
Леонов Е. А., Федоренчик А. С. Имитационное моделирование устойчивого функционирования склада древесного топлива 58
Хотянович А. И. Экспериментальные исследования по оптимизации освоения лесосечного фонда с использованием геоинформационных систем 62
Клоков Д. В., Турлай И. В. Модели работы лесных машин с учетом надежности 66
Жарков Н. И., Гиль В. И., Исаченков В. С. Анализ конструкций лесотранспортеров 68
Лыщик П. А., Науменко А. И. Укрепление дорожных грунтов шлаковыми добавками 70
Кришна Ш. Чакхун. Обоснование стратегии развития сети и организации строительства автомобильных дорог Республики Непал 73
Вырко Н. П., Демидко М. Н. Условия и эффективность применения сборно-разборных покрытий на временных лесных автомобильных дорогах 77
Насковец М. Т., Драчиловский А. И. Совершенствование дорожных конструкций, повышающих транспортно-эксплуатационные показатели лесных дорог 80
Короленя Р. О. Определение функции срочности перевозки древесины по основным схемам организации транспортного процесса 83
Тумашик И. И., Федькин А. С. Технология укрепления грунтовых лесных дорог введением скелетных добавок и минеральных вяжущих 86
Федькин А. С. Экспериментальные лабораторные исследования композиционного материала на основе грунта и минерального вяжущего для укрепления грунтов лесных дорог 89

Леонович И. И. Дороги Беларуси: прошлое, настоящее, будущее 93
Германович А. О. Основные направления совершенствования мобильных рубильных машин 99
Балгабеков Т. К. Транспортные коридоры Казахстана: проблемы и перспективы 103
Воронина М. А. Анализ и состояние лесных дорог Республики Коми 107
Коваленко Т. В. Зонирование арендных лесных массивов в системе оптимизации транспортного освоения лесов 109
Виноградов А. Ю., Салминен Э. О., Куцанов П. С. Гидрологические расчеты малых водопропускных сооружений лесных дорог 112
Артемьев В. В., Бессараб Г. А., Борозна А. А. Расчет дорожных конструкций, армированных объемными георешетками 115
Зубова О. В. Исследование влияния гранулометрического состава грунтов на прочность зологрунтовой смеси, обработанной цементом 118
Чернякевич В. И. Совершенствование технологии строительства лесовозных автомобильных дорог 121
Бурмистрова О. Н., Воронина М. А. Основные принципы развития сети лесовозных автомобильных дорог Республики Коми 124
Бурмистрова О. Н., Король С. А. Оценка транспортно-эксплуатационного состояния лесовозной автомобильной дороги Сыктывкар – Троицко-Печерск 127
Леонович И. И., Мельникова И. С. Инновации в системе эксплуатации автомобильных дорог, направленные на предупреждение и ликвидацию поверхностных дефектов 130
Мохов С. П. , Пищов С. Н., Асмоловский М. К. Экспериментальная оценка показателей устойчивости самосвала повышенной грузоподъемности с задней разгрузкой 134

ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ 136

Барташевич А. А., Лопачук В. А, Маханек А. А., Пендо В. В. Расчет основных параметров устройства для уплотнения шпона 136
Прохорчик С. А., Чуйков А. С. Сравнительный анализ стойкости к истиранию ламинированных и деревянных полов 138
Мухурова Е. А., Шетько С. В. Разработка рационального плана раскроя бревен на черновые мебельные заготовки целевого назначения 140
Игнатович Л. В., Кривоблоцкий А. Н., Утгоф С. С. Комплексная оценка качества напольных покрытий и затрат на их устройство, эксплуатацию 144
Бучнева Е. А., Бахар Л. М. Влияние прессмассы на свойства древесностружечных плит 148
Федосенко И. Г. Физические и механические свойства древесины, термически модифицированной в органических маслах 151
Бабич Д. П., Снопков В. Б. Расход тепловой энергии при сушке пиломатериалов в конвективных сушильных камерах периодического действия 154
Мазаник Н. В. Сравнительный анализ статистических характеристик экспериментальных данных при использовании различных методов испытаний средств химической защиты древесины от биоповреждений 158
Рудак О. Г., Снопков В. Б. Изменение тепловых свойств древесины в период прогрева в ненасыщенной среде 161
Рудак О. Г. Изменение влажности пиломатериалов по толщине при прогреве в ненасыщенной среде 165
Божелко И. К. Биозащита клееных деревянных конструкций 168
Гайдук С. С. Исследование прочности и водостойкости клеевых соединений на основе ПВА дисперсий 172
Гайдук С. С., Бедик Н. А. Реологические характеристики модифицированных поливинилацетатных дисперсий 175
Стукач Т. В, Рапинчук Д. Л., Федосенко И. Г. Анализ эксплуатационных свойств древесины различных пород, используемой на открытом воздухе 179
Пастушени В. И. Разработка технологического процесса на складе при доставке сырья разных пород в хлыстах 182
Ширяев В. В. Натуральный линолеум как композиционный материал на основе льняного масла и древесной муки 186

ОБЩЕИНЖЕНЕРНЫЕ ВОПРОСЫ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА 189

Царук Ф. Ф, Бельский С. Е., Куис Д. В. Влияние содержания железа и лазерного упрочнения на фрактографию высокочастотных усталостных изломов образцов сплава АК8М3 189

Пищов М. Н., Царук Ф. Ф., Сурус А. И. Влияние технологических параметров комплексного борирования на характеристики поверхностного слоя деталей 192

Дулевич А. Ф., Киселев С. В. Разработка режимов упругопластического деформирования ленточных пил для распиловки древесины с целью повышения их долговечности 195

Блохин А. В. Расчет усилий, действующих на элементы крепления образцов для механических испытаний, методом конечных элементов 198

Алифанов А. В. , Милюкова А. М. , Бурносов Н. В. Исследование деформированного состояния металло- и деревообрабатывающего инструмента, полученного методами пластической деформации 201

Рудак П. В., Гришкевич А. А. Результаты экспериментальных исследований влияния конструкций дереворежущих хвостовых фрез на уровень шума 204

Алифанов А. В., Гришкевич А. А., Чаевский В. В., Гаранин В. Н. Влияние TiN-покрытий твердосплавных ножей на эксплуатацию дереворежущего фрезерного инструмента при обработке ламинированных ДСтП 207

Гриневич С. А., Гаранин В. Н., Ревяко Д. А. Исследование влияния частоты вращения на мощность холостого хода в приводе резания станка Unimat 23 EL 212

Чернушевич Г. А., Перетрухин В. В. Прогностические аспекты оценивания профессионального риска здоровья работающих (на примере ОАО «Ивацевичдрев») 215

Ладик, Б. Р., Ермак И. Т., Босак В. Н. Шумовое воздействие на работающих при производстве древесностружечных плит 219

Гармаза А. К. Обеспечение безопасности при разработке ветровально-буреломных лесосек 222

Куис Д. В., Свидунович Н. А., Окатова Г. П., Урбанович В. С., Товстыко Ю. А. О механизме структурообразования особотвердой углеродной фазы в нанокомпозите системы Fe – C для дереворежущего инструмента 225

Рудак П. В., Куис Д. В. , Раповец В. В. Экспериментальные исследования триботехнических свойств твердосплавных неперетачиваемых режущих пластин с вакуумно-плазменными покрытиями при цилиндрическом фрезеровании древесностружечных плит 228

Карпович С. С., Латушкина С. Д., Карпович С. И., Пискунова О. Ю. Статическая жесткость полотен круглых пил 232

Касперов Г. И., Левкевич В. Е., Пастухов С. М., Бузук А. В. Методика и результаты натурных обследований искусственных водных объектов Республики Беларусь как источников чрезвычайных ситуаций техногенного характера 236

Касперов, Г. И., Левкевич В. Е., Пастухов С. М., Бузук. А. В., Новиков А. А. Моделирование режима стоковых течений водохранилищ на основе программных средств для оценки устойчивости берегоукрепительных сооружений 239

Раповец В. В. , Бурносов Н. В. Взаимосвязь геометрических параметров технологической щепыи двухлезвийного ножа при обработке бревен на фрезерно-брусующих станках 241

Костюк О. И., Фридрих А. П. Особенности механической обработки древесины и древесных плитных материалов методом шлифования 244

Дорожко А. В. Датчик прогиба с защитой от повреждения 248

Кравченко А. С., Бобровский С. Э. Оцилиндровка круглых лесоматериалов ножами, дающими возможность получать технологическую щепу 251

РЕФЕРАТЫ 253