

СОДЕРЖАНИЕ

	<i>Предисловие</i>	4
Суханов В.С.	<i>Роль биоэнергетики в повышении эффективности работы лесопромышленного комплекса России</i>	5
Герасимов Ю., Каръялайнен Т.	<i>Ресурсы древесного топлива северо-запада России</i>	12
Каръялайнен Т., Лейнонен А., Линнонен Л.	<i>Мировые энергетические ресурсы леса, сертификация запасов и рынок энергетических технологий</i>	14
Левин А.Б.	<i>Топливный ресурс лесной биоэнергетики РФ</i>	30
Левин А.Б., Суханов В.С., Шереметьев Д.В.	<i>Энергетический потенциал топливного ресурса лесной биоэнергетики РФ</i>	37
Семенов Ю.П.	<i>Подготовка магистров по направлению технологии лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств в области энергетического использования древесины</i>	43
Холодков В.С.	<i>Разработка топливно-энергетического баланса регионов с учетом ресурсов древесного топлива</i>	44
Алексеева Л.В.	<i>Исследование состава отходов технологических процессов лесопиления</i>	48
Алексеева Л.В., Деснев А.Н.	<i>Образование и оценка объемов отходов в лесопилении</i>	51
Ракитова О.С.	<i>Биотопливный потенциал России и ее возможности на мировом рынке биотоплива</i>	55
Любов В.К., Горюнов В.В.	<i>Комплексное использование древесного сырья в технологическом цикле лесопильного предприятия</i>	58
Яковлев Ю.В.	<i>Универсальная топка для сжигания производственных отходов деревообработки</i>	62
Трушаков Р.В.	<i>Определение влияния на топливопотребление в регионе перехода от централизованного энергоснабжения к автономному</i>	65
Щербаков Е.Н., Карпачев С.П., Комяков А.Н., Слинченков А.Н.	<i>Проблемы развития биоэнергетики на основе древесного сырья в России</i>	70
Горохов Д.Г., Бабурина М.И., Иванкин А.Н., Прошина О.П.	<i>Жидкое биотопливо из растительного и животного сырья. Технические и экономические аспекты</i>	74
Забелкин С.А., Тунцев Д.В., Грачев А.Н., Башкиров В.Н.	<i>Энергетическое использование жидких продуктов быстрого пиролиза древесины</i>	79
Зиатдинова Д.Ф.	<i>Разработка технологии производства целлюлозы и побочных продуктов в виде спиртов, дрожжей, фурфурола из низкокачественной древесины</i>	84
Сафин Р.Р., Воронин А.Е., Зиатдинова Д.Ф.	<i>Экспериментальные исследования переработки древесной зелени хвойных пород</i>	87
Хасаншин Р.Р., Разумов Е.Ю., Сафин Р.Р.	<i>Изменение наноструктуры древесных частиц в плазме ВЧ-разряда пониженного давления</i>	91

Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Разумов Е.Ю., Оладышкина Н.А.	<i>Термомодифицирование древесины в среде топочных газов</i>	95
Комяков А.Н., Шевелев И.Л.	<i>Плаучесть и остойчивость контейнера для водной доставки лесных грузов</i>	99
Комяков А.Н., Сорокин М.А.	<i>Гидродинамические характеристики плавающих контейнеров и контейнерных составов для доставки измельченных лесных грузов</i>	102
Комяков А.Н., Карпачев С.П.	<i>Применение большегрузных плавающих контейнеров для нужд лесной биоэнергетики</i>	104
Щербаков Е.Н., Карпачев С.П., Комяков А.Н.	<i>Некоторые вопросы освоения биоресурсов из леса для нужд биоэнергетики</i>	107
Ермоченков М.Г. Кувик Т.Е.	<i>Прогнозирование свойств термически модифицированной древесины</i>	111
	<i>Физико-химические процессы, протекающие в древесине при интенсивном нагреве</i>	115
Косарин А.А.	<i>Особенности импульсной сушки пиломатериалов</i>	119
Скуратов Н.В.	<i>Снижение прочности и потемнение древесины при камерной сушке</i>	125
Комяков А.Н.	<i>Приближенное решение задачи о движении границы таяния льда в замороженном слое плавающего контейнера с древесной щепой</i>	129
Комяков А.Н., Лукьянов А.А.	<i>О теплопроводности дисперсных материалов типа замороженной древесной щепы</i>	132
Кольниченко Г.И., Сиротов А.В., Панферов В.И., Тарлаков Я.В.	<i>Биомасса и биотопливо в энергетическом обеспечении отраслей экономики страны</i>	136
Торопов А.С., Меркелов В.М., Микрюкова Е.В.	<i>Математическая модель определения объемного выхода пилопродукции при раскросе комбинированного пиловочника, пораженного радионуклидами</i>	140
Торопов А.С., Меркелов В.М., Микрюкова Е.В., Шакирова А.И.	<i>Раскрой комбинированного пиловочника, пораженного радионуклидами</i>	142
Ерофеева А.А., Алашкевич Ю.Д., Барановский В.П.	<i>Анализ распределения скорости струи суспензии при течении ее в рабочих органах размольной установки «струя – преграда»</i>	147
Руденко Б.Д.	<i>Влияние состава на формирование свойств плит из коры и вторичного полиэтилена</i>	151
Кузнецов Г.П., Рублева О.А.	<i>Системный подход к проектированию шиповых соединений деревянных деталей и технологических процессов их изготовления</i>	155
Рублева О.А., Кузнецов Г.П.	<i>Качество шипов, изготовленных холодным торцовым прессованием</i>	160
Гелес И.С., Васильева Н.А., Коржова М.А.	<i>Состав жирных кислот «Белвитамила» Кондопожского ЦБК и избыточного активного ила Сегежского ЦБК</i>	164
Свиридова Т.А., Самошкин Е.Н.	<i>Juglans nigra l.: изменчивость волокон либриформа в условиях интродукции</i>	168
Зайцев Р.В.	<i>Восстановление работоспособности станка по результатам оценки остаточного ресурса</i>	171

ПРЕДИСЛОВИЕ

Развитие мировой энергетики направлено на максимально возможное замещение ископаемого топлива альтернативными возобновляемыми источниками энергии. Особое внимание уделяется использованию биологических видов топлива в связи с широкой распространенностью, доступностью и экологической безопасностью. Принят ряд программ на международном уровне и правительственных решений в России, направленных на расширение использования биоэнергетики.

Для России особенно актуально использование древесного топлива, поскольку она обладает наибольшими в мире запасами древесины, расположенными в основном в отдаленных районах, куда доставка ископаемого топлива требует значительных затрат.

Развитию лесной биоэнергетики необходимо соответствующее научное, информационное и инженерное обеспечение. Поэтому в последние годы заметна активная деятельность на международном уровне и в нашей стране по научной и информационной поддержке развития биоэнергетики. Достаточно часто проводятся конференции, семинары, выставки, форумы, посвященные проблемам использования возобновляемых источников энергии, в том числе древесины, обсуждается проблема и в научно-технической периодической печати. С учетом важности подготовки инженерных кадров для решения проблем биоэнергетики был разработан по международной российско-шведской программе сотрудничества в области лесного дела учебный курс и издан учебник «Лесная биоэнергетика». В подготовке курса принимали участие ученые Шведского сельскохозяйственного университета, Санкт-Петербургской лесотехнической академии, Архангельского лесотехнического университета, Лисинского лесхоза-техникума, Московского университета леса, который был координатором проекта с российской стороны.

С учетом важности проблемы в МГУЛ в октябре 2009 г. была организована международная научно-практическая конференция «Биоэнергетика и биотехнологии – эффективное использование отходов лесозаготовок и деревообработки». В конференции приняли участие ученые и сотрудники фирм Швеции, Финляндии, Белоруссии, Украины, Экономической комиссии ООН для Европы, ученые и сотрудники ряда вузов, организаций и предприятий нашей страны. На конференции рассматривались вопросы сырьевой базы биоэнергетики, связи биоэнергетики с технологиями лесозаготовок и деревообработки, производства улучшенного твердого биотоплива, получения моторных топлив из древесины, технологического оборудования лесной биоэнергетики и др. По результатам работы конференции подготовлены статьи настоящего тематического выпуска «Лесного вестника».

РОЛЬ БИОЭНЕРГЕТИКИ В ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ

В.С. СУХАНОВ, ФГУП «ГНЦ ЛПК», д-р техн. наук

gnclpk@mail.ru; gnclpk@gnclpk.ru

Роль биоэнергетики в лесопромышленном комплексе

Важность роли биоэнергетики в развитии лесопромышленного комплекса определяется структурой затрат на производство основных видов лесобумажной продукции. Анализ показывает, что самые крупные статьи затрат при производстве всех видов лесобумажной продукции составляют расходы на древесное сырье с учетом затрат на доставку его потребителям, а также затраты на топливо и энергию. Суммарная величина затрат достигает 40...45%. Эти статьи затрат взаимосвязаны, поскольку снижение затрат на самую невыгодную продукцию лесозаготовок – дрова, которые реализуются в 3,5 раза дешевле себестоимости их производства, связано именно с их энергетическим использованием. Снижение затрат на энергию положительно скажется на эффективности работы всего комплекса. Именно поэтому производство энергии и топлива из органического сырья заслуженно включено в перечень критических технологий, утвержденных правительством страны.

Масштабы развития биоэнергетики в лесопромышленном комплексе напрямую определяются ресурсами древесного топли-

ва. Нами выполнена оценка экономически доступных ресурсов древесного топлива, образующегося на предприятиях ЛПК России при современных объемах производства лесобумажной продукции. Ресурсы древесного топлива превышают 90 млн м³.

Около 80% древесного топлива образуется на предприятиях лесозаготовительной промышленности (рис. 1). Из них более 80% составляет дровяная древесина. Использование именно этого ресурса будет оказывать существенное влияние на повышение эффективности работы лесной промышленности и лесопромышленного комплекса в целом.

Из ресурсов отраслей деревообработывающей промышленности наибольшую часть (12%) составляют отходы лесопиления.

Распределение экономически доступных ресурсов древесного топлива по федеральным округам приведено на рис. 2. Как видим, все федеральные округа России, за исключением Южного, имеют большие экономически доступные ресурсы древесного топлива. Это говорит о том, что именно с Южным федеральным округом может быть связана потенциальная возможность развития внутреннего рынка древесных топливных гранул (пеллет).

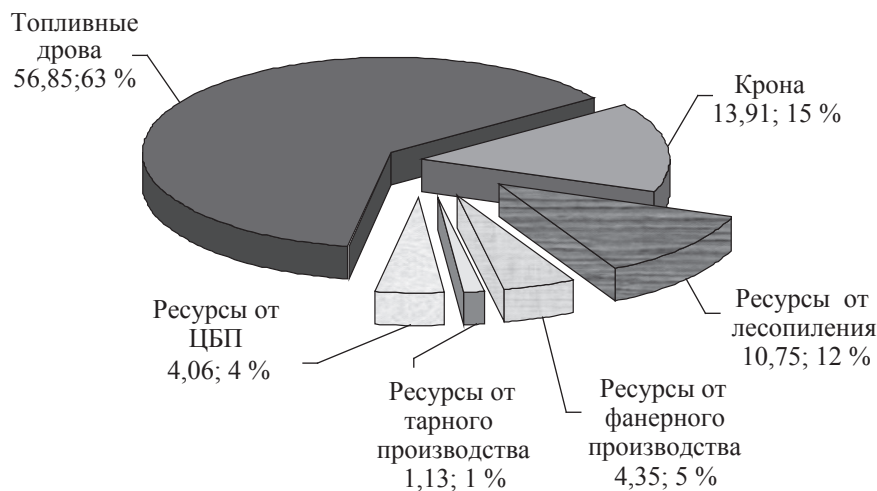


Рис. 1. Доля различных видов древесного топлива, используемого для производства энергии на предприятиях ЛПК, млн м³, %

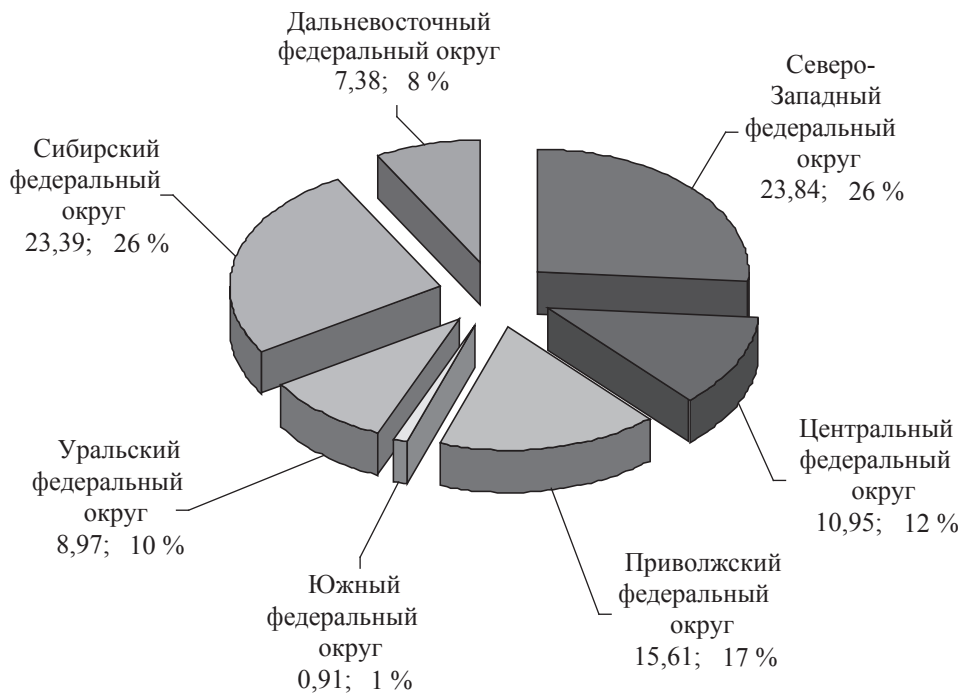


Рис. 2. Распределение в 2007 г. экономически доступных ресурсов древесного топлива по федеральным округам РФ, млн м.³ Всего РФ – 91,05 млн м³

Энергетический потенциал экономически доступного древесного топлива составляет более 500 ПДж. Это означает, что лесопромышленный комплекс на 75 % может обеспечить себя энергией за счет собственных энергоресурсов, а при целевой заготовке низкокачественной древесины – полностью.

Современное состояние энергетического хозяйства лесопромышленного комплекса

К сожалению, предприятия ЛПК России в настоящее время не готовы эффективно использовать этот потенциал. В годы «перестройки» информация о состоянии энергетического хозяйства ЛПК была утрачена. Поэтому мы были вынуждены собирать эту информацию вновь. С помощью Минпромторга России было проведено анкетирование предприятий и создана база данных об энергетических объектах крупных и средних предприятий ЛПК (рис. 3).

В базу входит информация о 1256 единицах паровых и водогрейных котлов отечественного и импортного производства, о 21 тепловой и 97 дизельных электростанциях. Конечно, фактическое количество котлов, особенно водогрейных, значительно больше.

Распределение энергетических объектов по федеральным округам приведено на рис. 4. Наибольшее количество (35 %) энергетических объектов и более половины их суммарной мощности сосредоточены в Северо-Западном федеральном округе.

Следует отметить, что на предприятиях ЛПК преобладают котлы отечественного производства – 87,8 % суммарного количества. Доля импортных паровых котлов от общего их числа – 11 %, а водогрейных – 7 %.

Тревогу вызывает возрастная структура энергетических объектов. В общем парке паровых и водогрейных котлов 27 % составляют котлы старше 30 лет. Причем, паровые котлы старше 30 лет составляют 39 %.

Приведенная информация показывает, что энергетическое хозяйство лесопромышленного комплекса совершенно не соответствует имеющимся ресурсам древесного топлива и требует развития.

Развитие биоэнергетики – один из основных факторов повышения эффективности работы ЛПК

Внедрение энергетики в производство – это дорогое удовольствие.

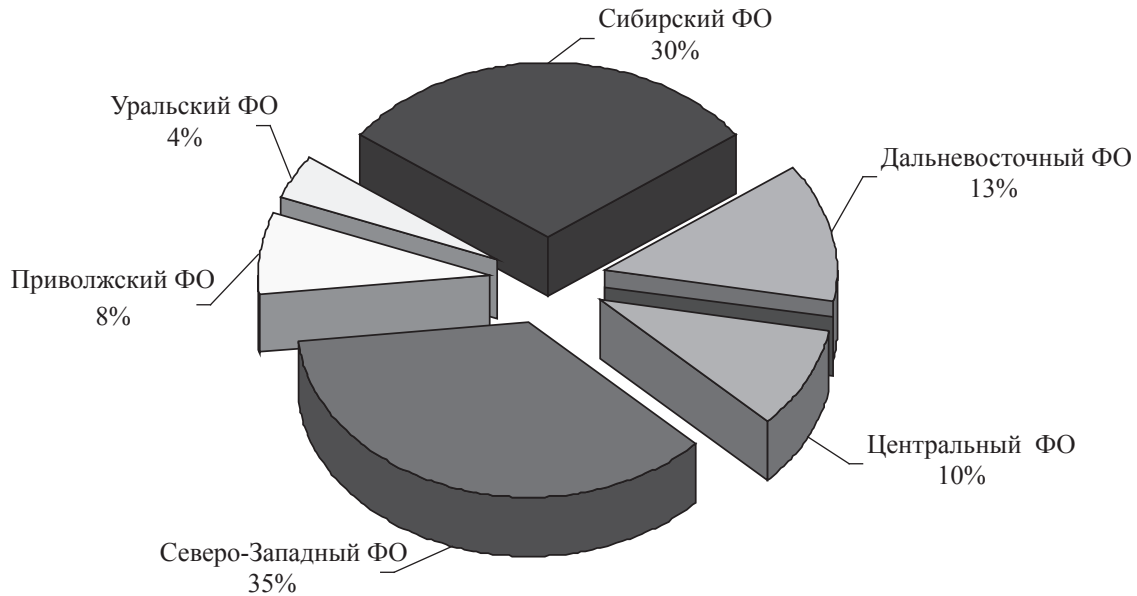


Рис. 3. Распределение энергетических объектов ЛПК по федеральным округам

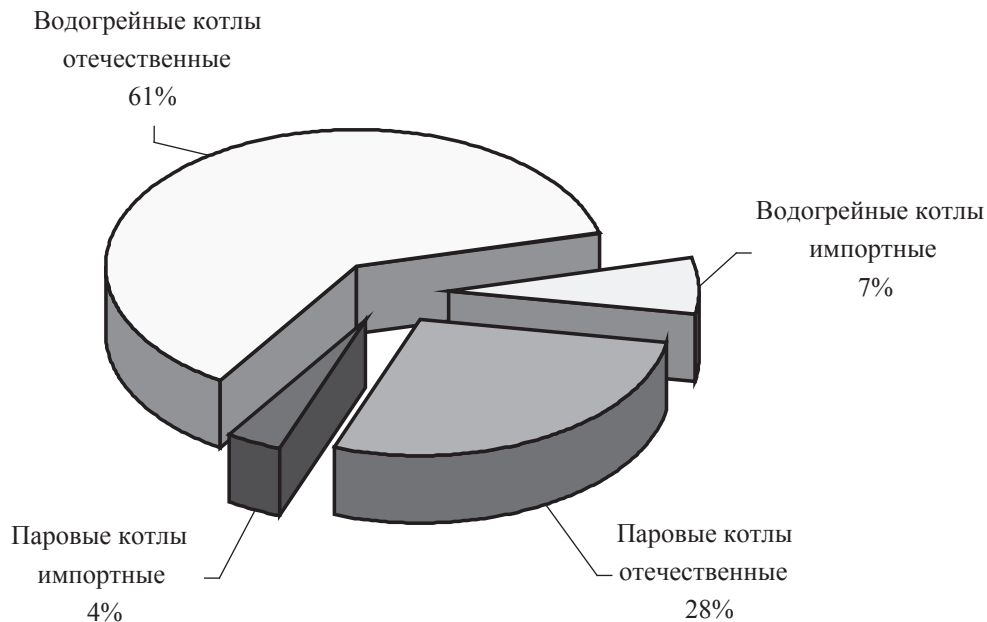


Рис. 4. Структура энергетических объектов ЛПК

Рекомендовать к внедрению **сегодня** можно лишь те технологии, которые уже прошли проверку временем, иначе деньги могут быть выброшены на ветер.

Поэтому для широкого внедрения в производство сегодня мы рекомендуем апробированную в процессе многолетней практики технологию производства тепловой и электрической энергии посредством прямого сжигания древесины и выработки тепловой и электрической энергии по схеме «паровой котел – паровая турбина». Основное оборудование для ее реализации – паровые котлы

и паровые турбогенераторы – производится в России.

Расчеты показывают, что вырабатываемая с использованием древесного топлива собственная тепловая и электрическая энергия в 1,5...2,0 раза дешевле покупной. А в тех местах, где централизованное энергоснабжение отсутствует, собственная энергия может быть дешевле покупной в 4...5 раз. Наши расчеты подтверждает и практика. Себестоимость производства электрической энергии в Харовсклеспроме составляет около 70 к. за кВт·ч.

Таким образом, перевод предприятий лесопромышленного комплекса на собственные источники тепловой и электрической энергии – древесное топливо, это один из самых мощных факторов повышения эффективности его работы.

Некоторые особенности и проблемы внедрения биоэнергетики в основных отраслях лесопромышленного комплекса

Наиболее просто проблемы перевода предприятий на собственные источники тепловой и электрической энергии решаются на предприятиях деревообрабатывающих отраслей промышленности. Для этого есть серьезные предпосылки:

- достаточно стабильное финансово-экономическое положение большинства предприятий;
- низкая себестоимость собственных древесных отходов;
- наличие на многих предприятиях паровых котельных, что снижает капитальные вложения при преобразовании их в тепловые электростанции.

Следует также отметить, что деревообрабатывающие предприятия являются хорошими потребителями как тепловой, так и электрической энергии, особенно те из них, которые работают круглосуточно по непрерывному графику – **фанерные комбинаты, заводы древесных плит**. Отсутствие достаточного количества собственного древесного топлива на заводах древесных плит легко восполнить поставками дровяной древесины.

Целлюлозно-бумажная промышленность является самой энергоемкой из отраслей лесопромышленного комплекса. На целлюлозно-бумажных комбинатах образуется более 4 млн м³ коры, которая на большинстве предприятий используется в качестве источника энергии. Однако в настоящее время, в связи с применяющейся «мокрой» окоркой балансов, речь идет не о производстве энергии, а об утилизации коры.

Между тем в США и Канаде широко применяется «сухая» окорка с применением роторных окорочных станков, окаривающих хлысты, и сучкорезно-окорочно-рубительных

машин, вырабатывающих окоренную щепу непосредственно из деревьев.

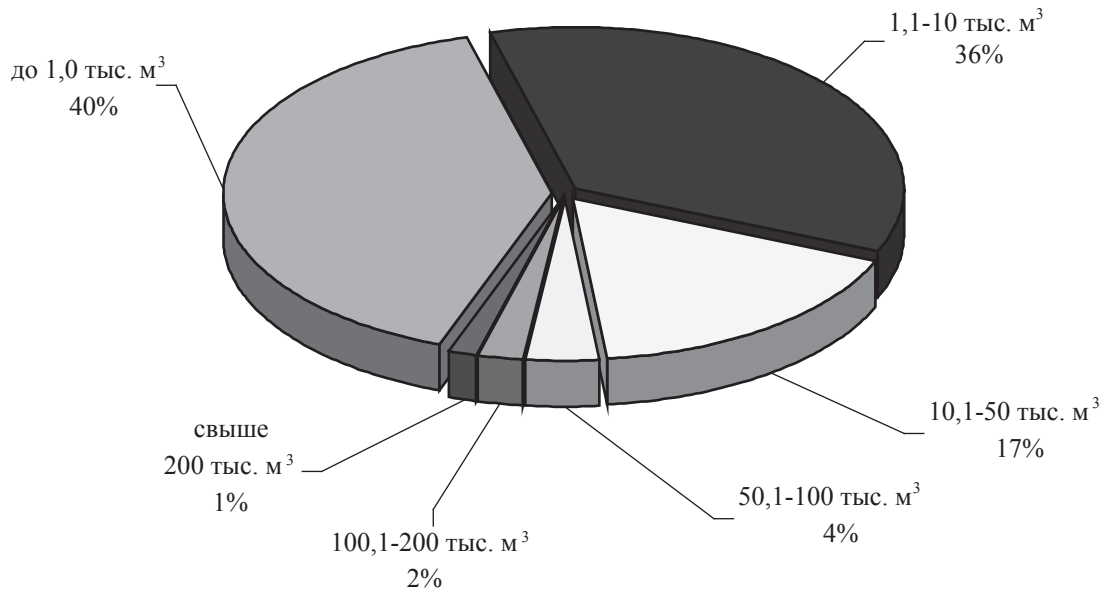
Выполнение обрезки сучьев с одновременной «сухой» окоркой стволов деревьев позволяет получить топливо (смесь сухой коры и измельченных сучьев кроны деревьев) со значительно более высокой теплотой сгорания, чем у мокрой коры после «мокрой» окорки. Выполненные технико-экономические исследования показали, что капитальные затраты на реализацию такой технологии окупаются практически за один год.

Как уже отмечалось, на предприятиях лесозаготовительной промышленности сосредоточено более 70 % всех ресурсов древесного топлива. Однако именно здесь имеют место и наибольшие проблемы в его использовании. Современная структура лесозаготовительной промышленности приведена на рис. 5.

В настоящее время заготовкой древесины занимается более 5,5 тысяч юридических и физических лиц. Предприятия с объемом заготовки до 10 тыс. м³ в год составляют 76 % их общего количества. Очевидно, что такие предприятия не могут решать проблемы биоэнергетики. Необходима реструктуризация отрасли.

Вот почему мы предлагаем реализовать пилотный проект по созданию высокоэффективного предприятия (лесокомбината). Принципиальная схема такого предприятия приведена на слайде (рис. 6). Проектом предусматривается освобождение основных технологических линий по производству круглых лесоматериалов от переработки дровяной древесины, которая направляется на специализированную линию для переработки на топливную щепу. За счет этого производство деловой древесины на основных технологических линиях повысится на 30 % без какой-либо модернизации. Вместе с тем, производство топливной щепы на специализированной линии из целых дровяных деревьев позволит снизить на 30 % себестоимость щепы по сравнению с производством щепы из дров-сортиментов. Выработка и использование тепловой и электрической энергии на собственной ТЭС (рис. 7) позволит повысить конкурентоспособность продукции глубокой переработки древесины, которая предусматривается на предприятии.

Распределение количества лесозаготовительных предприятий по объемам заготовки древесины (всего 5 681 предприятие)



Распределение объемов заготовки древесины лесозаготовительными предприятиями различной мощности (общий объем заготовки 87,964 млн м³)

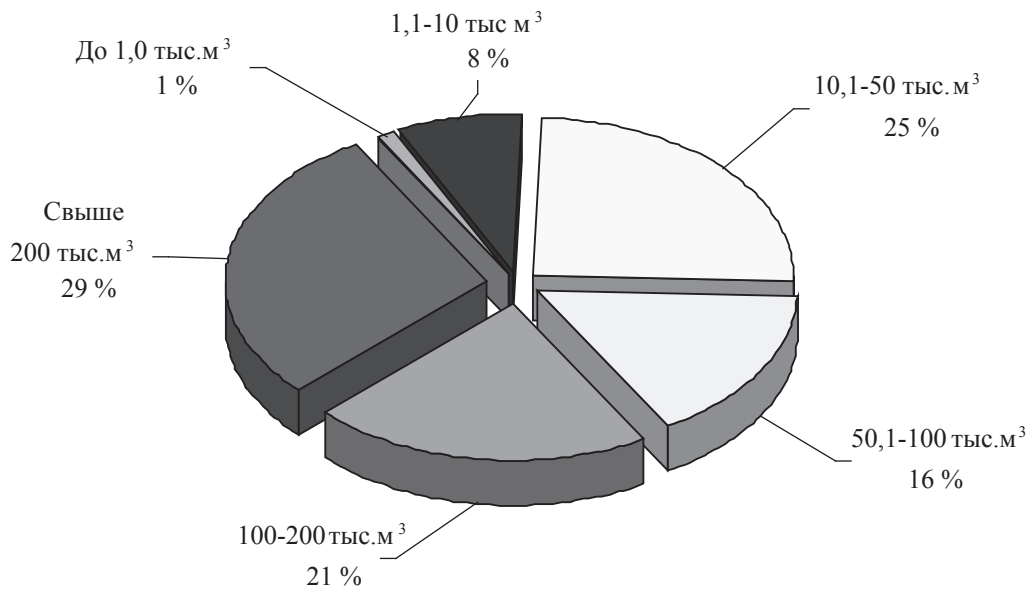


Рис. 5. Численность и мощность лесозаготовительных предприятий Российской Федерации

Мы считаем, что более важной задачи в лесопромышленном комплексе, чем реализация предлагаемого проекта, сегодня нет. В проекте намечается внедрить следующие разработки ГНЦ ЛПК:

- построить и испытать стационарную технологическую линию по производству

технологической и топливной щепы из крупномерных дровяных деревьев;

- построить и испытать закрытый склад хранения топливной щепы с системой топливоподачи;

- испытать высокоэффективную вихревую топку для отечественных паровых котлов.

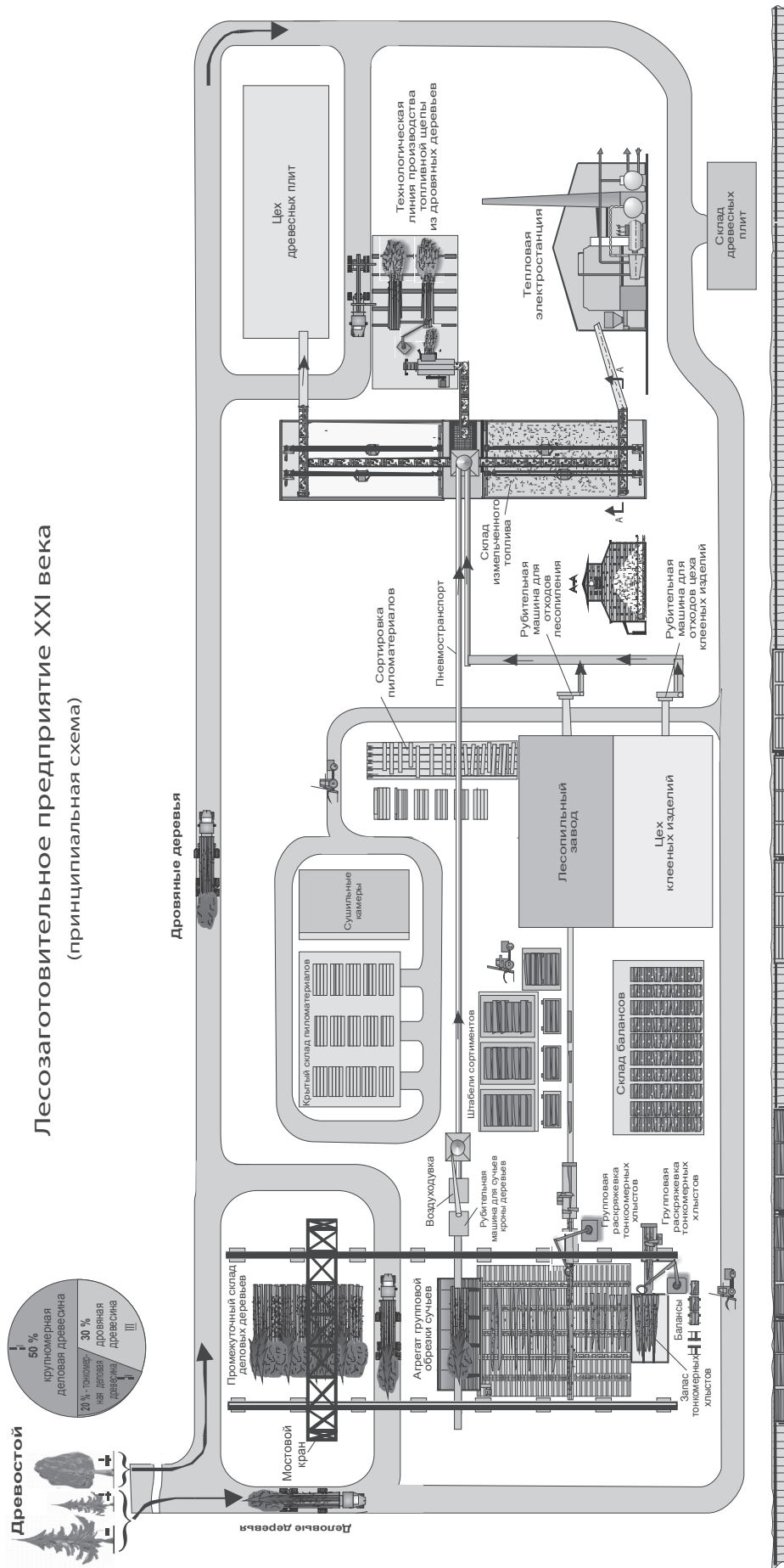


Рис. 6. Принципиальная схема предприятия

ТЕПЛОВАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ НА ДРЕВЕСНОМ ТОПЛИВЕ

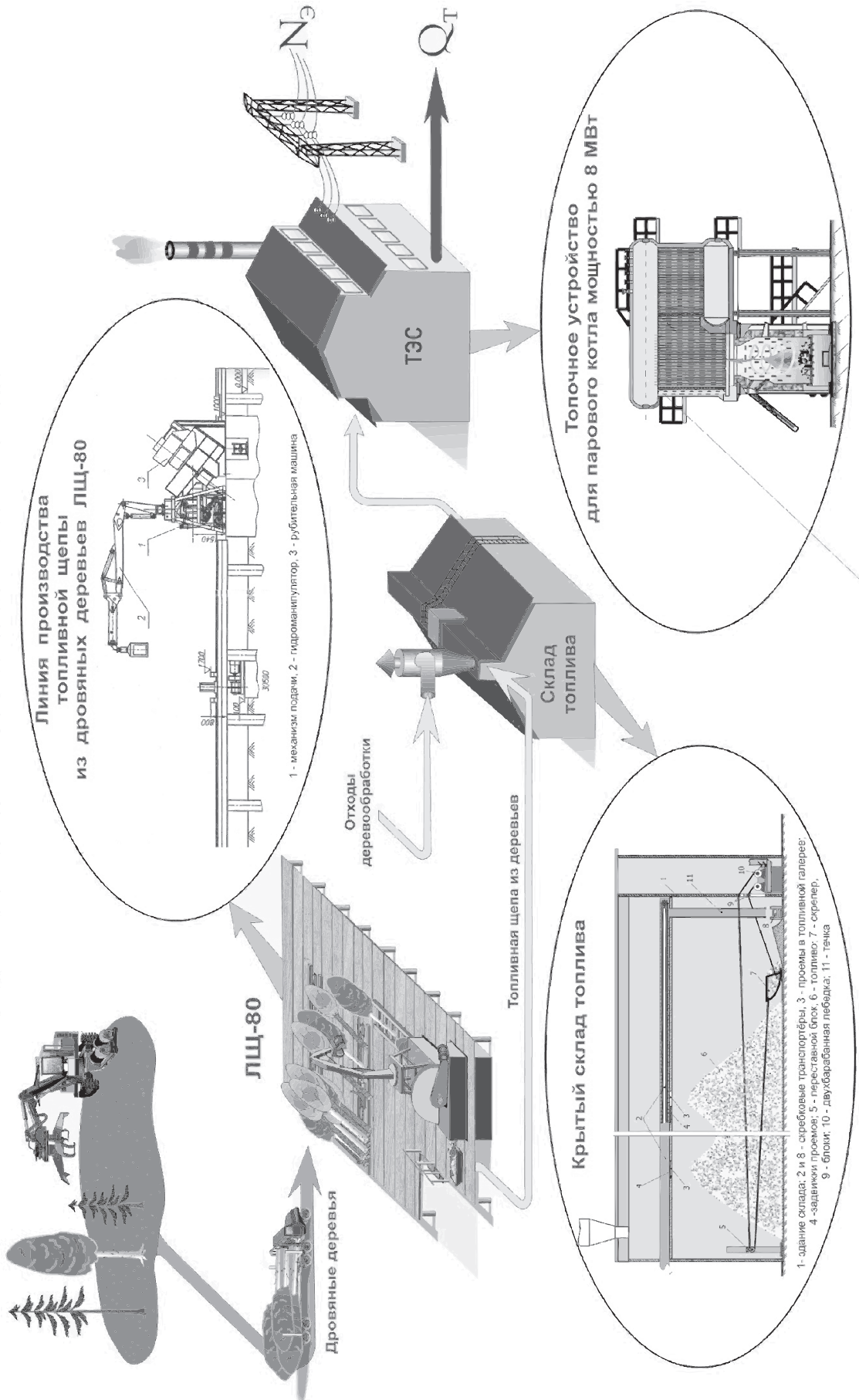


Рис. 7. Тепловая электростанция на древесном топливе

Проблема полного использования собственных энергоресурсов актуальна для всех отраслей лесопромышленного комплекса. Его масштабное развитие создает предпосылки для развития конкурентоспособной глубокой переработки древесины.

Однако биоэнергетика в ЛПК развивается медленно. Мы считаем, что для ускорения развития необходима помощь государства.

Меры государственной поддержки, необходимые для развития биоэнергетики в ЛПК

Для преодоления отставания в развитии биоэнергетики необходима **Федеральная целевая программа**, включающая комплекс

правовых, технических, экономических мер. Программа должна предусматривать:

- увеличение государственного финансирования работ в области энергетики на древесном топливе;
- принятие нормативно-правовых актов, устраняющих препятствия для поставки вырабатываемой энергии в распределительные сети с целью реализации ее излишков в качестве товарной продукции;
- субсидирование процентных ставок на кредиты, получаемые предприятиями ЛПК и ЖКХ на техническое перевооружение действующих и строительство новых энергообъектов на древесном топливе;
- организацию подготовки инженеров, техников и рабочих по специальности «Биоэнергетика».

РЕСУРСЫ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ

Ю. ГЕРАСИМОВ, *НИИ леса Финляндии*,
Т. КАРЪЯЛАЙНЕН, *НИИ леса Финляндии*

yuri.gerasimov@metla.fi; timo.karjalainen@metla.fi

Россия отличается от большинства стран самодостаточностью энергетических ресурсов и значительными экспортными возможностями природного газа и нефти. В дополнение к огромным ископаемым ресурсам Российская Федерация обладает 20 % мировых лесных ресурсов. Часть лесных ресурсов недоступна для эксплуатации в настоящее время (резервные леса). Однако использование потенциала доступных для эксплуатации лесов может быть существенно улучшено, в том числе для энергетических целей. В настоящее время доля возобновляемых источников (биомассы и отходов) в первичном потреблении энергии на северо-западе незначительна (менее 2 %), в то время как доля невозобновляемых ископаемых видов топлива несравненно больше (около 80 %).

Оценка ресурсов древесного топлива северо-запада России представлена в этой публикации. Детальное описание исходных данных, методик расчетов и результатов можно найти в публикации Герасимова и Каръялайнена [1].

Северо-запад России обладает огромным ресурсом древесного топлива в виде низкотоварной и неликвидной древесины, не использованных для укрепления волоков порубочных остатков, механически поврежденной во время лесозаготовок древесины, еловых пней и отходов лесопиления и лущения шпона. Взяв за основу объемы лесозаготовок и производство пиломатериалов и фанеры в 2006 г., объем древесного топлива можно оценить в 31 млн м³ (62 TWh). Около 70 % от этого объема приходится на лесозаготовку и 30 % – на глубокую переработку древесины в виде отходов лесопиления и лущения шпона. Использование этого потенциала в энергетике способно увеличить долю древесного топлива в первичном потреблении энергии с 2 % до 6 %. Для сравнения в Финляндии 19,5 млн плотных кубометров древесины (черный щелок и другие отходы целлюлозного производства исключены) было использовано в котельных и мини-ТЭЦ в 2006 г., что эквивалентно 10 % от общего потребления энергии [2].

Расчетная лесосека на северо-западе России в настоящее время осваивается только на 40 %, значит, есть возможность интенсифицировать лесопользование, что также позволит увеличить долю использования древесины в производстве энергии. Полное использование расчетной лесосеки, пиловочников и фанкряжа в ЛПК региона может обеспечить 74 млн м³ древесного топлива (148 TWh). Этот объем способен покрыть 15 % от всей энергопотребности северо-запада России. Если к полному использованию расчетной лесосеки добавить потенциал рубок ухода (т.е. перейти к интенсивной модели лесопользования), общий объем древесного топлива составит 104 млн м³ (208 TWh), что соответствует 21 % всех энергетических потребностей северо-запада России в настоящее время.

Выявлена большая разница в ресурсах древесного топлива как между, так и внутри отдельных регионов северо-запада. Это связано с качественными и количественными различиями в лесных ресурсах и их использовании, а также состоянием инфраструктуры и ограничениями на лесозаготовки, такими как моратории на рубки в старовозрастных лесах. Расчетные потенциалы древесного топлива не являются полностью неиспользованными ресурсами, так как дрова на нижних складах и некоторые отходы лесопиления и лущения шпона в настоящее время используются, в том числе и для энергетических целей. Кроме того, любое конкурентное использование снизит потенциал и (или) повысит стоимость этого ресурса.

Интенсификация использования потенциала лесных ресурсов за счет рубок ухода будет стимулировать дальнейшее развитие заготовок по сортиментной технологии. Это приведет к увеличению объема сырья для энергетики, которое, однако, будет концентрироваться на лесосеках. Это потребует дополнительных затрат для сбора и транспортировки древесного топлива. Кроме того, такое сырье хуже подходит для традиционной технологии производства энергии из древесины.

Основываясь на опыте Финляндии, можно предположить, что любое повышение использования древесины как местного вида топлива на северо-западе России может быть полезным для местной и региональной экономики. Так же, как и в Финляндии, повышение самообеспеченности регионального энергоснабжения является важным фактором ввиду суровых зимних условий. В таких районах любые задержки в поставке или нехватка энергоресурсов для выработки тепла могут привести к серьезным и даже фатальным исходам.

Так как энергетический сектор северо-запада России еще пока недостаточно развит, он может двигаться сразу по направлению к инновационным технологиям по снабжению и использованию древесного топлива. Регионы северо-запада могут обеспечить новые рынки для этих технологий и ноу-хау. Для этого существуют хорошие предпосылки в виде систем центрального отопления в городах и большинстве населенных пунктов и ТЭЦ. Следовательно, базовая инфраструктура для использования древесного топлива в больших масштабах уже существует. Перевод котельных, использующих уголь и мазут, на древесное топливо может также уменьшить региональные выбросы парниковых газов. Сегодняшняя политика субсидий цен на мазут, уголь и природный газ может измениться, а это, в свою очередь, позволит сделать «зеленую» энергетику более конкурентоспособной. Даже если внутренний рынок для древесного топлива не будет развит в ближайшее время, то рядом находятся страны Европейского Союза, где существует и будет существовать спрос на биотопливо.

Библиографический список

1. Gerasimov, Y. & Karjalainen, T. 2009. Assessment of Energy Wood Resources in Northwest Russia. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 108. 52 p.
2. Peltola, A. (editor-in-chief). 2007. Finnish Statistical Yearbook of Forestry 2006. Helsinki: Finnish Forest Research Institute (Metla). 434 p.

МИРОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ ЛЕСА, СЕРТИФИКАЦИЯ ЗАПАСОВ И РЫНОК ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ *

Т. КАРЬЯЛАЙНЕН, *МЕТЛА, Финляндия,*

А. ЛЕЙНОНЕН, *VTТ, Финляндия,*

Л. ЛИННОНЕН, *Технологический университет, Лаппенранта, Финляндия*

timo.karjalainen@metla.fi

Растущая обеспокоенность изменением климата, стремление уменьшить зависимость от ископаемых видов топлива и увеличить уверенность в энергообеспечении являются факторами, стимулирующими использование биоэнергии и других возобновляемых энергоресурсов. Некоторые исследования зафиксировали, что использование биомассы для производства энергии может быть значительно увеличено по сравнению с нынешним уровнем в течение следующих десятилетий, когда ископаемые виды топлива станут более дефицитными и дорогими. В свете Киотского протокола, использование биомассы для производства энергии будет увеличено, особенно в промышленных странах, целью которых является сокращение выбросов парниковых газов. В настоящее время рынки биомассы быстро развиваются и становятся международными. Общая тенденция в использовании биомассы заключается в увеличении числа перерабатывающих предприятий и расстояний транспортировки. В некоторых странах производство биоэнергии по большей части основано на импортируемой биомассе. Например, в Нидерландах около 80 % биомассы, используемой в производстве электроэнергии, импортируется из таких регионов, как Северная Америка, Азия, Европа, Россия и Южная Америка.

Вместе с быстрым развитием рынка биомассы увеличилась озабоченность аспектами устойчивости производства и использования биомассы в энергетических целях. Увеличившееся производство биомассы может привести к негативным экологическим и социально-экономическим последствиям, изменению систем землепользования и даже к увеличению выбросов парниковых газов. Устойчивое производство биомассы становится главной

причиной для беспокойства и в настоящее время рассматривается как одно из требований к биотопливу, поставляемому на рынок. Различные влиятельные игроки на рынке биомассы вовлечены в споры и исследования, целью которых является определение критерия устойчивости производства биомассы и разработка процедуры, гарантирующей, что этот критерий будет выполняться. Особенно активно в этой области ведут себя страны, импортирующие биомассу, но и Европейский Союз стал уделять больше внимания этому вопросу.

В плане работ Европейского Союза по биомассе упоминалось, что будет уделяться больше внимания оценке и мониторингу влияния на экологию использования биотоплива.

Объем производства возобновляемой энергии из биомассы быстро увеличивается в Европе и мире. Исследования свидетельствуют о том, что в настоящее время большая часть производимой в мире биоэнергии получается из лесной биомассы. В Европейском Союзе, особенно в скандинавских и балтийских странах, а также в Германии и Австрии инвестиции в переработку лесной биомассы неуклонно растут, а финские поставщики оборудования заняли сильную позицию на рынке. Практический опыт показал, что проблема бесперебойной и рентабельной поставки сырья является наиболее серьезным препятствием для инвестирования в биомассу. Кроме того, конкурентоспособность лесной биомассы как источника энергии сильно отличается в различных регионах ЕС. Также различаются и основные источники лесной биомассы. Например, в Чехии – это лесосечные отходы от рубок главного пользования, в Польше – преимущественно отходы от рубок ухода в сосновых насаждениях, а на севере Шотландии – круглые лесоматериалы.

*Перевод с английского А. Пчеловодовой и А. Алешко. Научный редактор перевода А.Б. Левин

Достижение климатических целей и изменение системы энергоснабжения также требует увеличения использования биотоплива в сфере автомобильного транспорта. В настоящее время производство жидкого топлива в Финляндии и ЕС ограничено и по большей части основано на импортируемой биомассе, такой как этанол из Латинской Америки и пальмовое масло из Юго-Западной Азии. В Северной Европе выращивание масличных растений и зерна на сельскохозяйственных угодьях зачастую дорого и неэффективно по сравнению с регионами с благоприятным климатом для максимально возможного производства биомассы. Однако использование древесной биомассы в качестве сырья для жидкого топлива станет более привлекательным, когда новые технологии для производства синтетических видов биотоплива из лигноцеллюлозного сырья станут доступны в промышленном масштабе. В частности, процесс газификации топлива, такой как синтез Фишера-Тропша, находится в стадии интенсивной разработки и исследований. Эти процессы могут использовать в качестве сырья первичную (лесные отходы), вторичную (побочные продукты лесопильных и деревообрабатывающих предприятий и целлюлозно-бумажной промышленности) и отчасти третичную (переработанная древесина) древесную биомассу.

Рынки финских технологий рубки леса быстро растут. В ближайшие 10...15 лет значительные ресурсы биомассы в мире будут введены в обращение. Сроки развития рынков и выбор технологий в различных областях рынка будут различаться. Поэтому для финских поставщиков технологий важно быть на эффективных рынках, в правильное время и с соответствующими продуктами.

1. Цели исследования

Целью этой работы являлась оценка доступности лесной биомассы в мире для производства энергии, состояние системы сертификации и долгосрочной неистощимости запасов лесной биомассы. Этот проект состоит из четырех основных частей:

- мировые энергетические ресурсы леса и рынки для финских энергетических

технологий в России, Северной и Южной Америке;

- устойчивое развитие использования биоэнергии;

- предметные исследования;

- работа, связанная с Биоэнергетическим заданием-проектом 31 Международного энергетического агентства «Производство биомассы для энергетики с использованием устойчивого лесоводства» и заданием-проектом 40 «Устойчивые международные биоэнергетические рынки: обеспечение спроса и предложения». Целью проекта является как обеспечение устойчивых поставок биомассы в Финляндию, так и поиск новых рынков для финских биоэнергетических технологий, а также проведение оценки быстрорастущих мировых рынков. Этот проект рассматривают следующие регионы:

- Северная и Южная Америка, представляющие собой быстрорастущие рынки для системы поставок заводских технологий для выработки энергии на основе биомассы;

- северо-запад России, представляющий собой потенциального поставщика лесной биомассы, а также развивающийся технологический рынок вблизи ЕС.

2. Содержание работы

2.1. Оценка мировых лесных энергоресурсов

Увеличивающаяся потребность в биомассе для производства энергии увеличивает и потребность в более точных оценках доступности ресурсов. В течение последних лет было проведено множество исследований потенциала биоэнергии. Оценка потенциала древесной энергии – это неоднозначная задача, так как имеются различия в сырьевой базе и ограниченная доступность, различные географические и временные рамки, недостаток статистических данных, ошибочные модели и прогнозы развития. В результате оценки могут отличаться на порядок или даже на два от действительной величины. Это усложняет использование подобных оценок для тех, кто принимает решение.

Целью проекта является получение примерных оценок современного потенциала древесного топлива на континентальном или региональном уровне для того, чтобы задать

направление для маркетинга технологий и дальнейшего исследования перспективных регионов.

Современное древесное топливо – это древесина, которая используется в промышленном масштабе и относительно эффективна в сравнении с традиционным древесным топливом. Выводы основаны на единой лесной статистике и на приблизительной оценке количества древесины, доступной для производства энергии. В качестве сырьевой базы в первую очередь рассматриваются лесные отходы и отходы лесопиления.

Кроме того, была сделана более детальная оценка энергетического потенциала древесины в северо-западной части России.

2.2. Сбор информации по последним разработкам в области сертификации биомассы

Последние разработки в области определения критерия устойчивости ускорились, и существует необходимость сделать всесторонний анализ международных разработок по этому вопросу и тех, кто вовлечен в этот процесс. Помимо Интернета основным источником информации стало Биоэнергетическое задание-проект 40 Международного энергетического агентства. Возможность проследить происхождение биомассы является важной стороной сертификации биомассы. Стандартизация твердого биотоплива была произведена Европейской комиссией по стандартизации, в частности стандарты классификации топлива (CEN/TS 14961) и контроль его качества (CEN/TS 15234) могут стать инструментами сертификации биомассы. Проект был разработан совместно с Финским исследовательским центром (VTT), организацией, которая, по мнению Европейской комиссии по стандартизации, занимает лидирующую роль в стандартизации твердых видов биотоплива.

2.3. Оценка критерия устойчивости использования биомассы для производства энергии

Для исследования необходимости и релевантности внедрения критерия устойчивости в качестве инструмента энергетичес-

кой политики, а также для анализа и оценки индикаторов устойчивости, разработанных за границей, были проведены консультации с финскими игроками в этой области. В Финляндии наиболее актуальными инструментами энергетической политики, в которые будет включен критерий устойчивости, являются государственная субсидия на электричество, произведенное из биомассы, и обязательство использовать минимальную часть биотоплива в сфере дорожных перевозок.

В консультации были вовлечены все важные игроки Финляндии, связанные с биоэнергетикой, такие как производители биомассы, перерабатывающие заводы, конечные потребители, общественные организации, политики и исследователи. В результате был получен обзор практической полезности предыдущего критерия устойчивости в условиях Финляндии, рекомендации по тем мерам, которые лучше всего предпринять для неистощительного использования биоэнергетики, а также были выявлены аспекты, по которым необходимо провести дополнительные исследования.

Были проведены более конкретные исследования неистощительного использования биоэнергии для цепочек поставок биотоплива. В исследованиях были оценены возможность использования ранее разработанного критерия и практическая полезность существующей системы сертификации биомассы. Для исследования были выбраны виды биотоплива в соответствии с приоритетом компаний, участвующих в проекте. Был использован опыт, полученный в подобных исследованиях, проведенных в Нидерландах и совместно с Утрехтским университетом.

2.4. Обзор использования биоэнергии в Финляндии

Были оценены аспекты устойчивого производства и использования биотоплива в Финляндии. Здесь рассматривалось используемое в настоящее время биотопливо, а также виды биотоплива, которые будут использоваться в ближайшем будущем. Оценка была основана на отдельных ранее представленных критериях. На основе этого были выявлены их преимущества и недостатки. Например, были оценены применимость существующей и на-

ходящейся в стадии разработки системы сертификации леса для сертификации биомассы.

2.5. Определение перспектив для финских игроков

На основании предыдущих исследований были определены лучшие примеры удачного применения, а также недостатки использования биоэнергии в Финляндии. Также были выявлены возможности передачи опыта по неистощительному использованию биоэнергии.

2.6. Предметные исследования

Предметные исследования были важной частью исследовательского проекта и включили оценку:

- потенциала лесных энергоресурсов, в том числе лесосечных отходов от рубок главного пользования, тонкомера от рубок ухода и отходы деревообрабатывающей промышленности;
- наиболее конкурентоспособных цепочек поставки и подходящего оборудования для заготовки и транспортировки биомассы к электростанциям, а также стоимости закупки лесной биомассы;
- технической пригодности теплоэнергетической станции на основе древесной биомассы, стоимости производства энергии и уменьшения выбросов газа;
- перспектив финских поставщиков технологий в этой области.

Были проведены заключительные семинары, где представлены результаты предметных исследований финским и местным игрокам рынка.

Исследования были проведены исследовательским центром ВТТ (VTT) и институтом METLA совместно с инвестирующим котельным заводом. Для оценки были использованы расчеты и модели анализа, разработанные в Финском исследовательском центре (VTT) и Исследовательском лесном институте METLA.

Для участия в проекте были выбраны представители 4 компаний – Варкаус (Финляндия), Костомукша (Россия), Уругвай и Британская Колумбия (Канада). Самым главным критерием для выбора региона проведения

предметных исследований стала заинтересованность конкретных финских компаний.

Исследовательский центр VTT взял ответственность за проведение предметных исследований, оценку технологий заготовки и технологий производства энергии на электростанциях, использующих биомассу. Институт METLA был ответственен за оценку потенциала, технологий заготовки и затрат на транспортировку во всех конкретных исследованиях. Также задачей института METLA была оценка перспектив для финских поставщиков технологий. Работа проведена совместно с местными институтами и компаниями-консультантами.

2.7. Работа, связанная с биоэнергетическими заданиями-проектами Международного энергетического агентства

В ходе работы над Биоэнергетическим заданием-проектом 31 Международного энергетического агентства «Производство биомассы для энергетики при устойчивом лесопользовании» и заданием-проектом 40 «Устойчивые международные биоэнергетические рынки: обеспечение спроса и предложения» в состав участников были включены представители Финляндии (в период работы над проектом). Они приняли участие в проектных заседаниях, сборе и распространении данных, полученных в ходе работы над проектом среди местных заинтересованных организаций. В рамках задания-проекта 31 институтом METLA было проведено также национальное исследование как одно из основных направлений деятельности по заданию-проекту 31.

3. Результаты

3.1. Мировой потенциал современного биотоплива

Общий потенциал мировых запасов был оценен в 4.7...8.8 ЭДж, или 1300...2500 ТВт·ч, или 0.7...1.2 млрд м³ в год. В Южной Африке потенциал по большей части состоит из лесосечных отходов от рубок, тогда как в Северной Америке, Европе и особенно в Восточной Азии значительный вклад вносит прирост леса. В других регионах потенциал не выдерживает сравнения с вышеперечислен-

ными 4 регионами. Плотность распространения древесного топлива ($\text{м}^3/\text{км}^2$) особенно высока во многих странах Центральной и Северной Европы и в Японии. В этих странах расстояния транспортировки будут достаточно короткими. В то же время в этих странах достаточно хорошие транспортные сети, которые повышают возможности использования ресурсов древесного топлива. В целом «очагами» современного потенциала древесного топлива являются США и Канада в Северной Америке, Центральная и Северная Европа, Россия, Восточная Азия (в частности Китай и Япония), а также Бразилия и Чили в Южной Америке.

Теоретически будущий потенциал может быть очень высоким, но в ближайшем будущем чем более сдерживающими будут критерии, тем меньшими будут потенциалы. По оценке потенциал биоэнергии составляет лишь 1...2 % от мирового первичного спроса на энергию. Таким образом, мы можем сделать вывод, что лесная энергия может внести лишь небольшой вклад в общее потребление энергии. В отдельных местностях, однако, этот вклад может быть значительным.

3.2 Древесные энергетические ресурсы на северо-западе России

На северо-западе России имеется огромный потенциал древесных энергетических ресурсов в виде непригодных в промышленности круглых лесоматериалов, неиспользуемых ветвей, повреждений в процессе заготовки древесины, хвойных пней и отходов механической обработки древесины. По данным об объеме заготовок древесины, работе лесопильных и фанерных заводов в 2006 г. было рассчитано, что в общем можно получить 30,9 млн м^3 (61.8 ТВт·ч) древесного топлива. Около 70 % этого топлива будет получено от заготовки леса, а 30 % от механической обработки древесины. Использование этого количества древесины для производства энергии увеличит долю топливной древесины в общем количестве потребляемой энергии в северо-западном регионе России с 2 % до 6 %.

Для сравнения, использование твердого древесного топлива в Финляндии в 2006 г.

для производства энергии (централизованного теплоснабжения, на электростанциях и в небольших жилых помещениях) составило 19,5 млн м^3 .

Так как существующий уровень заготовки леса в северо-западном регионе России составляет лишь около 40 % от расчетной лесосеки, существует возможность увеличения использования лесных ресурсов, что расширит возможность использования древесины в производстве энергии. Полное использование расчетной лесосеки позволит получить 73,5 млн м^3 топливной древесины (147 ТВт·ч); такое количество энергии может обеспечить примерно 15 % общего современного потребления энергии в северо-западной части России. Если бы в дополнение к полному использованию расчетной лесосеки рубки ухода проводились в полном соответствии с техническим регламентом, то в результате заготовки и механической обработки древесины было бы получено 104 млн м^3 топливной древесины (208 ТВт·ч). Такой запас энергии может покрыть 21 % общего потребления энергии в северо-западном регионе России.

Существуют большие различия потенциальных запасов топливной древесины между областями в пределах северо-западного федерального округа и районами внутри них.

Это происходит из-за различий в запасах и использовании лесных ресурсов, а также развитости инфраструктуры и таких ограничений на заготовку леса, как запреты и другие ограничения на вырубку в перестойных лесах. Рассчитанный потенциал топливной древесины складывается не только из неиспользуемых ресурсов, так как и в настоящее время часть низкокачественных круглых лесоматериалов, скапливающихся на нижних складах, а также отходы лесопильных и фанерных заводов используются для производства энергии.

Более интенсивное использование лесных ресурсов, полученных от рубок ухода, означает большее использование сортиментной технологии заготовки. Также это означает, что станет доступно большее количество материалов для энергетических целей и что после заготовки круглого леса топливная древесина будет сконцентрирована в районе лесозаго-

товки. Это потребует дополнительных затрат на сбор и транспортировку этих материалов. Такие материалы являются менее подходящими для традиционной системы производства энергии. Согласование мест накопления материалов после заготовки и пригодности отходов от рубок ухода станут основными особенностями развития и применения технологий в широкомасштабном производстве и переработке древесной щепы.

На основании финского опыта можно сделать вывод, что любое увеличение использования топливной древесины в качестве местного или регионального источника энергии даст хорошие результаты для местной или региональной экономики в северо-западном регионе России. Так как топливная энергетика на основе древесины не очень развита в северо-западном регионе России, ее развитие позволит сделать шаг вперед к использованию последних технологий в области поставки и применения топливной древесины. Это откроет новые рынки для технологий и ноу-хау. Системы центрального отопления имеются в городах и в большинстве крупных населенных пунктов, кроме того, используются теплоэлектростанции (ТЭЦ). Это означает, что уже существует базовая инфраструктура для использования топливной древесины в промышленном масштабе. Перевод котельных, использующих сейчас мазут и уголь, на биомассу, в частности древесину, уменьшит общий выброс парниковых газов. Могут измениться существующие низкие, поддерживаемые субсидиями цены на нефть, уголь и природный газ. В этом случае топливная древесина станет более конкурентоспособной. Если местный рынок топливной древесины не будет развиваться, существует спрос на нее в Европейском Союзе. Была рассчитана цена поставки топливной древесины из северо-западного региона России в Финляндию [7].

3.3. Устойчивое производство и использование биомассы

3.3.1. Оценка схем неистощительного использования в международных биоэнергетических потоках

Эта часть исследования была проведена с целью составления полной картины

взаимодействия различных принципов и критериев, относящихся ко всей цепочке образования добавленной стоимости биомассы и биоэнергии, а также для их сравнения [8]. Для качественного сравнения были выбраны 8 схем и одна проектная директива, распределенные следующим образом:

- два отчета, составленные по результатам обсуждений производства сельскохозяйственной биомассы: «Обсуждения устойчивого использования пальмового масла» (RSPO) и «Обсуждения вопросов выращивания сои» (RTRS);

- две схемы сертификации лесной биомассы: Лесной попечительский совет (FSC) и государственный проект – Финская система сертификации леса (FFCS);

- две инициативы по развитию биомассы как сырья для энергии: Схема сбалансированной сертификации устойчивой биомассы, названная Всемирным фондом охраны дикой природы Стандартом Мета, и Голландские критерии устойчивой биомассы (CSB);

- три предложения по вопросам биоэнергетики и биотоплива: Немецкие стандарты устойчивого использования биоэнергии (SSB), предварительные требования для проекта по «Маркировке финского топлива наклейкой с изображением лебедя» (Финский SLF), и проектная директива Европейского Союза о продвижении использования энергии, полученной из возобновляемых источников (проектная директива ЕС).

Анализ показал, что 5 схем (RSPO, RTRS, FSC, CSB и SSB) были разработаны для мирового применения и в большинстве случаев распространяются на все вопросы устойчивого пользования, а также на нормативную базу этого вопроса. Стандарт Мета Всемирного фонда охраны дикой природы также рассматривает все эти вопросы, но недостаточное внимание уделяется экономике. Два финских стандарта (FFCS и SLF) в основном разработаны для местного и регионального применения и по большей части занимают проблемами экологии, т.к. остальные вопросы регулируются существующим законодательством. Проектная директива ЕС главным образом занимается управлением энергией, получаемой из возоб-

новляемых источников, на европейском уровне, акцентируя внимание на экологических вопросах.

Как результат этого исследования был предложен трехмерный подход (вопросы устойчивого использования; технические способы преобразования биомассы; денежные торговые потоки) для сравнения различных схем использования биомассы и биоэнергии и для последующего развития и эмпирического тестирования устойчивого развития в Европе.

3.3.2. Критерий устойчивости биомассы – мнения финских заинтересованных сторон

В рамках экологической проблемы изменения климата возобновляемые источники энергии, такие как биоэнергетика, представляют собой важную альтернативу для дополнения ископаемых видов топлива и производства энергии с нулевым выбросом углерода. Однако растущее использование биомассы в производстве энергии может привести к значительным экологическим, социальным и экономическим последствиям. Одним из способов смягчения этих негативных последствий является введение и применение критерия устойчивости биомассы, который выведет производство и применение биомассы на устойчивый уровень.

Увеличивающаяся мировая торговля биомассой и ее влияние на изменение климата породили новую проблему и увеличили необходимость устойчивого использования, вынуждая лесную промышленность и сельское хозяйство переоценить существующие системы производства биомассы. Это ускорило разработку и введение государственных критериев устойчивости биомассы в Нидерландах, Великобритании и Германии. В Финляндии проблема критериев устойчивости производства, использования и торговли биомассой стала популярной темой общественных обсуждений и дебатов, широко освещаемой в СМИ. В результате, в середине 2007 г. в рамках исследования Технологического университета Лаппеенранты было начато проведение анализа различных критериев устойчивости и их значения для лесной промышленности Финляндии.

Было изучено мнение финских игроков, заинтересованных в развитии биоэнергетики, относительно критерия устойчивости биомассы [9]. Осенью 2007 г. были проведены интервью с различными представителями ключевых министерств, промышленных ассоциаций, производителями сельскохозяйственной продукции, исследовательскими институтами и общественными организациями. В интервью задавались следующие вопросы:

- каково мнение ключевых заинтересованных лиц о критериях;
- существуют ли критические факторы в разработке критерия;
- есть ли какие-либо особые финские условия, которые должны быть приняты во внимание при разработке критерия устойчивости биомассы.

Анализ результатов показал, что финские игроки, заинтересованные в развитии биоэнергетики, в целом согласны с необходимостью и важностью критериев устойчивости биомассы, ввиду растущего и охватывающего весь мир характера последствий производства и применения биомассы. Несмотря на общее согласие с важностью критериев устойчивости в целом, нет необходимости разрабатывать государственные критерии для Финляндии. Это мнение основано на категоричной позиции, что в настоящее время производство и использование биомассы находятся на устойчивом уровне в Финляндии. Опрошенные подчеркнули, что критерий устойчивости необходим на международном уровне для вывода производства и использования биомассы на более устойчивый уровень. Финляндия должна принять участие в разработке и внесении особых финских условий в международные критерии устойчивости. Опрошенные высказали большое количество идей по поводу того, каким должны быть критерии устойчивости, но очевидно, что экологические, социальные и экономические аспекты устойчивости были установлены для того, чтобы они могли быть учтены в процессе разработки критериев устойчивости. Различные специалисты, заинтересованные в развитии биоэнергетики, признали, что разработка критерия устойчивости является сложной задачей, сопряженной с различными проблемами.

Баланс импорта и экспорта биотоплива в Финляндии в 2004–2006, ПДж [10]

Поток/год	2004			2005			2006		
	Импорт	Экспорт	Нетто поток	Импорт	Экспорт	Нетто поток	Импорт	Экспорт	Нетто
Прямые продажи	5,38	8,15	-2,77	5,48	8,38	-2,91	5,31	8,40	-3,09
Древесные гранулы	0,00	2,65	-2,65	0,00	3,27	-3,27	0,00	3,26	-3,26
Торф	0,47	0,29	0,17	0,26	0,60	-0,34	0,11	0,26	-0,15
Топливная древесина	0,92	0,06	0,86	0,94	0,04	0,90	0,90	0,08	0,82
Лесосечные отходы	1,21	0,06	1,15	1,26	0,21	1,05	0,02	0,02	0,00
Талловое масло	2,14	4,45	-2,31	2,03	3,87	-1,85	3,21	4,46	-1,25
Этанол	0,64	0,00	0,64	0,99	0,00	0,99	1,06	0,00	1,06
Ethyl tert-butyl ether	0,00	0,64	-0,64	0,00	0,39	-0,39	0,00	0,31	-0,31
Непрямые продажи	56,01	2,40	53,61	57,58	3,02	54,57	61,16	3,08	58,08
Круглые лесоматериалы	50,71	2,00	48,71	52,08	2,56	49,52	55,52	2,61	52,91
Щепа	5,16	0,39	4,76	5,25	0,45	4,80	5,26	0,35	4,91
Древесные опилки	0,14	0,00	0,14	0,25	0,00	0,25	0,37	0,12	0,25
Итого	61,39	10,55	50,84	63,06	11,40	51,66	66,46	11,48	54,99

3.3.3. Международная торговля биотопливом в Финляндии: тенденция 2004 – 2006 гг. и прогнозы на будущее

Рынки биомассы, используемой в промышленности для энергетических целей, превращаются в международные сырьевые биржи, примером являются древесные топливные гранулы и топливный этанол. Ожидается, что такое развитие продолжится.

В Финляндии есть давно устоявшиеся традиции использования биомассы в производстве энергии, которые играют важную роль в энергетической системе Финляндии. Страна является одним из самых крупных импортеров древесного сырья в мире; соответственно значительная доля произведенного и использованного в лесной промышленности биотоплива имеет иностранное происхождение. Финляндия также является важным экспортером древесных топливных гранул.

Уровень международной торговли биотопливом в 2004-2006 гг. показан в [10], где рассматриваются перспективы наиболее важных торговых потоков биотоплива. Ис-

следование охватывает твердое и жидкое биотопливо и сопутствующие торговые потоки биомассы, связанные с переработкой круглых лесоматериалов.

Соотношение экспорта и импорта биотоплива в 2004–2006 гг. представлено в таблице. В Финляндии прямой импорт и экспорт биотоплива, в основном состоящий из древесных топливных гранул и талового масла, играет незначительную роль по сравнению с общим потреблением биотоплива. Самые большие потоки биотоплива состоят из круглых лесоматериалов. Сопутствующий поток древесного топлива находился в стадии роста в период проведения исследования.

Исследование показывает, что Финляндия является крупнейшим чистым импортером биотоплива. Большую часть импорта составляет сопутствующий импорт круглых лесоматериалов в сфере лесной промышленности. Древесные топливные гранулы и таловое масло являются основными статьями экспорта биотоплива. В период с 2004 по 2006 г. сопутствующий импорт древесного топлива возрос почти на 10 %. В то же время

количество прямых продаж твердого и жидкого биотоплива практически не изменилось. Однако возникают определенные сомнения, касающиеся перспектив развития импорта и экспорта биотоплива в Финляндии. Например, рост производства моторного топлива для транспортных средств, вероятно, увеличит импорт и экспорт биомассы, производимой для нужд энергетики, и таким образом изменит активный баланс внешней торговли Финляндии.

3.3.4. Устойчивая биоэнергия, получаемая при использовании ресурсов бореальных лесов Финляндии и России в условиях различных режимов управления лесными хозяйствами

Целью данной части исследования было изучить, как введение добавочных критериев устойчивого развития производства биомассы могло повлиять на ее доступность и величину предельных издержек. Существующие в настоящее время сертификационные схемы (такие как схема ЛПС – Лесного попечительского совета и PEFC – Схема общеевропейской сертификации в лесном хозяйстве) и государственные руководящие принципы были сопоставлены с Директивой по возобновляемым энергетическим ресурсам, недавно предложенной ЕС. Кроме того, каждому участнику данной программы предоставляется возможность ввести дополнительные критерии помимо данной Директивы, пока разрабатываются государственные схемы субсидирования. Данное исследование было подготовлено при использовании детально разработанной системы критериев и индикаторов устойчивого развития, которой предшествовала схожая система, разработанная Евросоюзом на консультациях по экологическим требованиям к производству биотоплива под руководством Джакелин Крамер (Комиссия Крамер).

Количество древесной щепы, как получаемой в настоящее время на лесозаготовительных работах, так и планируемое для заготовок в будущем, принимается во внимание и для использования на предприятиях по выработке электроэнергии. Было проведено два практических исследования данной про-

блемы: одно в Финляндии, другое – в Ленинградской области (одной из восьми областей РФ, расположенных на северо-западе страны). Режимы управления лесными хозяйствами в Финляндии и на северо-западе России различаются потенциалами регенерации леса. На северо-западе России уровень естественного отпада выше (больше мертвых и перестойных деревьев) и смена растительности в основном представляет собой естественное восстановление. Кроме того, в данном регионе ниже уровень лесозаготовительных работ и уровень механизации, а также не применяются рубки осветления в молодых насаждениях и коммерческие рубки ухода. С другой стороны, меньшая доступность территории может рассматриваться как ключевое средство для достижения наибольшего биологического разнообразия в северо-западном регионе России.

Потенциально доступный ресурс лесосечных отходов для производства электроэнергии в Финляндии (по данным уровня лесозаготовительных работ и прироста насаждений в 2007 г.), составляет около 370 ПДж (84 ТВт·ч) в год (при теплоте сгорания 7,2 ГДж/м³) по современному сертификату (сценарий 1). При введении нового критерия «воображаемое внедрение директивы ЕС по возобновляемым энергетическим ресурсам» (сценарий 2) потенциальный ресурс сокращается до 210 ПДж (58 ТВт·ч) в год. Потенциально доступный ресурс лесосечных отходов для производства электроэнергии в Ленинградской области (по данным лесозаготовительных работ и прироста насаждений в 2003 г.) составляет порядка 90 ПДж (25 ТВт·ч) в год (сценарий 1), или 40 ПДж (11 ТВт·ч) в год (сценарий 2). Для сравнения, данные, полученные в результате общего анализа по северо-западному региону России, составляют 1960 ПДж (540 ТВт·ч) в год (сценарий 1) и 510 ПДж (142 ТВт·ч) в год (сценарий 2). Данные изменения в основном вызваны ограниченным использованием деловых бревен для нужд биоэнергетики.

Разница в основном вызвана необходимостью повторного использования древесной золы после преобразования энергии в лесах Финляндии и Ленинградской области.

Добавленная стоимость производства дополнительной единицы энергии в Финляндии составляет от 2,6 до 6,2 €/ГДж.

3.3.5. Устойчивое производство пальмового масла, возможности финских технологий и обмен опытом

Сегодня пальмовое масло пользуется растущим спросом, что способствует увеличению его производства во всем мире, в частности в Малайзии и Индонезии. Широкий спрос на пальмовое масло вызван относительно небольшой стоимостью масла и его универсальным применением, в том числе и при употреблении в пищу. Наряду с растущим спросом на пальмовое масло, в частности его использования для производства биотоплива, ведутся споры о долгосрочной возможности его использования. В настоящее время ухудшение экологической ситуации, изменение климата, социальные вопросы являются главными проблемами, негативно влияющими на всю индустрию производства пальмового масла.

Проекты Механизма чистого развития (МЧР), отвечающие целям Киотского протокола, начинают развиваться в Малайзии, что отражается в том, что регистрируется все большее количество проектов МЧР в сфере, отвечающей за постройку заводов для обработки пальмового масла. Согласно проектам МЧР большинство данных заводов работают на отходах, которые используют для производства компостов и метана (наиболее частый в последнее время способ).

Изучение баланса парниковых газов, образующихся в процессе переработки отходов, показывает, что сбор биогаза и использование энергии положительно влияют на баланс парниковых газов. С другой стороны, применение пустых околоплодников в качестве источника энергии и высокая энергетическая эффективность заводов имеют наименьшее влияние на баланс парниковых газов. Размеры выброса парниковых газов на заводах по производству пальмового масла составляют от 2,5 до 27 (г CO₂)/МДж в пересчете на необработанное пальмовое масло. С учетом всех непрямых выбросов и исключаемых эмиссий количество выбросов парниковых газов составляет от 9 до 29 (гCO₂)/МДж в пересчете

на необработанное пальмовое масло. В свете полученных результатов величины сокращения выбросов, предложенные в Директиве по возобновляемым энергоресурсам, требуют дальнейшего рассмотрения. Это связано с тем, что типичные данные по выбросам директивы включают только прямые выбросы на заводах по переработке пальмового масла, в то время как непрямые и исключаемые эмиссии не рассматриваются, что противоречит принципам подсчета негативных последствий выброса парниковых газов в атмосферу. Кроме того, стандартные значения Директивы рассматривают погрешности, возникающие во время установления полного эксплуатационного цикла нетрадиционным методом. Более научный подход включает учет погрешностей каждой технологической цепи производства продукции при оценке полного срока эксплуатации и рассмотрение полученных результатов в качестве баланса парниковых газов. Подсчет сокращения объема возможных выбросов для использования в качестве возобновляемого ресурса может привести к ошибкам в расчетах и не может способствовать внедрению технологических новинок, ведущих к продолжительному усовершенствованию процессов.

При усовершенствовании технологий и методов сокращенные выбросы могут быть получены при производстве пальмового масла. Для достижения данных преимуществ могут быть использованы перспективные финские технологии и идеи (например, очистка сточных вод и различные способы преобразования энергии).

3.4. Доступность, заготовка и использование биомассы, рассмотренные в ходе анализа данных проблем

3.4.1. Доступность древесной щепы на биологическом очистительном заводе в Варкаузе

Было рассмотрено соотношение спроса и предложения на древесную щепу на заводе компании Stora Enso в Варкаузе (Финляндия) [13]. Завод в Варкаузе является одним из мест, где может быть построен завод по промышленному производству коммерческого биотоплива, принадлежащий совместному предприятию Stora Enso и Neste Oil.



Рис. 1. Годовой объем доступной древесной щепы в зависимости от расстояния транспортировки [13]: 1 – общий; 2 – лесосечные отходы; 3 – неликвидная древесина; 4 – еловые пни

Техническая доступность древесной щепы, получаемой из спелого древостоя и молодых прореженных лесонасаждений, базировалась на данных по пробным площадям, предоставленных Девятой национальной описью лесных запасов. Доступность лесосечных отходов и пней, полученных в результате рубок главного пользования, базировалась на статистических данных по заготовкам круглых лесоматериалов 2004 г. Объемы заготовленных круглых лесоматериалов были преобразованы в объемы лесосечных отходов с учетом коэффициентов увеличения биомассы. Также для учета текущих объемов потребления древесной щепы были использованы статистические данные 2006 г. по центрам лесных хозяйств в Этела-Саво, Пое-Саво, Кески-Суоми, Каинуу, Кааккойс-Суоми и Хяме-Уусимаа.

Радиус территории заготовки лесоматериалов вокруг завода определяется количеством ежегодно используемой на заводе древесной щепы и ежегодным доступным объемом лесной биомассы, пригодной для заготовки. На заводе в Варкаусе сохранялось достаточное количество лесного горючего материала, которое удовлетворяло предположительные потребности завода по производству биотоплива (1 млн м³) и отвечало требованиям по транспортировке (рис. 1).

3.4.2. Завод по производству биомассы в Костомукше

Была проанализирована целесообразность постройки завода по производству биомассы в г. Костомукше (Республика Карелия, Россия) [14]. Данное исследование включает оценку энергетического потенциала лесных ресурсов на территории вокруг завода, анализ технологий заготовок топливной древесины для завода и оценочную стоимость завода по производству биомассы.

Энергосистема Костомукши включает котельную, расположенную рядом с цехом гранулирования металла, принадлежащим ОАО «Карельский Окамыш (КО)», и общую для предприятия и города Костомукши тепловую сеть. Выработка всей теплоты производится в котельной.

Технико-экономический потенциал топливной древесины в Костомукшинском, Калевальском, Юшкозерском и Муезерском лесничествах составляет 179000 м³ (358 ГВт·ч/год) при текущем годовом объеме заготовки древесины и 280000 м³ (560 ГВт·ч/год) для расчетной годовой лесосеки. Предполагается, что основная часть древесного топлива будет получена благодаря рубкам главного пользования. Большое значение имеют запасы торфа в Калевальском, Муезерском и Кос-

томукшинском районах. Общее количество запасов торфа, пригодных для производства торфяных брикетов, составляет 326 ТВт·ч.

Переработка лесоматериалов в щепу на верхнем складе является едва ли не самым экономичным методом производства древесной щепы. Средняя дистанция для транспортирования – 118 км при использовании всего объема топливной древесины, доступной в данном регионе. Для щепы, получаемой из лесосечных отходов на заводе, средние взвешенные затраты на материально-техническое снабжение составляют 12,6 €/МВт·ч 1€=41,6 руб. (рис. 2).

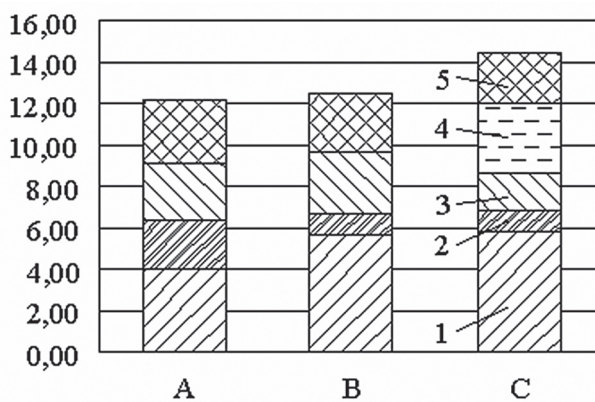


Рис. 2. Затраты на производство древесной щепы, получаемой при рубках главного пользования. Представлены данные по трем различным каналам поставок (среднее расстояние до электростанции составляет 100км). [14]. А – производство щепы на лесосеке; В – производство щепы на месте использования; С – пакетирование отходов на лесосеке; 1 – транспортировка; 2 – измельчение; 3 – погрузка в фарвардеры; 4 – затраты на пакетирование; 5 – прочие расходы

Была произведена оценка тепловой электростанции, тепловой мощностью по сетевой воде 40 МВт и по технологическому пару 25 МВт, электрической мощностью 40 МВт. Доля топливной древесины составит около 40 % от общей доли потребностей новой электростанции в топливе. В данном исследовании рассматривается вариант, что оставшиеся 60 % топлива будут представлены либо углем, либо торфом. Затраты на производство энергии для котла при совместном сжигании угольной пыли и биомассы (37 €/МВт·ч) выше, чем затраты, получаемые при использовании мазутного котла (27 €/МВт·ч).

Новая котельная установка будет рентабельной в том случае, если стоимость мазута (15 €/МВт·ч) увеличится в два раза (рис. 3). При использовании торфа вместо угля средние затраты на производство энергии увеличатся на 1,4 €/МВт·ч. Тем не менее, использование торфа вместо угля имеет свои преимущества; это местный вид топлива, и выбор торфа в качестве топлива предоставляет рабочие места для местного населения.

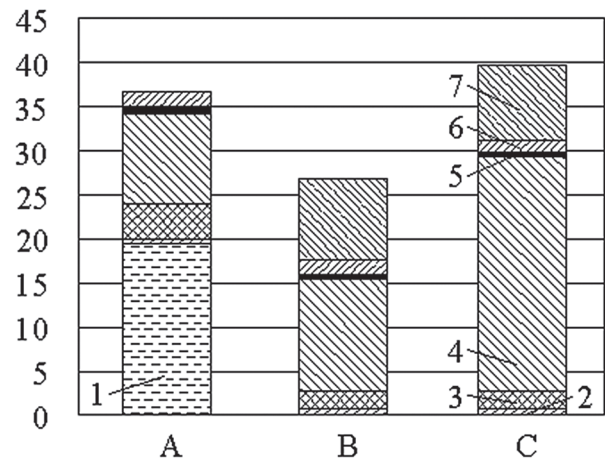


Рис. 3. Распределение затрат на производство электроэнергии (€/МВт·ч) при совместном сжигании биомассы с углем на ТЭС и сжигании мазута в котельной: А – совместное сжигание биомассы и каменного угля; В – сжигание мазута при цене 15 €/МВт·ч; С – сжигание мазута при цене 30 €/МВт·ч; 1 – капитальные затраты на реконструкцию котлов и установку турбогенератора; 2 – затраты на оперативное обслуживание; 3 – эксплуатационные затраты; 4 – затраты на топливо; 5 – оплата электроэнергии на собственные нужды; 6 – прочие расходы; 7 – оплата электроэнергии для основного производства.

3.4.3. Древесное топливо и доступность агробиомассы, стоимость проведения лесозаготовок, технологии и экономика производства энергии в Уругвае

Была проанализирована доступность древесного топлива, получаемого из насаждений эвкалипта и защитных лесонасаждений [15]. Были изучены такие виды топлива, как лесосечные отходы, кора и избыточные объемы круглых лесоматериалов (древесина, полученная путем рубок ухода на плантациях эвкалипта, древесина, заготовленная в защитных лесонасаждениях), а также планируемый объем агробиомассы из планта-

ций, расположенных рядом с насаждениями эвкалипта. При изучении данных видов топлива сравнивалась стоимость внедрения новых технологий. На базе установленной стоимости топлива были изучены возможности экономичного производства энергии с различными уровнями выхода. Нами была проанализирована только техническая осуществимость проекта в Уругвае, и ни один из представленных здесь методов заготовки лесоматериалов не был протестирован в действии. Поэтому для того, чтобы внедрить новые каналы поставки и методы осуществления закупок, требуется провести производственные испытания.

Доступность древесного топлива в Уругвае высока. Тем не менее, дистанции от лесонасаждений до запланированного местоположения нового завода велики, и большая часть доступного топлива будет транспортироваться на расстояние, превышающее 100 км. Ежегодный спрос на древесное топливо является определяющим фактором, влияющим на выбор самого экономичного метода заготовки лесоматериалов в Уругвае. Можно предположить, что в течение всего года существует непрерывный спрос на древесное топливо. На заводе должны быть установлены соответствующие приемные устройства.

Незасеянные территории насаждений эвкалипта могут быть использованы для выращивания сельскохозяйственных культур, используемых в качестве источника энергии (энергетических культур). Если энергетические культуры займут около 5% от всей территории насаждений, то общая посевная площадь составит 6000 га. Одной из альтернативных сельскохозяйственных энергетических культур является пеннисетум красный (слоновая трава). Она имеет высокие показатели урожайности – около 32 т /га, что составляет 151 МВт·ч/га (влажность 20%). Общие затраты на поставку слоновой травы – 8...14€/МВт·ч (дистанции для транспортирования – 10...200км). В Уругвае электричество практически полностью производится на гидроэлектростанциях, а количество выработанной электроэнергии обычно варьируется от 8 до 9 ТВт·ч. Имели место сезонные и

годовые изменения в производстве энергии на гидроэлектростанциях, и тогда электричество производилось на электростанциях, работающих на органическом топливе, или импортировалось из Бразилии и Аргентины. В 2007 г. производство электричества достигло 9,2ТВт·ч, а его потребление составляло 7,0ТВт·ч. Количество экспортируемого электричества равнялось 954ГВт·ч, а импортируемого – 788ГВт·ч.

Нами было проанализировано производство электричества на конденсационной электростанции. Были рассмотрены варианты установленной электрической мощности, составляющие 30МВт, 50МВт и 70МВт. Была произведена оценка капиталовложений, которые варьировались от 100 до 175 млн. €. Наиболее важными факторами, влияющими на стоимость производства электричества, являются капитальные вложения и затраты на топливо. Согласно анализу потенциала биомассы, существует множество разновидностей топлива, получаемого из биомассы. При использовании наиболее дешевых видов подобного топлива, например коры и отходов, получаемых при заготовке лесоматериалов на плантациях, затраты на производство электричества оцениваются в 90-110 €/МВт·ч. Эти цифры зависят от цен на топливо и количества производимой электроэнергии (рис.4).

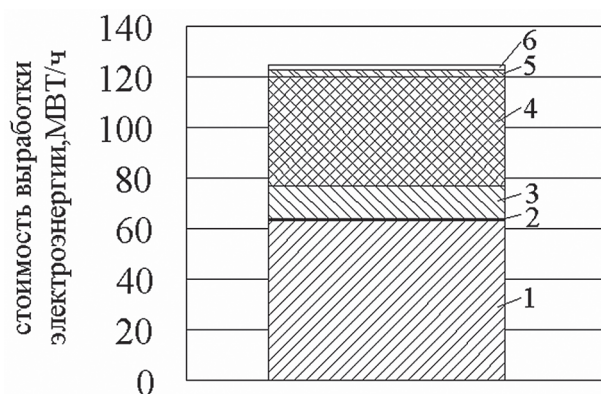


Рис. 4. Распределение затрат на производство электроэнергии на ТЭС мощностью 30МВт. при цене топливной биомассы 13€/МВт·ч. [15]: 1 – амортизационные отчисления; 2 – оперативные расходы; 3 – техническое обслуживание; 4 – затраты на топливо; 5 – затраты на электроэнергию собственных нужд; 6 – прочие расходы

3.4.4. Сырье для производства древесных гранул в провинции Британская Колумбия в Канаде

Ежегодное производство древесных гранул во всем мире достигает 5,5...6,5 млн тонн. В настоящее время в Канаде производится немногим меньше 1,5 млн тонн гранул; каждый год строятся новые заводы и расширяются старые. Основным источником сырья для производства гранул являются отходы, получаемые от других производственных процессов, например лесопиления. Другой потенциальный источник сырья – сухостойная древесина на корню или сосны, пострадавшие от лубоеда сосны горной (*Dendroctonus monticolae*). На сегодняшний день количество сухостойной древесины уже превысило объемы заготовки и транспортировки лесоматериалов.

Были рассмотрены оба вида сырья – древесные отходы, получаемые при лесозаготовительных процессах, и деревья, поврежденные лубоедом сосны горной [16]. В настоящее время в Европе существует тенденция к увеличению потребления древесных гранул, что обусловлено целями Европейского Союза использовать возобновляемые энергоресурсы. Вследствие этого промышленное производство гранул включает транспортирование в Европу. Основными потребителями гранул, экспортируемых из Канады, являются Нидерланды и Швеция. В основном они используются на мусоросжигательных заводах.

Количество отходов производства в Британской Колумбии в 2004 г. было оценено в 1,3 млн т. Количество неубранной древесины, поврежденной лубоедом сосны горной, составляло около 200...500 млн куб.м. Объем древесины, доступной для использования, оценивался в 1...3млн куб.м (0,6...1,9 млн т). При условии использования ресурса только в производстве гранул может появиться сырье для 10...20 новых заводов с ежегодной выработкой в 150000 т гранул.

Капитальные вложения в завод по производству гранул, выпускающий ежегодно 100000 т продукции, были оценены в 5,9 млн \$ США, что соответствует стоимости 7\$ США на 1 т гранул. Эксплуатационные расходы и затраты на производство были оцене-

ны в 51\$ США/т гранул, причем практически половину (44 %) стоимости составляют расходы на сырье. Также нами были изучены производительность сырья и колебания цен на топливо.

При текущем уровне расходов и цен организация описанного в данном исследовании серийного производства представляется вполне целесообразной. Срок окупаемости инвестируемых средств составит около трех лет при внутренней норме прибыли порядка 15...18 %.

3.5. Международное сотрудничество по использованию устойчивой энергии, получаемой из биомассы, и освоению рынков посредством работы Международного энергетического агентства (МЭА)

Целью совместного рабочего соглашения МЭА по проблемам биоэнергетики является улучшение международного сотрудничества и обмена информацией в рамках национальных программ по изучению, развитию биоэнергетики и демонстрация новых решений в данной сфере. Также в его цели входит использование экологически безопасных и конкурентоспособных методов получения энергии из биомассы. Таким образом, обеспечивается возможность соответствовать потребностям в энергии в будущем. В начале 2008 г. в рамках соглашения МЭА по проблемам биоэнергетики (организация МЭА Биоэнергия) были определены 13 задач, каждая из которых находится в ведении Исполнительного комитета программы МЭА по проблемам биоэнергетики. Дальнейшая информация находится на странице www.ieabioenergy.com

3.5.1. Задача 31 программы МЭА по проблемам биоэнергетики: «Производство биомассы из отходов устойчивого лесного хозяйства для получения энергии»

Целями задачи 31 программы МЭА по проблемам биоэнергетики «Производство биомассы из отходов устойчивого лесного хозяйства для получения энергии» являются анализ, синтез, распространение и продвижение научных знаний и технической информации, что должно привести к экономически

и экологически устойчивому производству биомассы для получения энергии из отходов объединенных лесных систем. (<http://www.ieabioenergytask31.org>). Период внедрения в жизнь задачи 31 начался 01.01.2007 и закончился 31.12.2009.

Данная программа сосредоточена на трех различных аспектах производства биомассы из отходов стандартных лесных массивов: выращивание и обработка лесных насаждений и плантаций; воспроизводство биомассы для целей энергетики посредством лесохозяйственных мероприятий в лесных древостоях и плантациях, а также рассмотрение вопросов экологической устойчивости производства биотоплива. Принят единый подход для проведения научных исследований и обмена знаниями по трем данным отдельным аспектам.

В начале 2009 г. странами, участвующими в данной программе, были Канада (лидирующий член), Финляндия, Германия, Нидерланды, Норвегия, Швеция, Великобритания и США. В рамках программы в 2007 г. в Финляндии и в 2008 г. в Великобритании проводились симпозиумы. Симпозиум под названием «Леса под давлением. Биоэнергетика – Лесная индустрия – Общество» прошел в г. Вершофен (Германия) с 5 по 8 октября 2009 г. В рамках каждого симпозиума проходит научный семинар. Протоколы данных семинаров публикуются в рецензируемых научных журналах. Кроме того, организуется так называемый «День промышленника», во время которого представители различных отраслей промышленности, энергетической политики и научных сообществ могут обмениваться информацией.

Задача 31 предусматривает сбор материалов, анализирующих конкретные примеры успешного внедрения биоэнергетических проектов в странах-участницах. Детально обрабатываются отчеты, предоставляющие информацию о текущем положении, тенденциях и требуемом количестве сырья для промышленности, основой которого является древесная биомасса, а также о выработке электроэнергии в каждой стране. Эти отчеты и презентации, продемонстрированные на симпозиумах, а также информация, касающаяся предстоящих событий, доступны на сайте <http://www.ieabioenergytask31.org>.

3.5.2. Задача 40 программы МЭА по проблемам биоэнергетики: «Устойчивая международная торговля биоэнергией, обеспечивающая спрос и предложение».

Задача 40 программы МЭА по проблемам биоэнергетики «Устойчивая международная торговля биоэнергией, обеспечивающая спрос и предложение» была установлена в 2004 г. Ее основной целью стала поддержка развития устойчивой системы международной торговли биотопливом, обеспечивающей разнообразие ресурсов и направлений их использования. Работа международной политической программы, основанной МЭА, в совместной деятельности с партнерами в сфере промышленности, правительственными органами и неправительственными организациями содействует развитию устойчивых рынков биоэнергетики как кратковременного, так и долговременного действия (как региональных, так и мировых). Ключевыми целями программы являются:

- улучшение понимания задач рынка и торговли биомассой и биоэнергией;
- анализ возможностей развития ресурсов биомассы и разработка потенциала производства биомассы (включает каналы поставок и требуемое материально-техническое обеспечение);
- последовательный анализ существующих рынков торговли биомассой путем моделирования и изучения программ мероприятий;
- оценка политического, социального, экономического и экологического влияния производства и торговли биомассой, а также создание структурированной системы, обеспечивающей устойчивость использования ресурсов биомассы;
- обеспечение необходимого сотрудничества с участниками рынка, директивными органами, международными и неправительственными организациями путем предоставления информации по данной теме.

Программа предполагает, что в рамках мировой торговли биоэнергией разовьется настоящая «товарная биржа», которая обеспечит устойчивый спрос и предложение. Устойчивость является ключевым компонентом долгосрочной безопасности на рынке.

В начале 2009 г. участниками программы Задача 40 являлись Австрия, Бельгия, Бразилия, Великобритания, Германия, Италия, Канада, Нидерланды, Норвегия, Финляндия, Швеция, Япония, а также страны Еврокомиссии. В Финляндии в рамках Задачи 40 был разработан данный исследовательский проект. Участие в программе обеспечивает эффективное получение информации из глобальной сети. Данная информация может быть использована в исследовании. Помимо этого сеть предоставляет заинтересованной финской стороне возможность участия в международной программе, где участники со стороны Финляндии могут высказать свою точку зрения и заранее узнать перспективы развития рынков биоэнергии.

Два раза в год в рамках Задачи 40 организуется совещание, участниками которого являются группы, действующие в интересах биоэнергетических рынков. Данные совещания состоят из двух основных частей: обсуждение прогресса в работе по программе Задача 40 и развитие индивидуальных стран-членов. Дальнейшая информация, касающаяся Задачи 40, а также презентации, продемонстрированные на симпозиумах, документы и отчеты доступны на сайте Задачи 40: www.bioenergytrade.org.

Значение результатов работы

При проведении данного исследования были определены требования и важность внедрения критериев устойчивости производства биоэнергии в Финляндии, изучены улучшения, касающиеся устойчивого использования биомассы в Финляндии. Также были рассмотрены сильные стороны специальных знаний и технологий, используемых в Финляндии, которые могут быть использованы в других странах с целью развития устойчивых рынков биомассы. Данное исследование предоставляет информацию, которая может быть использована при планировании национальной политики в области электроэнергетики. Интерес представляют экспертные знания финских специалистов и решения практических вопросов, так как с растущим спросом на устойчивую энергию, получаемую из биомассы, открываются новые возможности для бизнеса.

В целевую группу исследования входят лица, занятые в сфере биоэнергетики, производители и специалисты по переработке биотоплива; компании, производящие электроэнергию, и компании, задействованные в сфере лесной промышленности, и соответствующие директивные органы. Вероятно, что именно эти лица получают наибольшую выгоду при использовании результатов исследования, так как в нем предоставлена информация по устойчивому использованию биоэнергии, которая может помочь им увеличить долю экспорта их продукции.

Кроме того, этот проект поддерживает экспорт производимой в Финляндии при использовании древесины электроэнергии, включающий полную технологическую цепь – оценка лесных ресурсов, заготовка древесины, транспортировка и выработка тепловой и электрической энергии. Проекты, завершенные ранее, показали, что компании могут использовать результаты исследовательских работ для завоевания новых рынков.

Благодарности

Данное исследование было проведено специалистами НИИ Леса Финляндии (METLA), Инженерно-исследовательского центра Финляндии и Технологического университета в г. Лаппеенрата при участии экспертов из рассматриваемых регионов. Проект был осуществлен под эгидой технологической программы ClimBus – «Бизнес-возможности в сфере смягчения климатических изменений», проводимой Акционерным агентством по технологиям и инновациям в Финляндии (Tekes). Также в проекте участвовали компании Stora Enso Oyj, Vapo Oyj, Metso Power Oy, John Deere Forestry Oy, Pentin Paja Oy и Neste Oil Oyj.

Участниками проекта являлись исследователи из НИИ Леса Финляндии Пертту Анттила, Анти Асикайнен, Юрий Герасимов, Тимо Карьялайнен и Луха Лайтила; Эйя Алакангас, Марти Фликтман, Вели-Пекка Хейсканен, Арво Лейнонен, Юрки Райтила, Матти Вирккунен и Камилла Виик из Инженерно-исследовательского Центра Финляндии, а также Юсси Хейнимо, Туомас Хелин, Анне Хямяляйнен, Марьюкка Куянпа, Ласси Лин-

нане, Мирья Миккила, Виргилио Панапанаан, Тапио Ранга и Ристо Соукка из Технологического Университета Лаппеенранта.

Библиографический список

1. Anttila, P., Karjalainen, T. & Asikainen, A. 2009. Global potential of modern fuelwood. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 118. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2009/mwp118.htm>
2. IEA. 2006. World energy outlook 2006. 601 p. Available from: <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2006/weo2006.pdf>.
3. Yamamoto, H., Fujino, J. & Yamaji, K. 2001. Evaluation of bioenergy potential with a multiregional global-land-use-and-energy model. Biomass and Bioenergy 21, 185-203.
4. Smeets, E.M.W., Faaij, A.P.C., Lewandowski, I.M. & Turkenburg, W.C. 2007. A bottom-up assessment and review of global bio-energy potentials to 2050. Progress in Energy and Combustion Science 33, 56.
5. Gerasimov, Y. & Karjalainen, T. 2009a. Assessment of Energy Wood Resources in Northwest Russia. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 108. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2009/mwp108.htm>
6. Finnish Forest Research Institute. 2007. Finnish Statistical Yearbook of Forestry 2006, Vammala Kirjapaino Oy. 434 p.
7. Gerasimov, Y. & Karjalainen, T. 2009b. Estimation of supply and delivery cost of energy wood from Northwest Russia. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 123. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2009/mwp123.htm>
8. Mikkilä, M., Heinimä, J., Panapanaan, V., & Linnanen, L. 2008. Evaluation of Sustainability Schemes for International Bioenergy flows. Submitted to International Journal of Energy Sector Management in September 2008.
9. Hämäläinen, A., Panapanaan, V., Mikkilä, M., Heinimä, J., & Linnanen, L. 2008. Sustainability Criteria for Biomass –Views of Finnish Stakeholders. Proceedings, 16th European Biomass Conference and Exhibition, 2-6 June 2008, Feria, Valencia, Spain.
10. Heinimä, J. & Ranta, T. 2008. International Biofuels Trade in Finland: Trends in 2004-2006 and future views. Conference proceedings, World Bioenergy 2008 Conference, 27 –29 May, Jonköping, Sweden.
11. Sikkema, R., Faaij, A.P.C., Ranta, T., Gerasimov, Y., Asikainen, A., Heinimä, J., & Nabuurs, J. Sustainable bio-energy from boreal forests in Finland and Russia with different forest management regimes. Submitted to Forest Ecology and Management in March 2009.
12. Panapanaan, V., Helin, T., Kujanpää, M., Soukka, R., Heinimä, J. & Linnanen, L. Sustainability of Palm Oil Production and Opportunities for Finnish Technology and Know-how Transfer. Lappeenranta University of Technology, Institute of Energy Technology. Research Report
13. Laitila, J., Anttila, P., Karjalainen, T. & Asikainen, A. 2008. Metsähakkeen saatavuus Varkauden Biomassajalostamolle. Metsätutkimuslaitos, Joensuu toimintayksikkö. 4.4.2008.
14. Raitila J., Virkkunen M., Flyktman M., Leinonen A., Gerasimov, Y. & Karjalainen, T. 2009. The pre-feasibility study of biomass plant in Kostamuksha. VTT Research Report. VTT-R-08372-08.
15. Virkkunen, M., Flyktman M., Paappanen, T., Leinonen A., Anttila, P., Laitila J. & Karjalainen T. 2009. Forest fuel and agrobiomass availability; harvesting costs and technology and energy production economy in Uruguay. VTT Research Report.
16. Wiik, C., Heiskanen, V-P., Kallio, M. & Anttila, P. 2009. Feasibility assessment: Wood pellet raw material from Canadian British Columbia. VTT Research Report. VTT-R-10283-08.

ТОПЛИВНЫЙ РЕСУРС ЛЕСНОЙ БИОЭНЕРГЕТИКИ РФ

А.Б. ЛЕВИН, *проф. каф. теплотехники МГУЛ, канд. техн. наук*

levin@mgul.ac.ru

Энергетика, использующая возобновляемые энергоресурсы, привлекает пристальное внимание исследователей и инвесторов во всем мире.

В лесоиндустриальных странах, к которым относится и Россия, лесные запасы рассматриваются как значительный возобновляемый ресурс топлива. Следует признать, хотя по площади лесов и запасу древесины Россия занимает первое место в мире, по

энергетическому использованию древесины она значительно отстает от стран ЕС и Северной Америки.

Для успешного развития лесной биоэнергетики необходимо наличие следующих условий:

– наличие и достаточность ресурса древесного топлива;

– наличие государственного стимулирования использования возобновляемых

энергоресурсов и экологически безопасных энерготехнологий;

- достаточность финансовых средств и/или доступ к кредитным ресурсам;

- необходимый уровень совершенства и эффективности технологий и оборудования заготовки древесины, производства топлива, его хранения и собственно производства энергии;

- возможность для независимых производителей реализации электрической и/или тепловой энергии как товарной продукции;

- наличие кадрового потенциала для проектирования, производства, монтажа и эксплуатации энергетического оборудования.

В России в отличие от развитых лесохозяйственных стран сформулированные выше условия, кроме, разумеется, первого, в полной мере пока не выполняются. Необходимо проанализировать современное состояние в лесном секторе экономики РФ по каждому из них и предложить меры, которые обеспечат более высокие темпы развития лесной биоэнергетики. В настоящей работе выполнена оценка потенциального и экономически доступного ресурса древесного топлива, образующегося при заготовке и переработке древесины в настоящий момент и на ближайшую перспективу.

Термины и определения

В отечественной и зарубежной литературе нет общепринятой терминологии для понятий, относящихся к ресурсам древесного топлива, или точнее, для ресурса древесной биомассы, пригодной для производства энергии.

В частности, для потенциального ресурса, по нашему мнению, следует использовать три термина. Под термином *располагаемый потенциальный ресурс (Disposable potential resource)* мы предлагаем понимать разность между возможным годовым объемом использования биомассы древесины и возможным годовым объемом древесной биомассы во всей лесобумажной продукции, исключая все виды древесного топлива. Возможный годовой объем используемой биомассы древесины должен включать объем стволовой древесины, кроны, пней с корнями,

ми, хвороста и зелени по всем видам рубок при полном использовании расчетной лесосеки, а также объем вторично используемой древесины и объем экспорта всех видов древесного сырья. Объем древесной биомассы в лесобумажной продукции должен рассчитываться при существующем распределении древесины на производство различных видов лесобумажной продукции и существующих нормах расхода сырья на единицу продукции. Располагаемый потенциальный ресурс (РПР) есть предельное значение объема древесной биомассы, которое теоретически может быть ежегодно использовано для производства энергии на данной территории при современном уровне технологий. Его величина определяется площадью и продуктивностью лесов, то есть природными факторами, поэтому он может быть назван также *природным потенциальным ресурсом (Natural potential resource)*. При полном использовании расчетной лесосеки лесов России, равной 635 млн м³, что возможно лишь теоретически, могло бы образоваться 476 млн м³ древесного топлива, что эквивалентно 91 млн т условного топлива. Являясь расчетной величиной, РПР не отражает уровень развития лесного сектора экономики и может быть использован только для оценок допустимого по условиям устойчивого лесопользования использования древесной биомассы для производства энергии. Приближение годового потребления всех видов древесного топлива к величине РПР должно быть предметом пристального внимания, сигналом для разработки и принятия мер по недопущению превышения потреблением топлива величины ресурса. Для современной России такая опасность не актуальна, но в Африке и Азии есть страны, в которых потребление древесины для производства энергии превышает располагаемый потенциальный ресурс, и площадь лесов сокращается. Величина отношения годового объема использования древесной биомассы к РПР может также служить одним из *критериев устойчивого лесопользования*.

Под термином *действительный потенциальный ресурс (Actual potential resource)* мы предлагаем понимать годовой объем производства топливных дров, объем сучьев и

ветвей кроны, пней, хвороста, а также объем отходов основных видов переработки древесины, образующийся при действительном объеме заготовки древесины по всем видам рубок. В объем действительного потенциального ресурса (ДПР) предлагается не включать объем корней и зелени. Величина ДПР, в отличие от располагаемого, является функцией годового объема производимой в лесном секторе экономики продукции. В связи с этим он может быть также назван *промышленным потенциальным ресурсом (Industrial potential resource)*. Ниже для краткости вместо термина *действительный потенциальный ресурс* используется термин *потенциальный ресурс*.

Экономически доступный ресурс (Economically affordable resource) – это та часть действительного потенциального ресурса, при использовании которой себестоимость полученной энергии не превышает действующих тарифов на нее. В отличие от располагаемого и действительного потенциального ресурса экономически доступный ресурс (ЭДР) не является однозначно определяемой величиной, так как его значение существенно зависит от быстро меняющихся цен на рынке ископаемых топлив и энергии. Одни и те же виды древесной биомассы могут быть или не быть частью ЭДР в зависимости от рыночной конъюнктуры, действующего законодательства, стоимости транспорта и других условий.

В настоящей работе в объем ЭДР включены отходы деревопереработки, объем дровяной древесины по всем видам рубок и половина объема кроны деревьев. Отношение используемого для производства энергии за год объема древесной биомассы к ЭДР может служить одним из *индикаторов устойчивого лесопользования*.

Методика оценки ресурсов древесины для производства энергии

За базу для оценки ресурсов приняты статистические данные о годовых объемах продукции основных отраслей лесного комплекса и общепринятые нормы расхода древесного сырья на производство лесобумажной продукции. Эти сведения общедоступны и для перерабатывающих отраслей вполне

достоверны. К сожалению, данные различных официальных источников об объемах заготовок существенно расходятся. Так, по данным Росгосстата, в 2007 г. было заготовлено по всем видам рубок 167,30 млн м³, из этого объема дрова для энергетического использования составляют 19,66 млн м³, а дрова для технологических нужд – 4,1 млн м³, что дает в сумме 23,7 млн м³.

По данным Рослесхоза, рубками заготовок древесины в терминологии Лесного кодекса Российской Федерации [1] (главного пользования в прежней терминологии) в 2007 г. заготовлено 134,6 млн м³, из них 39,6 млн м³ дровяной древесины. По рубкам ухода за лесами (промежуточного пользования) объем заготовок составил 36,0 млн м³. По экспертной оценке, 41 % этого объема, или 14,8 млн м³ составляет дровяная древесина. По прочим рубкам объем заготовок составляет 35,6 млн м³, из которых 38 %, или 13,5 млн м³ составляет дровяная древесина. По всем видам рубок объем заготовленной древесины составил 206,2 млн м³, в том числе дровяной древесины – 63,9 млн м³. По объему заготовок расхождение превышает 20 %, а по ресурсу дров данные расходятся практически втрое.

Согласно мнению заместителя руководителя Рослесхоза Б.М. Большакова, расхождение данных еще значительнее и составляет по годовому объему заготовок 64 млн м³ [2]. Известно, что часть заготовленной древесины остается в «сером» обороте, с другой стороны, значительное количество дровяной древесины не вывозится, а бросается в лесу или, в лучшем случае, оставляется у лесных дорог. Очевидно, приведенные выше величины характеризуют верхнюю и нижнюю границы интервала, в котором находятся действительные значения объема заготавливаемой древесины и объема дровяной древесины.

Потенциальный годовой ресурс биотоплива $P^{пот}$ определяется как сумма потенциальных ресурсов древесного топлива, образующихся при всех видах рубок $P_p^{пот}$ и в основных технологиях переработки древесины. В деревообрабатывающих отраслях и целлюлозно-бумажной промышленности величины ДПР и ЭДР совпадают.

Усредненные значения $k_{кр}$ для различных пород деревьев

Порода	Бук	Клен, ольха, сосна, ясень	Осина	Береза	Кедр, пихта	Лиственница, липа	Ель	Дуб
$k_{кр}$	0,07	0,10	0,11	0,13	0,14	0,16	0,18	0,19

$$P^{пот} = P_{р.}^{пот} + P_{лп} + P_{ф} + P_{т} + P_{цбп} \quad (1)$$

где $P^{пот}$ – потенциальный ресурс древесного биотоплива, тыс. пл. м³;

$P_{р.}^{пот}$ – ресурс биотоплива от всех видов рубок, тыс.пл. м³;

$P_{лп}$ – ресурс биотоплива от производства пиломатериалов, тыс.пл. м³;

$P_{ф}$ – ресурс биотоплива от производства фанеры, тыс.пл. м³;

$P_{т}$ – ресурс биотоплива от производства тары, тыс.пл. м³;

$P_{цбп}$ – ресурс биотоплива в ЦБП, тыс.пл. м³.

Объем пней без корней, по общепринятой оценке, составляет от объема заготовленной стволовой древесины 3 %, объем хвороста – 11 % [3, 4]. Тогда потенциальные ресурсы биотоплива от рубок главного, промежуточного пользования и прочих рубок определяются как

$$P_{р.}^{пот} = P_{др} + V_{р} \cdot (k_{кр} + 0,03 + 0,11), \quad (2)$$

где $P_{др}$ – годовой ресурс дровяной древесины, используемой для производства энергии, тыс. пл. м³;

$V_{р}$ – годовой объем заготовки древесины по всем видам рубок, тыс. пл. м³;

$k_{кр}$ – коэффициент объема сучьев кроны.

Объем сучьев кроны для каждой породы деревьев зависит от разряда высот и толщины ствола. При этом только для очень молодых деревьев (толщина ствола 8 см и менее) отношение объема сучьев кроны к объему ствола заметно отличается от среднего. Доля таких деревьев в древостоях, отводимых под рубки, относительно невелика, что позволило для оценки ресурса древесины кроны в масштабах субъекта федерации, округа и страны использовать усредненные значения $k_{кр}$, приведенные в табл. 1.

Величины $k_{кр}$ принято определять относительно объемов стволовой древесины в коре, а статистические данные об объемах заготовки деловой древесины приводятся без учета объема коры. В настоящей работе связанная с этим обстоятельством погрешность

зависимости (2) отнесена на безвозвратные потери при транспортировке и переработке кроны за пределами лесосеки. Для каждого субъекта федерации коэффициент кроны $k_{кр}$ был рассчитан в соответствии с породной формулой древостоя, определенной в свою очередь по данным [5]. Для лесов России среднее значение $k_{кр} = 0,136$.

Под годовым ресурсом дров $P_{др}$ понимается годовой объем стволовой дровяной древесины, используемой только для энергетических целей. В него не включается объем технологического сырья, используемого для производства древесных плит.

Для определения ресурсов топливной дровяной древесины следует использовать фактические (отчетные) данные о производстве топливных и технологических дров. Для оценки ресурсов на перспективу можно определить суммарный объем производства дровяной древесины как разность плановых объемов заготовленной и деловой древесины. Трудность состоит в том, что обычно в этом случае неизвестен объем дровяной древесины, направляемой на технологические нужды (производство ДСтП, ДВП, МДФ и др.). По данным за 2007 г., доля технологического сырья в суммарном объеме дров составляет 16,2 %. При оценке ресурса на близкую перспективу можно использовать эти данные, так как в первом приближении рост производства древесных плит пропорционален росту заготовки древесины.

Расчет ресурса биотоплива, образующегося при производстве пиломатериалов, фанеры и деревянной тары, выполняется по формуле

$$P_i = v_i \cdot (k_i + k_k) \cdot V_i, \quad (3)$$

где v_i – норматив расхода сырья для производства продукции, пл. м³ / пл. м³;

k_i – доля пригодных для энергетического использования отходов в объеме используемого сырья;

$k_k = 0,13$ – коэффициент объема коры;

V_i – годовой объем готовой продукции (пиломатериалов, тары комплектной, фанеры), тыс. пл. м³.

Значения коэффициентов v_i и k_i , приведенные в табл. 2, приняты в соответствии с [6].

Т а б л и ц а 2

Рекомендуемые значения коэффициентов v_i и k_i

Производимая продукция	Коэффициенты	
	v_i	k_i
Пиломатериалы	1,754	0,133
Фанера	2,480	0,596
Тара комплектная	3,333	0,700

Заметим, что кусковые отходы лесопиления не включены в ресурс. Рациональная технология с использованием фрезерно-пильного оборудования позволяет из окоренных сортиментов одновременно с пиломатериалами производить технологическую щепу, более ценный продукт, чем топливо.

В целлюлозно-бумажной промышленности учтен основной ресурс древесного топлива – кора. При оценке учтено, что балансы производятся из вершинных частей деревьев или из тонкомерных деревьев, поэтому содержание коры в балансах принято равным 12 %. Норматив расхода сырья на производство целлюлозы, полуцеллюлозы и древесной массы принят согласно [6].

Ресурсы коры в целлюлозно-бумажной промышленности определяются как

$$P_{\text{ЦБП}} = v_{\text{ЦБП}} \cdot k_{\text{ЦБП}} \cdot V_{\text{ЦБП}}, \quad (4)$$

где $v_{\text{ЦБП}} = 4,32$ – норматив расхода сырья для производства продукции, пл. м³ / т;

$k_{\text{ЦБП}} = 0,12$ – коэффициент объема коры на балансах;

$V_{\text{ЦБП}}$ – производство основной продукции в ЦБП, тыс. т.

Потенциальные ресурсы биотоплива, образующиеся при производстве целлюлозно-бумажной продукции, включают также щелока сульфатного производства, ил установок очистки сточной или оборотной воды и другие ресурсы. Оценка этих ресурсов в настоящей работе не производилась.

Экономически доступный годовой объем ресурса биотоплива определяется как

сумма экономически доступного ресурса дровяной древесины от всех видов рубок и ресурса отходов, образующихся при производстве основных видов лесобумажной продукции

$$P^{\text{эд}} = P_{\text{р}}^{\text{эд}} + P_{\text{лп}} + P_{\text{ф}} + P_{\text{т}} + P_{\text{ЦБП}}, \quad (5)$$

где $P^{\text{эд}}$ – экономически доступный ресурс древесного топлива, тыс. пл. м³;

$P_{\text{р}}^{\text{эд}}$ – экономически доступный ресурс древесного топлива от всех видов рубок, тыс.пл. м³;

$P_{\text{лп}}$ – экономически доступный ресурс биотоплива от производства пиломатериалов, тыс.пл. м³;

$P_{\text{ф}}$ – экономически доступный ресурс биотоплива от производства фанеры, тыс. пл. м³;

$P_{\text{т}}$ – экономически доступный ресурс биотоплива от производства тары, тыс. пл. м³;

$P_{\text{ЦБП}}$ – экономически доступный ресурс биотоплива в ЦБП, тыс.пл. м³.

ЭДР по всем видам рубок $P_{\text{р}}^{\text{эд}}$ включает годовой объем производства топливных дров и половину объема сучьев кроны. В соответствии с многолетним опытом вывозки заготовленной древесины деревьями можно считать, что половина объема кроны теряется при валке, трелевке и обрезке веза. Ресурсы пней древесины, корней и хвороста при современном неудовлетворительном состоянии использования гораздо большего и вполне доступного ресурса дровяной древесины приняты экономически недоступными. По мере все более полного использования дровяной древесины и при дефиците древесного топлива можно вернуться к тщательной оценке экономической целесообразности включения в топливный баланс этих составляющих ресурса древесного топлива, образующегося при рубках.

Экономически доступные ресурсы топливных дров определяются аналогично определению потенциальных ресурсов топливных дров вычитанием из общего объема заготовки древесины по всем видам рубок объема деловой древесины и объема технологических дров.

Годовой объем экономически доступной кроны определяется как произведение годового объема заготовки древесины всеми видами рубок на коэффициент $k_{\text{кр}}^{\text{эд}} = 0,5 \cdot k_{\text{кр}}$ [4].

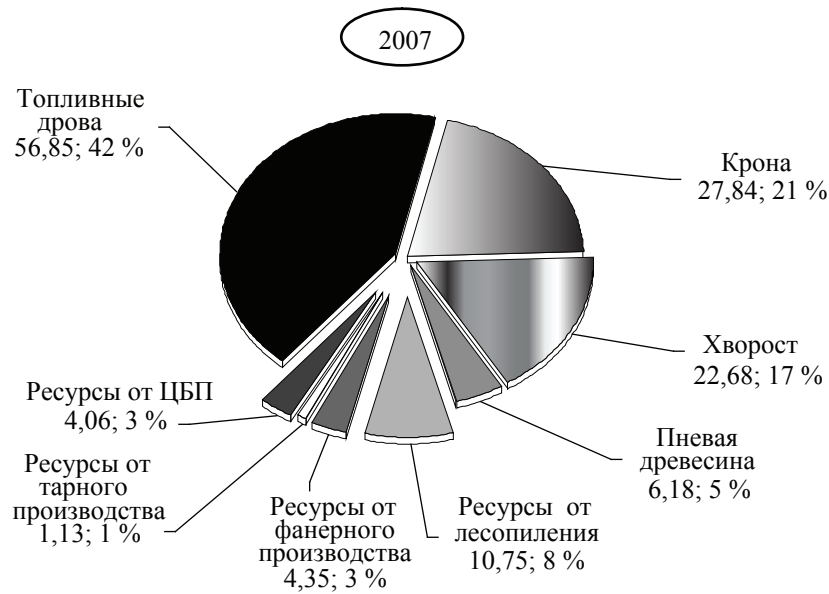


Рис. 1. Распределение ресурсов древесного топлива РФ по видам в 2007 г. Всего по РФ 133,84 млн м³



Рис. 2. Распределение потенциальных ресурсов древесного топлива РФ по федеральным округам в 2007 г. Всего по РФ 133,84 млн м³

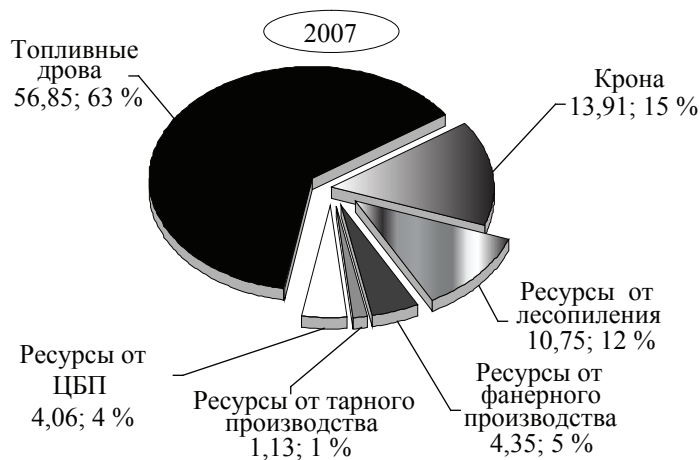


Рис. 3. Распределение экономически доступных ресурсов древесного топлива РФ по видам в 2007 г. Всего по РФ 90,05 млн м³

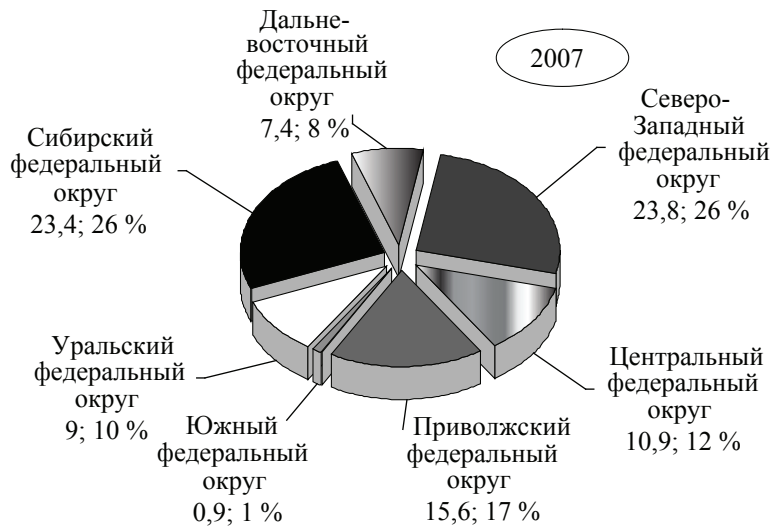


Рис. 4. Распределение экономически доступных ресурсов древесного топлива РФ по федеральным округам в 2007 г. Всего по РФ 90,05 млн м³



Рис. 5. Распределение экономически доступных ресурсов древесного топлива РФ по федеральным округам в 2012 г. Всего по РФ 103,03 млн м³

Результаты оценки ресурса древесной биомассы для лесной биоэнергетики

Изложенная методика была применена для оценки потенциального и экономически доступного ресурса древесной биомассы, пригодной для производства энергии по данным за 2007 г. и прогнозу на 2012 г. Расчеты выполнены в ГНЦ ЛПК.

ДПР древесного топлива в лесопромышленном комплексе Российской Федерации, рассчитанный исходя из объемов производства лесобумажной продукции в 2007 г., составляет 133 840 тыс. м³. Наибольшую часть потенциального ресурса древесного топлива в России, 113, 5 млн м³, или 85 % от общего объема, составляют топливные дрова и лесо-

сечные отходы. Более полное использование именно этого ресурса может оказать существенное влияние на повышение эффективности работы лесозаготовительной промышленности и лесопромышленного комплекса в целом.

Распределение потенциального ресурса по видам представлено на рис. 1. Распределение потенциальных ресурсов древесного топлива в 2007 г. по федеральным округам приведено на рис. 2.

ЭДР древесного топлива в лесопромышленном комплексе Российской Федерации в 2007 г. составил 91 054,6 тыс. м³. Распределение экономически доступных ресурсов древесного топлива по видам представлено на рис. 3. Большую часть экономически доступных ресурсов древесного топлива – 78 %

их общего количества, составляют топливные дрова и лесосечные отходы. Их объем – 70,76 млн м³. Эти отходы сосредоточены на предприятиях лесозаготовительной промышленности. Более 60 % этого топлива составляет дровяная древесина, 15 % – ветви и сучья кроны деревьев.

В деревообрабатывающей промышленности наибольшую долю ресурсов – 12 % составляют отходы лесопиления.

Распределение экономически доступных ресурсов древесного топлива по федеральным округам приведено на рис. 4.

Наибольшие ресурсы древесного топлива сосредоточены в Северо-Западном и в Сибирском федеральном округах – по 24 %. В Приволжском федеральном округе – 16 %. В этом же выпуске «Лесного вестника» публикуются результаты оценки ресурса древесного топлива для Северо-Западного федерального округа РФ, выполненные Т. Карьялайненем и Ю. Герасимовым, которые удовлетворительно согласуются с нашими результатами.

Экономически доступные ресурсы древесного топлива в лесопромышленном комплексе Российской Федерации, в соответствии с объемами производства лесобумажной продукции в 2012 г., предусматриваемыми Стратегией развития лесного комплекса Российской Федерации на период до 2020 г., составят 103,0 млн м³.

Распределение экономически доступных ресурсов древесного топлива по видам представлено на рис. 5.

Топливные дрова и лесосечные отходы составят большую часть экономичес-

ки доступных ресурсов древесного топлива – 74,4 млн м³, или 73 % от общего объема. Около 80 % этого топлива составит дровяная древесина, 20 % – ветви и сучья кроны деревьев. Наибольшую часть в ресурсах отраслей деревообрабатывающей промышленности составят отходы лесопиления – 14,16 млн м³, или 14 %.

Распределение экономически доступных ресурсов древесного топлива по федеральным округам существенно не изменится. Наибольшие ресурсы древесного топлива будут по-прежнему сосредоточены в Северо-Западном федеральном округе – 27 %, Сибирском федеральном округе – 25 % и в Приволжском федеральном округе – 17 %.

Полученные данные позволяют оценить энергетический потенциал ресурса древесной биомассы при современном уровне заготовок и на ближайшую перспективу и экономическую эффективность вовлечения этого ресурса в топливно-энергетический баланс страны.

Библиографический список

1. Лесной кодекс Российской Федерации.
2. <http://www.rosleshoz.gov.ru/media/appearance/43>.
3. Лесная биоэнергетика: учебное пособие / под ред. Ю.П. Семенова. – М.: МГУЛ, 2008. – 348 с.
4. Качелкин, Л.И. Использование отходов лесозаготовок / Л.И. Качелкин, Н.П. Рушнов, В.В. Коробов и др. – М.: Лесная пром-сть, 1965.
5. Лесной фонд России: справочник. – М.: ВНИИЦ-лесресурс, 1999. – 650 с.
6. Вторичные материальные ресурсы лесной и деревообрабатывающей промышленности. (Образование и использование): справочник. – М.: Экономика, 1983. – 224 с.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ТОПЛИВНОГО РЕСУРСА ЛЕСНОЙ БИОЭНЕРГЕТИКИ РФ

А.Б. ЛЕВИН, *проф. каф. теплотехники МГУЛ, канд. техн. наук,*
 В.С. СУХАНОВ, *д.т.н, заместитель генерального директора ГНЦ ЛПК*
 Д.В. ШЕРЕМЕТЬЕВ, *научный сотрудник ГНЦ ЛПК*

levin@mgul.ac.ru

Оценка потенциального и экономически доступного ресурса древесной биомассы, пригодной для производства энергии на 2007 и 2012гг. в Российской Федерации[1], основ-

ные результаты которой приведены в табл. 1, позволяют оценить энергетический потенциал этого ресурса и возможный экономический эффект при полном его использовании.

Т а б л и ц а 1

Оценка экономически доступного ресурса древесного топлива в 2007и 2012 гг.

Показатель	Единицы измерения	2007г.	2012 г.
Рубки всех видов			
Заготовка древесины всеми видами рубок	тыс.пл. м ³	206164	215600
Заготовка топливной стволовой древесины	тыс.пл. м ³	56844	59839,1
Ресурс древесного топлива от рубок всех видов	тыс.пл. м ³	70764,9	74356,7
Деревообработка			
Производство пиломатериалов	тыс.пл. м ³	23300,0	31100,0
Ресурс древесного топлива от лесопиления	тыс.пл. м ³	10750,7	14349,6
Производство фанеры	тыс.пл. м ³	2800,0	4700,0
Ресурс древесного топлива от производства фанеры	тыс.пл. м ³	4346,9	7296,7
Производство тары	тыс.пл. м ³	408,5	531,1
Ресурс топлива от производства тары	тыс.пл. м ³	1130,1	1469,1
Целлюлозно-бумажная промышленность			
Производство целлюлозы и древесной массы	тыс. т	7830,0	10730,0
Ресурс древесного топлива (коры) от производства целлюлозы	тыс.пл. м ³	4059,1	5562,4
Ресурс древесного топлива			
Экономически доступный ресурс древесного топлива	тыс.пл. м ³	91051,7	103034,5

Т а б л и ц а 2

Оценка энергетического потенциала экономически доступного ресурса древесного топлива в 2007–2012 гг.

Показатель	Единицы измерения	2007г.	2012 г.
Экономически доступный ресурс древесного топлива	тыс.пл. м ³	91051,7	103034,5
Энергетический потенциал ресурса древесного топлива	ПДж	509,9	577,0
То же	млн. т у.т.	17,4	19,7

Теплота сгорания древесного топлива

Низшую теплоту сгорания рабочей массы древесного топлива можно рассчитать при известной зольности и влажности [2]

$$Q_i^r = 18800 \frac{100 - W^r - A^r}{100} - 25W^r, \text{ кДж/кг}, \quad (1)$$

где Q_i^r – низшая теплота сгорания, кДж/кг;
 W^r – влага рабочей массы топлива, %;
 A^r – зольность рабочей массы топлива, %.

Если зольность топлива неизвестна, то с достаточной точностью для дровяной древесины, лесосечных и промышленных древесных отходов можно оценить низшую теплоту сгорания по известной влажности, которую легко определить экспериментально на любом предприятии [3]

$$Q_i^r = 18 - W^r/5, \text{ МДж/кг}. \quad (2)$$

подавляющая часть отходов, пригодных для энергетического использования, образуется при рубках леса и на первичных стадиях переработки древесины. В связи с этим

можно считать среднюю влажность древесины пригодной для энергетического использования равной влажности свежесрубленной древесины $W^r = 55 \%$, что дает значение $Q_i^r = 7,0 \text{ МДж/кг} = 7,0 \text{ ГДж/т}$.

Средняя плотность древесины энергетического ресурса ρ должна рассчитываться как средневзвешенное значение плотностей древесины различных пород в составе ресурса. В данной работе принято $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$.

Энергетический потенциал ресурса можно определить как

$$\mathcal{E} = V^{\text{пот}} \cdot \rho \cdot Q_i^r, \quad (3)$$

где \mathcal{E} – энергетический потенциал ресурса древесины, пригодной для энергетического использования, ПДж;
 $V^{\text{пот}}$ – ресурс древесины, пригодной для энергетического использования, млн м³;
 $\rho = 0,8$ – средняя плотность древесины энергетического ресурса, т/ м³.

Результаты расчетов по зависимости (3) приведены в табл. 2.

Экономический эффект от использования ресурса древесного топлива

Экономический эффект от полного использования ресурса древесной биомассы для производства энергии может быть оценен двумя способами – по стоимости замещаемого ископаемого топлива или по разности себестоимости энергии, произведенной с использованием древесного топлива, и действующих тарифов на нее.

Теплота сгорания 1 м³ древесного топлива при влажности свежесрубленной древесины составляет

$$Q_{i, об}^r = \rho \cdot Q_i^r = 5600 \text{ МДж/м}^3.$$

При близком к оптимальному соотношению тепловой и электрической мощности этого количества теплоты достаточно для выработки не менее 1100 МДж, или 305 кВт·ч электроэнергии. Одновременно может быть отпущено внешним потребителям не менее 3000 МДж, или 0,72 Гкал тепловой энергии. Себестоимость электроэнергии, вырабатываемой на собственных ТЭС, использующих древесное топливо, по данным выполненных нами ТЭО, составляет 2,2 руб./кВтч, а себестоимость тепловой энергии – 620 руб./Гкал. По объявленным Правительством РФ данным повышение тарифов на электроэнергию составит в 2009 г. 26 %, в 2010 г. – 22 %, в 2011 г. – 18 %, в 2012 г. – 18 %. Средний тариф на электроэнергию за ожидаемый срок окупаемости составит 4,32 руб./кВт·ч, а тепловой энергии не менее 800...1000 руб./Гкал.

Энергетическое использование древесного топлива дает экономию только на электроэнергии 2,12 руб. на 1 кВт·ч, или

646 руб. на 1 пл. м³. Аналогично не менее 200 руб. составит экономия на тепловой энергии, т.е. суммарно около 850 руб./м³. При полном использовании экономически доступного ресурса древесного топлива, по данным на 2007 г., для комбинированной выработки тепловой и электрической энергии и замены ею покупных энергоресурсов суммарная годовая экономия составит **78 млрд руб.**

Другой способ оценки состоит в расчете экономии, возникающей при замене древесным топливом различных видов ископаемого топлива на действующих энергообъектах. Отметим, что рынок энергоресурсов в настоящее время крайне волатилен и приведенные цены могут измениться в разы за относительно короткое время. Результаты расчетов экономического эффекта от замены различных видов ископаемого топлива эквивалентной по суммарной теплоте сгорания массой древесного топлива, при цене древесных отходов и дровяной древесины 450 руб./ м³, приведены в табл. 3 и на рис. 1.

Замена древесным топливом мазута и каменного угля позволяет получить годовой экономический эффект в размере **20...35 млрд руб.** Следует также отметить, что приведенные расчеты выполнены для условий финансового кризиса, который характеризуется резким падением цен на ископаемые ресурсы. При повышении этих цен по мере выхода из кризиса экономический эффект использования древесного топлива будет увеличиваться.

Энергетический потенциал ресурса древесного топлива по теплоте сгорания эквивалентен 14,2 млрд м³ природного газа.

Т а б л и ц а 3

Экономический эффект от замены ископаемого топлива древесным

Топливо	Теплота сгорания, ГДж/т, (ГДж/тыс. м ³)	Цена топлива, руб./т, (для газа руб./тыс.м ³)	Ресурс топлива, млн м ³ 2007 г.	Ресурс топлива, млн м ³ 2012 г.	Экономический эффект, млн руб. 2007 г.	Экономический эффект, млн руб. 2012 г.
Газ (внутренние цены)	36	3000	91	103	-1456	-1648
Газ (экспортные цены)	36	8000	91	103	72300	81800
Мазут	40	6000	91	103	31668	35844
Уголь	25	3000	91	103	20202	22866

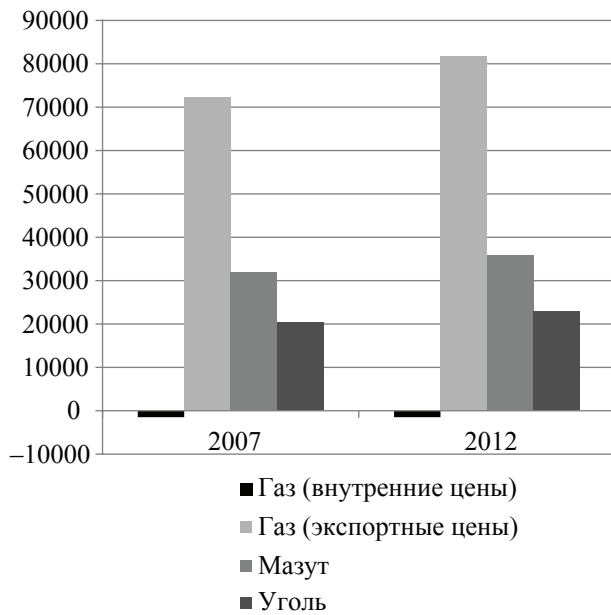


Рис. 1. Экономический эффект от замены ископаемого топлива древесным, млн руб.

Полное использование экономически доступного ресурса древесного топлива для выработки тепловой и/или электрической энергии позволило бы высвободить объем природного газа, составляющий около 10 % современного годового экспорта. Этого достаточно для выполнения обязательств по поставкам газа в Бельгию, Грецию, Болгарию, Сербию, Хорватию, Словению, Швейцарию и Македонию вместе взятым.

Замена природного газа древесным топливом при современных внутренних ценах на этот вид топлива экономически не эффективна, однако возможность экспорта высвобождающихся объемов газа делает такую замену даже более эффективной, чем замена мазута, и может дать экономический эффект **70...80 млрд руб.**

Экологический эффект от использования ресурса древесного топлива

Еще одно важное обстоятельство делает для предприятий лесного комплекса особенно актуальным более полное использование древесины для производства энергии. По международным соглашениям, выбросы CO₂ при сжигании древесины не учитываются как антропогенные. Поэтому к осуществлению проектов по энергетическому использованию древесного топлива могут быть привлечены международные финансовые ресурсы в рам-

ках механизмов Киотского протокола. Замена древесиной эквивалентного количества природного газа позволила бы сократить учитываемые выбросы CO₂ на 29,8 млн т, мазута – на 38,5 млн т, каменного угля – на 47,3 млн т. При продаже на международном рынке прав на выбросы в таких объемах может быть получено около **200 млн евро.**

Приведенные выше данные убедительно показывают возможность и необходимость более интенсивного развития лесной биоэнергетики.

Современный уровень использования ресурса древесного топлива

Полные данные фактического энергетического использования ресурса древесной биомассы в стране в настоящее время отсутствуют. Доля древесной биомассы в общем объеме потребляемой в России энергии, по разным оценкам, составляет 0,2...2,0 % [4]. Так, по данным Росстата, за 2006 г. всего в России было израсходовано 630 млн т у.т., из этого количества на долю древесного топлива приходится 2,3 млн т у.т, то есть около 12 млн пл м³, или 0,3 %. По общепринятому мнению экспертного сообщества, эта доля составляет около 1 %.

По данным Росгосстата, в 2005 г. дров для населения всего по РФ было заготовлено 22,7 млн пл. м³, а в 2007 году – 25,1 млн пл. м³. В том числе дров от рубок ухода, санитарных и прочих рубок соответственно 3,9 млн м³ и 5,0 млн м³. Но данные относительно использования этого ресурса отсутствуют.

Надежные данные по энергетическому использованию древесных отходов промышленными предприятиями выявить также не представляется возможным. Особенную трудность представляет выделение из общего объема используемой для производства энергии древесной биомассы отходов лесозаготовок и рубок ухода.

В 2007 г. ФГУП «ГНЦ ЛПК» провел анкетное обследование предприятий ЛПК с целью установить масштабы использования ими древесины для выработки энергии. Удалось собрать сведения об использовании топлива для выработки энергии на 346 крупных и средних предприятиях лесопромышленного комплекса во всех многолесных федеральных округах [5].

Потребление топлива и производство энергии на обследованных предприятиях ЛПК в 2007 г.

Показатели	Единица измерения	Всего по ЛПК РФ
Годовое потребление: дрова	тыс.пл. м ³	497,7
щепы топливной	тыс.пл. м ³	249,8
кора	тыс.пл. м ³	2718,7
опилки и отходы деревообработки	тыс.пл. м ³	4273,9
итого древесного топлива	тыс.пл. м ³	7740,1
щелок	тыс. т	4170,0
Годовой ресурс: дрова, отходы лесозаготовок	тыс.пл. м ³	3091,7
кора	тыс.пл. м ³	2697,7
опилки и отходы деревообработки	тыс.пл. м ³	8575,5
итого древесного сырья	тыс.пл. м ³	14413,6
щелок	тыс. т	4173,401
Годовое потребление: природный газ	тыс. м ³	406926,6
мазут и другое жидкое топливо	тыс. т	769,7
уголь	тыс. т	18,8
торф	тыс. т	10,601

Для использования ресурса древесной биомассы в России характерна низкая доля использования отходов лесозаготовок и дровяной древесины и преобладание отходов деревообработки, включая опилки. Распределение потребления древесного топлива по его видам на обследованных предприятиях лесопромышленного комплекса РФ представлено на рис. 2.

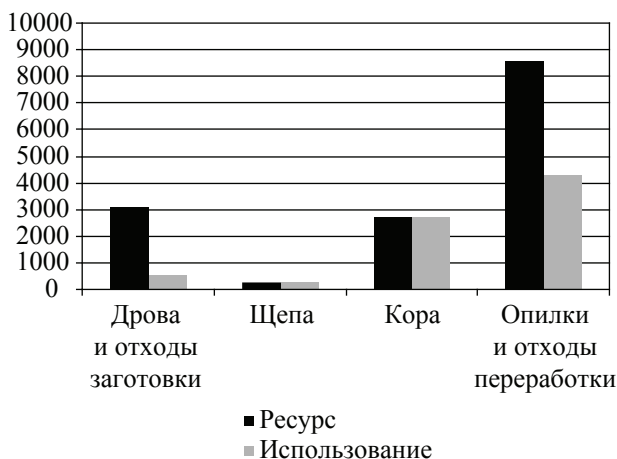


Рис. 2. Сравнение ресурсов и фактического использования древесного топлива на предприятиях ЛПК, пл. м³

Данные анкетного обследования свидетельствуют, что используемые отходы лесозаготовок и дровяная древесина составляет только шестую часть от ресурса этого вида топлива. В то же время используется около

половины имеющегося ресурса отходов деревообработки и вся кора.

Подчеркнем, что речь идет о данных, представленных предприятиями, которые не отличаются полнотой и достоверностью в части оценки ресурсов. Некоторые из предприятий указали в качестве ресурсов объемы реально использованного древесного топлива.

Годовой ресурс древесного топлива, по данным, полученным от обследованных предприятий, составляет 14,4 млн м³. Годовое потребление древесного топлива на выработку тепловой и электрической энергии по данным, представленным предприятиями, составило 7,7 млн м³, или половину от объема ресурсов. Расчетные экономически доступные ресурсы древесного топлива при объемах производства лесобумажной продукции в 2005 г. (включая ресурс кроны деревьев, но без учета щелоков ЦБП) составляли более 45,0 млн пл. м³. Следовательно, анкетированные предприятия используют менее 16 % реального ресурса древесного топлива, что свидетельствует о значительном потенциале развития биоэнергетики в лесопромышленном комплексе. Наиболее используемыми являются следующие виды древесного топлива: дрова, топливная щепы, кора и отходы механической переработки древесины, включая опилки.

Из общего числа обследованных предприятий ЛПК около трех четвертей предприятий используют древесное топливо. Только ископаемое топливо используют 14 % обследованных предприятий ЛПК ископаемые энергоресурсы, 28 % предприятий используют как минеральное, так и древесное топливо, только древесное топливо использует 58 % обследованных предприятий. Наибольшая доля использования ресурса древесного топлива всех видов достигнута в Северо-Западном и Сибирском федеральных округах – 36,5 и 24,3 % соответственно. Средняя по РФ доля используемых ресурсов на обследованных предприятиях составляет около 21 %. Ресурсы и использование древесного топлива обследованными предприятиями ЛПК, тыс. м³, представлены в табл. 4.

На обследованных предприятиях используется 406,9 млн м³ природного газа, 769 тыс. т мазута, 18,8 тыс. т каменного угля, что соответствует суммарному потреблению 1567 тыс. т условного топлива. Следует отметить, что доля самого дорогого из ископаемых топлив – мазута, составляет 2/3 от общего их потребления. Согласно приведенным выше данным, древесное топливо и щелок эквивалентны 2972 тыс. т у.т. и составляют около 2/3 общего потребления топлива. К сожалению, сведения о расходах различных видов ископаемого топлива предприятиями ЛПК неполны. Поэтому действительная доля ископаемого топлива в топливном балансе, вероятно, существенно больше. Резервы увеличения использования древесного топлива весьма значительны.

Для принятия решений по стимулированию развития лесной биоэнергетики и для адекватной оценки возможности сооружения энергетических объектов (котельных и ТЭС на древесном топливе) в различных регионах РФ необходимо радикально улучшить учет заготавливаемой древесины. Это совершенно необходимо для обеспечения достоверности данных о ресурсе древесного топлива. В ближайшем будущем долж-

на быть создана общероссийская ГИС для оценки ресурсов древесного топлива от всех видов рубок. Подобные системы уже разработаны для некоторых областей, в частности Псковской и Ленинградской [6]. Это позволит рассчитывать ресурс древесного топлива на перспективу до 50 лет с учетом изменения годового объема заготовки древесины по всем видам рубок, площади лесов и роста запасов древесины.

Выводы

Приведенные данные убедительно показывают наличие в РФ значительных ресурсов древесной биомассы для производства тепловой и/или электрической энергии и одновременно совершенно неудовлетворительное использование этого ресурса. Настоятельно необходимо государству, владельцам предприятий и научно-инженерному сообществу предпринять скоординированные усилия по вовлечению в топливно-энергетический баланс страны экологически безопасного, возобновляемого и экономически эффективного энергоресурса. Во всех лесоиндустриальных государствах развитие биоэнергетики происходит в рамках долгосрочных государственных программ. Нет сомнений, что подобная программа необходима и России.

Библиографический список

1. Левин, А.Б. Топливный ресурс лесной биоэнергетики РФ / А.Б. Левин // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2009. – № 3(72). – С. 30–37.
2. Теплотехнический справочник инженера лесного и деревообрабатывающего предприятия – 2-е изд., испр. / под ред. А.Б. Левина. – М.: МГУЛ, 2002. – 333 с.
3. Лесная биоэнергетика: учебное пособие / под ред. Ю.П. Семенова. – М.: МГУЛ, 2008. – 348 с.
4. Ракитова, О.С. Где искать отходы / О.С. Ракитова // The Bioenergy international –Международная биоэнергетика. – 2008. – №2, июнь. – С. 18–19.
5. Левин, А.Б. Современное состояние энергетического хозяйства ЛПК России / А.Б. Левин, В.С. Суханов // Дерево. Ru. – 2008. – №4, 5.
6. Холодков, В.С. Определение ресурсов древесного топлива, образующихся при рубках главного пользования / В.С. Холодков // Вестник МАНЭБ. – 2008. – Т. 13. – № 2. – 245 с.

ПОДГОТОВКА МАГИСТРОВ ПО НАПРАВЛЕНИЮ ТЕХНОЛОГИИ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ И ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

Ю.П. СЕМЕНОВ, *проф. каф. теплотехники МГУЛ, д-р техн. наук*

semenov@mgul.ac.ru

Многоуровневая система подготовки специалистов высшей квалификации предполагает ступень подготовки магистра, обладающего основами знаний и навыков для творческой инженерной и научной работы в определенном направлении. В связи с интенсивным развитием науки, техники и технологии программа подготовки магистров должна быть мобильной, учитывающей новые научные достижения в той или иной области и перспективные разработки.

Последние годы во всех индустриально развитых странах получила активное развитие так называемая «зеленая» энергетика, направленная на получение энергии из биомассы. Максимально возможная замена ископаемого топлива на биологическое – возобновляемое решает вопросы как более эффективного использования энергетических ресурсов, так и экологические проблемы, связанные с увеличением концентрации антропогенных парниковых газов в атмосфере.

С некоторой задержкой, связанной в основном с проводимыми глобальными экономическими реформами, все больше внимания проблемам «зеленой» энергетике уделяется в России. Это наиболее важно для лесного сектора экономики страны. Значительные, наибольшие в мире ресурсы древесины настоятельно требуют рачительного ее использования. К сожалению, в настоящее время миллионы кубометров лесосечных отходов, дровяной древесины, отходов деревообработки безвозвратно теряются, в то время как замена ископаемого топлива древесным на энергетических объектах отрасли позволила бы получать более дешевую собственную энергию и тем самым повышать рентабельность производств.

Руководством государства принят ряд документов, предусматривающих интенсив-

ное развитие биоэнергетики. Это «Основные положения государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2020 года» (распоряжение Председателя правительства 8.01.2009 г. № 1-п), Указ Президента РФ от 4 июня 2008 года № 889 «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности Российской экономики». В список критических технологий, т.е. технологий, требующих незамедлительного развития, Постановлением Председателя правительства отнесены «Технология производства энергии и топлива из органического сырья» и «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии».

Одним из важных условий реализации намеченных планов является квалификация и подготовка кадров. В существующих стандартах подготовки инженеров и бакалавров не предусмотрено изучение специального курса по энергетическому использованию древесины. Будущие специалисты получают лишь разрозненные сведения в общепрофессиональных и специальных курсах, что, конечно, явно недостаточно. Этот недостаток компенсируется в новых стандартах магистров по направлению «Технология и оборудование лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств», в которых предусмотрено изучение курса «Современные проблемы биоэнергетического использования древесной биомассы» – 54 аудиторных часа и 146 часов самостоятельной работы.

В курсе будут рассматриваться следующие темы: физико-химические основы энергетического использования древесины (сжигание, газификация, пиролиз, получение твердого и жидкого биотоплива); свойства древесины как топлива; ресурсы древесного

топлива; производство, хранение и транспортировка древесного топлива; теплоэнергетические установки на древесном топливе; экономические и экологические аспекты энергетического использования древесины; стратегия развития биоэнергетики отрасли.

Курс должен включать лекционные занятия (9 лекций) и 36 часов лабораторных работ: теплотехнический анализ различных видов древесного топлива, в том числе улучшенного (пеллеты, брикеты), который включает определение влажности, зольности, выхода летучих веществ, теплоты сгорания, насыпной (складочной) плотности, фракционного состава и прочности топливных пеллет и брикетов; испытание установки по производству брикетов или пеллет; определение КПД водогрейного котла на древесном топливе баланса; определение характеристик продуктов пиролиза и газификации древесины; оценка ресурсов биотоплива на лесозаготовительных и деревообрабатывающих предприятиях и др. Набор таких работ зависит от возможностей лабораторной базы вуза.

В направлении биоэнергетического использования древесины должны выполняться магистерские работы. Например, по следую-

щим темам: исследование влияния породного состава и вида древесных отходов на характеристики биотоплива (пеллет, брикетов); исследование влияния начальной влажности исходной древесной массы на характеристики твердого биотоплива (пеллет, брикетов); сравнительный анализ энергоэффективности использования топливной щепы и улучшенного твердого топлива (пеллет, брикетов) для производства тепловой и электрической энергии в конкретных условиях расположения источников топлива и потребителей, тепловой и электрической мощности и т.п.

Таким образом, реализация курса «Современные проблемы биоэнергетического использования древесины» в учебном процессе вузов будет способствовать успешному решению энергоэкологических задач, стоящих перед отраслью.

Библиографический список

1. Семенов, Ю.П. Лесная биоэнергетика: учебн. пособие для вузов / Ю.П. Семенов, Б. Хиллринг, А.Б. Левин, и др. – М.: Изд. МГУЛ, 2008. – 348 с.
2. Семенов, Ю.П. Проблемы энергетического использования древесной биомассы в России / Ю.П. Семенов // Известия Международной академии наук высшей школы. – 2009. – № 1. – С. 63–70.

РАЗРАБОТКА ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА РЕГИОНОВ С УЧЕТОМ РЕСУРСОВ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА

В.С. ХОЛОДКОВ, *исполнительный директор НП «БИОЦЕНТР», канд. с.-х. наук*

rusbio@lens.spb.ru; www.rusbiocenter.spb.ru

Целью энергетической политики России является максимально эффективное использование природных топливно-энергетических ресурсов и потенциала энергетического сектора для роста экономики и повышения качества жизни населения [1]. Одной из основ успешной реализации государственной энергетической политики является правильный и своевременный учет региональных особенностей и эффективная региональная политика. Для всех федеральных округов общими направлениями энергетической политики являются повышение энергоэффективности, проведение активной энергосберегающей политики, а также решение социальных проблем.

В Стратегии отмечается роль (ТЭБ) как основного инструмента выявления диспропорций и установления равновесия между спросом и предложением энергоресурсов по всем цепочкам их преобразования от добычи до потребления.

На основании топливно-энергетического баланса принимаются решения:

- о достаточности или недостаточности топливно-энергетических ресурсов;
- о возможности создания новых производств на той же топливно-энергетической базе;
- о возможности вывоза топливно-энергетических ресурсов или необходимости их ввоза.

Опыт нашей работы в регионах показывает, что использование топливно-энергетического баланса до сих пор не является системным, охватывающим все необходимые уровни (в частности региональный), и не учитывает принципиальные различия условий энергообеспечения, особенно потенциала местных видов топлив в регионах, и вовлечение ДТ в ТЭБ регионов возможно через нормативный метод.

Как вовлекать альтернативные источники энергии в региональный топливно-энергетический баланс? Нет единой методики для каждого региона. Каждый регион и даже административные районы России имеют свои особенности, в том числе в топливно- и энергообеспечении, лесопользовании. Правильный учет этих особенностей и достоверная оценка ресурсов – обязательное условие обеспечения их энергетической безопасности и основа успешной реализации государственной энергетической политики.

Поэтому при разработке ТЭБ регионов требуется в *нормативном порядке* планировать оптимальное использование местных источников топливно-энергетических ресурсов, т.е. провести оптимизацию ТЭБ, где в качестве основного критерия использовать обеспеченность местными ресурсами ВИЭ. Учитывая то, что экономическая целесообразность использования древесного топлива уже обоснована на примере единичных проектов в различных регионах России, наибольшее внимание в лесных регионах, естественно, должно уделяться этому виду энергетических ресурсов.

Для оптимизации ТЭБ необходимо совершенствование информационной базы и методологии балансовых расчетов с целью повышения надежности и обоснованности получаемых результатов.

В основу методологии расчетов ТЭБ регионов предлагается заложить оценку ресурсов местных видов топлив (древесного топлива), и при проведении региональной энергетической политики внимание должно быть уделено оптимальному использованию древесного топлива. Это в свою очередь даст импульс к развитию внутренних топливно-энергетических рынков, формированию рационального топливно-энер-

гетического баланса, региональной и внешней энергетической политики, социальной, научно-технической и инновационной политики в энергетическом секторе.

По мнению специалистов, в подавляющем большинстве регионов топливные балансы перекошены (монотопливны) и не отвечают экологической безопасности сегодняшнего и завтрашнего дня и требованиям экономической целесообразности с учетом развития рынка. Даже в регионах с развитым ЛПК (северо-запад РФ, ХМАО) присутствие древесного топлива в ТЭБ муниципального сектора энергетики только номинально обозначено, но практически незаметно.

Да и в Стратегии отмечается роль такого *бытового* топлива, как дрова, которые в настоящее время используют более 5 млн семей, расходующие на эти цели свыше 50 млн куб. м древесины, а также производственных и бытовых отходов. Однако никаких прогнозов спроса и мероприятий по их вовлечению в топливный баланс не дается, и ДТ рассматривается как топливо для частных домов, а не для промышленного использования.

Правда, в той же Стратегии отмечено, что «доработка и уточнение энергетической стратегии должны осуществляться не реже чем один раз в 5 лет». Видимо, настало время дорабатывать, уточнять и отказаться от принципа «разделяй и властвуй».

По такому «нормативному» пути идут зарубежные страны, где через государственные директивы устанавливаются нормативы.

Тем более, что в производстве электроэнергии государство пошло именно по такому пути, о чем свидетельствует распоряжение Правительства Российской Федерации от 8 января 2009 г. № 1-р «Основные направления государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2020 года», где устанавливаются следующие значения целевых показателей объема производства и потребления электрической энергии с использованием возобновляемых источников энергии (кроме гидроэлектростанций установленной мощностью более 25 МВт):

в 2010 г. – 1,5 процента;
в 2015 г. – 2,5 процента;
в 2020 г. – 4,5 процента.

Минэнерго России осуществляет дифференцирование указанных значений по каждому из видов возобновляемых источников энергии, а также введение дополнительных индикативных целевых показателей (установленная мощность, производство электрической энергии и иные), характеризующих достижение установленных целей. Понятно, что устанавливать нормативы по использованию ВИЭ по Дании и по России – это «две большие разницы». И даже на уровне региона (области) России разработать целевые показатели значительно труднее, чем сделать это, например, в скандинавских странах (по причинам отсутствия достоверной информации, опыта работы с древесным топливом в масштабных проектах, профильного законодательства, недостаточности трудовых ресурсов и т.п.). Но это вполне реально сделать, используя системный подход, через проведение научно-исследовательских проектов, создание региональных программ и организации системы мониторинга.

Мировой опыт использования биотоплива говорит о том, что любой биоэнергетический проект надо начинать с тщательной проработки по исследованию ресурсов топлива.

Если говорить о ДТ, то оценка потенциала, выполненная на уровне «расчетной лесосеки», является в наших условиях не более чем красивой, но несбыточной мечтой, а оценка экономической доступности ресурсов зависит от большого количества переменных, обусловленных в первую очередь региональными особенностями (экономическими, социальными и др.), поэтому при планировании целевых показателей объема производства энергии на региональном уровне оценка реальных ресурсов ДТ является наиболее приемлемой и достаточно информативной.

В качестве примеров можно использовать результаты исследований, выполненных нами в регионах.

Пример 1. Региональный уровень. Ленинградская область.

Проект «Исследование потенциала ежегодной гарантированной заготовки неликвидной древесины, торфа и использования

отходов деревопереработки для производства топливной щепы и пеллет (брикетов) в Ленинградской области на период до 2020 года» выполнен в 2007 г. [2].

Баланс ТЭР по муниципальным котельным ЛО за 2006 г. представлен на рисунке.

Расчет реальных РДТ основан на информации о работе лесозаготовительной отрасли региона, в которой отражена динамика объемов рубок с 2002 г. Объемы заготовки древесины в ЛО за исследуемый промежуток времени стабилизировались и составляют в среднем по году 7,9 млн м³ древесины от всех видов рубок. При проведении расчетов были использованы данные 2004 г., согласно которым годовой объем рубки – 7,9 млн м³, в т.ч. 5,1 млн м³ – древесина от рубок главного пользования, 1,5 млн м³ – древесина от рубок промежуточного пользования и 1,3 млн м³ – древесина от прочих рубок. Годовые объемы образования реальных ресурсов ДТ в Ленинградской области составляют около 4 млн м³ пл. (8,0 ТВтч).

При условии, что сохранятся объемы заготовки древесины и соответственно объемы образования энергетической древесины в области на уровне 2004 г., можно утверждать, что при замещении в коммунальных котельных мазута, угля, дизельного топлива и электричества на ДТ (всего 177 котельных – 26 % в ТЭБ) будет востребовано около 21 % древесного топлива, образующегося в результате рубок на территории области. Надо отметить, что, по данным статистики 2008 г., объемы заготовки упали до 6,0 млн м³ и соответственно объемы образования сырья для производства древесного топлива составили около 3 млн м³, что также вполне достаточно для замещения ископаемых видов топлив и изменения топливно-энергетического баланса региона.

Пример 2. Субрегиональный уровень. Кондинский район, ХМАО – Югра. Проект «Инновационные решения эффективной переработки отходов древесины в комбинированном цикле выработки электроэнергии и тепла (использование комбинированных инновационных технологий сжигания отходов древесины с приоритетной выработкой электроэнергии, а также тепла и холода (тригенерация) на примере децентрализованных генераций Кондинского района)» [3].

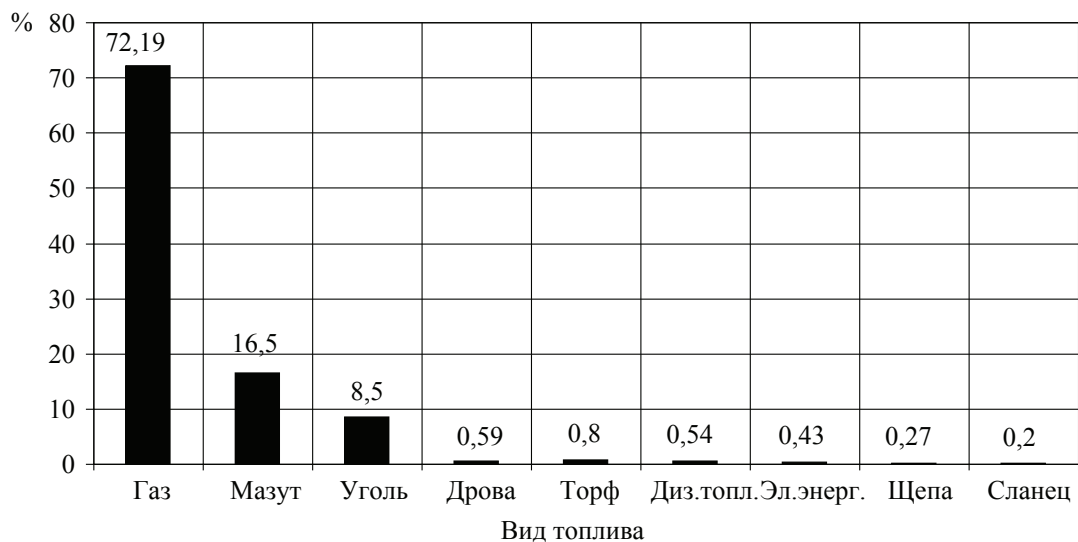


Рисунок. Баланс ТЭР по муниципальным котельным ЛО за 2006 г.

Т а б л и ц а

Реальные ресурсы ДТ в Кондинском районе (ХМАО)

Вид ресурсов энергетической древесины	Единицы измерения	2007 г.
Объем вывозки (хлыстов)	тыс. м3	571,0
Стволовая дровяная древесина от РГП	тыс. м3	138,0
Лесосечные отходы от РГП	тыс. м3	28,5
Отходы рубок промежуточного пользования	тыс. м3	7,5
Отходы лесопиления	тыс. м3	49,0
Отходы от разделки древесины	тыс. м3	15,0
Итого	тыс. м3	238,0

Источниками теплоснабжения в районе являются 39 котельных, в том числе 36 котельных находятся в муниципальной собственности. В таблице приведены данные по объемам образования ДТ в районе.

Наличие ресурсов древесного топлива в районе позволяет гарантированно обеспечить потребности муниципальных энергетических объектов сырьем.

Объемы образования ДТ составляют 238 тыс. м³, а возможные объемы потребления для перевода муниципальных энергетических объектов на ДТ составляют 214,4 тыс. м³, (90 % от возможного потребления), т.е. реальные ресурсы древесного топлива позволяют обеспечить сырьем котельные, использующие нефть, уголь, электричество.

Выводы

1. В исследуемых регионах наличие РДТ позволяет изменить ТЭБ в сторону значительного увеличения использования ДТ с поэтапным изменением ТЭБ.

2. В регионах России для разработки целевых показателей объема производства и потребления энергии в качестве главного критерия необходима оценка реальных РДТ.

Библиографический список

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации. N 1234-р. Энергетическая стратегия России на период до 2020 года. 28 августа 2003 г.
2. Отчет о выполнении научно-исследовательской работы по теме: «Инновационные решения эффективной переработки отходов древесины в комбинированном цикле выработки электроэнергии и тепла (использование комбинированных инновационных технологий сжигания отходов древесины с приоритетной выработкой электроэнергии, а также тепла и холода (тригенерация) на примере децентрализованных генераций Кондинского района)», Санкт-Петербург. 2008.
3. Отчет о выполнении научно-исследовательской работы по теме: «Исследование потенциала ежегодной гарантированной заготовки неликвидной древесины, торфа и использования отходов деревопереработки для производства топливной щепы и пеллет (брикетов) в Ленинградской области на период до 2020 года», Санкт-Петербург. 2009.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА ОТХОДОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЛЕСОПИЛЕНИЯ

Л.В. АЛЕКСЕЕВА, доц. Архангельского ГТУ, канд. техн. наук

aleks-l88@mail.ru

Образование отходов непосредственно связано с технологическими особенностями процессов раскря древесины, и в зависимости от применяемых способов соотношения объемов по видам отходов изменяются.

При расчете объема горбыля путем интегрирования поперечного сечения по длине учитывали его форму сечения. Зависимость объемов древесины, отходящих в горбыля, от величины диаметра бревна в вершинном торце, длины и сложной ориентации бревна, при ширине пропилов первого и второго проходов 2,5 мм по всему диапазону изменяющихся параметров сырья с учетом параметров пилопродукции приведена на рис. 1.

Результаты сравнительного анализа по всему исследуемому диапазону исходных значений показывают, что разность объема горбыля при осевой ориентации бревна и сложной $\{x = 0,35; y = -0,35\}$ от диаметра зависит нелинейно и с увеличением длины бревна (в 2 раза) возрастает в 5 раз. Изменение объемов горбыля (рис. 2) при ориентации бревна $\{x = 0,35; y = -0,35\}$. С увеличением длины и диаметра бревна абсолютный объем горбыля изменяется также нелинейно. Степень нелинейности возрастает при увеличении длины бревна.

Объем рейки равен разности объемов необрезной и обрезной доски, которая должна быть получена из необрезной доски.

Зависимость объемов древесины бревна, отходящих в рейки, от диаметра бревна в вершинном торце, длины и сложной ориентации бревна, при ширине пропилов первого и второго проходов 2,5 мм по всему диапазону изменяющихся параметров сырья с учетом параметров пилопродукции приведена на рис. 3.

По всему диапазону исходных значений разность объемов рейки для осевой ориентации бревна и сложной нелинейная.

При сложной ориентации бревна перед раскромом с увеличением длины и вершинного диаметра абсолютный объем рейки увеличивается (рис. 4). При увеличении длины пило-

вочного сырья динамика увеличения объема образующейся рейки замедляется. Процесс замедления роста объема образующейся рейки от длины бревна имеет нелинейный характер.

Объем короткомерного сырья и отрезков досок равен разности объемов доски, полученной при раскром бревна, и обрезной доски стандартных размеров.

Зависимость объемов древесины бревна, отходящих в короткомерное сырье и отрезки досок, от диаметра бревна в вершинном торце, длины и сложной ориентации бревна, при ширине пропилов первого и второго проходов 2,5 мм по всему диапазону изменяющихся параметров сырья с учетом параметров пилопродукции приведена на рис. 5.

Результаты сравнительного анализа по всему диапазону исходных значений показывают, что разность объемов короткомерного сырья и отрезков досок для осевой ориентации бревна $\{x = 0,0; y = 0,0\}$ и сложной $\{x = 0,35; y = -0,35\}$ нелинейная. Динамика изменения абсолютного объема короткомерного сырья и отрезков досок при сложной ориентации бревна с увеличением длины и диаметра бревна увеличивается (рис. 6).

Объем опилок зависит от параметров пиловочного сырья, толщины выпиливаемых пиломатериалов, ширины полотна пил, применяемых для первого и второго проходов, обрезки и торцовки пилопродукции. Пропилы первого прохода по форме соответствуют модели необрезной доски, толщина которой равна толщине полотна пилы. Пропилы второго прохода имеют высоту, равную толщине бруса, а при торцовке пиломатериала высота пропила определяется толщиной пиломатериалов.

Зависимость объема опилок от диаметра бревна в вершинном торце, длины и сложной ориентации бревна, при ширине пропилов первого и второго проходов 2,5 мм по всему диапазону изменяющихся параметров сырья с учетом параметров пилопродукции приведена на рис. 7.

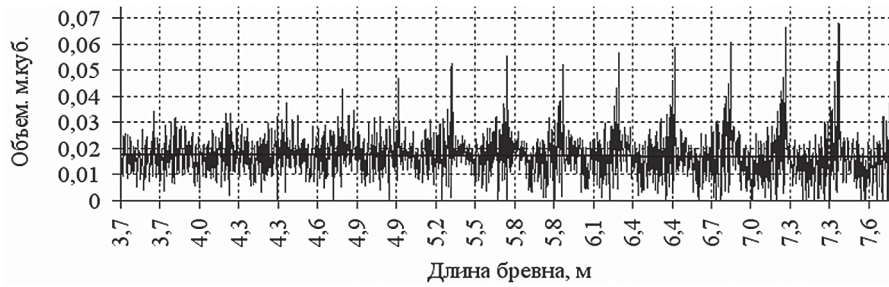


Рис. 1. Зависимость объема горбыля (m^3) от длины и диаметра бревна при ориентации $\{x = 0,35; y = -0,35\}$, при ширине пропилов первого и второго проходов 2,5 мм



Рис. 2. Зависимость объема горбыля (m^3) от вершинного диаметра бревна при ориентации $\{x = 0,35; y = -0,35\}$, при ширине пропилов первого и второго проходов 2,5 мм и длине бревна: 1 – 4,0 метра; 2 – 5,5 метра; 3 – 6,4 метра; 4 – 7,6 метра



Рис. 3. Зависимость объемов рейки (m^3) от вершинного диаметра бревна при ориентации $\{x = 0,35; y = -0,35\}$ и ширине пропилов первого и второго проходов 2,5 мм



Рис. 4. Зависимость объема рейки (m^3) от вершинного диаметра бревна при его сложной ориентации и ширине пропилов первого и второго проходов 2,5 мм при длине бревна: 1 – 4,0 метра; 2 – 5,5 метра; 3 – 6,4 метра; 4 – 7,6 метра



Рис. 5. Зависимость объема короткомерного сырья и отрезков досок (m^3) от длины и диаметра бревна при сложной его ориентации перед раскромом и ширине пропилов первого и второго проходов 2,5 мм

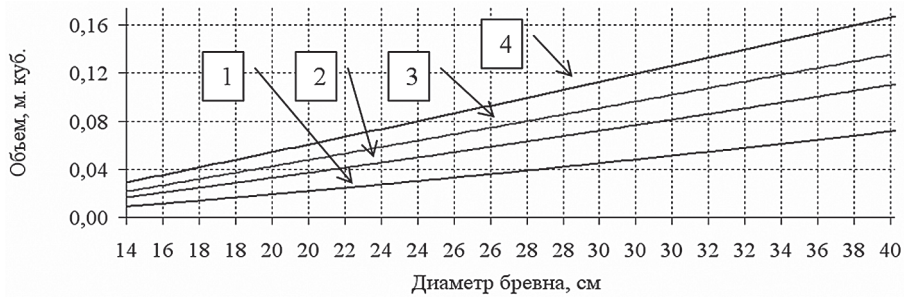


Рис. 6. Зависимость объема короткомерного сырья и отрезков досок (m^3) от диаметра бревна при его сложной ориентации перед раскромом и ширине пропилов первого и второго проходов 2,5 мм для длины: 1 – 4,0 метра; 2 – 5,5 метра; 3 – 6,4 метра; 4 – 7,6 метра



Рис. 7. Зависимость объема опилок (m^3), образующихся при производстве пиломатериалов в процессе переработки лесоматериалов при сложной их ориентации по поставу инструмента лесопильного станка, от диаметра и длины бревна, ширине пропилов первого и второго проходов 2,5 мм

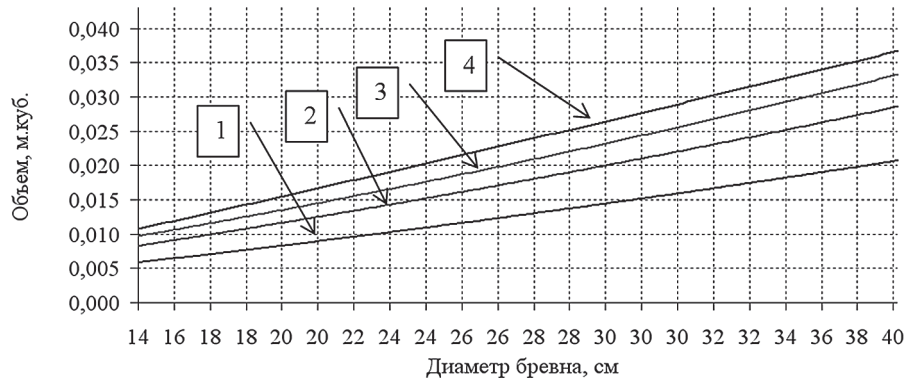


Рис. 8. Зависимость объема опилок (m^3) от диаметра и длины бревна при его сложной ориентации перед раскромом, ширине пропилов первого и второго проходов 2,5 мм и длине бревна: 1 – 4,0 метра; 2 – 5,5 метра; 3 – 6,4 метра; 4 – 7,6 метра

При сопоставимых условиях переработки бревен на пиломатериалы разность объемов опилок при осевой и сложной ориентации нелинейная.

С увеличением длины бревна (рис. 8) объем опилок при сложной ориентации увеличивается и превышает соответствующий объем при осевой. При переходе с осевой ориентации бревна на сложную с увеличением диаметра и длины лесоматериалов абсолютный объем образующихся опилок увеличивается. Сопоставление объемов опилок с общим объемом отходов, образующихся в результате раскроя лесоматериалов при брусово-развальном способе, показывает уменьшение их относительного объема.

В результате исследования состава отходов технологических процессов лесопиления:

- дано математическое описание размерных и объемных параметров горбыля, рейки, короткомерного сырья и отрезков досок, опилок, образующихся при производстве пиломатериалов стандартных размеров транспортной влажности в результате продольного раскроя пиловочного сырья различных размерных характеристик, способах ориентации бревен по поставу инструмента лесопильного станка по оси и образующей, формирования сечений и торцевания пилопродукции в зави-

симости от назначаемых поставов и типоразмеров пиломатериалов, ширин пропилов;

- при использовании предложенного алгоритма выполнен аналитический анализ и получены количественные оценки состава образующихся древесных отходов в абсолютном и относительном выражениях доли по каждому из видов к общему объему отходов и объему исходного сырья, показаны зависимости изменения их содержания от размерных характеристик перерабатываемого пиловочника, способа ориентации бревен перед раскромом, ширин пропилов, толщин бруса, толстых и тонких досок, стандартных ширин и длин пиломатериалов;

- получены формализованные описания изменения объемов образующихся горбыля, рейки, короткомерного сырья и отрезков досок, опилок и оценены тренды тенденций варьирования их объемов в зависимости от сетки размеров лесоматериалов и пиломатериалов, способа ориентации бревен перед раскромом, ширин пропилов, способствующие выработке принципов организации и конкретных приемов реализации технологических решений малоотходного производства пиломатериалов, уточнения нормативов образующихся вторичных ресурсов с целью эффективного их использования.

ОБРАЗОВАНИЕ И ОЦЕНКА ОБЪЕМОВ ОТХОДОВ В ЛЕСОПИЛЕНИИ

Л.В. АЛЕКСЕЕВА, доц. *Архангельского ГТУ, канд. техн. наук,*

А.Н. ДЕСНЕВ, *начальник отдела ГПН Ломоносовского округа г. Архангельска, ГУ МЧС РФ по Архангельской области*

aleks-l88@mail.ru

На основании анализа элементов структуры производственного процесса лесопиления установлено, что условия формирования отходов в технологических процессах производства пиломатериалов отличаются характеристиками перерабатываемого пиловочного сырья и вырабатываемой пилопродукции; включаемыми схемами производственных процессов и составом их операций; структурными схемами систем машин и техническими характеристиками применяемого

оборудования; производительностью технологического оборудования и производственной мощностью лесопильного потока.

В общем случае формирование сечений пиломатериалов осуществляли в результате продольного деления сортимента в заданных плоскостях, располагающихся под углом друг к другу и оси сортимента. Величина относительного смещения центров торцов бревна определяется разностью диаметров вершинного и комлевого торцов в

единицах длины по осям координат. Оценку объемов отходов, образующихся в процессе производства пиломатериалов, производили согласно матрице номинальных значений параметров исходного сырья и пилопродукции для осевого и сложного способов ориентации бревен. С этой целью обрабатывали результаты условного раскроя 7650 бревен, по 2550 для каждого варианта (таблица).

Объем древесных отходов (вариант 1) при сложной ориентации бревен перед раскроем и ширине пропилов 2,5 мм наименьший по отношению к сопоставимому из вариантов (вариант 2).

При исследовании зависимости объема древесных отходов от ширины пропила сравнивали данные раскроя пиловочного сырья по вариантам 2 и 3. Увеличение ширины пропила с 2,5 до 2,9 мм при осевом способе ориентации бревна перед раскроем влечет повышение объема древесных отходов в результате получения пиломатериалов. Изменение ширины пропила приводит к увеличению объема отходов до 5,7 %. Увеличение среднего значения объема отходов практически не зависит от длины бревна.

Изменение объема древесных отходов при осевом способе переработки лесоматериалов и ширине пропилов 2,5 мм от диаметра и длин бревна 4,0; 5,5; 6,7; 7,6 м приведено на рис. 1.

Относительное по отношению к объему пиловочника изменение объема отходов (%) имеет параболический характер (рис. 2). При переработке бревен диаметром 18–20 см в вершинном торце и указанных условиях объем отходов практически не изменяется и составляет 38 %. Соответствующие этому определены параметры постава.

Изменение объема древесных отходов при сложной ориентации лесоматериалов перед раскроем и ширине пропилов 2,5 мм от диаметра и длин бревна 4,0; 5,5; 6,7; 7,6 м приведено на рис. 3. Относительное по отношению к объему пиловочника изменение объема отходов (%) имеет параболический характер (рис. 4). При переработке бревен диаметром 26 см в вершинном торце и указанных условиях объем отходов практически не изменяется и составляет 32 %. Определены соответствующие этому параметры постава.

Т а б л и ц а

Характеристика вариантов

Наименование параметра	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Длина бревна, м	4–7,6	4–7,6	4–7,6
Градация изменения длин бревен и досок, м	0,3	0,3	0,3
Ширина пропила, мм	2,5	2,5	2,9
Ориентация бревна (относительное смещение центров торцов бревна)	Сложная ($x = 0,35; y = -0,35$)	Осевая ($x = 0,0; y = 0,0$)	Осевая ($x = 0,0; y = 0,0$)

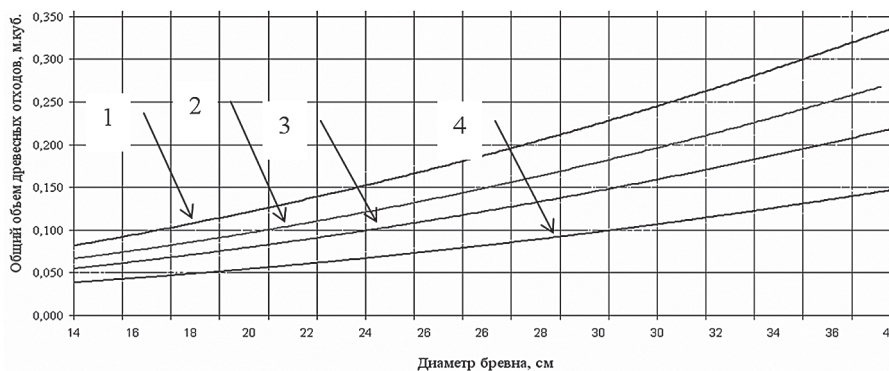


Рис. 1. Зависимость объема отходов, м³, при осевом способе раскроя лесоматериалов, ширине пропилов 2,5 мм от диаметра бревна в вершинном торце и длине: 1 – 4,0 м; 2 – 5,5 м; 3 – 6,4 м; 4 – 7,6 м

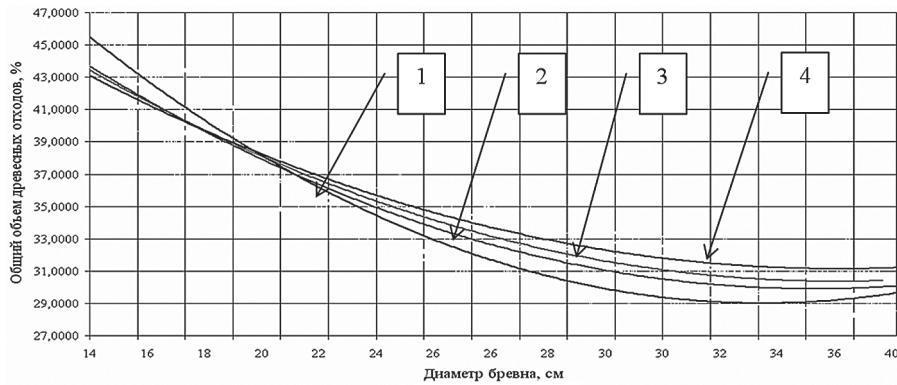


Рис. 2. Зависимость объема отходов, %, при осевом способе раскроя лесоматериалов, ширине пропилов 2,5 мм от диаметра бревна в вершинном торце и длине: 1 – 4,0 м; 2 – 5,5 м; 3 – 6,4 м; 4 – 7,6 м

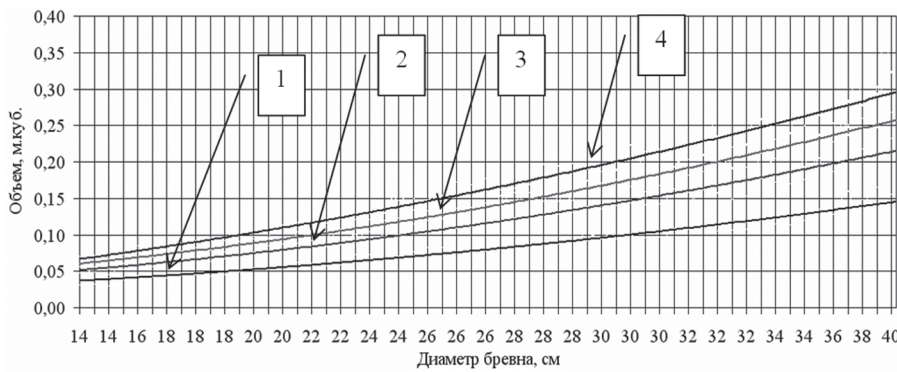


Рис. 3. Зависимость объема отходов, м³, при сложной ориентации лесоматериалов перед раскроем, ширине пропилов 2,5 мм от диаметра бревна в вершинном торце и длине: 1 – 4,0 м; 2 – 5,5 м; 3 – 6,4 м; 4 – 7,6 м

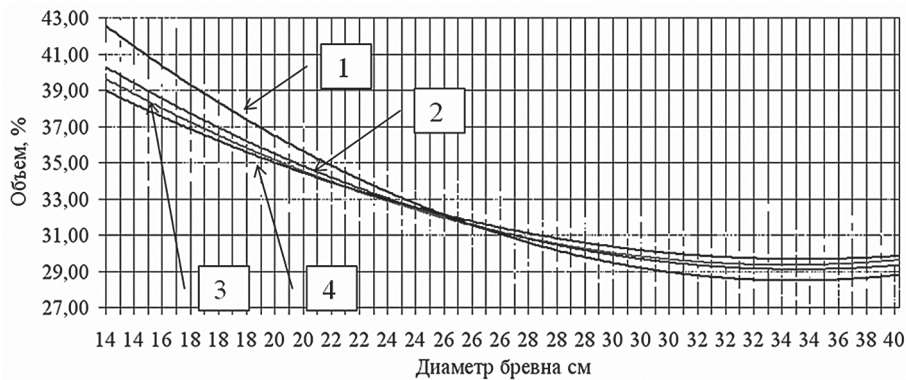


Рис. 4. Зависимость объема отходов, %, при сложной ориентации лесоматериалов перед раскроем, ширине пропилов 2,5 мм от диаметра бревна в вершинном торце и длине: 1 – 4,0 м; 2 – 5,5 м; 3 – 6,4 м; 4 – 7,6 м

Относительное изменение объема отходов (%) при сложном способе ориентации лесоматериалов перед раскроем, ширине пропилов 2,5 мм от длины и диаметров бревна в вершинном торце 14, 20, 26, 32, 36 см приведено на рис. 5.

В зависимости от диаметров торцов бревен, перерабатываемых при осевом спосо-

бе, ширине пропилов 2,9 мм для длин пиловочника 4,0; 5,5; 6,7; 7,6 м изменение объема древесных отходов приведено на рис. 6.

Изменение объема древесных отходов при осевой ориентации лесоматериалов перед раскроем, ширине пропилов 2,9 мм от диаметра и длин бревна 4,0; 5,5; 6,7; 7,6 м приведено на рис. 7.

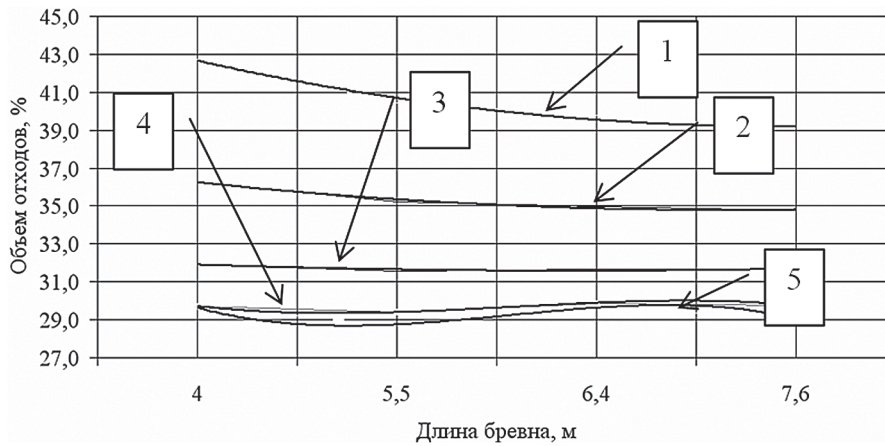


Рис. 5. Изменение объема отходов (%) при сложном способе ориентации лесоматериалов перед раскромом, ширине пропилов 2,5 мм от длины и диаметров бревна в вершинном торце: 1 – 14 см; 2 – 20 см; 3 – 26 см; 4 – 32 см; 5 – 36 см



Рис. 6. Изменение объема древесных отходов, (m^3), от диаметров торцов бревен, перерабатываемых при осевом способе, ширине пропилов 2,9 мм при длине пиловочника: 1 – 4,0 м; 2 – 5,5 м; 3 – 6,4 м; 4 – 7,6 м



Рис. 7. Изменение объема древесных отходов относительно объема пиловочника (%) при осевой ориентации лесоматериалов перед раскромом, ширине пропилов 2,9 мм от диаметра и длины бревна: 1 – 4,0 м; 2 – 5,5 м; 3 – 6,4 м; 4 – 7,6 м

На основании анализа элементов структуры производственного процесса лесопиления установлено, что условия формирования отходов в технологических процессах производства пиломатериалов характеризуются:

- характеристиками перерабатываемого пиловочного сырья и вырабатываемой пилопродукции;
- схемами производственных процессов и составом их операций;
- структурными схемами систем машин и техническими характеристиками применяемого оборудования;
- производительностью технологического оборудования и производственной мощностью лесопильного потока.

В соответствии со структурой производственного процесса лесопиления выделены основные группы параметров, определяющих

его состояние в любой момент времени: входные, управляющие, возмущающие, выходные.

С обоснованно выбранными параметрами процедур предложены принципы построения прогнозирующих процедур идентификации и оценки уровня отходов при производстве пиломатериалов, которые реализованы при получении формализованных описаний изменения объемов образующихся отходов и количественных оценок уровней горбыля, реек, торцовых отрезков досок, опилок в зависимости от характеристик пиловочного сырья, параметров вырабатываемой пилопродукции, способа ориентации бревен, ширины пропила.

Определены параметры поставок наиболее эффективных вариантов раскроя лесоматериалов, удовлетворяющих условиям минимизации отходов производства пиломатериалов.

БИОТОПЛИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ РОССИИ И ЕЕ ВОЗМОЖНОСТИ НА МИРОВОМ РЫНКЕ БИОТОПЛИВА

О.С. РАКИТОВА, *исп. директор Национального биоэнергетического союза, канд. экон. наук*

rakitova@newc.ru

Мировой экономический кризис, затронувший и Российскую Федерацию, вынуждает нас искать новые пути и меры по преодолению его последствий, вырабатывать новые стратегии модернизации национальной экономики с целью повышения конкурентоспособности на мировом рынке. Внутри страны также остро стоят вопросы энергосбережения. Решить эти проблемы можно за счет развития производства и использования биотоплива в России.

Россия – крупная энергетическая держава. Две трети нашего экспорта приходится на нефть и газ. Вместе с тем на мировых рынках спрос на энергоносители и сырье падает. Аналитики прогнозируют, что в 2009 г. из-за этого доля российского экспорта может уменьшиться на 40 %.

В странах Европы растет спрос на альтернативные виды энергии, в частности на биотопливо. К 2020 г. в Европейском Союзе уровень использования возобновляемых источников энергии, в частности биомассы,

должен достигнуть 20 % и впоследствии увеличиться до 25 %. На транспорте доля использования биотоплива должна быть равна 10 % к 2020 г. (The Renewable Energy Road Map [COM(2006) 848]). В Великобритании цели по использованию возобновляемой энергии тоже масштабные. К 2010 г. теплоэлектростанции Великобритании обязались использовать не менее 10,4 % возобновляемых источников энергии, а в 2015–2016 гг. доля ВИЭ должна составить уже 15,4 %. Далее будет установлена новая цель по использованию биотоплива и других возобновляемых источников энергии для 2027 г.

В России также определены цели энергетической (в частности электроэнергетической) политики в области возобновляемых источников энергии, которые обозначены в документе от 8 января 2009 г., утвержденного распоряжением Правительства Российской Федерации «Основные направления государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнер-

гетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2020 года». Здесь установлены целевые показатели объема производства и потребления электрической энергии с использованием возобновляемых источников энергии (кроме гидроэлектростанций установленной мощностью более 25 МВт) на период до 2020 г.:

- в 2010 г. – 1,5 процента;
- в 2015 г. – 2,5 процента;
- в 2020 г. – 4,5 процента.

Россия обладает крупнейшими в мире возобновляемыми запасами биомассы, пригодной для использования в энергетических целях. Наиболее технологичный вид твердого топлива, изготавливаемого из этой биомассы, топливные гранулы (пеллеты) и топливные брикеты.

Уже несколько лет в нашей стране развивается биотопливная промышленность: производятся топливные гранулы, брикеты, щепа. Сегодня совокупная номинальная мощность заводов по выпуску топливных гранул составляет более 1 200 000 т продукции в год. Увеличивается экспорт топливных гранул и брикетов в страны ЕС. Неудовлетворенный спрос на твердое биотопливо в Западной Европе также продолжает расти. Согласно исследованиям, в Европейском Союзе производится порядка 4 000 000 т древесных топливных гранул в год, потребляется более 6 000 000 т гранул. Объемы потребления постоянно растут.

В лесном секторе РФ общая масса отходов при сегодняшнем уровне развития ЛПК оценивается на уровне 20–30 млн т в год с энергосодержанием 15–20 млн т.у.т. В деревообработке – 32,5 млн т с энергосодержанием 16 млн т.у.т. Ежегодный прирост древесины на корню составляет 920–950 млн м³, из которых потребляется только 186 млн м³, то есть более 730 млн м³ древесины расходуется непроизводительно, с ущербом для экосистемы лесов (гниет, сгорает, переставивает). Вместе с тем при ее переработке можно было бы получить более 250 млн т биотоплива в виде гранул, брикетов, щепы. Энергосодержание 1 кг топливных гранул соответствует 0,5 л жидкого дизельного топлива. В идеале при ежегодном использовании всего прироста древесины можно было бы заменить более 100 млн т нефтяного топлива биотопли-

вом. Высвободившийся нефтяной ресурс можно было бы направить на экспорт или покрыть растущую потребность западного энергетического рынка биотопливом, сохранив использование нефти внутри страны.

Общая масса отходов агропромышленного комплекса составляет порядка 640 млн т в год с энергосодержанием 80 млн т.у.т. Только в Южном федеральном округе РФ ежегодно образуется 25 млн т соломы, из которых используется не более 10 млн т. Оставшаяся часть «запахивается» в землю, а из этого количества можно было бы получить не менее 12 млн т топливных гранул или другого биотоплива.

Значительная часть этих ресурсов может быть с успехом использована для выработки энергии и производства топлива, в том числе для поставки на экспорт. Причем, эту работу при эффективной поддержке со стороны государства можно в основном профинансировать за счет частных инвесторов.

С нашей точки зрения, в связи со снижением мирового, в частности европейского спроса, на ископаемые виды топлива и роста интереса к альтернативным видам топлива России необходимо занять значительную нишу в области биотоплива в Европе, тем самым заменить уменьшающуюся нефтегазовую долю биотопливной составляющей. Развитие экспорта твердого биотоплива должно только упрочить позиции России как мировой энергетической державы на мировой арене. Кроме того, расширение использования биомассы может существенно улучшить ситуацию с организацией тепло- и энергоснабжения потребителей внутри страны.

Серьезными конкурентами на европейском биотопливном рынке сегодня являются Канада, США, а также растущие рынки Южной Америки и Азиатского региона. Пока американцы доминируют в Европейском Союзе. Вместе с тем, Россия, находясь ближе к Европе, могла бы быстро занять еще имеющееся свободное место на рынке ЕС.

Сегодня в Северной Америке (США и Канада) производится порядка 3–4 млн т гранул, которые, в частности, экспортируются в Европу. Объемы производства растут. В США работает самый крупный завод в мире по производству гранул мощностью 500 тыс. т в год,

сейчас запускается второй завод. В Соединенных Штатах действуют правительственные программы поддержки по повышению интенсивности лесного хозяйства. Лесничие США оказывают помощь частным владельцам в вопросах многостороннего использования леса, используются прямые субсидии лесовладельцам, в частности, направленные на развитие биоэнергетики. Уровень субсидий на переработку неделовой древесины в США таков, что фактическая себестоимость производства топливных гранул на Восточном побережье страны (например в Северной Каролине) составляет всего 3 долл. против 40–50 долл. в России.

Европейский Союз также выделяет огромные средства в виде долгосрочных льготных кредитов на реализацию проектов в области производства биотоплива, а также строительство электростанций и ТЭЦ на биотопливе, особенно в странах Восточной Европы и Прибалтики. Евросоюзу эти мероприятия необходимы для того, чтобы выполнить принятые обязательства по уровню использования биомассы в энергетике (The Renewable Energy Road Map [COM(2006) 848]).

Китай приступил к реализации масштабной программы развития биотопливной промышленности, которая предполагает использование государственных средств и привлечение масштабных инвестиций из частного сектора. По данным китайской государственной организации по энергообеспечению, до 2020 г. Китай намеревается производить 50 млн т гранул в год. Ежегодно там будет строиться от 20 до 30 новых электростанций на биотопливе мощностью по 25 МВт. В Китае ориентируются на энергетическую древесину (специальные быстрорастущие посадки деревьев), которая будет обеспечивать 350 млн т древесного биотоплива ежегодно.

Сегодня биотопливная промышленность нашей страны фактически развивается без поддержки государства. Ее росту благоприятствует европейская конъюнктура рынка. Вместе с тем предприятия этой отрасли также сталкиваются с проявлениями кризиса. В частности, для многих затруднено привлечение кредитных средств, необходимых для приобретения оборудования, развития производства.

Другие сталкиваются с барьерами, затрудняющими приобретение удобных производственных площадок, получение сырьевой базы, организацию энергоснабжения вновь создаваемых заводов. Все это тормозит развитие отрасли, стратегически важной для российской экономики.

Развитие производства пеллет и брикетов в России, помимо экспортного потенциала имеет большое значение для энергетики внутри страны и способствует мероприятиям по энергосбережению. Уже сегодня гранулы, щепы и брикеты как эффективное, недорогое местное топливо с успехом замещают мазут, дизельное топливо и даже уголь при организации отопления жилья и гражданских объектов. А по мере роста внутренней цены природного газа биотопливо будет заменять и его. Это позволит высвободить дополнительные объемы голубого топлива для экспорта в страны ЕС, а также для химической промышленности, где оно используется с получением большей добавленной стоимости. Более того, при переводе энергетических установок с ископаемого топлива на биотопливо возможно получение и оформление Единиц Сокращений Выбросов (ЕСВ) с последующей продажей их на углеродном рынке Европы и мира, где они востребованы. Цена ЕСВ также растет. Работа в этом направлении позволяет России не только на словах, но и на деле включиться в работу по реализации механизмов Киотского Протокола.

Кроме того, развитие производства и использования биотоплива позволит снять социальную напряженность в отдаленных от крупных городов районах и улучшить экономическую и экологическую ситуацию в лесных и аграрных регионах России.

Библиографический список

1. «Основные направления государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2020 года», Москва, 2009.
2. The Renewable Energy Road Map [COM(2006) 848].
3. The marketing survey 2007–2009 “The wood pellet production in Russia, Belarus and Ukraine”, written by Olga Rakitova, Anton Ovsyanko, 2009.
4. Холодков, В.С. Биотопливо в Финляндии// Международная биоэнергетика, 4–2008.
5. The Bioenergy International, 2008–2009.

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ЦИКЛЕ ЛЕСОПИЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В.К. ЛЮБОВ, *проф. каф. промышленной теплоэнергетики Архангельского ГТУ, д-р техн. наук,*
В.В. ГОРЮНОВ, *асп. каф. промышленной теплоэнергетики Архангельского ГТУ*

vlubov@atknet.ru; vasek.goryunov@mail.ru

На предприятиях Архангельской области на протяжении многих лет успешно ведутся работы по обеспечению комплексного использования древесного сырья. Очередные крупные шаги в данном направлении были сделаны ЗАО «Лесозавод 25», где смонтированы и запущены в работу мини-ТЭЦ и цех по производству древесных гранул.

Мини-ТЭЦ, выполненная по проекту австрийской фирмы POLYTECHNIK Luft und Feuerungstechnik GmbH, оборудована двумя котлоагрегатами PRD-7500 номинальной паропроизводительностью 9,5 т/ч каждый, вырабатывающими перегретый пар давлением 2,4 МПа с температурой 420 °С (рис. 1). Для выработки электроэнергии и обеспечения потребностей предприятия в тепловой энергии установлена противоаварийная турбина мощностью 2,2 МВт. Мини-ТЭЦ имеет два склада топлива, оборудована автоматическими системами топливоподачи и системами управления всеми процессами технологической схемы.

В топочных камерах котлоагрегатов PRD-7500 реализована трехступенчатая схема сжигания. Для дополнительного повышения экологических показателей котла и жизненного цикла колосниковой решетки и обмуровки

смонтированы две линии рециркуляции дымовых газов. В одну из них с помощью дымососа рециркуляции направляются отработанные газы после воздухоподогревателя, а в другую – продукты сгорания из камеры очищенного газа золоуловителя. Топка оборудована наклонно-переталкивающей колосниковой решеткой, с позонным вводом первичного воздуха. Для увеличения времени пребывания дымовых газов в ней установлено два промежуточных свода. Температурный уровень обмуровки топочной камеры контролируется с помощью термоэлектрических датчиков, а высота слоя топлива на решетке с помощью четырех фотоэлектрических «барьеров».

Котлоагрегаты оборудованы двухходовыми дымогарными газодыяными теплообменниками, конвективными пароперегревателями с пароохладителями впрыскивающего типа, водяными экономайзерами, золоуловителями и рекуперативными трубчатыми воздухоподогревателями. Для поддержания требуемого уровня содержания котлы имеют непрерывные и периодические продувки. Очистка поверхностей нагрева котлоагрегатов от золовых отложений осуществляется с помощью пневмообдувки.

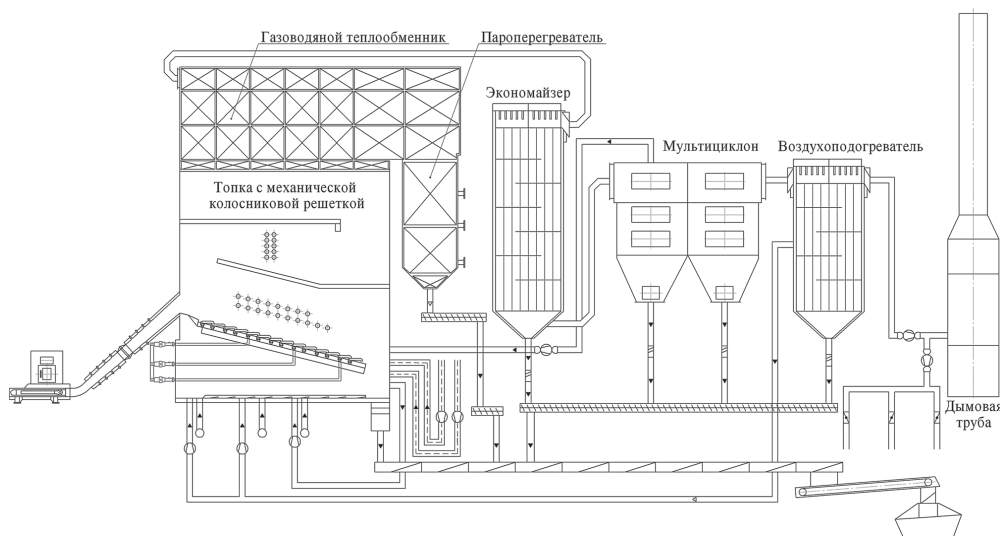


Рис. 1. Принципиальная схема котлоагрегата PRD-7500

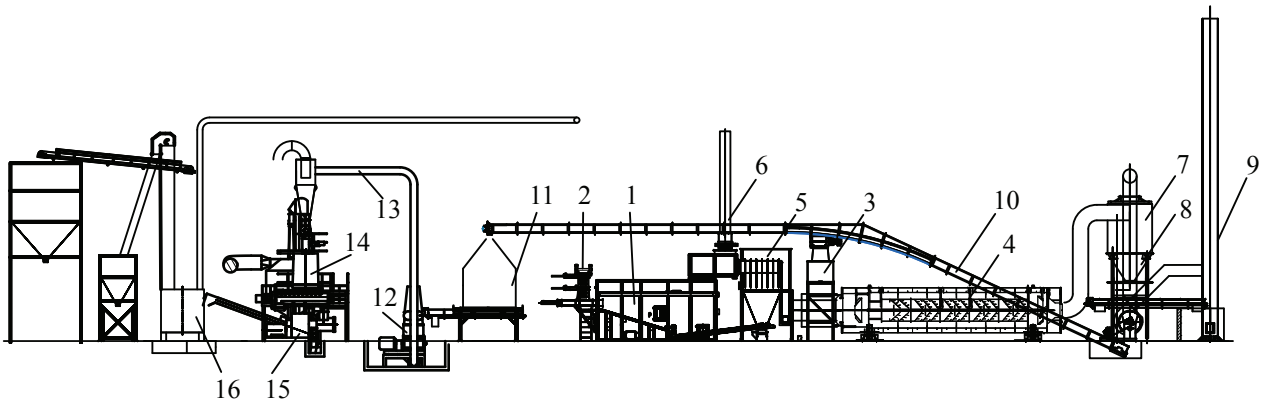


Рис. 2. Технологическая схема линии гранулирования: 1 – теплогенерирующая установка; 2 – приемный бункер теплогенератора; 3 – дозировочный бункер древесного сырья; 4 – барабанная сушилка; 5 – золоуловитель; 6 – дымовая труба; 7 – циклонный пылеуловитель; 8 – сборный бункер пылеуловителя; 9 – дымовая труба; 10 – продольный цепной конвейер; 11 – бункер сухого материала; 12 – мельница; 13 – система пневмотранспорта; 14 – приемный бункер пресс-гранулятора; 15 – пресс-гранулятор; 16 – устройство сортировки гранул

Для обеспечения полного использования отходов, образующихся в технологическом цикле предприятия, на лесозаводе были смонтированы и запущены в работу две линии (рис. 2) цеха по производству древесных гранул из отходов лесопильного производства, которые обеспечили выпуск гранул диаметром 8 мм. Цех оборудован складами топлива, исходного сырья и готовой продукции, имеет автоматическую систему управления процессами технологической схемы, большая часть электропривода имеет частотное регулирование.

На каждой из линий сушильный агент вырабатывается с помощью теплогенерирующих установок 1, работающих преимущественно на коре и оборудованных наклонно-переталкивающими решетками. В топках теплогенераторов реализована двухступенчатая схема сжигания. Для подготовки сушильного агента в смесительную камеру, расположенную за камерой догорания, подается воздух, прошедший по охлаждающей «рубашке» газохода перед барабанной сушилкой и «рубашке» золоуловителя теплогенератора. Сушильный агент после очистки в батарейном золоуловителе 5 поступает в смесительный участок перед одноходовой сушилкой барабанного типа, где подхватывает влажное сырье и транспортирует его в сушилку 4, длина которой составляет 12,6 м, а диаметр 2,8 м. Высушенное сырье отделяется от сушильного агента в циклонном пылеуловителе 7, отрабо-

танный сушильный агент дымососом направляется в индивидуальную трубу 9 высотой 24 м. Сухое сырье измельчается в молотковой мельнице 12. Древесная мука до поступления в пресс-гранулятор 15 с цилиндрической матрицей увлажняется паром, поступающим с мини-ТЭЦ. Готовые гранулы после охлаждающей установки проходят сортировку 16 и поступают на склад готовой продукции.

Для комплексной оценки эффективности работы установленного оборудования были проведены энергетические обследования мини-ТЭЦ и цеха по производству древесных гранул. Для повышения оперативности и точности обработки результатов энергетических обследований использовался программно-методический комплекс (ПМК), блок-схема которого представлена на рис. 3. ПМК реализован в виде комплекса компьютерных программ, способных работать как вместе, так и автономно, прошедших тестирование при проведении промышленных испытаний более 150 различных энергоустановок. ПМК позволяет определять технико-экономические и экологические показатели работы теплоэнергетического оборудования с учетом горения топлива, теплообмена, образования вредных веществ, оценивать надежность работы поверхностей нагрева и техническое состояние оборудования; анализировать работу газовых и воздушных трактов; обрабатывать результаты теплотехнического и гранулометрического анализов топлив и очаговых остатков.

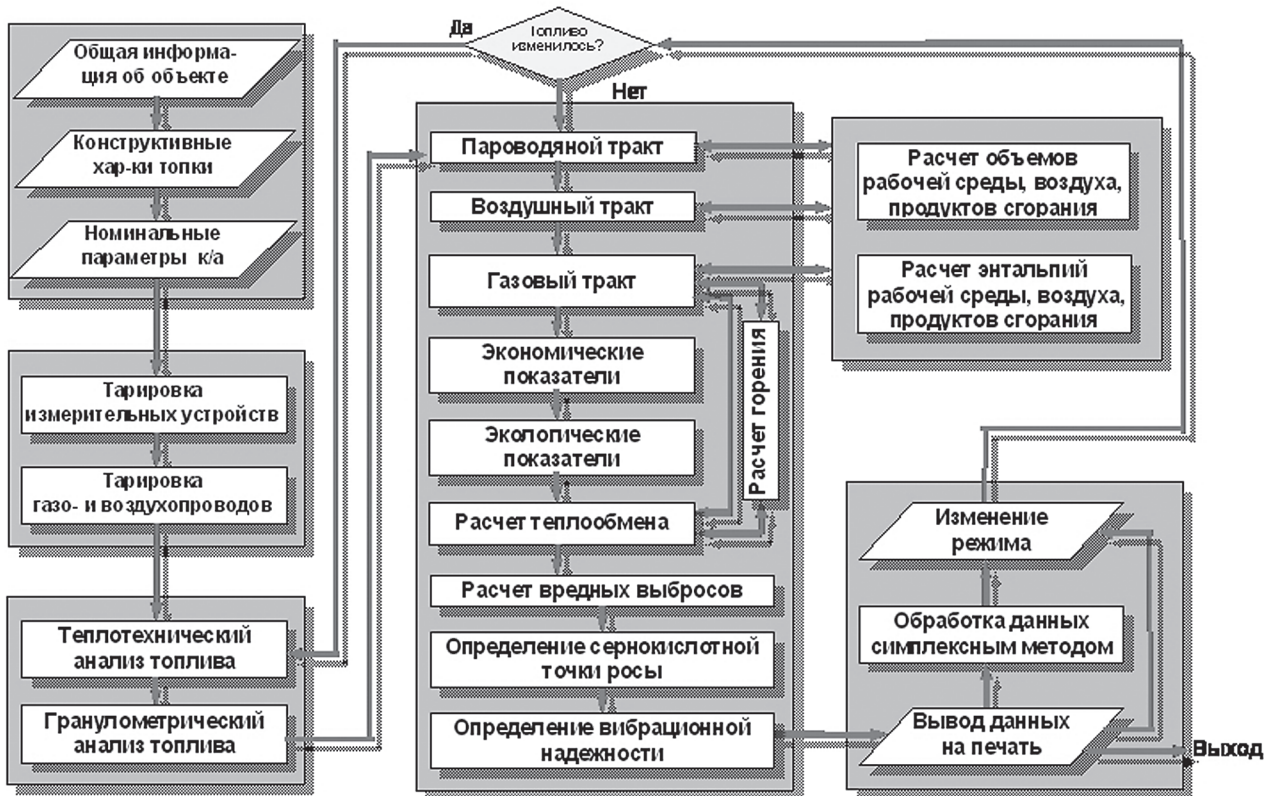


Рис. 3. Блок-схема программно-методического комплекса

Т а б л и ц а 1

Некоторые результаты энергообследования котлоагрегатов PRD-7500

Наименование величины	Обозначение, размерность	Котел №1		Котел №2	
		Опыт №10	Опыт №11	Опыт №13	Опыт №14
Паропроизводительность	$D_{п.п.}$, т/ч	5,9	7,4	4,3	6,1
Давление перегретого пара	$P_{п.п.}$, МПа	2,54	2,52	2,6	2,6
Температура перегретого пара	$t_{п.п.}$, °С	388	389	401	403
Давление питательной воды	$P_{п.в.}$, МПа	3,05	3,01	3,09	3,06
Температура питательной воды	$t_{п.в.}$, °С	103,3	103,3	101,1	101,3
Влажность топлива	W_i^r , %	59,66	59,66	59,66	59,66
Зольность топлива	A^r , %	2,18	2,18	2,18	2,18
Теплота сгорания	$Q_{i,s}^r$, МДж/кг	6,13	6,13	6,13	6,13
Температура первичного воздуха в 1 и 2/ в 3-ю зоны	$t_{1,2/3}$, °С	110/76	113/76	114/97	116/96
Температура газов до и после ВЭ	$\vartheta_{эк}^r/\vartheta_{эк}^n$, °С	267/163	267/163	270/176	272/180
Температура газов до и после ВП	$\vartheta_{вп}^r/\vartheta_{ух}^n$, °С	162/138	161/138	171/119	173/121
Избыток воздуха в уходящих газах	$\alpha_{ух}$	1,52	1,50	1,86	1,72
Потери теплоты:					
с уходящими газами	q_{2s} , %	9,77	9,69	9,29	9,01
с химнедожогом	q_{3s} , %	0,03	0,06	0,02	0,04
с мехнедожогом	q_{4s} , %	0,50	0,50	0,38	0,38
от наружного охлаждения	q_{5s} , %	2,3	1,84	3,10	2,19
КПД котла брутто	$\eta_{бр}$, %	87,24	87,75	87,04	88,22
Полный расход биотоплива	$V_{др}$, т/ч	3,047	3,802	2,255	3,161
Эмиссия CO	CO, мг/МДж	31	67	22	41
Эмиссия NO _x	NO _x , мг/МДж	201	208	235	240
Эмиссия твердых частиц	$\mathcal{E}_{тв.ч.}$, мг/МДж	53,5	52,7	54,1	52,8

Результаты энергетического обследования линий гранулирования

Наименование величины	Обозначение, размерность	Линия «А»		Линия «Б»	
		Опыт №1	Опыт №2	Опыт №5	Опыт №6
Производительность теплогенератора	Q , МВт	3,48	3,43	3,64	3,80
Влажность топлива	W_r^r , %	47,45	47,45	47,45	47,45
Зольность топлива	A^r , %	0,88	0,88	0,88	0,88
Низшая теплота сгорания топлива	$Q_{i,r}^r$, МДж/кг	9,11	9,11	9,11	9,11
Температура первичного и вторичного воздуха	$t_{в}$, °С	18	18	18	18
Температура газов на выходе из топки	$\vartheta_{т}$, °С	1187	1196	1160	1172
Потери теплоты: с химнедожогом	q_3 , %	0,69	0,80	0,40	0,93
с мехнедожогом	q_4 , %	0,23	0,23	0,23	0,23
от наружного охлаждения	q_5 , %	1,80	1,80	1,80	1,80
Полный расход биотоплива	B , т/ч	1,410	1,390	1,471	1,542
Эмиссия NO _x	NO _x , мг/МДж	723	754	777	815
Эмиссия CO	CO, мг/МДж	231	246	131	301
КПД брутто топки теплогенератора	$\eta_{бр}$, %	97,24	97,13	97,53	97,00
Температура газов перед сушилкой	$\vartheta_{суш}$, °С	551	523	533	543
Избыток воздуха в сушильном агенте	$\alpha_{суш}$	3,82	4,12	4,12	4,12
Количество сушильного агента на 1 кг сырья	q_1 , кг/кг	2,42	2,58	2,53	2,50
Соппротивление барабанной сушилки	$\Delta S_{суш}$, Па	390	440	500	470
Температура газов за сушилкой	ϑ_{yx} , °С	74	73	76	79
Избыток воздуха в газах за сушилкой	α_{yx}	4,16	4,52	4,29	4,29
Суммарные потери теплоты от наружного охлаждения установки	q_5 , %	2,61	2,62	2,54	2,43
Влажность сырья до и после сушилки	W_r^r , %	55,3/11,81		55,3/11,76	
Зольность сырья до и после сушилки	A^d , %	0,07/0,28		0,07/0,28	
Выход летучих веществ до и после сушилки	V^{daf} , %	84,87/84,34		84,87/84,2	
Теплота сгорания сырья до и после сушилки	$Q_{i,r}^r$, МДж/кг	7,11/16,46		7,11/16,47	
Соппротивление пылеуловителя	$\Delta S_{пы}$, кПа	1,51	1,49	1,62	1,64
Удельный расход услов. топлива на 1 т гранул	ν , кг у.т./т	135,6	136,4	135,9	137,4
Влажность древесных гранул	W_r^r , %	7,58			
Зольность гранул на сухую массу	A^d , %	0,39			
Выход летучих веществ на горючую массу	V^{daf} , %	83,53			
Кажущаяся плотность	ρ_k , г/см ³	1,237			
Низшая теплота сгорания гранул	$Q_{i,r}^r$, МДж/кг	17,52			

Выполненные исследования показали, что котлоагрегаты PRD-7500 способны развивать мощность до 9–9,5 МВт каждый, при этом турбоагрегат длительно обеспечивал нагрузку до 2,5 МВт. Реализация преимуществ комбинированной выработки тепловой и электрической энергии на основе использования древесных отходов позволила производить более дешевую тепловую и электрическую энергию (в 8–10 раз, чем получаемую от ОАО «АГК»), а также обеспечила значительное уменьшение загрязнения окружающей среды и зависимости предприятия от внешних источников энергии. Энергообследование показало, что конструкция котлоагрегатов и система автоматического регулирования режимов

их работы обеспечивают высокую полноту выгорания горючих компонент топлива, так концентрация монооксида углерода в уходящих газах составляла $K_{CO} = 38...186$ мг/нм³ (при $K_{O_2} = 6$ %), содержание горючих веществ в уносе не превышало $C_{ун}^r \leq 5,7$ %, а в шлаке $C_{шл}^r \leq 3,8$ %. Установка золоуловителей инерционного типа в газовых трактах котлоагрегатов до рекуперативных воздухоподогревателей не только обеспечила достаточно высокую степень очистки продуктов сгорания ($\psi_{3,y} = 88,6...90,2$ %), но и повысила эффективность и надежность работы воздухоподогревателей. Суммарное сопротивление котлоагрегатов при номинальной нагрузке не превышало 2,0 кПа.

КПД брутто котлоагрегатов PRD-7500 изменялся в диапазоне от 86,7 до 88,22 % (табл. 1) при нагрузках от 40 % до номинальной. Удельный расход условного топлива на выработку 1 ГДж составил 38,6–39,3 кг у.т./ГДж. Затраты электроэнергии на собственные нужды ТЭЦ при суммарной мощности котлоагрегатов 16–17 МВт и нагрузке турбоагрегата 2,2–2,4 МВт составили 330–350 кВт. Энергообследование показало, что установленные котлоагрегаты имеют резерв для дальнейшего снижения эмиссии оксидов азота, а также повышения КПД путем дополнительной настройки системы автоматического регулирования.

При проведении энергетического обследования цеха по производству древесных гранул в работе находились обе линии. Их суммарная производительность по гранулам изменялась в диапазоне 6,0–6,7 т/ч, а средний расход электроэнергии на производство гранул составлял 140 кВт·ч/т. В топке теплогенераторов подавались древесные отходы, в составе которых преобладала кора, доля которой составляла 60 %. Исходное сырье для производства гранул имело повышенную влажность $W_t = 55,3$ %, поэтому температура газов перед сушильными установками имела высокие значения $\vartheta_{\text{суш}} = 493...561$ °С (табл. 2), что вызывало частичную потерю летучих веществ наиболее мелкими фракциями древесины и создавало угрозу их воспламенения.

Концентрация оксида углерода в дымовых газах после теплогенераторов составляла 316...830 мг/нм³ (при $K_{O_2} = 6$ %), при этом потери теплоты с химическим недожогом топлива составили $q_3 = 0,40...1,45$ %, а КПД брутто теплогенераторов изменялся в диапазоне $\eta_{\text{топки}} = 96,5...97,5$ %. Суммарное сопротивление теплогенератора с элементами сушильного тракта в исследованном диапазоне нагрузок не превышало 2,7 кПа. Средняя скорость газа в барабанной сушилке составляла $W_r = 1,73...1,98$ м/с, а в газоходе после циклонного пылеотделителя – $W_r = 13,1...13,7$ м/с.

При проведении энергетического обследования была исследована также плотность газовых трактов теплогенераторов и сушильных установок, эффективность работы циклонных пылеуловителей и линии пневмотранспорта после мельницы. Удельный расход условного топлива на выработку 1 т гранул изменялся в диапазоне 135,6–140,2 кг у.т./т гранул. Повышенные значения эмиссий оксидов азота $\mathcal{E}_{\text{NOx}} = 708...815$ мг/МДж объясняются высокими избытками воздуха в топочных камерах теплогенераторов.

Исследования теплотехнических характеристик древесных гранул показали, что они соответствуют всем требованиям зарубежных стандартов. По результатам энергообследований разработаны рекомендации по дальнейшему повышению экологоэкономических показателей установленного оборудования и надежности его работы.

УНИВЕРСАЛЬНАЯ ТОПКА ДЛЯ СЖИГАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОТХОДОВ ДЕРЕВООБРАБОТКИ

Ю.В. ЯКОВЛЕВ, президент ООО «Союз», г. Ковров

georg@kc.ru

Утилизация всех видов древесных отходов, в том числе отходов, образующихся при производстве бумаги, картона, мебели, позволяет повышать рентабельность предприятия и его конкурентоспособность в сложные кризисные времена. Более 20 лет занимаясь этой проблемой, я пришел к выводу, что необходима универсальная топка, способная работать на отходах независимо от влажности, теплоты

сгорания, фракционности, зольности. Было пересмотрено множество проектов топок отечественного и зарубежного производства. На предприятии «Союз» создавались топки под сырые опилки, но сжигать в них кору или торф было невозможно из-за высокой зольности продукта. Аналогичная ситуация была и с другими сухими отходами или сухим торфом. Процесс горения хорошо начинал-

ся, но в результате осаждения золы затухал. К производству была рассмотрена наклонная переталкивающая решетка как основная конструкция колосника, применяющаяся в Западной Европе. Большая площадь колосникового полотна с элементами из жаропрочного чугуна определяет его высокую стоимость и высокие эксплуатационные затраты (из опыта эксплуатации, на номинальных режимах требуется ежегодная замена всего полотна). Применение на топках этого типа мокрого золоудаления затруднительно. Рассматривая производство сращивания клееного бруса, видим огромное количество вырезки сухого сучка. Дробление этого вырезка создает большие проблемы, и стоимость оборудования достаточно высока. Сжигание таких отходов доставляет сравнительные неудобства – ручное забрасывание в топку, ожог лица и глаз у операторов. Можно добавить еще, когда топливо берется из отвалов уличного хранения, зачастую попадают камень, металлолом, крупные бруски. Поэтому шнековые питатели, а также шнековые золоудалители в этом случае непригодны.

Современная топка для биотоплива должна работать на топливе разных влажности, фракционности, зольности и теплоты сгорания. Учитывая современное положение, топка на биотопливе должна быть полностью механизирована и наиболее автоматизирована, подстраиваться под разные виды топлива. Топка должна быть достаточно простой в настройке и надежной в эксплуатации.

Исходя из вышеизложенного, были проведены масштабные работы по исследованию и выбору типа и конструкции. Наиболее отвечающим изложенным требованиям стал проект вихревой полугазовой топки, успешно работающей на различных видах топлива. В основе её оперативный топливный склад, работающий на принципе гидравлических стокеров одинаково успешно на опилках, щепе, торфе, брикете, угле и прочих отходах. Транспортёр, передающий сырьё из склада в бункер питателя, должен быть обязательно с верхней питающей цепью, что исключает забивание цепи и позволяет подавать различные длинномерные отходы. Гидравлический толкатель топлива в топку позволяет

подавать различные куски до 300–400 мм длиной, а также легко регулировать производительность. Многоярусная система вихрей позволяет организовать высокоэффективное сжигание различных видов топлива, включая пластики.

Поперечно-струйный поток воздуха, работающий в верхней части топочного блока, в 10 раз снижает выброс золы в дальнейшие тракты котла. Переходной блок обеспечивает окончательный дожог углерода.

В топке применена схема беспровальных колосников, по поверхности которых возвратно-поступательно движется водоохлаждаемая шурующая планка. Применение указанной конструкции позволяет осуществлять вывод не только золы и шлака, но и других инородных предметов, попавших в топку с топливом. Имели место случаи, когда в зольном бункере находили крупные куски камня и металла весом до 5 кг. Работа шурующей планки автоматизирована. Планка работает по программе в зависимости от зольности топлива.

В зависимости от влажности топлива необходимо применение воздухонагревателя на влажных и экономайзера на сухих видах. Воздухоподогреватель обеспечивает устойчивое воспламенение газов в топке, тем самым снижает выбросы CO в атмосферу и повышает КПД.

Специалисты нашего предприятия проводили много замеров выбросов в атмосферу на топках импортного производства, например, на Демидовском фанерном комбинате, где установлена топка турецкого производства «Берсей». Измерение температуры в топочном блоке не предусмотрено, выбросы CO по газоанализатору составляют до 2450 мг/м³ при сжигании влажной щепы. И такие примеры не единичны.

В качестве положительного примера использования нашей топки можно привести результаты сжигания пластика с корой на Сухонском ЦБК. Измерения проведены Вологодской лабораторией Ростехнадзора. Выбросы CO в атмосферу составили в основном от 8 до 12 мг/м³ при 6 % содержании O₂, что говорит о высокой экологической безопасности конструкции при сжигании пластика.

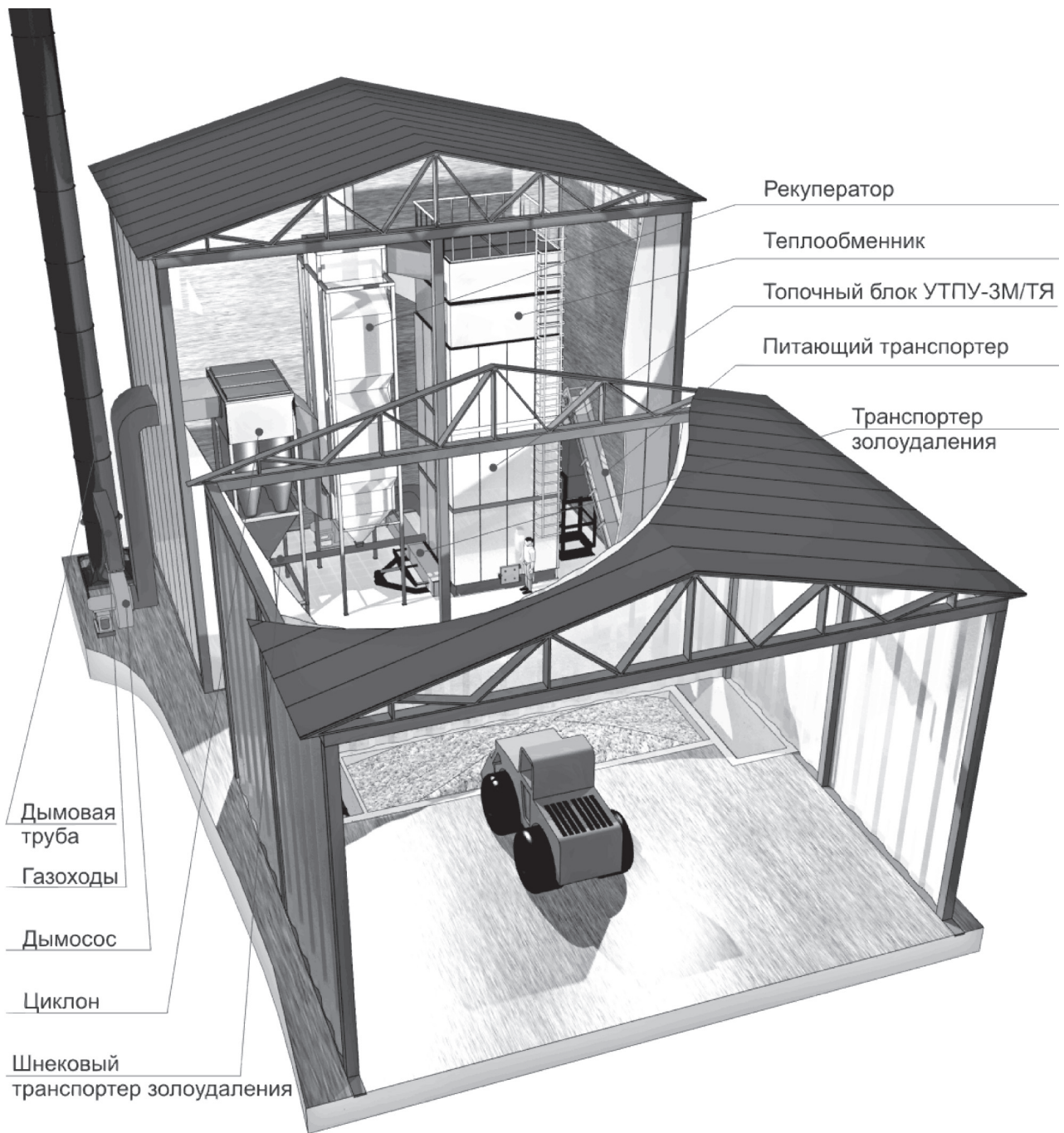


Рисунок. Компонировка оборудования котловой ячейки

Заводские ходовые испытания разработанные на предприятии топки завершены на возможных видах твердого топлива: кора сухой окорки, опилки, щепа, торф фрезерный, торф кусковой, торф брикетированный, брикет древесный, пеллеты, уголь сортовой, пластик.

Когда мы рассуждаем о переходе на альтернативные виды топлива, обязательно нужно сказать о логистике построения комплексов. Необходимо обеспечить высочайшую

надежность комплекса котельной. В нашей стране, где температура зимой доходит до -50°C , это важнейшее условие. За котельной стоят технология, отопление жилого сектора.

В котельной должно быть не менее двух самостоятельно работающих котловых ячеек, включающих оперативный топливный склад, подающий транспортер, котловое оборудование, зольный транспортер (на рисунке приведен пример компоновки оборудования котловой ячейки), а также автономный элек-

трогенератор, обеспечивающий работоспособность при отключении сети.

При принятии решения необходимо проводить тщательный анализ поставок топливных ресурсов. Зачастую принимают решение поставить котельную на биотопливе, а топлива нет или его транспортируют за 50 км и более. Транспортирование влажного биотоплива на большие расстояния приводит к резкому удорожанию стоимости вырабатываемого тепла, нередко превышающей стоимость при использовании каменного угля и мазута.

Необходимо сказать о состоянии котельных в жилищно-коммунальном хозяйстве – их износ составляет более 80 %. Зачастую работают котлы на угле с ручной подачей топлива в топку, и КПД таких котлов не превышает 30 %, в домах холодно, выбросы и тарифы высокие. При эксплуатации такого оборудования нарушаются абсолютно все

санитарные нормы промышленной безопасности. В зданиях котельных вентиляция отсутствует, выбиты стекла, двери, сквозняки, дышат кочегары сернистыми соединениями, что приводит к повышенной смертности этой группы рабочих. Использование лесного биотоплива в коммунальных котельных может заметно улучшить экономические и экологические их показатели.

Нужно отметить, что операторы котельных на биотопливе должны аттестовываться после получения обязательного минимума знаний, необходимых для организации правильной работы. В каждом регионе необходимо создание такого обучающего центра с программой как минимум на 40 часов.

При разумном отношении к ресурсам, которыми владеет Человек Земли, жизнь на планете будет приносить радость, люди будут согреты, воздух будет чистым, а окружающая нас природа красива.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НА ТОПЛИВОПОТРЕБЛЕНИЕ В РЕГИОНЕ ПЕРЕХОДА ОТ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ К АВТОНОМНОМУ

Р.В. ТРУШАКОВ, *асп. каф. ТМПУ МЭИ (ТУ) МГУЛ*

trushakovrw@yandex.ru

В настоящее время среди промышленных потребителей все чаще встает вопрос об отказе от централизованного энергоснабжения и переходе к индивидуальному (децентрализованному) энергообеспечению. Целесообразность такого перехода обычно обосновывается составлением бизнес-плана. При проектировании индивидуальных источников энергоснабжения не учитывается их влияние на общее топливопотребление региона.

Одним из способов повышения эффективности потребления топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) является использование вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) в качестве топлива.

На ряде промышленных предприятий встречается довольно большое количество неиспользуемых горючих ВЭР, которые часто не используются, а иногда попросту вы-

брасываются в атмосферу. Использование вторичных энергетических ресурсов в качестве топлива на энергогенерирующих объектах с частичным или полным замещением основного топлива дает не только хорошие предпосылки для повышения энергоэффективности использования ТЭР, но и приводит к снижению общего топливопотребления в регионе.

Целью данной работы было создание методологии определения влияния установки автономных источников и отказа от централизованного энергоснабжения промышленными предприятиями на общее топливопотребление региона.

Для решения выше обозначенной проблемы были выполнены следующие задачи:

- разработана математическая модель и алгоритм расчета топливопотребления региона; создан программный продукт;

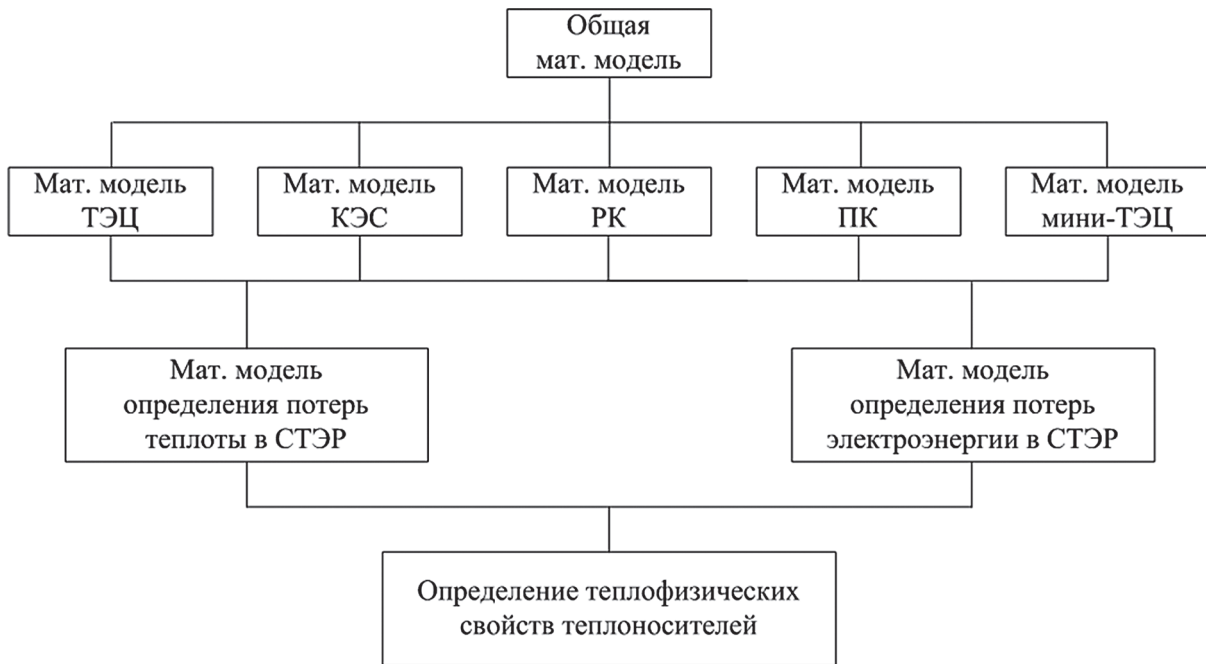


Рис. 1. Вид структурной схемы математической модели

– проведены расчеты по определению эффективности применения автономного источника теплоснабжения на промышленном предприятии при изменении основных факторов, влияющих на технико-экономические показатели региона в целом;

– проведен анализ полученных результатов.

Моделирование энергетической системы относится к комплексным задачам, а сами системы – к сложным. При моделировании сложных систем используются методы системного анализа [1].

Разработанная математическая модель имеет иерархическую структуру и состоит из нескольких подмоделей. Ее структурная схема представлена на рис. 1.

Верхний уровень иерархии математической модели – уравнения, определяющие общую потребность региона в топливе. Второй уровень иерархии – математические модели энергетических объектов: ТЭЦ, КЭС, районной котельной, производственной котельной, мини-ТЭЦ.

Эти модели описываются на основе полуэмпирических методов, в основу которых положены энергетические характеристики [2] основных генерирующих агрегатов.

В общем виде можно описать математическую модель ТЭЦ

$$B = f(N_{эл}, Q_{теп}, t_n), \quad (1)$$

где $N_{эл}$ – электрическая мощность, МВт;

$Q_{теп}$ – тепловая мощность, Гкал/ч;

t_n – температура наружного воздуха, °С.

На следующем уровне иерархии рассматриваются математические модели определения потерь в системе транспорта энергетических ресурсов (СТЭР):

– тепловой энергии при передаче ее в тепловых сетях;

– электрической энергии при передаче ее в электрических сетях.

СТЭР образует система тепловых и электрических сетей. В результате транспорта энергетических ресурсов по СТЭР появляются потери тепловой $Q_{пот}$ и электрической $N_{пот}$ энергий.

В основу этих моделей положены уравнения, приведенные в [3], [4].

На низшем уровне иерархии определяются теплофизические параметры энергоносителей. Исходными данными для расчетов являются заданные тепловая и электрическая нагрузки потребителей.

Выделяем два типа потребителей:

1) промышленный потребитель, для которого анализируется эффективность применения автономных источников энергоснабжения, потребляющего тепловую $Q_{потр}$ и электрическую $N_{потр}$ нагрузки;

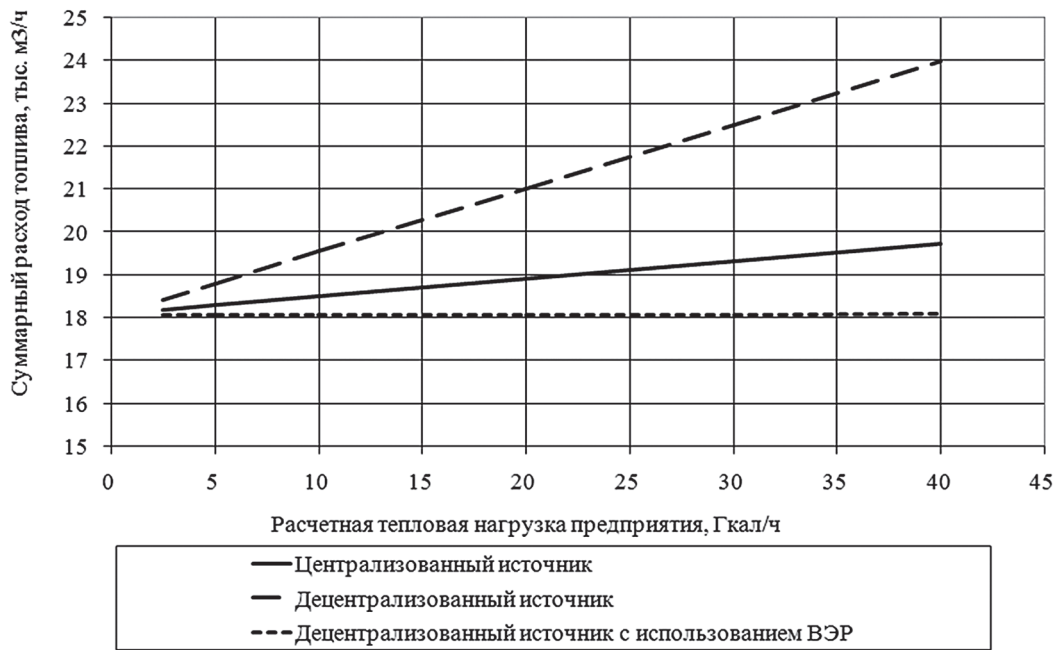


Рис. 2. Зависимость топливопотребления региона от изменения тепловой нагрузки промышленного потребителя

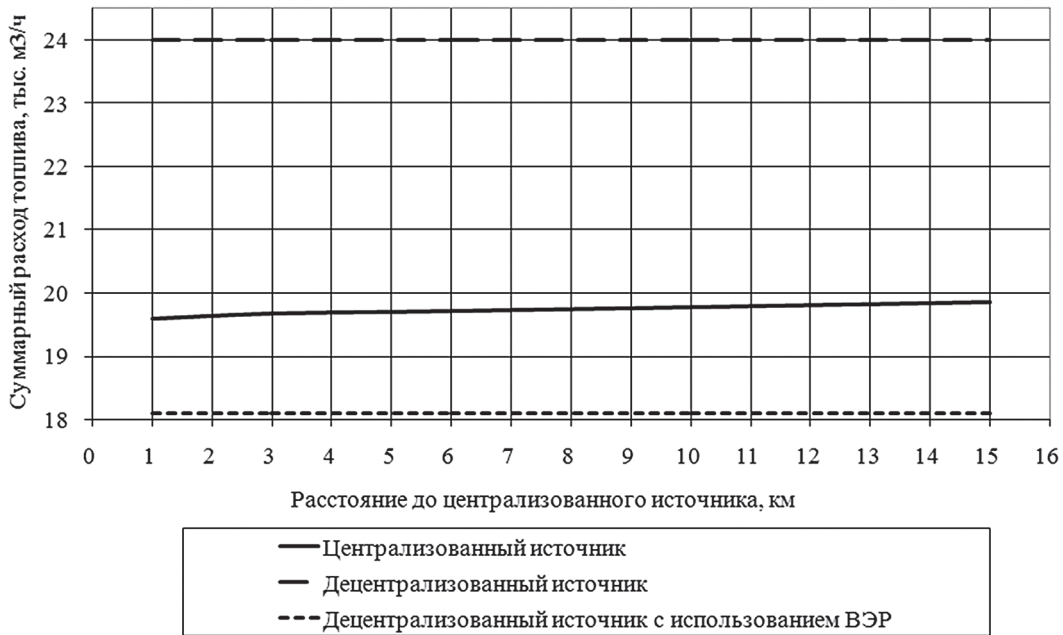


Рис. 3. Зависимость топливопотребления региона от изменения расстояния до централизованного источника

2) прочие потребители ТЭР, имеющиеся в регионе и оказывающие влияние на технико-экономические показатели централизованных источников энергоснабжения с энергопотреблением тепловой $Q_{\text{проч}}$ и электрической $N_{\text{проч}}$ нагрузок.

Математические модели энергетических источников описываются энергетическими характеристиками их основного оборудования. Топливная потребность энергетических источников зависит от общей тепловой и электрической нагрузок.

На технико-экономические показатели энергогенерирующих объектов и на СТЭР оказывают немалое влияние природные факторы.

К таким факторам относятся: климатический пояс региона, географическое расположение потребителей энергетических ресурсов относительно энергогенерирующих объектов, среднемесячное состояние температур наружного воздуха в течение года, продолжительность отопительного периода, климатический пояс и т.п.

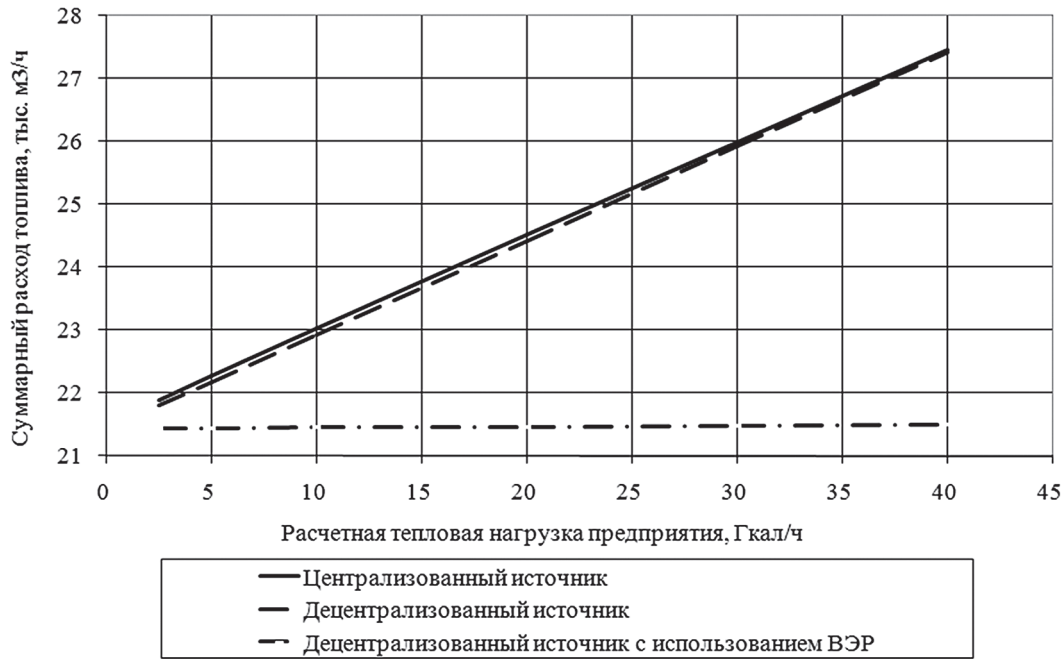


Рис. 4. Зависимость топливопотребления региона от изменения тепловой нагрузки промышленного потребителя

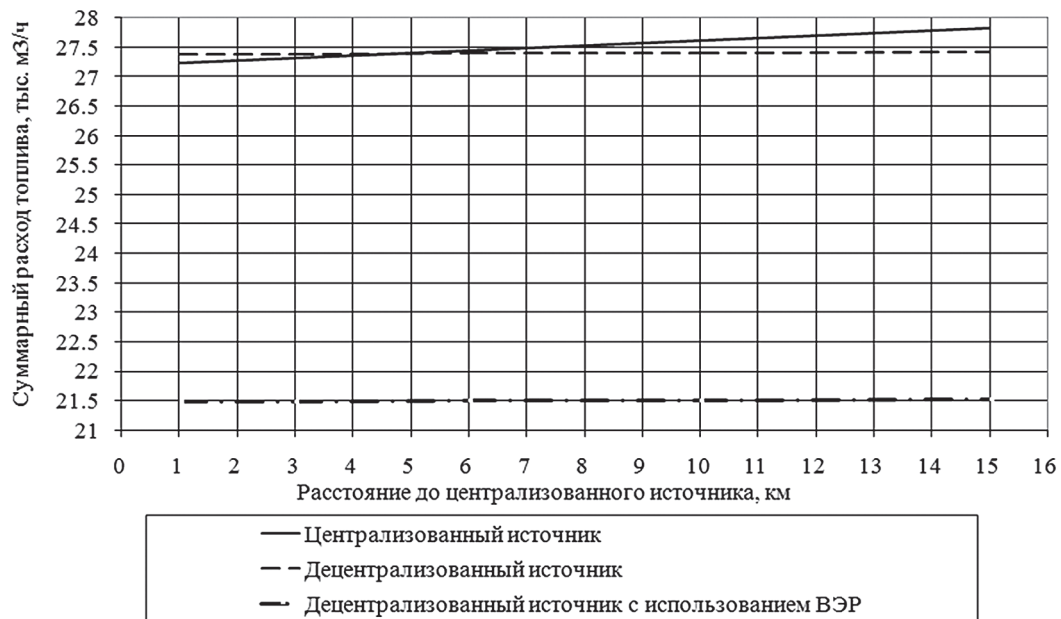


Рис. 5. Зависимость топливопотребления региона от изменения расстояния до централизованного источника

По разработанной математической модели был создан алгоритм расчета влияния установки автономных источников и отказа от централизованного энергоснабжения промышленными предприятиями на общее топливопотребление региона и реализован на языке программирования Delphi 7.0.

Для апробации математической модели были проведены расчеты целесообразности установки на промышленном предприятии собственной котельной при централизован-

ном энергоснабжении промышленного предприятия.

Расчеты проводились при следующих условиях.

Исследуемое промышленное предприятие находится в Тульской области. На централизованных энергогенерирующих источниках установлены турбоагрегаты типа Т-50, их энергетические характеристики известны. Тепловая и электрическая нагрузки прочих потребителей были приняты

равными соответственно $Q_{\text{проч}} = 40$ Гкал/ч и $N_{\text{проч}} = 40$ МВт.

Расчет топливопотребления региона проводился при среднегодовых значениях тепловой нагрузки промышленного потребителя в диапазоне 2,5...40 Гкал/ч, и другой расчет – при изменении расстояния до централизованного источника в диапазоне от 1000 до 15000 м.

Из результатов расчета, представленных на рис. 2, видно, что в рассматриваемых диапазонах для различных тепловых нагрузок промышленного потребителя, с учетом в качестве энергетических источников ТЭЦ и производственной котельной, ТЭЦ выгодна всегда.

Использование автономных источников теплоснабжения на промышленных предприятиях приводит к перерасходу топлива в регионе. Так, при изменении тепловой нагрузки промышленного потребителя на каждые 5 Гкал/ч общая потребность в топливе региона увеличивается на 0,7 тыс. м³/ч.

Такая же картина, представленная на рис. 3, при расчете того же варианта, но при изменении расстояния до централизованного источника. Однако следует отметить, что при изменении расстояния общая потребность в топливе региона при установке автономного источника теплоснабжения практически не изменяется.

Это верно при условии, что на обоих энергетических источниках используется один и тот же вид топлива.

Ситуация меняется при использовании ВЭР. Использование ВЭР на собственной котельной в качестве топлива приводит к существенному снижению расхода органического топлива в регионе в целом, что хорошо видно на рис. 2 и 3.

При рассмотрении в качестве энергетического источника КЭС, районной котельной и промышленной котельной получают следующие результаты, представленные на рис. 4 и 5.

При использовании на всех энергетических источниках одинакового органи-

ческого топлива централизованный способ энергообеспечения не всегда является энергетически обоснованным. Так, при некотором удалении предприятия от централизованного источника (здесь 5 км) использование собственного источника теплоснабжения является энергетически целесообразным. А меньше – нет. До 5 км (согласно условиям расчета) централизованное энергоснабжение промышленного предприятия является более целесообразным.

Если же в качестве топлива на собственном источнике теплоснабжения использовать не традиционное органическое топливо, а вторичные энергетические ресурсы, то потребность региона в органическом традиционном топливе значительно снижается, что хорошо видно на рис. 4 и 5.

В заключение можно сделать вывод.

Применение автономных источников энергоснабжения на промышленных предприятиях при отказе от централизованного энергоснабжения не всегда является эффективным с точки зрения минимального общего потребления топлива в регионе. Использование ВЭР делает энергетически обоснованным применение автономных энергетических установок на промышленных предприятиях всегда.

Библиографический список

1. Бусленко, В.Н. Автоматизация имитационного моделирования сложных систем / В.Н. Бусленко. – М.: Наука, 1977. – 240 с.
2. Рыжкин, В.Я. Тепловые электрические станции: учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. / В.Я. Рыжкин. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 328 с.
3. Методика определения нормативных значений показателей функционирования водяных тепловых сетей систем коммунального теплоснабжения. Утверждена приказом Госстроя России от 01.10.2001г., № 225.
4. Министерство промышленности и энергетики РФ. Приказ № 326 от 30 декабря 2008г. «Об организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по расчету и обоснованию нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям».

ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ БИОЭНЕРГЕТИКИ НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ В РОССИИ

Е.Н. ЩЕРБАКОВ, доц. проректор по УМО МГУЛ, канд. техн. наук,
С.П. КАРПАЧЕВ, проф. каф. транспорта леса МГУЛ, д-р техн. наук,
А.Н. КОМЯКОВ, доц. каф. транспорта леса МГУЛ, канд. техн. наук,
А.Н. СЛИНЧЕНКОВ, ст. преподаватель каф. ТОЛП МГУЛ

akomyakov@mail.ru

Перспективными энергоресурсами для лесных регионов являются энергоносители на основе древесного сырья – древесное биотопливо.

Для удаленных лесных регионов источником древесного топлива служит древесная биомасса, которая остается после лесозаготовок – лесосечные отходы и отходы от лесопереработки – опилки, кусковые отходы и пр.

Современная заготовка леса осуществляется машинами. Так называемая сортиментная заготовка леса включает операции отделения ствола дерева от сучьев и вершинки. В дело идет только ствол без вершинки. Остальная биомасса остается в лесу или попросту сжигается.

Использование биотоплива в России может помочь в решении проблем энергоснабжения малых городов и поселков, лесозаготовительных предприятий. В удаленных лесных районах введение новых технологических цепочек производства лесного сырья для биоэнергетики окажет положительное влияние на устойчивое развитие регионов.

Ориентация на использование порубочных остатков и отходов переработки древесины для получения тепла и электрической энергии способствует развитию малой энергетики и децентрализации тепло- и энергоснабжения на их основе. Это магистральное направление устойчивого развития теплоэнергетики во всем мире.

Древесное топливо – традиционный источник энергии. И сейчас оно получает «второе рождение» для промышленного использования благодаря ряду причин [14].

1. Экономические причины. Уголь или мазут необходимо доставить до потребителя зачастую за тысячи километров. Древесина же произрастает вблизи. Биотопливо – быс-

тро возобновляемый источник энергии. Цена на топливную щепу постоянно растет и в настоящее время составляет 400–600 руб. за плотный куб. м на складе производителя.

2. Экологические причины. Россия присоединилась к Киотскому соглашению по сокращению выбросов парниковых газов. При использовании биотоплива как возобновляемого источника энергии выбросы парниковых газов считаются нулевыми.

3. Социальный фактор. Биоэнергетика создает новые рабочие места. Как показывает опыт скандинавских стран, высокомеханизированное производство древесного топлива дает 120 рабочих мест на каждый ТВт-час биоэнергии. На механизированное производство – 400 рабочих мест. Рост рабочих мест в биоэнергетике приводит к созданию новых рабочих мест в других отраслях.

Таким образом, развитие энергетики на основе древесного топлива из леса – путь устойчивого развития удаленных лесных регионов России, который обеспечивает экономическое развитие, социальное благополучие и экологическую безопасность этих регионов.

Несмотря на огромные запасы лесных ресурсов и все преимущества древесного топлива, его доля в энергетике России менее 1 %. В развитых европейских странах эта цифра доходит до 30 %. Одна из главных причин – слаборазвитая сеть лесных дорог. Вследствие этого в Российской Федерации западные технологии не всегда эффективны.

Наличие эффективных технологий является главным условием для реализации биоэнергетических проектов. Наибольших успехов в разработке таких технологий достигли скандинавские страны, такие как Швеция и Финляндия [1].

1. Технологические процессы в лесу.

2. Транспорт древесного сырья – большегрузные специальные автопоезда грузоподъемностью 40 – 60 тонн.

3. Технологические процессы у потребителя.



Рис. 1. Технология производства щепы на верхнем складе

В зависимости от того, где производится щепа, все технологии можно классифицировать на три группы:

1. Технологии с производством щепы у пня (на лесосеке).
2. Технологии с производством щепы в месте примыкания к лесовозной дороге (на верхнем или нижнем складе).
3. Технологии с производством щепы у потребителя.

Все существующие технологии обязательно включают транспортную фазу. Транспортная фаза технологических процессов

освоения биомассы из леса – важнейшая. Биомасса может транспортироваться в различной форме. Наиболее часто биомасса из леса перерабатывается в топливную щепу и в таком виде доставляется автотранспортом потребителям. Для этого используют большегрузные специальные автопоезда – щеповозы грузоподъемностью 40–60 т, для которых требуются дороги с твердым покрытием.

Пример технологии производства щепы на верхнем складе с дальнейшей транспортировкой ее автощеповозами потребителям представлен на рис. 1.

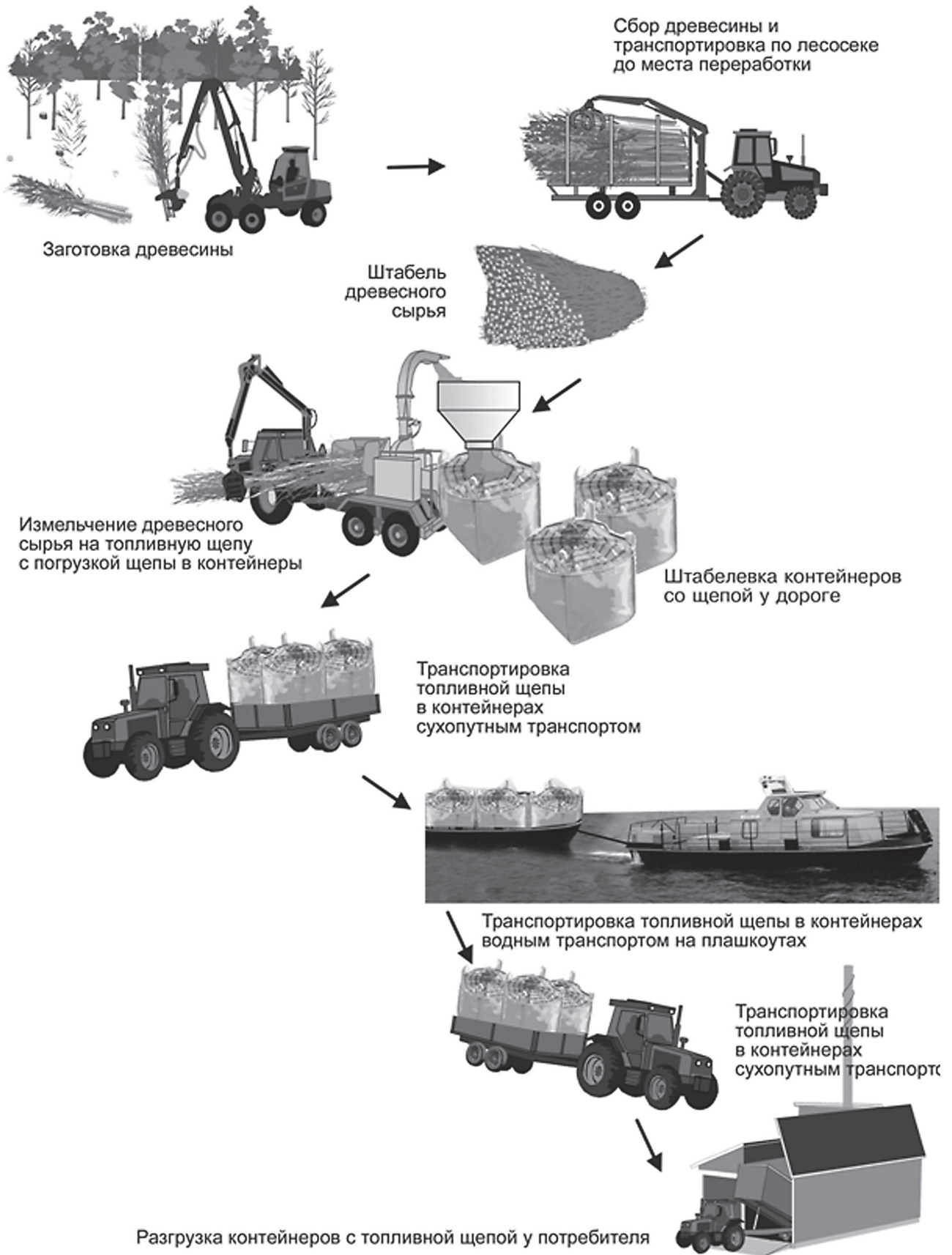


Рис. 2. Схема производства щепы на погрузочном пункте в лесу и транспорта топливной щепы в мягких контейнерах в смешанных сухопутно-водных перевозках

В Российской Федерации острая нехватка автомобильных дорог, особенно в лесной зоне. По протяженности лесовозных дорог Россия значительно отстает от зарубежных стран: на 1000 га леса в России приходится всего 1,2 км лесных дорог, а в Финляндии – 40 км, в Германии – 43, Швеции – 11. Из общего числа лесовозных дорог в Российской Федерации дорог с твердым покрытием, то есть гравийным, асфальтовым, железобетонным, всего 180 тыс. км – 0,16 км на 1000 га [3].

Водные пути помогают решать проблему нехватки автодорог. В России к внутренним водным путям тяготеет около 14 млрд м³ лесосырьевых ресурсов.

Для водного транспорта древесного биотоплива в виде топливной щепы, пеллет и подобных сыпучих древесных материалов могут быть применены мягкие плавучие контейнеры, например, конструкции МГУЛ (МЛТИ) [4]. На судоходных реках возможна организация судовых перевозок топливной щепы в контейнерах на баржах и плашкоутах. На несудоходных и временно судоходных реках – сплавом за тягой буксирных судов и катеров.

Мягкие плавучие контейнеры обладают рядом ценных качеств:

- снижение затрат на погрузочно-разгрузочных операциях;
- возможность эксплуатации в условиях мелководья и несудоходных рек;
- возможность эксплуатации в условиях необорудованных причалов;
- дешевизна материала оболочки контейнера;
- высокая прочность материала оболочки контейнера и малый вес порожнего контейнера.

Одна из возможных схем транспорта топливной щепы в мягких контейнерах в смешанных сухопутно-водных перевозках представлена на рис. 2.

Особенность данной схемы:

- переработка древесной массы на топливную щепу рубительной машиной и погрузка щепы в контейнеры через промежуточный бункер;
- смешанные сухопутно-водные перевозки контейнеров с топливной щепой;

– водный транспорт топливной щепы в контейнерах.

В предложенной технологии определяющей машиной операций в лесу является рубительная машина. Она не должна простаивать. Простой рубительной машины возможны из-за потери времени на установку контейнеров под загрузку и их упаковку после загрузки. Для исключения простоев между рубительной машиной и контейнером установлен бункер щепы.

Исследованию работы рубительной машины совместно с бункером щепы был посвящен следующий этап исследований.

Библиографический список

1. Карпачев, С.П. Некоторые вопросы технологии освоения и водного транспорта биоресурсов из леса для биоэнергетики / С.П. Карпачев // Ученые записки РГСУ. Экологическая безопасность и природопользование. – 2009. – № 5. – С. 130–138.
2. Dr. Lauri Sikanen. Forest Energy in Finland. Finish Forest Research Institute “METLA”. 2003г.
3. <http://www.lesnoyexpert.ru/index.php?p=article&id=view&n=19&a=1>
4. Карпачев, С.П. Транспорт технологической щепы по воде в мягких контейнерах: дисс. ... канд. техн. наук / С.П. Карпачев. – М.: МЛТИ, 1985. – 249 с.
5. Action plan for renewable energy sources. Publications 1/2000. Ministry of Trade and Industry. 2000.
6. Energy for the future: Renewable sources of energy. White paper for a community strategy and action plan. Communication from the Commission. COM (97) 599. 1977.
7. Energy statistics 2002. Statistics Finland. 2003.
8. Finnish statistical yearbook of forestry 2002. Finnish Forest Research Institute. SVT agriculture, forestry and fishery 2002, p. 45.
9. Hakkila P. Developing technology for large-scale production of forest chips. Wood Energy Technology Programme 1999-2003. Technology Programme Report 5/2003. Tekes.
10. Ylitalo E. Puupolttoaineen kaytto energiantuotannossa. SVT agriculture, forestry and fishery 2001, p. 52.
11. Hakkila P. Factors driving the development of forest energy in Finland. IEA/Task 31, 2003. Flagstaff.
12. Концепция развития лесного хозяйства Российской Федерации на 2003–2010 годы (внесенные изменения).
13. <http://www.rosleshoz.gov.ru/agency/strategy/0>
14. Суханов, В.С. Перспективы использования древесных отходов и дровяной древесины для выработки тепловой и электрической энергии / В.С. Суханов // Леспроектинновации. – 2005. – № 3 (5).
15. <http://www.topgran.ru/info/>
16. <http://www.lesnoyexpert.ru/index.php?p=article&id=view&n=19&a=1>.

ЖИДКОЕ БИОТОПЛИВО ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО И ЖИВОТНОГО СЫРЬЯ. ТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Д.Г. ГОРОХОВ, *асп. каф. химии и биотехнологии МГУЛ*

М.И. БАБУРИНА, *ГНУ ВНИИМП им. В.М.Горбатова РАСХН, канд. биол. наук,*

А.Н. ИВАНКИН, *проф. каф. химии и биотехнологии МГУЛ, д-р. хим. наук,*

О.П. ПРОШИНА, *доц. каф. химии и биотехнологии МГУЛ, канд. хим. наук*

aivankin@mgul.ac.ru; aivankin@inbox.ru

Возрастающее загрязнение окружающей среды, ухудшение экологической обстановки из-за повышенного потребления энергии из минерального сырья вместе с быстрым истощением ископаемых ресурсов и высокие цены на них привели ученых к поиску альтернативных видов топлива, получаемых из возобновляемых источников. Наиболее приоритетными видами жидкого биотоплива являются биодизель и биоэтанол. Биодизель представляет собой смесь моноалкиловых эфиров природных жирных кислот, обладающих свойствами горючего материала и получаемых в результате алкоголиза жиров животного или растительного происхождения, которые в огромном количестве скапливаются на предприятиях мясной или маслоперерабатывающей промышленности. Биоэтанол – этанол, который представляет собой обезвоженный этиловый спирт максимальной крепости (99,5°). Биоэтанол получают переработкой любого растительного сырья с высоким содержанием крахмала или целлюлозы. Один из наиболее распространенных способов производства – брожение. Топливный этанол не предназначен для пищевых целей, так как он не только хуже очищен от альдегидов и сивушных масел, но и денатурирован бензином.

Биоэтанол как энергоноситель ничем не отличается от гидролизного или синтетического этанола, но его производители и потребители, например в странах Евросоюза, имеют большие предпочтения. Это объясняется стремлением не только решить проблему расширения топливной базы, но и стимулировать собственного сельскохозяйственного производителя.

По свойствам биоэтанол заметно отличается от бензина: он обладает высоким октановым числом (104–108 условных

единиц), но меньшей теплотой сгорания (23,5 МДж/кг, у бензина – 44 МДж/кг). В качестве автомобильного топлива биоэтанол применяется как в чистом виде, так и в смеси с бензином. В зависимости от содержания спирта топливные смеси обозначаются Е5, Е10, Е85 и т.д. (где Е – от англ. ethanol, а цифры указывают объемную долю спирта в процентах). Агрессивность к резинотехническим деталям и гигроскопичность (ею особенно характеризуются смеси с низким содержанием спирта) ограничивают применение биобензинов в стандартном двигателе внутреннего сгорания.

Важнейшее достоинство биотоплива – замена продуктов нефтепереработки на природное возобновляемое сырье. Поэтому наибольшее внимание этой проблеме уделяется в странах, бедных нефтью, но располагающих богатыми растительными ресурсами.

Несмотря на то, что в России биотопливо практически не используется, возможность организации его производства с целью применения на транспорте или для экспорта рассматривается в нашей стране на разных уровнях.

Биодизельное топливо обладает рядом несомненных преимуществ:

- высокое цетановое число 56–58 %, против 50–52 % у минерального дизтоплива;
- использование возобновляемого сырья;

- хорошие смазочные характеристики, что увеличивает срок службы двигателя. При работе двигателя на биодизеле одновременно производится смазка его подвижных частей, в результате которой достигается увеличение срока службы самого двигателя и топливного насоса в среднем на 60 %;

- при сгорании биодизеля выделяется ровно такое же количество углекислого газа,

которое было потреблено из атмосферы растением, являющимся исходным сырьем для производства масла, за весь период его жизни. Цикл получается замкнутым;

- высокая температура воспламенения. Точка воспламенения для биодизеля превышает 150 °С, что делает биогорючее сравнительно безопасным веществом;

- побочный продукт производства глицерин является дополнительным полезным продуктом, находящим широкое применение в промышленности;

- по сравнению с минеральным аналогом почти не содержит серы (< 0,001 %, минеральный – < 0,2 %) [1].

Биоэтанол как топливо нейтрален в качестве источника парниковых газов. Он обладает нулевым балансом диоксида углерода, поскольку при его производстве путем брожения и последующем сгорании выделяется столько же CO₂, сколько до этого было связано из атмосферы использованными для его производства растениями. Содержащийся в этаноле кислород позволяет более полно сжигать углеводороды топлива. 10 %-ное содержание этанола в бензине позволяет сократить выхлопы аэрозольных частиц до 50 %, выбросы CO – на 30 %. В 2006 г. применение этанола в США позволило сократить выбросы около 8 млн тонн парниковых газов (в CO₂ эквиваленте), что примерно равно годовым выхлопам 1,2 млн автомобилей.

Наиболее распространенным биотопливом сегодня является так называемый рапсметиловый эфир (РМЭ), который в заметном количестве используется в Швеции, Германии, Франции и других странах Европы. Его можно добавлять к дизельному топливу в концентрации до 30 % без дополнительной регулировки двигателя. В западноевропейских странах принято решение об обязательной добавке 5 % РМЭ в дизельное топливо, но кое-где (например в Швеции) его используют непосредственно. Испытания РМЭ и его добавок к дизельному топливу в США и Европе показали, что при его использовании снижается эмиссия углеводородов и оксида углерода, а интенсивность образования оксидов азота остается без изменения. Было отмечено некоторое увеличение выбросов озонаобразующих компонентов (ароматических углеводородов, олефинов и альдегидов). Поэтому двигатели, работающие на биотопливе, должны быть оборудованы каталитическими нейтрализаторами. Наблюдается также увеличение образования твердых частиц, но при этом их характер иной, чем при работе на дизельном топливе. Собственно сажи содержат немного твердых углеродных частиц, их основная часть состоит из растворимых органических соединений, представляющих собой главным образом несгоревшие частицы биотоплива. Исследование мутагенной активности твердых частиц показало, что она ниже, чем у твердых частиц, образующихся при сгорании дизельного топлива.

Примечательно, что в присутствии моноалкиловых эфиров растительных кислот улучшаются свойства малосернистых экологически чистых дизельных топлив. Это очень важное обстоятельство, поскольку снижение содержания серы в топливе в общем случае приводит к потере его смазывающих свойств.

Недостатки и достоинства биодизельных топлив обобщены в табл. 1.

Можно выделить следующие преимущества биоэтанола перед нефтью:

- является экологически чистым продуктом, не загрязняет окружающую среду, а также при его сгорании отсутствует нагревание атмосферы (т.е. исключается возникновение парникового эффекта);

- нефть – исчерпаемый, а биоэтанол – возобновляемый ресурс;

- производство биоэтанола – безотходное;

- растительным топливом можно замещать экологически вредные добавки в бензин, при этом добавление одной части этанола в бензин ведет к экономии трех частей нефти.

Существует несколько недостатков биоэтанола:

- спирт расслаивается при низких температурах (что не вполне подходит для нашего северного климата);

- технические недостатки биоэтанола – в 1 литре содержится на треть меньше энергии, чем в 1 литре бензина.

Преимущество биодизельного топлива

Достоинства	Недостатки
Расширение топливных ресурсов	Пониженная теплотворная способность
Использование возобновляемого сырья	Высокая температура застывания
Хорошие смазочные свойства	Повышенная вязкость
Хорошие моющие свойства Нетоксичность	Высокие моющие свойства, вызывающие «проблему чистых резервуаров»
Высокая температура вспышки	Сравнительно высокая стоимость
Эффект экономического мультипликатора: развитие сельскохозяйственной и смежных отраслей	

– повышенные выбросы альдегидов и испарение углеводородных соединений. Содержание альдегидов растёт с увеличением концентрации спиртов в топливной смеси. Для метанола характерны выбросы формальдегида, в то время как при сгорании этанола образуется преимущественно ацетальдегид.

Производство и потребление биодизеля в Европе и США имеет правительственную поддержку через ряд принятых стратегических решений. Система регулирования производства биотоплива развивалась в течение последних лет. В 2003 г. была принята директива, устанавливающая цели замещения жидкого топлива биотопливом – 2 % к 2005 г. и 5,75 % к 2010 г. Другой документ создает основу налогообложения на биотопливо: оно должно полностью или частично освободиться от налогов в целях обеспечения его конкурентоспособной цены.

Мировое производство биоэтанола в 2005 г. составило 36,3 млрд литров, из которых 45 % пришлось на Бразилию и 44,7 % – на США. Этанол в Бразилии производится преимущественно из сахарного тростника, а в США из кукурузы, в нашей стране осуществлялся выпуск гидролизного спирта из отходов древесины. Производство этанола из тростника на сегодняшний день экономически более выгодно, чем из кукурузы и тем более из древесного сырья, хотя индустрия биотоплива существует во многом благодаря государственным субсидиям. США в 2005 г. приняли план, предусматривающий к 2025 г. замену 75 % импорта нефти биотопливом и увеличение производства биоэтанола в 10 раз.

В январе 2007 г. ЕС были объявлены стратегические цели по обеспечению энер-

гетической безопасности и приоритеты экологической политики, ориентированные до 2020 г. на необходимость снижения выброса парниковых газов на 20 %, доведение доли альтернативных источников в энергетическом балансе до 20 % и достижения 10 %-ной доли биотоплива в транспортной структуре топливного баланса.

В США на сегодняшний день работают около двухсот биодизельных заводов, потенциал которых оценивается в 10 млн литров в год. Коммерческие производители биодизельного топлива все чаще рассматривают технологии «второго поколения», сырьем которых являются масла яatroфа и водоросли, масложировые отходы пищевой промышленности. Эти потенциальные источники топлива обладают более низкой стоимостью и существуют вне вопроса «топливо против продовольствия» [2].

В России не существует единой государственной программы развития биодизельного топлива, но создаются региональные программы, например Алтайская краевая целевая программа «Рапс – биодизель». В Липецкой области создана Ассоциация производителей рапсового масла. Планируется строительство заводов по производству биодизеля в Липецкой области, Татарстане, Алтайском крае, Ростовской, Волгоградской, Орловской областях, Краснодарском крае, Омской области. Согласно требованиям ГОСТ Р 52368-2005 на дизельное топливо разрешено внесение моноалкиловых эфиров до 5 % в дизтопливо.

Одним из перспективных видов липидного сырья для производства биодизельного топлива могут служить животные жиры мясной промышленности, а также образу-

щиеся жировые отходы (около 150 тыс. т жировых отходов по России в год), переработка которых позволит улучшить экологическую обстановку на предприятии и снизить техногенную нагрузку на окружающую среду. Данное альтернативное топливо может применяться в дизельных двигателях сельскохозяйственной техники, автопарка предприятий, в бойлерных котлах для обогрева зданий или в дизельных генераторах для выработки электроэнергии [3, 4].

Впервые в России сотрудниками ВНИИМП им. В.М. Горбатова совместно с кафедрой химии и биотехнологии МГУЛ были проведены всеобъемлющие исследования по разработке рациональной технологии переработки животных жиров различной степени окисленности в биодизельное топливо стабильного высокого качества с применением высокоактивных катализаторов и различных спиртов, таких как метиловый, этиловый, в том числе древесного происхождения, изопропиловый и бутиловый. Изучена и определена сырьевая база производства биодизельного топлива (рисунок). Так, биодизель может быть изготовлен из пищевого животного жира прямой трансэтерификацией имеющих триглицеридов из жиров более низкого качества (технического, жиромассы жироловок), с предварительным проведением процесса этерификации свободных жирных кислот в моноалкиловые эфиры. Определены оптимальные технологические параметры проведения процессов этерификации свободных жирных кислот и трансэтерификации триглицеридов с максимальным выходом целевых моноалкиловых эфиров жирных кислот, такие как температура, концентрация катализатора, избыток спирта, число оборотов мешалки.

В лабораторных условиях были определены физико-химические свойства полученных образцов биодизельного топлива животного и растительного происхождения (табл. 2).

Из данных табл. 2 следует, что биодизельное топливо, полученное из животных жиров, обладает более высоким цетановым числом, т.е. отличается более хорошей воспламеняемостью. По показателям плотности, кинематической вязкости, температуре

помутнения и кислотному числу не выходит за рамки европейского стандарта качества на биодизельное топливо EN 14214, что позволит полученное биотопливо использовать в дизельных двигателях.

Показатели качества биоэтанола (ГОСТ Р 52201-2004 «Этанольное моторное топливо для автомобильных двигателей с принудительным зажиганием») представлены в табл. 3.

Нами проведены испытания полученных образцов биодизеля в виде 5–20 % добавки к традиционному топливу на дизельном двигателе с замером уровня выхлопных газов. Как показали анализы выхлопных газов, с увеличением процентного содержания моноалкиловых эфиров в дизельном топливе наблюдается динамика снижения окиси углерода, углеводорода и дымности. Наблюдается незначительное увеличение окиси азота с увеличением содержания эфиров.

Применение 5–20 % добавки имеет ряд преимуществ: внесение не требует переделки двигателя, снижает эмиссию вредных газов, улучшает смазочные характеристики топлива, повышает цетановое число топлива. Также применение данной смеси исключает проявления недостатков биодизеля в виде агрессивного воздействия на резиновые детали двигателя, отложений кристаллов воска при низких температурах на жиклерах, форсунках и других калиброванных отверстиях двигателя, которые приводят к их закупорке.

Экономический расчет производства биодизеля показывает, что биодизель на собственные нужды предприятию будет обходиться по цене 12 руб./л при оптовой цене 14 руб./л с уровнем рентабельности в 15 %.



Рисунок. Годовое накопление животных жиров на мясоперерабатывающих предприятиях по России (тыс. т)

Т а б л и ц а 2

Свойства биодизеля из возобновляемого сырья различного происхождения

Показатели	Этиловые эфиры		Биодизель EN 14214
	рапсового масла	животного технического жира	
Содержание моноалкиловых эфиров, %	98	97	>96,5
Цетановое число	48,2	62	>51
Плотность при 15 °С, кг/м ³	833	885	860–900
Кинетическая вязкость при 40 °С, мм ² /с	4,3	4,6	3,5–5,0
Температура помутнения, °С	8	9	От –11 до –16
Кислотное число, мг КОН/г	0,2	0,2	<0,5

Т а б л и ц а 3

Основные технические показатели моторного биоэтанола

Наименование показателей	Значение
Детонационная стойкость : октановое число:	
по моторному методу	76–88
по исследовательскому методу	80–98
Концентрация свинца, мг/дм ³ бензанола	не более 5
Фракционный состав: объемная доля испарившегося бензанола, %, при температуре: 70°С	
летнего вида	20,0–48,0
зимнего вида	22,0–50,0
100°С	46,0–71,0
150°С	не менее 75,0
конец кипения бензанола, °С	не выше 210
остаток в колбе, % об.	не более 2,0
Давление насыщенных паров, кПа,	
летнего вида	45,0–60,0
зимнего вида	60,0–90,0
Концентрация серы, мг/кг	не более 500
Объемная доля этанола, %	5,0–10,0
Объемная доля бензола, %	не более 5,0
Концентрация смол, промытых растворителем, мг на 100 см ³ бензанола	не более 5
Антикоррозионные свойства : степень коррозии стального стержня, баллы	не более 1
Фазовая стабильность : температура помутнения, °С на месте производства	
летнего вида	не выше минус 10
зимнего вида	не выше минус 30
Массовая доля кислорода, %	не более 3,5

Таким образом, можно сделать выводы, что жидкое биотопливо животного происхождения обладает высокими топливными показателями, превышающими показатели традиционного дизельного топлива и биодизельного, полученного из растительного масла. Его производство является экономически эффективным и перспективным. Представляется целесообразным продолжать исследования, включающие определение условий и сроков хранения биодизельного топлива, полученного из животных жиров, и определению оптимальных параметров получения биодизельного топлива с использованием простых спиртов, таких как изопропиловый и бутиловый.

Библиографический список

1. Knothe G. Analytical methods used in the production and fuel quality assessment of biodiesel. // Am. Soc. Agr. Eng. – 2001. – V. 44. – N 2. – P. 193–200.
2. Meka P. K.; Tripathi V. Synthesis of biodiesel fuel from safflower oil using various reaction parameters. // J. Oleo Sci. – 2007. – V. 56. – N 1. – P. 9–12.
3. Горохов, Д.Г. Биодизельное топливо из животных жиров / Д.Г. Горохов, М.И. Бабурина, А.Н. Иванкин // Мясная индустрия. – 2008. – № 11.
4. Иванкин, А.Н. Биотопливо из возобновляемого сырья: перспективы производства и потребления / А.Н. Иванкин, А.Д. Неклюдов, Н.А. Горбунова и др. // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2008. – № 6. – С. 91–96.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖИДКИХ ПРОДУКТОВ БЫСТРОГО ПИРОЛИЗА ДРЕВЕСИНЫ

С.А. ЗАБЕЛКИН, *асп. каф. химической технологии древесины Казанского ГТУ*,
 Д.В. ТУНЦЕВ, *асп. каф. переработка древесных материалов Казанского ГТУ*,
 А.Н. ГРАЧЕВ, *доц. каф. переработки древесных материалов Казанского ГТУ, канд. техн. наук*,
 В.Н. БАШКИРОВ, *проф. каф. химической технологии древесины Казанского ГТУ, д-р техн. наук*
szabelkin@gmail.com; tuncsev-den@mail.ru; energolesprom@gmail.com; vlad_bashkirov@mail.ru

Сокращение запасов и нестабильность цен на ископаемые виды топлива, которые являются также ценным сырьем для химического синтеза, делают все более актуальной тему использования возобновляемых ресурсов. При этом в США и Европе в ближайшее время планируется довести долю биотоплива до 20 % от общего энергопотребления. Рост рынка составит около 50 % в год.

Недостаточное развитие высокотехнологичных производств по глубокой переработке низкокачественного древесного сырья приводит к тому, что спрос на низкокачественную древесину практически отсутствует.

Вместе с тем, ежегодное количество только отходов деревообрабатывающих предприятий России составляет более 70 млн м³. Кроме того, постоянное недоиспользование расчетной лесосеки приводит к накоплению невостребованной низкокачественной древесины, а низкая эффективность лесозаготовок не позволяет обеспечить комплексное использование древесной биомассы, значительная часть которой остается в лесу, ухудшая экологическую обстановку, способствуя деградации лесных насаждений, повышая пожарную опасность.

Энергетическое использование нерезервированного потенциала древесной биомассы уже сейчас позволяет заменить более 10 %

внутреннего энергопотребления без нарушения баланса экосистемы. Однако прямое использование низкокачественной древесины в энергетических целях сдерживается рядом факторов, обусловленных, прежде всего, свойствами биомассы (нестабильная влажность и размеры, низкая энергетическая плотность), что приводит к низкой эффективности транспортировки топливной биомассы, необходимости сбора и концентрации данного ресурса и низкой технологичности сжигания биомассы.

Данные обстоятельства в большинстве случаев снижают экономическую эффективность энергетического использования биомассы, за исключением локального использования. Одним из решений данной проблемы является получение из древесной биомассы жидкого топлива методом пиролиза. Максимальный выход жидких продуктов наблюдается при использовании технологии быстрого пиролиза (таблица).

Процесс быстрого пиролиза заключается в термическом разложении органических соединений биомассы в отсутствие окислителя, при относительно низких температурах 450–550 °С, высокой скорости нагрева 500–1000 °С/сек. и незначительном времени пребывания продуктов в реакционном пространстве (до 2–3 с) [1].

Т а б л и ц а

Методы термохимической переработки биомассы

Технология	Выход полезных продуктов (% сух. мас.)		
	жидкость	уголь	газ
Быстрый пиролиз: – температура 450–600 °С – время процесса <2 с	75	12	13
Медленный пиролиз: – температура 500–700 °С – время процесса 5–30 мин	30	30	40
Газификация: – температура >800 °С	5	10	85

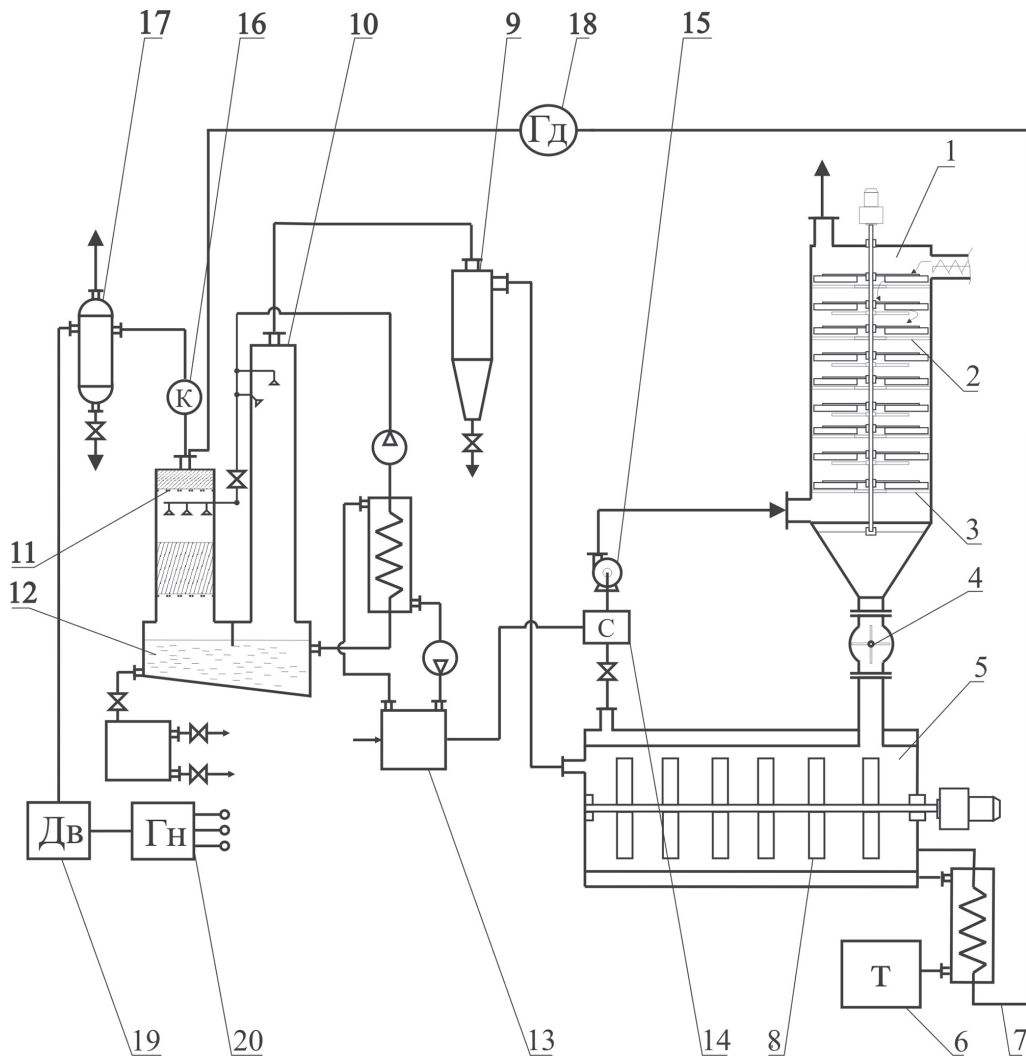


Рис. 1. Схема установки для быстрого пиролиза биомассы

При быстром пиролизе из 100 кг древесины получается до 75 кг пиролизной жидкости и 10–15 кг древесного угля. Образующиеся газ и уголь могут использоваться для энергообеспечения процесса пиролиза и сушки древесины. Кроме того, уголь после соответствующей обработки может быть реализован как побочный коммерческий продукт.

Основными преимуществами жидких продуктов быстрого пиролиза биомассы при энергетическом использовании по сравнению с исходной биомассой являются их более высокая энергетическая плотность, меньшие транспортные затраты, повышение технологичности энергетического использования, возможность прямого сжигания в турбинах и тихоходных дизельных двигателях с генерацией электроэнергии, а также получение коммерческих продуктов для химического синтеза.

Для реализации описанной технологии была разработана экспериментальная установка быстрого пиролиза биомассы древесины [2], схема которой представлена на рис. 1. Сырье в виде древесных частиц размером до 50 мм подается в бункер 1, откуда оно через питатель 4 поступает в реактор 5. В реакторе происходит процесс быстрого абляционного пиролиза сырья с образованием парогазовой смеси и угля. Отделение частиц угля осуществляется в циклоне 9. Выходящая из циклона парогазовая смесь подвергается конденсации в состоящем из распылительной 10 и насадочной 11 колонн конденсаторе. Жидкие продукты собираются в приемной ванне 12. Неконденсируемые газы, после отвода избыточной части компрессором 16 на генератор 20 для получения электрической энергии, подаются с помощью газодувки 18 в реактор 5 для обеспечения конвективного тока и создания избыточного давления в систе-

ме. Обеспечение процесса тепловой энергией осуществляется с помощью топки 6, работающей на любом виде твердого топлива, в частности на тех же отходах деревообрабатывающих предприятий. Топочные газы, прогревая реактор 5 через стенку рубашки, поступают в бункер 1 для сушки сырья.

В результате переработки сосновой щепы по описанной выше технологии на данной установке была получена партия продуктов быстрого абляционного пиролиза в виде горючего газа, мелкодисперсного древесного угля и гомогенной жидкости – так называемой бионефти.

Для оценки возможности энергетического использования были проведены исследования физико-химических свойств бионефти.

В результате химического анализа полученной жидкости было идентифицировано более 300 веществ, которые после суммирования по соответствующим группам соединений могут быть представлены в виде следующего процентного состава по массе: органические кислоты – 1,9–26,4 %; сложные эфиры – 0,5–3,2 %; спирты – 1,7–5,8 %; кетоны – 4,2–6,2 %; альдегиды – 2,3–18,3 %; фенолы – 2,8–12,6 %; гваяколы – 2,2–15,1 %; сининголы – 14,–8,9 %; сахара – 5,4–13,4 %; фураны – 1,4–11,2 %; алкены – 0,7 % [3].

Существенным недостатком бионефти как топлива является высокое содержание низших органических кислот. Замеры показателя активности ионов водорода (рН) пиролизной жидкости, который при температуре исследуемой жидкости 18,4 °С составил 2,43, свидетельствует о высокой кислотности среды и возможности коррозии металлических элементов используемого оборудования.

Следующим из наиболее важных физических свойств бионефти является вязкость. Определение вязкости проводилось в диапазоне температур от 18 до 100 °С. В результате проведенных экспериментов была получена зависимость коэффициента вязкости от температуры в виде функции (1), графический вид которой представлен на рис. 2.

$$\nu = \frac{1}{-1,5876 + 0,685 \cdot \ln(T)}, \quad (1)$$

где ν – кинематическая вязкость, Ст;
 T – температура, °С.

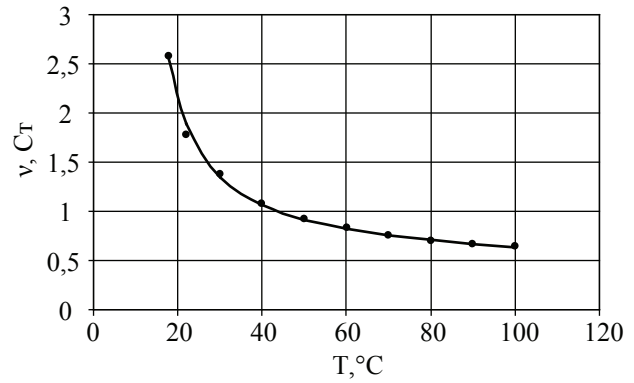


Рис. 2. Зависимость коэффициента кинематической вязкости бионефти от температуры

Данная зависимость показывает, что при повышении температуры в исследуемом диапазоне коэффициент кинематической вязкости снижается почти в 5 раз. Расхождения рассчитанных по уравнению (1) значений с экспериментальными составляют не более 10 %.

Важной характеристикой является также давление смеси паров исследуемой жидкости в состоянии равновесия при различных температурах.

Давление смеси насыщенных паров бионефти дает характеристику по содержанию и составу низкокипящих фракций бионефти. По величине давления смеси насыщенных паров бионефти можно судить о пусковых свойствах исследуемого вещества, о склонности его к образованию паровых пробок в топливной системе двигателя, о возможных потерях бионефти при транспортировании и хранении.

Обработкой результатов экспериментальных исследований давления смеси насыщенных паров бионефти была получена зависимость давления смеси паров от температуры, которая может быть представлена в виде эмпирического уравнения

$$P = 1065,144 \cdot \exp(T / 21,295), \quad (2)$$

где P – давление смеси насыщенных паров пиролизной жидкости, Па;

T – температура, °С.

Расхождение рассчитанных по уравнению (2) значений с экспериментальными составляет не более 9 %.

С целью подтверждения возможности энергетического использования бионефти были проведены исследования по ее сжиганию в горелках испарительного и распылительного типа.

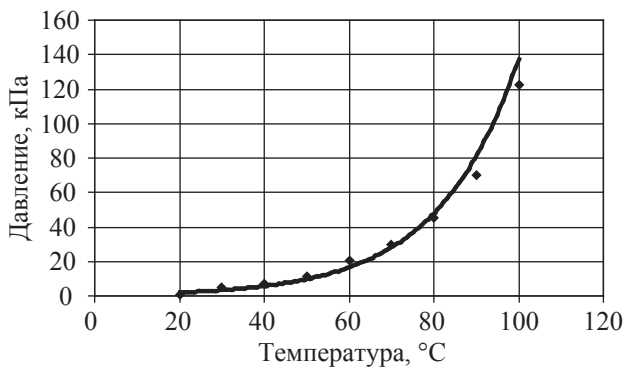


Рис. 3. Зависимость давления паров бионефти в состоянии равновесия от температуры

Исследования процесса сжигания бионефти в испарительной горелке были осуществлены на котле для утилизации отработанного масла мощностью 80 кВт фирмы ООО «Энергетика», г. Казань по следующей методике. Очищенная фильтрованием от твердых частиц бионефть подавалась в топочную камеру, предварительно прогретую в результате сжигания отработанного масла. Выделяемая при сгорании бионефти энергия использовалась для нагревания теплового агента – воздуха. В ходе экспериментов наблюдалось постепенное снижение температуры нагреваемого воздуха от 70 °С при сжигании масла, до 28–30 °С при сжигании бионефти. Результаты исследований показали, что при использовании испарительных горелок на раскаленной поверхности происходят реакции вторичного пиролиза бионефти с образованием пека высококипящих смол, что приводит к ее шлакованию на испарительной поверхности вплоть до остановки котла.

Для исследования энергетического использования бионефти в распылительной горелке была разработана установка, схема которой представлена на рис. 4. Сжигание пиролизной жидкости осуществляется на универсальной горелке фирмы KG/UB 55 фирмы «Kroll GmbH» мощностью 55 кВт. Забор топлива осуществляется из бака запаса топлива 2, снабженного заборной трубкой с поплавком 3, с помощью топливного насоса 1. Затем топливо подается в бак нагрева 7, имеющий нагревательный элемент 4, термостат 5 и предохранитель перелива топлива 6. Из бака нагрева топливо поступает в сопло-

вую трубу 11, где смешивается с воздухом, подаваемым компрессором 8. Смесь топлива и воздуха проходит через рассекатель 12 и распыляется в камере сгорания 16. Камера сгорания снабжена муфелем 13 для поддержания высокой температуры и обеспечения стабильности горения. Температурное поле в факеле 15 снимается с помощью термопар 14. Блок анализа продуктов сгорания пиролизной жидкости состоит из барботажного устройства 17, где происходит отделение твердых частиц, сепаратора 18, осушающего топочные газы, датчика кислорода 19, ротаметра 21 и компрессора 21. Предусмотрена возможность анализа твердых частиц, осаждаемых в барботажном устройстве, и газообразных продуктов на выходе из блока анализа.

Исследования сжигания бионефти в распылительной горелке показали следующее. Расход топлива составил 3,6–5,4 кг/ч при мощности 18–27 кВт. В ходе исследований наблюдалось стабильное горение фильтрованного топлива при давлении первичного воздуха 0,2 МПа и его нагреве до 50–80 °С. Однако длительный нагрев бионефти свыше 80 °С ведет к интенсивному испарению летучих веществ, увеличению вязкости бионефти, ухудшению условий воспламенения, распыливания и горения вплоть до их невозможности.

Также необходимо отметить, что иницирование процесса горения в данных горелках штатным электрическим розжигом проблематично. Для обеспечения надежного иницирования горения необходимо либо увеличение мощности электрического розжига, либо использование розжига на традиционном топливе, либо использование другого инициатора горения, например газовой подсветки.

Для устойчивой работы распылительной горелки необходимо обеспечение стабильного режима распыливания топлива. С целью оценки влияния режимных параметров распыливания бионефти была использована эмпирическая зависимость (3), определяющая объемно-поверхностный диаметр капли жидкости, от давления распыливания [4].

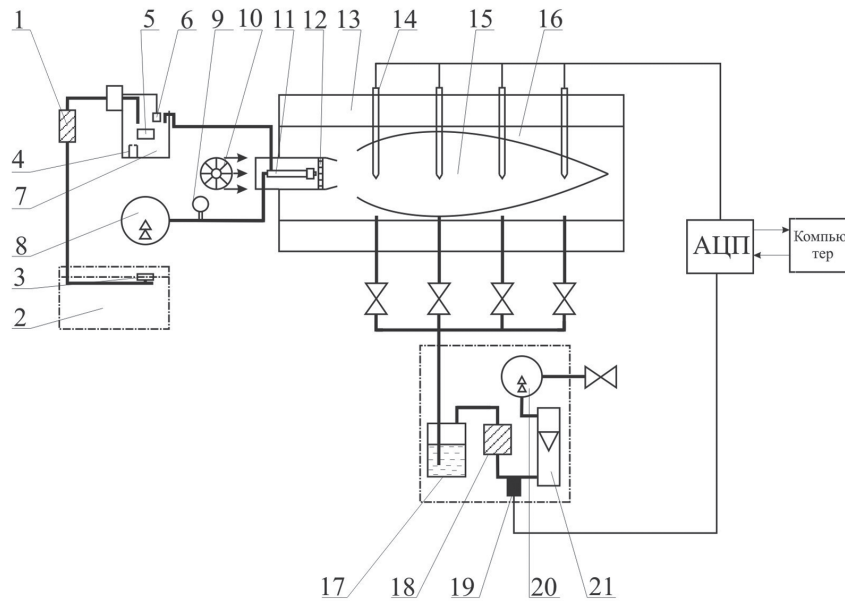


Рис. 4. Схема установки для исследования энергетического использования биофети в распылительной горелке

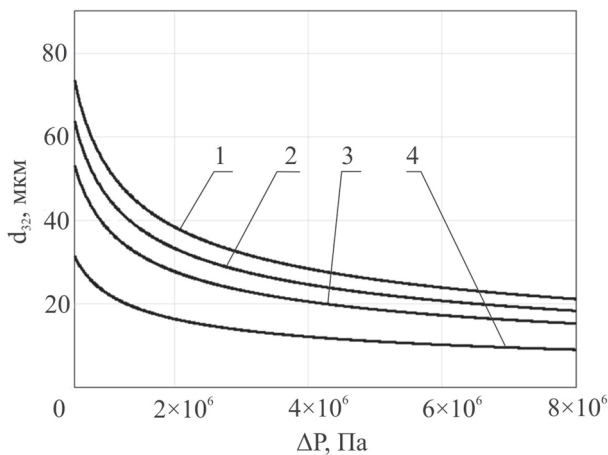


Рис. 5. Зависимость объемно-поверхностного диаметра от перепада давления при различных температурах: кривые 1–3 – биофет: 1 – 20 °С, 2 – 40 °С, 3 – 60 °С; кривая 4 – летнее дизельное топливо при 20 °С

$$d_{32} = 599,2 \cdot FN^{-0,393} \cdot \Delta P^{-0,418} \cdot \nu^{0,215} \cdot \sigma^{0,277}, \quad (3)$$

где d_{32} – объемно-поверхностный (заутовский) средний диаметр капли распыла, мкм; FN – конструктивный показатель форсунки, $FN = 5,51 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2$;

ΔP – разность давлений в сопле и камере распыливания, Па;

ν – кинематическая вязкость распыливаемой жидкости, $\text{м}^2/\text{с}$;

σ – поверхностное натяжение распыливаемой жидкости, Н/м.

В результате проведенного моделирования были получены зависимости среднего диаметра капли от перепада давления при

различных значениях температуры для биофети (кривые 1–3) и для летнего дизельного топлива (кривая 4), которые в графическом виде представлены на рис. 5.

Как показали проведенные исследования, увеличение давления целесообразно лишь до 3 МПа. Дальнейшее повышение приводит к незначительному уменьшению капли, но существенно увеличивает энергетические затраты на обеспечение высокого давления, необходимого для распыливания. Необходимо отметить также, что увеличение температуры снижает диаметр капли сильнее, чем повышение давления, поэтому предварительный подогрев капли позволит сократить затраты на обеспечение высокого давления.

Анализ проведенных исследований позволяет сделать вывод о возможности энергетического использования биофети путем ее сжигания в горелках распылительного типа при вышеперечисленных условиях. Однако для повышения эффективности энергетического использования биофети и стабильной работы существующей теплотехнической аппаратуры необходимы более глубокие исследования процессов горения и свойств биофети.

Таким образом, в результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- использование горелок испарительного типа при сжигании биофети неэффективно;

– для обеспечения качественного распыливания бионефти необходимо проводить очистку от твердых частиц, например фильтрованием;

– предварительный подогрев бионефти позволяет снизить ее вязкость, а следовательно, и давление, требуемое для ее распыливания.

Библиографический список

1. Экспериментальное исследование быстрого абляционного пиролиза биомассы / А.Н. Грачев, Р.Г. Хисматов, А.А. Макаров и др. // Материалы докладов Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы развития лесного комплекса». – Вологда, 2008. – С. 77–79.
2. Грачев, А.Н. Исследование быстрого пиролиза древесины в абляционном режиме / А.Н. Грачев, Р.Г. Хисматов, Р.Г. Сафин и др. // Известия Самарского научного центра РАН. – 2008. – Специальный выпуск. – С. 25–29.
3. Грачев, А.Н. Исследование физико-химических свойств жидкого пиротоплива из отходов древесины и оценка возможности его энергетического использования / А.Н. Грачев, Р.А. Халитов, Ю.П. Семенов и др. // Деревообрабатывающая промышленность. – 2009. – № 4. – С. 24–26.
4. Chiamonti D, Riccio G. Sprays of biomass pyrolysis oil emulsions: Modelling and experimental investigation. Preliminary results on modelling. CREAR – Centro di Ricerca per le Energie Alternative e Rinnovabili Università degli Studi di Firenze – Facoltà d'Ingegneria – Dipartimento di Energetica "Sergio Stecco" – 50139 Firenze, Italy

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ И ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ В ВИДЕ СПИРТОВ, ДРОЖЖЕЙ, ФУРФУРОЛА ИЗ НИЗКОКАЧЕСТВЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Д.Ф. ЗИАТДИНОВА, доц. каф. переработки древесных материалов Казанского ГТУ, канд. техн. наук

ziatdinova@rambler.ru

В России имеются большие запасы осины, которую необходимо регулярно вырубать, чтобы поддерживать рост лесных ресурсов. При непрерывной вырубке этой древесины происходит накопление неиспользованного древесного сырья. Внедрение предлагаемой технологии позволит ликвидировать данную проблему.

Сейчас только начинают вестись разработки непрерывных процессов получения древесноволокнистой массы в США, Канаде и в некоторых фирмах Финляндии. В России данный процесс не развит и может стать почвой для более подробного исследования, дальнейшей разработки и внедрения данного способа.

Технология получения целлюлозы и побочных продуктов в виде спиртов, дрожжей и фурфурола из низкокачественного древесного сырья и отходов деревообрабатывающих производств заключается в интенсивной термообработке с последующим сбросом давления. Основным отличием от традиционных технологий получения целлюлозы, в которых используются токсичные реагенты и затрачиваются огромные количества тепло- и электроэнергии, являются быстрота проведения про-

цесса, малый расход химических реагентов (дополнительных катализаторов), полное отсутствие выбросов вредных веществ. Оборудование для осуществления процесса высокотемпературной обработки низкокачественной древесины простое в эксплуатации и компактное, что позволит использовать данную технологию на небольших деревообрабатывающих предприятиях. Эти преимущества обуславливают сокращение энергозатрат, материальных затрат, экологическую чистоту процесса, что на сегодня является наиболее важным и актуальным в любом производстве.

Как правило, химическую переработку древесины проводят либо в жестких условиях, обеспечивающих структурные изменения, либо проводят ее предварительную активацию. В качестве перспективного метода активации предлагается использовать взрывной автогидролиз [1–3], при котором в древесине происходят структурные и химические превращения, сопровождающиеся деструкцией основных компонентов, в первую очередь гемицеллюлоз легкогидролизуемых полисахаридов (ЛГП).

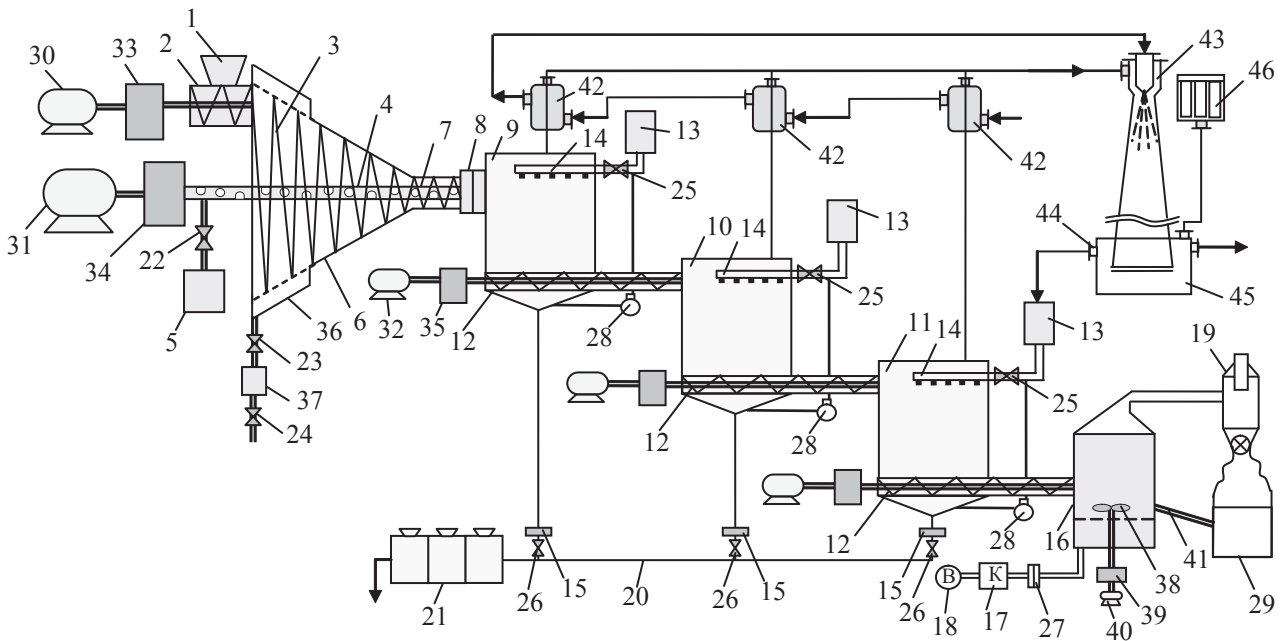


Рис. 1. Схема получения целлюлозы путем автогидролиза

При протекании глубоких гидролитических процессов гемицеллюлозы гидролизуются до низкомолекулярных продуктов, растворимых в воде. Степень гидролитической деструкции гемицеллюлоз определяется условиями гидротермической обработки древесины, а это значит, что с помощью взрывного автогидролиза (ВАГ) можно получать продукт, свободный от гемицеллюлоз [4].

Новизна предложенной технологии в том, что получение целлюлозного волокна производится не за счет продолжительных процессов варки древесного сырья с последующим его разложением на составляющие, а за счет быстрого, кратковременного, динамичного разложения древесного материала путем высокотемпературной обработки и «разрыва» частиц сбросом давления с последующей переработкой полученной «взрывной» массы путем экстракции из нее лигнина и водорастворимых веществ. Такая целлюлоза пригодна для производства картона, а при дополнительной стадии облагораживания – для производства бумаги. Также необработанная древесноволокнистая масса может использоваться для производства древесноволокнистых плит и древесных пластиков. Разрабатываемая технология может быть совмещена со спиртодрожжевым производством.

Установка для автогидролиза работает следующим образом. Сырье в виде измельчен-

ной щепы осины загружают в загрузочное устройство 1, откуда оно переходит во входной шнек 2, вращающийся от электродвигателя 30 через редуктор 33. На входе в реактор 6 сырье образует герметизирующую пробку. Попадая в пространство центрального шнека 3, щепка пропитывается водяным паром и подвергается воздействию температуры. Пар подается от парогенератора 5 или паропровода через полость перфорированного вала 4, соединенного с электродвигателем 31 через редуктор 34. Количество поданного пара регулируется вентилем 22. Образующийся конденсат стекает по рубашке 36 через перфорированную часть реактора и удаляется через шлюзовую камеру 37 с вентилями 23 и 24. За счет сужающейся конструкции реактора 6 на выходе образуется пробка, которая сохраняет герметичность реактора. Обработанная древесная масса по выходному шнеку 7, соединенному с валом центрального шнека, доходит до клапана сброса давления 8, в результате открытия которого древесная масса выстреливается в виде волокнистого материала в сборник продукта – резервуар 9. В резервуар 9 из емкости 13 через систему орошения 14 подают растворитель этанол-вода. Подача растворителя регулируется вентилем 25. Отработанный раствор по линии отвода 20 через накопитель 15 и вентиль 26 направляется в приемник отработанных растворов 21. Часть растворителя возвращается на орошение с по-

мощью центробежного насоса 28. Частично проэкстрагированная древесная масса по шнеку 12, работающему от электродвигателя 32 через редуктор 35, направляется в следующий резервуар 10, где происходит окончательное экстрагирование раствором диоксан-вода. В резервуаре 11 проводят промывку волокнистой массы водой.

Пары, образовавшиеся в реакторах 9, 10, 11, отсасываются в конденсаторы 42 водоструйным эжекционным насосом 43. Наличие эжектора 43 необходимо для отвода неконденсирующихся газов и воздуха из зоны конденсации, особенно в начальный период [6]. Взаимодействие отводимой смеси неконденсирующихся газов и воздуха с водой в эжекторе 43 и фильтр-барботере 45 позволяет, кроме того, очистить отводимый в атмосферу воздух от прочих загрязнений и неприятных запахов. Для более глубокой очистки и исключения каплеуноса отводимую паровоздушную смесь пропускают через рукавный полипропиленовый фильтр 46. Отработанная жидкость из фильтр-барботера 45 через штуцер 44 направляется в емкость 13 для промывки полученной целлюлозы.

Далее готовый продукт направляется в пневматическую сушильную камеру 16, куда вентилятором 18 подается воздух, нагреваемый в калорифере 17. Для равномерной сушки целлюлозы используется механической размешивающее устройство 38, работающее от электродвигателя 40 через редуктор 39. Высушенная целлюлоза попадает по линии отвода готового продукта 41 в приемник готового продукта 29. Волокна целлюлозы, унесенные воздушным потоком, улавливаются циклоном 19 и, осаждаясь, также попадают в приемник готового продукта 29. Подача воздуха регулируется шиберной заслонкой 27.

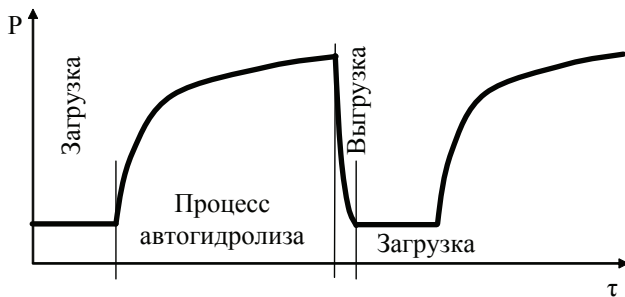


Рис. 2. Изменение давления в аппарате при автогидролизе древесины

На рис. 2 представлен график изменения давления в аппарате при протекании процесса автогидролиза древесины.

Древесное сырье под действием температуры распадается на следующие составляющие:

1. Жидкие продукты (появляются при температуре 220 градусов): моно- и олигосахариды, низкомолекулярный лигнин, уксусная кислота, фурфурол, примеси метанола, изопропанола, пропионовой кислоты, гидроксиметилфурфурол. Суммарное количество жидких веществ 15–17 % при температуре 220 градусов. С понижением температуры выход водорастворимых веществ понижается, с увеличением температуры увеличивается.

Моносахара (31–50 % от выхода жидких продуктов) состоят из: арабинозы (0,02–0,4 %), ксилозы (1,84–2,82 %), глюкозы (1,65–3,45 %), маннозы (0,18–0,87 %). Разрыв гликозидных связей в молекулах легкорастворимых гемицеллюлоз происходит по схеме: из пентозанов – арабиноза и ксилоза, из гексозанов – глюкоза, манноза.

Катализатором процесса автогидролиза является уксусная кислота, которая образуется в результате отщепления ацетильных групп от макромолекул ксиланов и маннанов.

Примеси изопропанола и пропионовой кислоты имеют низкое содержание из-за того, что часть пропильных групп древесины входит в состав лигнина, который является более термостабильным. Количество жидких веществ при повышении температуры до 240 градусов увеличивается до 21,4 %.

2. Твердый продукт – целлюлоза. Содержание целлюлозы не изменяется, так как она является представителем трудногидролизуемых полисахаридов и в меньшей степени подвергается деструкции при данных параметрах процесса. Содержание целлюлозы с увеличением температуры несколько увеличивается, чему способствует расщепление гемицеллюлоз. Увеличение составляет от 43–47 % до 48–49 %. В данных условиях закономерными являются процессы деструкции, приводящие к тому, что определенная часть низкомолекулярного лигнина становится растворимой даже в воде.

Все эти превращения происходят в реакторе на протяжении всего времени выдержки. Далее прогидролизованная древесина по выходному шнеку 7 снова уплотняется, что обеспечивает герметичность реактора. Режимные параметры доводятся до максимальных: температура до 240–250 градусов, давление 30–40 атм. Выдержка этих параметров производится в течение 2–3 минут. Затем с помощью клапана 8 происходит сброс давления до атмосферного в течение 7–10 секунд. При выходе прогидролизованного материала из затвора в приемный резервуар 9, работающий при атмосферном давлении, происходит вскипание влаги, содержащейся в измельченном материале. Данный процесс сопровождается значительным увеличением количества образующейся паровой фазы, в результате чего в толще материала наблюдается быстрый подъем избыточного давления. Давление пара внутри материала на выходе из реактора превышает внешнее давление, это приводит к возникновению фильтрационного потока, направленного к поверхности частиц, вызывает растяжение и, как следствие, разрыв и измельчение частиц. Таким образом, в результате декомпрессионного парового взрыва образуется волокнистая масса, которая освобождается от лигнина в резервуарах 9,10.

Продолжительность экстракции составляет 40–50 минут. В результате из массы

выделяется лигнин и образуются растворы сахаров, которые смешиваются с растворами, полученными при распаде гемицеллюлоз в реакторе. Эти растворы сахаров отделяются от практически очищенной гидролизатмассы путем слива через дно в приемную емкость 21 и направляются в секцию переработки растворов сахаров для получения спиртов и других продуктов.

Библиографический список

1. Гравитис, Я.А. Теоретические и прикладные аспекты метода взрывного автогидролиза растительной биомассы / Я.А. Гравитис // Химия древесины. – 1987. – № 5.
2. Ефремов, А.А. Состав растительных полимеров древесного происхождения, получаемых в условиях взрывного автогидролиза / А.А. Ефремов // Химия растительного сырья. – 2003.
3. Калейне, Д.А. Высокотемпературный автогидролиз древесины. Автогидролиз березовой древесины / Д.А. Калейне // Химия древесины. – 1990. – № 3. – С. 101–107.
4. Калейне, Д.А. Высокотемпературный автогидролиз древесины. Сопоставление поведения древесины основных пород ЛатвССР / Д.А. Калейне // Химия древесины. – 1990. – № 3. – С. 89–95.
5. Дудкин, М.С. Гемицеллюлозы / М.С. Дудкин. – Рига: Зинатне, 1991. – 488 с.
6. Зиатдинова, Д.Ф. Совершенствование технологии извлечения жирных кислот из соапстока / Д.Ф. Зиатдинова, Н.Ф. Тимербаев, Р.Г. Сафин и др. // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. – 2009. – Т. 52. – Вып. 5 – С. 109–111.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСНОЙ ЗЕЛЕНИ ХВОЙНЫХ ПОРОД

Р.Р. САФИН, *проф. каф. архитектуры и дизайна изделий из древесины Казанского ГТУ, д-р. техн. наук,*

А.Е. ВОРОНИН, *асп. каф. архитектуры и дизайна изделий из древесины Казанского ГТУ,*

Д.Ф. ЗИАТДИНОВА, *доц. каф. переработка древесных материалов Казанского ГТУ, канд. техн. наук*

Хвоя – специфический вид древесной зелени, концентрирующий множество биологически активных веществ, таких как эфирные масла, хлорофилл, каротин, многие аминокислоты, витамины, фитогормоны, бактериостатические и антигельминтные вещества. Однако при этом на лесозаготовках,

cfaby@mail.ru; alexov@list.ru; signof@list.ru

в большинстве случаев, данное сырье полностью уходит в отходы. Известно, что хвойные леса составляют половину мировых запасов, а их общая фитомасса достигает 56 млрд т, в том числе до 3 млрд т древесной зелени. При традиционных способах заготовки и переработки древесного сырья крайне низок уровень

его использования – 25–30 % общего запаса биомассы дерева. В связи с этим проблема полного и рационального использования всей лесной биомассы ставит задачу вовлечения в переработку сырьевых ресурсов, которые до последнего времени относились к древесным отходам, и в первую очередь это касается такого биологически ценного сырья, как хвойная древесная зелень.

К настоящему времени разработано и реализовано много схем переработки различных видов древесного сырья. Среди них есть и весьма эффективные, базирующиеся на глубокой химической переработке древесной зелени, коры, опилок, стружек хвойных и лиственных пород. Однако внедрение этих производств, хотя и предполагает значительный экономический эффект, требует больших капитальных и эксплуатационных затрат, квалифицированных кадров, сложного оборудования. Обеспечение этих условий для многих лесопромышленных хозяйств пока затруднено. Доступнее организация производств, вырабатывающих продукцию с использованием сравнительно простых средств и с привлечением незначительных вложений.

Наиболее полно данным требованиям удовлетворяет способ переработки древесной зелени хвойных пород водяным паром. К сожалению, используемые в настоящее время технологии для его осуществления дают неудовлетворительные результаты. Как правило, они нацелены на получение лишь одного продукта от переработки зеленой массы – хвойного экстракта либо эфирных масел. Отработанная зелень при этом в большинстве случаев уходит в отходы. В случае получения эфирного масла его качество не удовлетворяет существующим нормативам по плотности и содержанию в нем борнилацетата – наиболее ценного компонента, определяющего качество продукта. Время переработки составляет порядка трех часов, но при этом доля неизвлеченного вещества, оставшегося в отработанной зелени, составляет около 30 %. Способы, направленные на получение хвойного экстракта, основанные на вываривании древесной зелени в воде, не нашли широкого внедрения в производство из-за недостаточной окупаемости.

Для решения данных проблем была разработана экспериментальная установка для исследования переработки древесной зелени хвойных пород водяным паром при регулировании давления среды. Так как наиболее ценным продуктом при данном способе переработки сырья является эфирное масло, именно количество и качество данного вещества на выходе будет определяющим фактором при определении эффективности данной технологии при различных режимах. Принципиальная схема экспериментальной установки представлена на рис. 1. Она состоит из парогенератора 1, экстракционного аппарата 3, холодильника-конденсатора 6, флорентины 7, вентиля 2, 4, 5 и патрубков 8, 9. Эксперименты проводились следующим образом. В парогенератор 1 заливается вода, при закрытом вентиле 2 вода в парогенераторе доводится до требуемой температуры. В ходе нагрева воды в экстрактор 3 засыпается измельченная древесная зелень хвойных пород, камера герметизируется путем перекрытия вентиля 4. При нагнетании в парогенераторе давления водяного пара, соответствующего требуемой температуре, вентили 2 и 4 открываются для вытеснения из объема экстрактора воздуха. При поступлении первых порций конденсатов вентиль 4 перекрывается, происходит нагрев зелени и нагнетание давления в экстракторе, вместе с тем начинается процесс извлечения из сырья биологически активных веществ. По достижению определенной температуры в экстракторе вентиль 4 открывается. Температура и расход пара в экстракторе регулируются с помощью вентиля 2 и 4. Водорастворимые вещества диффундируют в паровой поток, а эфирные масла как легколетучие соединения уносятся вместе с паром в холодильник-конденсатор 6. В нем паровой поток конденсируется, и насыщенный биологически активными веществами конденсат сливается в флорентину 7. Там происходит ее отстаивание и разделение на хвойные экстракт и эфирное масло. Последнее как более легкая фракция скапливается на поверхности и отбирается через патрубок 8. Хвойный экстракт сливают через патрубок 9. В период прогрева часть поступающего водяного пара конденсируется при нагреве стенок аппарата и сырья. Для слива получающегося конденсата используют вентиль 5.

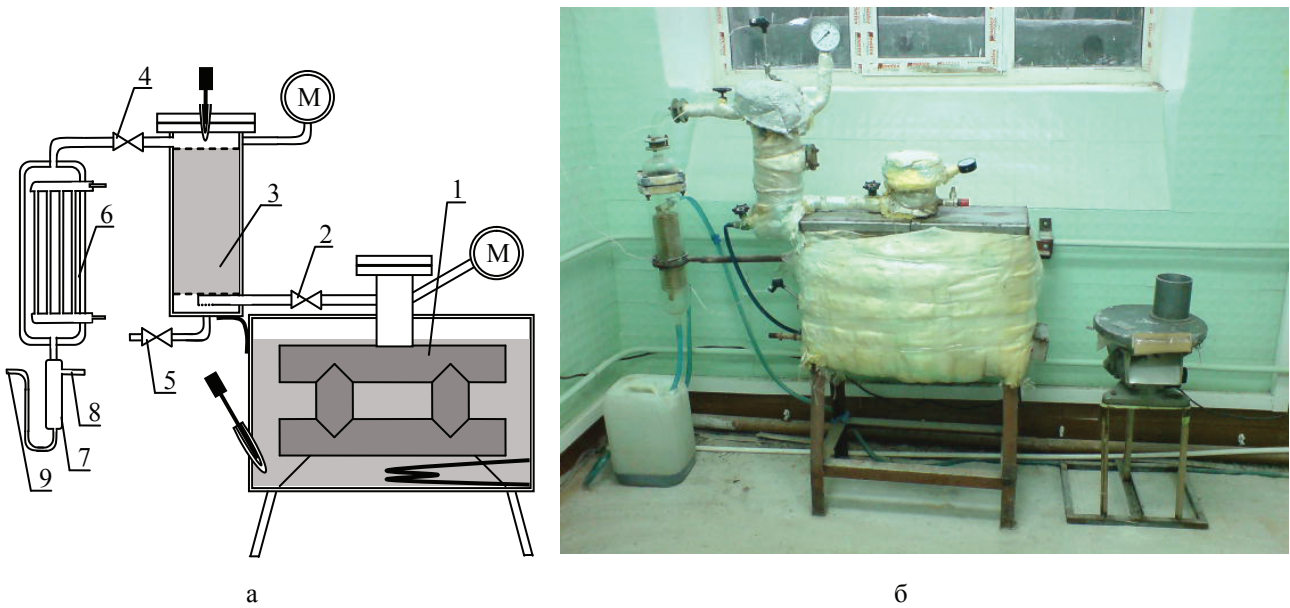


Рис. 1. Экспериментальная установка для переработки древесной зелени: а – принципиальная схема; б – внешний вид

По описанной методике были проведены исследования зависимости количества получаемого эфирного масла от температуры в процессе переработки. Определена динамика извлечения эфирных масел по времени.

В ходе исследования динамики прогрева древесной зелени в аппарате был проведен эксперимент – в объем загруженного в аппарат сырья устанавливались 6 термопар на различной высоте. Эксперимент проводился при расходе пара в 1 кг/час, 1,5 кг/час и 2 кг/час.

Анализ полученных данных показывает, что лишь при небольшом расходе пара, порядка 1 кг/час, наблюдается период прогрева первого слоя – в первые 5 минут процесса. При этом следует отметить, что после 10 минут прогрева данного слоя наблюдается кратковременное падение его температуры. Это объясняется тем, что первые порции пара, скопившиеся за время с начала процесса, преодолевая уплотнение сырья, просочились через все слои зелени и пошли на конденсацию, а поступающей порции пара недостаточно для поддержания полученной температуры материала на нижнем слое. В то же время самый верхний слой зелени нагревается до температуры начала интенсивной переработки лишь спустя 50 минут. Можно сделать вывод, что расход 1 кг/час для переработки 500 г сырья недостаточен для быстрого равномерного

прогрева всех слоев материала. При расходе пара 1,5 кг/час все слои прогреваются достаточно равномерно по мере проникновения пара в материал, преодолевая его уплотнение. Однако верхний слой лишь через 20 минут прогревается до температуры, достаточной для интенсивной переработки, что сказывается на общей необходимой продолжительности переработки. При расходе пара 2 кг/час на 500 г сырья все слои прогреваются достаточно быстро, но увеличенный расход пара может затруднить процесс переработки в случае организации мобильного производства с использованием привозной воды. В общем случае становится ясно, что для поддержания стабильности процесса переработки древесной зелени хвойных пород водяным паром соотношение массы перерабатываемого сырья и массы водяного пара, расходуемого за один час, должно быть не менее 1:3.

На рис. 2 представлена диаграмма, характеризующая зависимость выхода эфирного масла с 500 г сырья от температуры проведения процесса переработки. Как видно из данной диаграммы, при температуре 120 °С наблюдается наибольший выход эфирных масел. Это подтверждает низкую эффективность существующих установок по переработке древесной зелени водяным паром, работающих при атмосферном давлении, так как в этом случае более 50 % целевого про-

дукта остается в отработанной зелени. Однако рост выхода эфирного масла по мере повышения давления в аппарате, а следовательно, и температуры пара заканчивается при достижении 120 °С. Это объясняется тем, что при более высоких температурах начинается разрушение составляющих компонентов данного продукта. Следовательно, для повышения эффективности и производительности данного процесса его следует проводить при давлении пара, требуемом для поддержания оптимальной температуры процесса 120 °С.

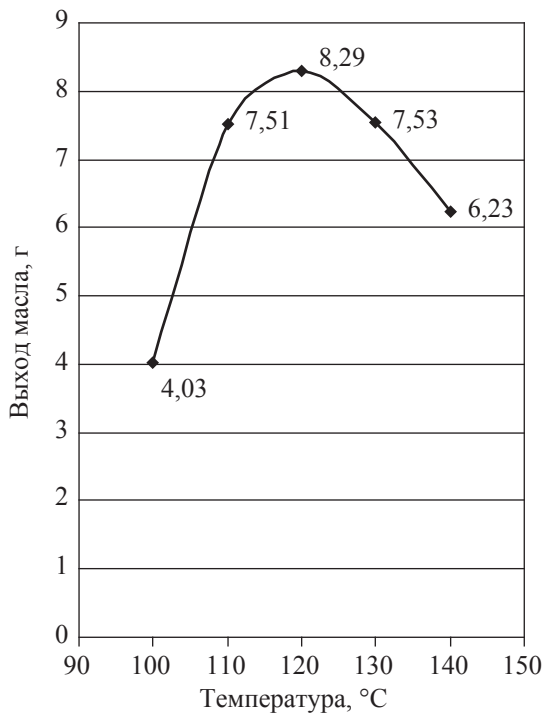


Рис. 2. Зависимость между температурой проведения процесса переработки и выходом эфирного масла с 500 г сырья

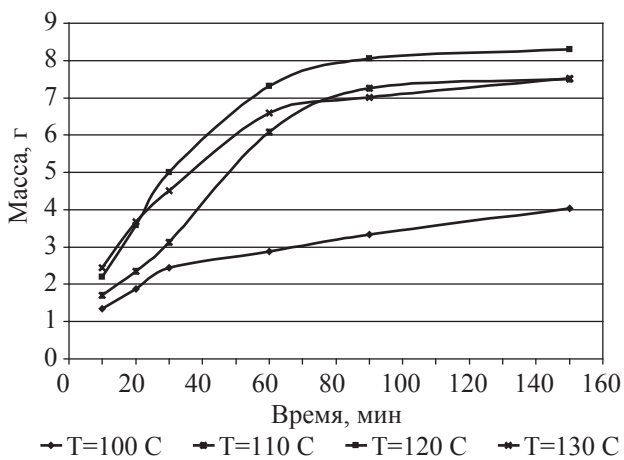


Рис. 3. Динамика выхода эфирного масла в зависимости от температуры по времени

Это подтверждается результатами эксперимента по определению динамики извлечения эфирного масла в зависимости от температуры процесса, представленными на рис. 3. Как видно, при температуре 120 °С извлечение масла происходит наиболее динамично и его выход наиболее высок, несмотря на то что за первые 10 минут при температуре 130 °С эфирного масла выделилось немного больше. При длительной выдержке с температурой, превышающей 120 °С, внутри частиц сырья начинаются необратимые разрушения, препятствующие полному извлечению эфирного масла. Более низкие температуры не дают достаточной интенсивности выхода целевого продукта.

Для анализа качества получившегося продукта при температуре 120 °С и расходе пара 2 кг/час был использован метод тонкослойной хроматографии (рис. 4). Это вариант хроматографии, основанный на различии в скорости перемещения компонентов смеси в плоском тонком слое (толщина 0,1–0,5 мм) сорбента при их движении в потоке подвижной фазы (элюента). На слой сорбента были нанесены капли объемом 1–5 пихтового масла, затем край пластинки погрузили в элюент, который находился на дне герметично закрываемой стеклянной камеры. Элюент продвигался по слою сорбента под действием капиллярных и гравитационных сил; анализируемая смесь перемещалась в том же направлении. В результате многократного повторения актов сорбции и десорбции в соответствии с коэффициентом распределения компоненты разделились и расположились на пластинке отдельными зонами.

После завершения процесса пластинка была вынута из камеры, просушена и опрыскана реагентами, позволяющими обнаружить отдельные зоны в виде флуоресцирующих пятен, соответствующих основным компонентам эфирного масла – а-пинен, борнеол, борнилацетат. Данный анализ носит качественный характер и не дает точной количественной информации о содержании отдельных компонентов. Поэтому для получения сравнительной характеристики получившегося продукта анализ тонкослойной хроматографии был также проведен для пихтового масла производства ЗАО «Эвалар».

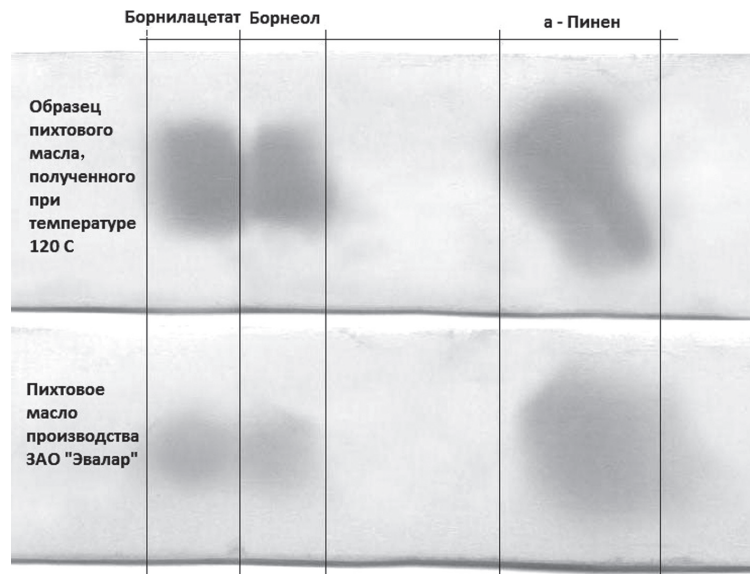


Рис. 4. Сравнительный анализ эфирных масел методом тонкослойной хроматографии

Как видно из рис. 4, флуоресцирующие пятна на полученном образце выглядят более насыщенными, чем на покупном эфирном масле, что говорит о более высоком содержании соответствующих компонентов в его составе, а следовательно, и о более высокой биологической ценности продукта. Плотность эфирного масла, определенная с помощью пикнометра, составила 0,914 г/см³. Проведенные анализы свидетельствуют о полном соответствии полученного продукта требованиям ОСТ 13-221-86.

На основании изложенных результатов исследований была разработана пилотная установка для комплексной пере-

работки древесной зелени непрерывного типа [1], в которой предполагается исследование влияния гидродинамических условий на процесс извлечения эфирных масел, зависимости объема извлеченного эфирного масла от срока хранения сырья, а также влияния термического изменения наноструктуры материала на динамику процесса извлечения.

Библиографический список

1. Сафин, Р.Р. Установка для переработки отходов древесных производств / Р.Р. Сафин, Е.Ю. Разумов, А.Е. Воронин и др. // Вопросы современной науки и практики / Университет им. В.И. Вернадского – Тамбов: ТГТУ, 2009. – С. 82–86.

ИЗМЕНЕНИЕ НАНОСТРУКТУРЫ ДРЕВЕСНЫХ ЧАСТИЦ В ПЛАЗМЕ ВЧ-РАЗРЯДА ПОНИЖЕННОГО ДАВЛЕНИЯ

Р.Р. ХАСАНШИН, доц. каф. архитектуры и дизайна изделий из древесины Казанского ГТУ, канд. техн. наук,
 Е.Ю. РАЗУМОВ, доц. каф. архитектуры и дизайна изделий из древесины Казанского ГТУ, канд. техн. наук,
 Р.Р. САФИН, проф. каф. архитектуры и дизайна изделий из древесины Казанского ГТУ, д-р техн. наук

olambis@rambler.ru; cfaby@mail.ru

Ежегодный объем рубки мягколиственных пород древесины на территории Российской Федерации составляет менее 15 % от расчетной лесосеки, определяющей научно-обоснованный и утвержденный приказом Рослесхоза объем. Недоиспользование рас-

четной лесосеки по лиственным породам ведет к накоплению перестойных насаждений, снижает качественные показатели лесного фонда, ухудшает санитарное состояние и повышает пожарную опасность в лесах. При этом с каждым годом наблюдается тенденция

снижения фактического использования расчетной лесосеки на 1,5–2,0 %, что, в конечном счете, может привести к окончательному старению леса и невозможности его промышленного использования. Невысокий спрос на мягколиственные породы древесины вызван низкосортностью по сравнению с хвойными породами, поэтому их промышленное использование возможно только при глубокой переработке, в частности при производстве композиционных материалов.

В то же время Российская Федерация, лидируя в мире по лесным ресурсам, катастрофически отстает по производству конкурентных товаров на основе продуктов леса. Технологическая отсталость лесной промышленности России от мирового уровня может принять необратимый характер в связи с тем, что развитые страны, даже с ограниченными лесными ресурсами, например Япония, приступили к разработке и использованию нанотехнологий и наноматериалов в производстве товаров с повышенными и новыми потребительскими свойствами на основе продуктов леса. Поэтому в России остро встал вопрос о развитии нанотехнологий в лесной отрасли [1].

В рамках этой проблемы в КГТУ начата работа, направленная на создание новых технологий по изменению наноструктуры древесины с целью ее дальнейшего использования при создании новых композиционных материалов с повышенными физико-химическими свойствами. В частности, на кафедре архитектуры и дизайна изделий из древесины успешно проводятся исследования по термическому модифицированию, а также обработке древесины высокочастотной низкотемпературной плазмой [2].

Для обработки древесины ВЧ-плазмой была использована высокочастотная плазменная установка с частотой генерации 13,56 МГц, мощностью разряда от 0,7 до 3,2 кВт, показателем динамического вакуума в камере от 13 до 130 Па, скоростью расхода плазмообразующего газа до 0,3 г/с, скоростью откачки воздуха из вакуумной камеры – 5–50 дм³/с. В качестве плазмообразующего газа были использованы аргон, пропан, воздух. Схема установки представлена на рис. 1. Установка включает следующие стандартные блоки: высокочастотный

генератор 1, вакуумная камера 2, в которой размещены высокочастотные электроды 3, система механической откачки 4, система подачи плазмообразующего газа 5 и 6, система электроснабжения 7, система водяного охлаждения 8-13 и диагностическое оборудование 14-23. Высокочастотный генератор 1 собран по одноконтурной схеме. Техническая характеристика генератора: потребляемая мощность до 10 кВт, частота 13,56 ±10 %, тип нагрузки – емкостной. Высоковольтный выпрямитель установки собран по трехфазной двухполупериодной схеме с управлением на первичной стороне трансформатора и снабжен приборами контроля, сигнализации, регулирования и защиты. Колебательная мощность генератора составляет до 6,5 кВт.

Обработка изделий при пониженных давлениях накладывает определенные условия на оборудование, в частности на материал вакуумного блока и подколпачной арматуры. Они должны обладать высокой вакуумной плотностью, низким газосодержанием, легким обезгаживанием, хорошими свариваемостью с образованием вакуумно-плотного соединения и обрабатываемостью.

Основание вакуумного блока смонтировано в виде сварного каркаса из нержавеющей стали, на верхней плоскости которого крепится плита. На ней размещен вакуумный колпак и два параллельных медных электрода размером 250 × 300 мм (изолированный и заземленный). Расстояние между электродами 3 регулировали в диапазоне от 20 до 50 мм. Внутри каркаса блока размещены подъемник колпака с электроприводом, блок электропитания, система водяного охлаждения узлов установки. В колпаке предусмотрены окна для оптической диагностики.

Механическая система откачки 4 поддерживает необходимое рабочее давление в вакуумной камере. Давление в камере измеряется вакуумметром с преобразователем типа диодного механотрона 6 МДХ4С, предназначенным для измерения давления в диапазоне 1,33–1333,20 Па. Диапазон измерительного прибора 0–200 мкА. Класс точности прибора 1,0. Система откачки состоит из двухроторного насоса типа АВР–50 со скоростью откачки воздуха 50 л/с.

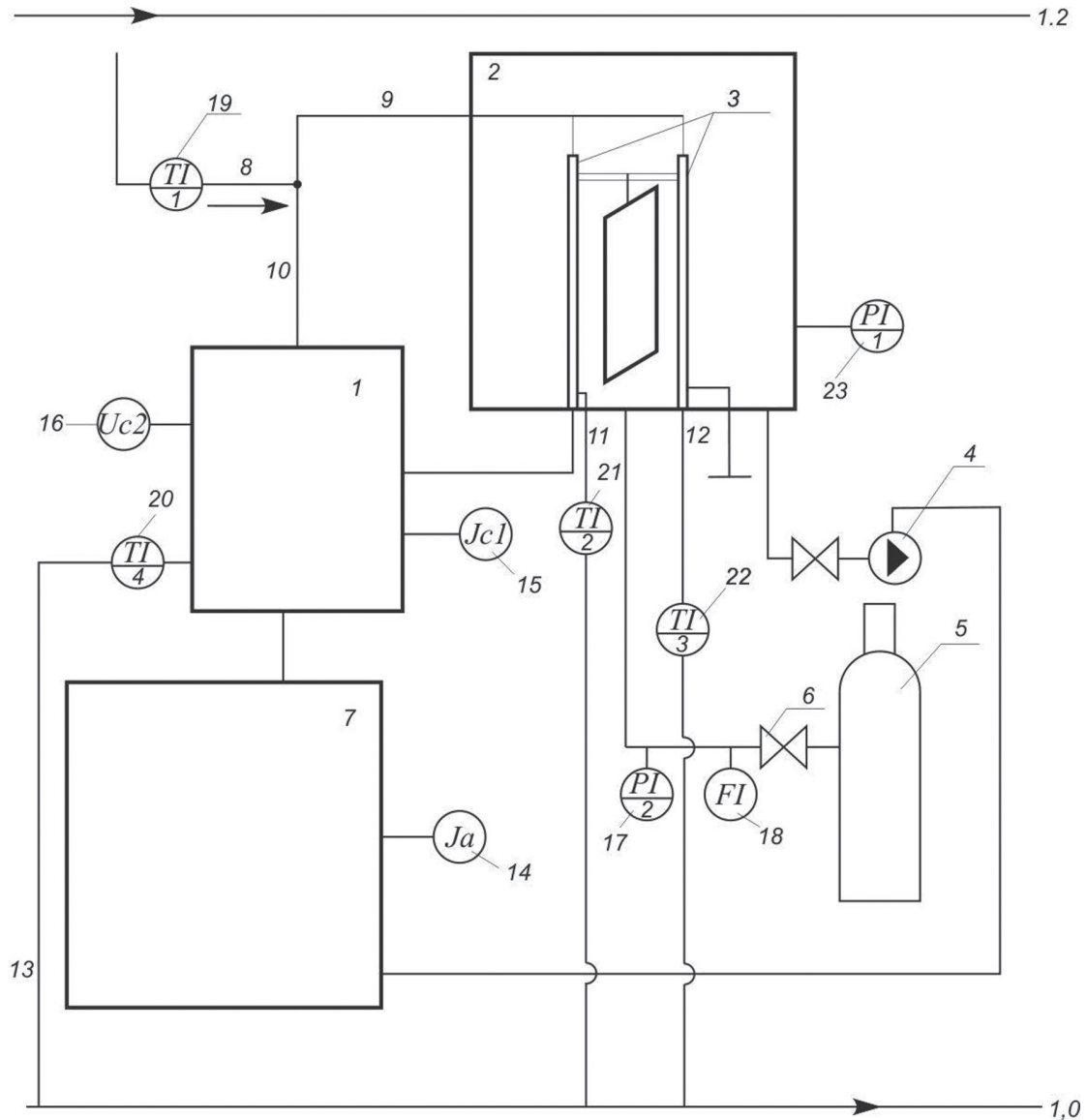


Рис. 1. Схема экспериментальной ВЧ-плазменной установки

Система питания установки рабочим газом состоит из баллона со сжатым газом (до 150 атм., 4 м³), редуктора для понижения давления ДКП-1-65 (точность измерения 1 кгс/см²), образцового манометра (точность измерения 6 кгс/см²) и ротаметра типа РМ-3/43 чувствительностью 0,0063 г/с для определения расхода газа и игольчатого натека для регулирования расхода, устройства для получения смеси газов и устройства для импульсной подачи газа. Стабильность газа обеспечивается использованием буферной емкости.

Система охлаждения 8–13 установки служит для обеспечения заданного теплового режима ее узлов и деталей. Охлаждение проточное содержит манометр для контроля давления в системе водоснабжения чувстви-

тельностью 1 г/с, имеются блокировки на случай резкого отключения воды. Вода поступает через системы контроля температуры и расхода жидкости на охлаждение наиболее нагруженных в тепловом отношении элементов: генераторной лампы и высокочастотных электродов. Подвод воды к установке и отвод воды из нее осуществляется при помощи резиновых шлангов.

В процессе экспериментальных исследований образцы помещались в вакуумной блоке установки между электродами вдоль потока плазмы. Производилась предварительная откачка воздуха из вакуумной камеры, затем подавался рабочий газ. Регулировкой вентиля, соединяющего вакуумную камеру с вакуумным агрегатом, устанавливалось за-

данное давление. При подаче на электроды высокочастотного напряжения в разрядной камере за счет нагрева плазмообразующего газа до состояния плазмы образуется плазменный поток. Режим плазменной обработки регулировался путем изменения расхода газа, мощности ВЧ-разряда, давления в разрядной камере и продолжительности обработки.

В древесине при помещении ее в плазму ВЧ-разряда пониженного давления происходят следующие физико-химические эффекты: у поверхности образца образуются плазменные слои положительного заряда, в результате чего к материалу оказывается приложенная разность потенциалов до 80 В при амплитуде напряженности электрического поля $(2,5-6,5) \cdot 10^4$ В/м. Этого достаточно для инициации и поддержания несамостоятельного ВЧ-разряда в капиллярах и порах, так называемого эффекта объемной модификации. Модификация материала происходит за счет кинетического воздействия ионов плазмы на поверхность с энергией 30–100 эВ и модификации поровых пространств за счет рекомбинации ионов плазмообразующего газа при горении несамостоятельных ВЧ-разрядов; энергия данного воздействия составляет 12,4–25,2 эВ и зависит от применяемого плазмообразующего газа.

Для проведения экспериментов были взяты образцы отходов древесины лиственных и хвойных пород. Продолжительность обработки составляла 5–20 минут. После обработки образцы выдерживались в комнатных условиях в течение 4 часов для выравнивания их влажности.

Эффект плазменного воздействия на древесину проверяли при сравнении образцов, обработанных в потоке плазмы ВЧ-разряда, с контрольными. Установлено, что после плазменной обработки в зависимости от вида плазмы изменяются сорбционные свойства материалов. При обработке частиц древесины ВЧ-плазмой смеси аргона и пропана повышается гидрофобность их поверхности – из-за создания дополнительных функциональных групп на поверхности древесных волокон и замещения ОН-групп в молекулах целлюлозы, что уменьшает сродство целлюлозы к воде. При дальнейшей обработке час-

тиц древесины олигомерами (например стиролом) с последующей их полимеризацией возможно также заполнение пор древесинного вещества, что дополнительно существенно повышает влагостойкость древесины. При обработке частиц древесины ВЧ-плазмой воздуха напротив – возрастает гидрофильность их поверхности из-за расширения и упорядочения пор в древесине, вследствие чего пары воды активной проникают внутрь материала. Данный процесс позволяет повысить адгезионные свойства древесины, что ценно в производстве древесных композитов [3].

Подобное изменение свойств материала связано с изменениями его внутренней микроструктуры под действием ВЧ-плазменной модификации. Происходит изменение плотности укладки коллагеновых фибрилл, первичных и вторичных волокон, как следствие, изменяется пористость материала.

Было исследовано взаимодействие древесины с портландцементом, для чего были изготовлены образцы композита, подвергшиеся впоследствии исследованию на механическую прочность при сжатии. Установлено повышение прочностных характеристик древесных композитов, созданных на основе модифицированной в ВЧ-плазме воздуха древесины, в среднем на 23 %. Подобное явление может объясняться увеличением поверхности контакта между портландцементом и древесными волокнами, получившими «разволокнение» в результате ВЧ-плазменной обработки, о чем свидетельствуют электронно-микроскопические исследования образцов древесины: наблюдается расщепление отдельных волокнистых элементов и получение развитой пористой структуры [3, 4].

Проведены исследования древесных частиц до и после высокочастотной плазменной обработки на рентгеновском дифрактометре (рис. 2). Установлено, что изменения в древесных частицах происходят на наноуровне. В зависимости от мощности и способа обработки наблюдается изменение межплоскостного расстояния в семействе плоскостей, значительное увеличение интенсивности пика и площади пика, что указывает на увеличение степени кристалличности образцов, т.е. доли кристаллитов в древесине.

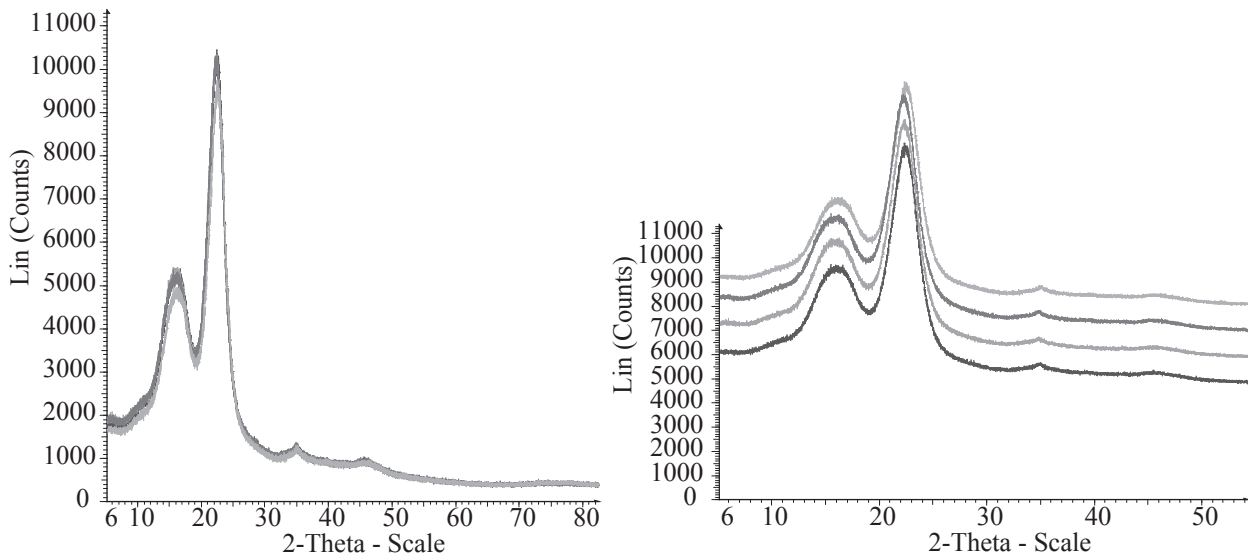


Рис. 2. Дифрактограммы соснового образца, обработанного ВЧ-разрядом

Таким образом, одним из направлений изменения наноструктуры древесных частиц является воздействие плазмы. Путем проведения объемной обработки частиц древесины высокочастотной плазмой пониженного давления можно значительно улучшить смачиваемость их поверхности, повысить эффект адгезионного взаимодействия между частицами древесины и минеральными вяжущими или повысить гидрофобность поверхности частиц с целью защиты древесины.

Библиографический список

1. Бугаков, В.М. Стратегия развития нанотехнологий в лесной отрасли РФ / В.М. Бугаков, М.Н. Левин, М.В. Драпалюк; Фед. агентство по образованию, ГОУ ВПО «ВГЛТА». – Воронеж, 2008. – 18 с.
2. Сафин, Р.Р. Модифицирование древесных материалов путем обработки ВЧ-плазмой / Р.Р. Сафин, Р.Р. Хасаншин, Л.И. Аминов // *Материалы международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы развития лесного комплекса»*. – ВоГТУ, Вологда, 2009. – С. 121–123.
3. Сафин, Р. Р. Экспериментальное исследование физического эффекта обработки древесных отходов ВЧ-плазмой / Р.Р. Сафин и др. // *Деревообрабатывающая промышленность*. – М., 2009. – №1. – С. 24–25.
4. Сафин, Р.Р. Закономерности структурных изменений древесных материалов при обработке высокочастотной плазмой пониженного давления / Р.Р. Сафин и др. // *Доклады Международной научно-практической конференции «Биоэнергетика и биотехнологии – эффективное использование отходов лесозаготовок и деревообработки»*. – М., 2009. – С. 56–57.

**ТЕРМОМОДИФИЦИРОВАНИЕ ДРЕВЕСИНЫ
В СРЕДЕ ТОПОЧНЫХ ГАЗОВ**

Р.Р. САФИН, *проф. каф. архитектуры и дизайна изделий из древесины Казанского ГТУ, д-р техн. наук,*

Р.Р. ХАСАНШИН, *доц. каф. архитектуры и дизайна изделий из древесины Казанского ГТУ, канд. техн. наук,*

Е.Ю. РАЗУМОВ, *доц. каф. архитектуры и дизайна изделий из древесины Казанского ГТУ, канд. техн. наук,*

Н.А. ОЛАДЫШКИНА, *асс. каф. архитектуры и дизайна изделий из древесины Казанского ГТУ*

olambis@rambler.ru cfaby@mail.ru

Вследствие постепенного сужения возможных областей использования химически обработанной древесины и все более ужесточающихся требований к самим хи-

мическим составам, что, в частности, видно из запрета Еврокомиссии применять древесину, обработанную антисептиками, содержащими соли тяжелых металлов, рынок

потребления термообработанной древесины в последние годы постоянно расширяется. Это также объясняется значительным улучшением эксплуатационных свойств древесины: повышается биологическая стойкость, снижается равновесная влажность, сокращается коэффициент разбухания древесины при увлажнении, существенно уменьшается возможность проникновения воды в материал, улучшаются декоративные свойства и т.д. Несмотря на ряд преимуществ, данная технология модифицирования древесины в нашей стране не нашла широкого применения вследствие высокой энергоемкости процесса, существенно увеличивающей себестоимость переработки древесины. Известные в настоящее время зарубежные технологии в процессе термообработки для защиты материала от кислорода, а также подвода тепловой энергии используют перегретый водяной пар или жидкую среду. Это зачастую

приводит к большим энергозатратам и быстрому износу дорогостоящего оборудования вследствие воздействия высокотемпературной агрессивной среды.

Таким образом, исследование процессов термомодифицирования древесины и разработку конкурентоспособных отечественных технологий и оборудования следует считать актуальной задачей, имеющей важное народнохозяйственное значение.

В связи с изложенным выше нами предложена технология термомодифицирования древесины в топочных газах, для реализации которой разработана установка, представленная на рис. 1.

Установка состоит из основных элементов: газификатора 1, устройства дожига 2, устройства механической очистки газов 3, вентилятора 4, теплообменника 5, камеры термомодифицирования 6, сушильной камеры 7.

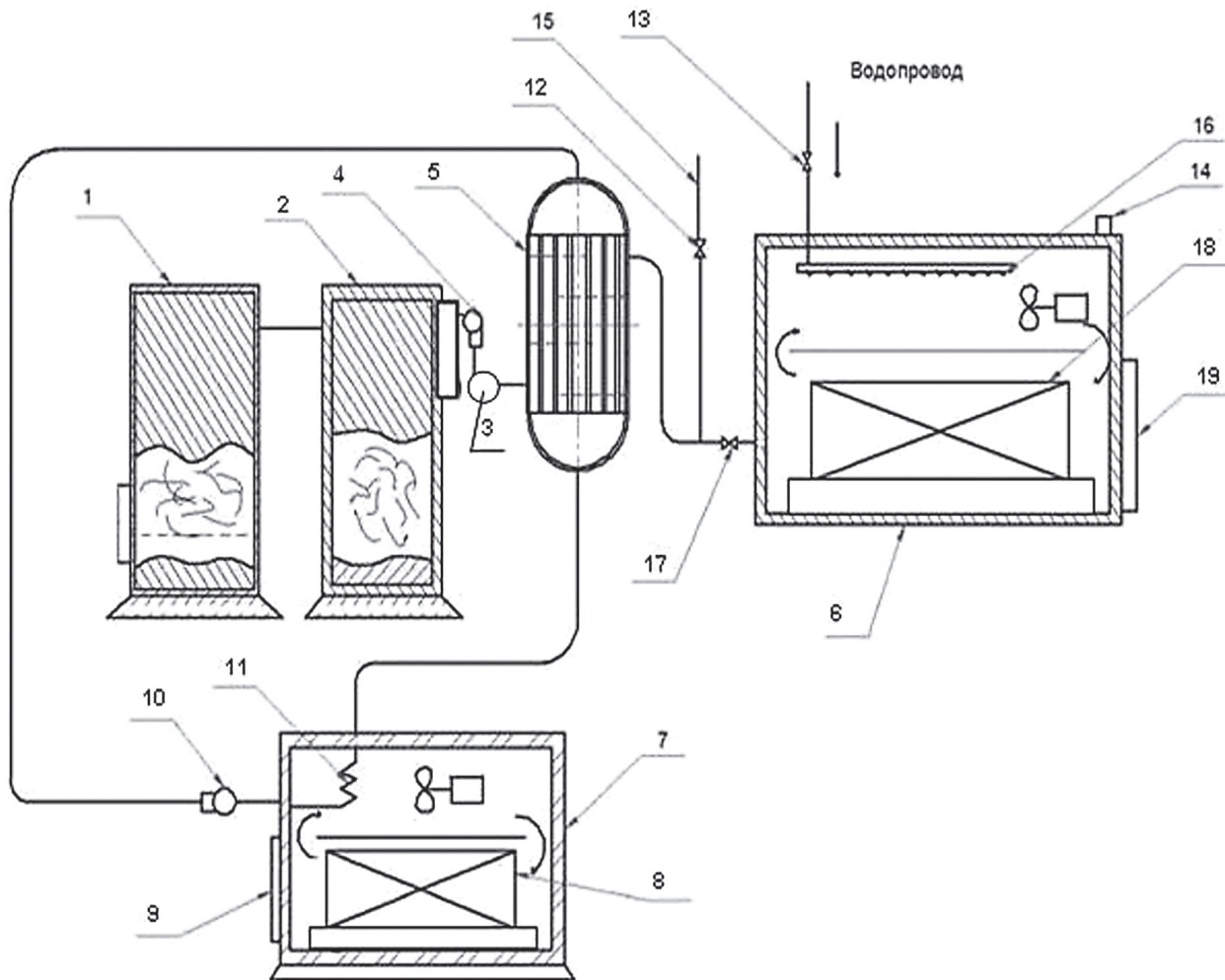


Рис. 1. Схема экспериментального стенда термомодифицирования древесины в топочных газах

Установка работает следующим образом. В камеру 1 загружаются отходы деревообработки (щепа, стружка), а предварительно высушенный пиломатериал 18 загружается в камеру термомодифицирования 6 через загрузочные ворота 19, после чего камеры герметизируют. Древесина для предварительной сушки 8 помещается в сушильную камеру 7 через ворота 9. Далее осуществляется процесс газификации отходов деревообработки в камере 1, образовавшийся в результате синтез-газ поступает в камеру дожига 2, где происходит дожигание синтез-газа с образованием топочных газов. После этого топочные газы с температурой 600÷700°С через устройства механической очистки газов 3 при помощи вентилятора 4 поступают в кожухотрубчатый теплообменный аппарат 5. В нем происходит понижение температуры топочных газов до 200÷240°С, после чего охлажденные топочные газы с заданной температурой поступают в камеру термомодифицирования 6. В этот момент заслонка 17 остается открытой, а шиберную заслонку 12 закрывают для того, чтобы топочные газы из теплообменного аппарата 5 не уходили в атмосферу. Процесс модифицирования осуществляется постепенным нагревом древесины до температуры 200÷40°С в зависимости от необходимой степени термомодифицирования и последующей выдержкой при этой температуре в течении 5–7 часов до приобретения древесиной заданных свойств. Отработанные топочные газы из камеры 6 удаляются через патрубок 14.

После окончания процесса термомодифицирования заслонку 17 полностью закрывают, а шиберную заслонку 12 полностью открывают, и топочные газы по трубе 15 отводятся в атмосферу – начинается стадия охлаждения древесины. Для интенсификации охлаждения древесины в камеру термомодифицирования 6 через форсунки 16 диспергируется вода из центрального водопровода открытием крана 13. После охлаждения пиломатериала 18 до 100°С производится его выгрузка из камеры термомодифицирования 6.

Излишняя тепловая энергия, отводимая при охлаждении топочных газов в теплообменном аппарате 5, на протяжении всего процесса передается в сушильную камеру 7

с помощью водяного калорифера 11 и циркуляционного насоса 10 для предварительной сушки пиломатериалов перед термомодифицированием.

Газификатор представляет собой технологию высокотемпературного окисления древесины с ограниченным доступом воздуха и получения синтез-газа. Газовые выбросы при сжигании отходов по данной схеме по количественному и качественному составу близки к выбросам при работе котлов на природном газе. Использование подобного технического решения позволяет не только получать дешевую тепловую энергию, но и решать экологическую проблему, а также быть энергонезависимыми от источников питания в процессе термомодифицирования за счет использования отходов деревообработки.

Для обеспечения возможности определения рациональных режимов ведения процесса и подбора оборудования была разработана математическая модель [1,2]. Для решения стадии прогрева пиломатериала может быть использовано дифференциальное уравнение тепломассопереноса для одномерной симметричной пластины

$$\frac{\partial T_m}{\partial \tau} = a_T \left(\frac{\partial^2 T_m}{\partial x^2} \right). \quad (1)$$

Для решения этого уравнения были использованы следующие краевые условия

$$-\lambda \cdot \frac{\partial T_m}{\partial x} \Big|_{x=0} = \alpha \cdot (T_{m.пог} - T_{ср}), \quad (2)$$

$$T_m(0;x) = 373K. \quad (3)$$

Результаты проведенного математического и физического моделирования показали, что одномоментный подъем температуры нагрева среды до заданного режима вызывает существенное запаздывание изменения температуры центральных слоев пиломатериала по сравнению с его поверхностными слоями, обуславливающее большее модифицирование последних по сравнению с центральными слоями и, как следствие, неравномерную цветовую гамму по сечению древесины. Многоступенчатое повышение температуры среды значительно сокращает неравномерность термической обработки по сечению материала, однако не полностью решает данную проблему (рис. 2).

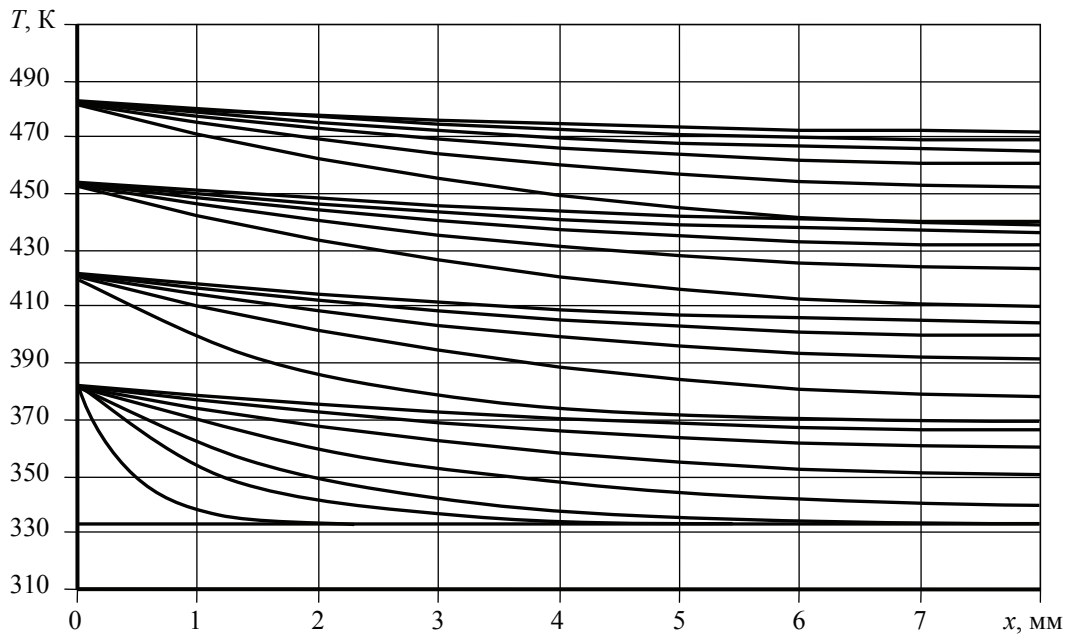


Рис. 2. Изменение температурного поля внутри образца в процессе многоступенчатого подъема температуры среды

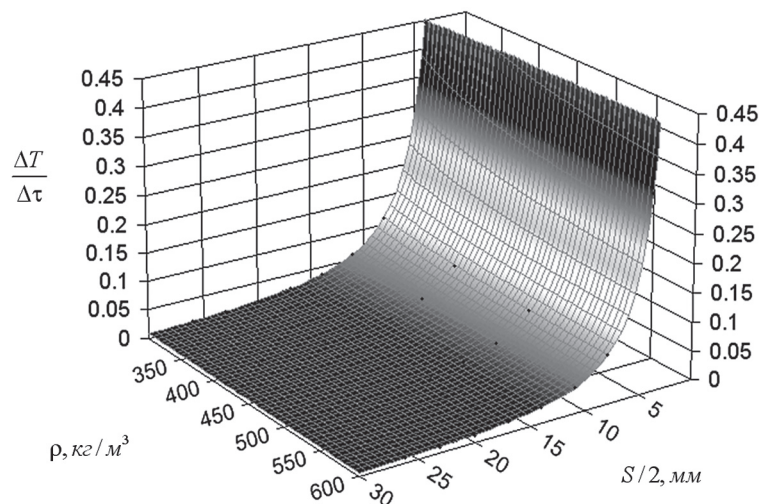


Рис. 3. График зависимости темпа повышения температуры агента обработки от толщины образца и его плотности

Наиболее равномерной окраски по сечению пиломатериала позволяет добиться постепенное изменение температуры среды по определенному закону. Для удобства инженерного использования по результатам математического моделирования и экспериментальных исследований процесса термомодифицирования древесины топочными газами получено аналитическое выражение темпа повышения температуры среды в зависимости от толщины и плотности образца

$$\ln\left(\frac{\Delta T}{\Delta \tau}\right) = 1,58 - 2,004 \ln \frac{S}{2} + \frac{35096,5}{\rho^2}, \quad (4)$$

где S – толщина образца, мм;
 ρ – базисная плотность древесины, кг/м³.

Данная зависимость получена аппроксимацией результатов исследований термомодифицирования пиломатериалов толщиной 8–60 мм и плотностью 300–600 кг/м³. В качестве начального условия принималась температура начала термомодифицирования древесины после стадии сушки, равная 100 °С.

С помощью полученной формулы можно рассчитать изменение температуры нагрева агента обработки с целью получения наиболее равномерной степени термического

модифицирования древесины по всему объему. Графически данная зависимость представлена на рис. 3.

Применение данной технологии термомодифицирования древесных материалов с использованием топочных газов позволяет сделать процесс получения термодревесины менее энергозатратным, а полученные зависимости – наиболее рационально определить режимы его проведения. В разработанной установке по тепловой обработке пиломатериалов параллельно с процессом термомодифицирования можно проводить сушку за счет невостребованной тепловой энергии топочных газов, что существенно влияет на

энергоёмкость и стоимость процесса. Таким образом, можно отказаться от дорогостоящих зарубежных технологий термомодифицирования, не снижая при этом качества получаемой продукции.

Библиографический список

1. Сафин, Р.Р. Разработка метода расчета вакуумно-кондуктивного термомодифицирования древесных пиломатериалов / Р.Р. Сафин, Р.Р. Хасаншин, Е.Ю. Разумов // Труды XXII Международной научной конференции «ММТТ-22», Псков. – 2009. – С. 18–22.
2. Сафин, Р.Р. Новые подходы к совершенствованию вакуумно-конвективных технологий сушки древесины / Р.Р. Сафин и др. // Деревообрабатывающая промышленность. – 2005. – № 5. – С. 16–19.

ПЛАВУЧЕСТЬ И ОСТОЙЧИВОСТЬ КОНТЕЙНЕРА ДЛЯ ВОДНОЙ ДОСТАВКИ ЛЕСНЫХ ГРУЗОВ

А.Н. КОМЯКОВ, доц. каф. транспорта леса МГУЛ, канд. техн. наук,
И.Л. ШЕВЕЛЕВ, доц. каф. транспорта леса МГУЛ, канд. техн. наук

akomyakov@mail.ru; shevelev@mgul.ac.ru

Один из важных вопросов, возникающих в связи с транспортировкой водным путем плавучих контейнеров с древесной щепой и прочими лесными грузами, есть вопрос об остойчивости таких контейнеров, т.е. вопрос о способности контейнеров, по той или иной причине выведенных из состояния равновесия, возвращаться в исходное положение. Для решения этого вопроса естественно воспользоваться теорией, развитой в свое время для судов [1]. В дальнейшем речь пойдет о так называемой начальной остойчивости, т.е. остойчивости при малых углах наклона, что имеет место в нашем случае. Рассмотрение основано на общих формулах теории. В теории судов использование этих формул часто сопряжено с большими трудностями, обусловленными сложной формой классических судов и сложным распределением отдельных весовых нагрузок на судне. В нашем случае ситуация упрощается вследствие относительной простоты формы и конструкции контейнеров (из соображений технологичности контейнеру целесообразно придать форму, близкую к форме прямоугольного параллелепипеда), ввиду чего

удается получить не слишком громоздкие и притом явные аналитические выражения для всех величин, входящих в теорию остойчивости.

Итак, пусть имеется параллелепипед длиной L , шириной B , высотой H и объемом $V = LBH$ (небольшими скруглениями очертаний корпуса пренебрегаем). В дальнейшем считаем, что длина L превосходит ширину B , поэтому будем интересоваться только креном (а не дифферентом), как наиболее опасным наклоном. Пусть часть объема контейнера также в форме параллелепипеда с размерами $l = L - 2\Delta l$, $b = B - 2\Delta b$ и $h = H - \Delta h$ (и объемом $v = lbh$) занята сухой древесной щепой плотности ρ_2 , а остальная часть контейнера (объемом $V - v$) – замороженной щепой плотности $\rho_1 > \rho_2$ (патент RU 2153456 C1, рис. 1).

Для вычисления плотностей имеем выражения

$$\rho_1 = p_1 \rho_{\text{древесины}}^{(1)} + (1 - p_1) \rho_{\text{льда}}, \quad (1)$$

$$\rho_2 = p_2 \rho_{\text{древесины}}^{(2)}, \quad (2)$$

где p_1 и p_2 – коэффициенты полндревесности соответственно в замороженной щепе и в сухой, а $\rho_{\text{древесины}}^{(1)}$ и $\rho_{\text{древесины}}^{(2)}$ – плотности древесины в замороженной и сухой щепе.

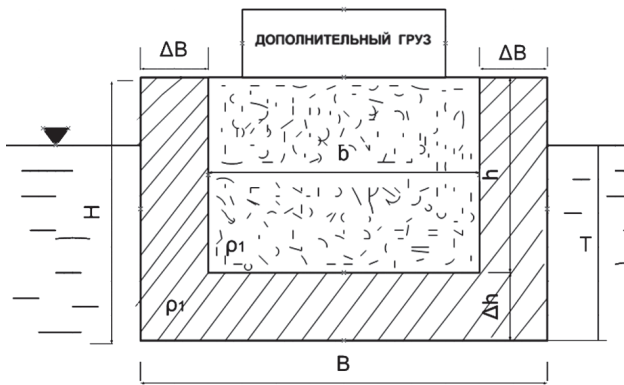


Рис. 1. Схема контейнера для обоснования устойчивости

Пусть на грузовой площадке в верхней части контейнера располагается груз массы M с известным положением центра тяжести и пусть $h'/2$ есть возвышение центра тяжести этого груза над верхней гранью контейнера. Предполагаем, что объем v и груз M расположены таким образом, что в условиях равновесия контейнер имеет нормальную посадку без крена и дифферента (центры большого параллелепипеда объема V и малого параллелепипеда объема v , а также центр тяжести груза M расположены на одной прямой – вертикальной оси симметрии контейнера).

Наша цель – определить условия устойчивого плавания такого контейнера. Согласно общей теории для этого требуется вычислить поперечную метацентрическую высоту

$$h_M = r + z_C - z_G, \quad (3)$$

где r – поперечный метацентрический радиус, а z_C и z_G – аппликаты центров величины и центра тяжести всего контейнера, отсчитанные от дна контейнера. Далее требуется определить знак h_M ; при этом устойчивому плаванию контейнера будут, как известно, отвечать положительные значения h_M .

Подводная часть контейнера представляет собой параллелепипед с размерами L , B и T (где T – осадка контейнера), так что поперечный метацентрический радиус будет равен [2]

$$r = B^2 / 12T, \quad (4)$$

а величина аппликаты центра величины в этом случае будет связана с осадкой простым соотношением

$$z_C = T / 2. \quad (5)$$

Таким образом, остается найти осадку T и аппликату центра тяжести контейнера.

Первая легко находится из условия плавания контейнера

$$\rho_{\text{воды}} LB T g = \rho_1 (V-v) g + \rho_2 v g + M g, \quad (6)$$

где g – ускорение свободного падения и равна

$$T = \frac{\rho_1 (V-v) + \rho_2 v + M}{\rho_{\text{воды}} LB}. \quad (7)$$

Выражение для аппликаты центра тяжести контейнера можно записать в виде

$$z_G = \frac{\rho_1 V H / 2 + (\rho_2 - \rho_1) v (H - h / 2) + M (H + h' / 2)}{\rho_1 (V-v) + \rho_2 v + M}. \quad (8)$$

Нами учтено здесь, что в объеме v , центр которого располагается на расстоянии $H-h/2$ от дна контейнера, вещество плотности ρ_1 удалено и вместо него помещено вещество плотности ρ_2 .

Окончательно по формулам (3–5) и (7–8) получаем следующее аналитическое выражение для поперечной метацентрической высоты

$$h_M = \frac{1}{12} \frac{\rho_{\text{воды}} LB^3}{\rho_1 (V-v) + \rho_2 v + M} + \frac{1}{2} \frac{\rho_1 (V-v) + \rho_2 v + M}{\rho_{\text{воды}} LB} + \frac{\rho_1 V H / 2 + (\rho_2 - \rho_1) v (H - h / 2) + M (H + h' / 2)}{\rho_1 (V-v) + \rho_2 v + M}. \quad (9)$$

При использовании этой формулы нужно еще помнить, что выражения для плотностей ρ_1 и ρ_2 даются формулами (1–2) и зависят еще от коэффициентов полнодревесности p_1 и p_2 соответственно в объемах $V-v$ и v , а объемы V и v должны быть вычислены по формулам $V = LBH$ и $v = (L-2\Delta l)(B-2\Delta b)(H-\Delta h)$. С учетом сказанного, выражение (9) оказывается довольно громоздким, притом метацентрическая высота оказывается зависящей от довольно большого числа параметров.

Если в формулах $l = L-2\Delta l$, $b = B-2\Delta b$ и $h = H-\Delta h$ положить $\lambda = \Delta l / L$ ($\lambda \leq 1/2$), $\beta = \Delta b / B$ ($\beta \leq 1/2$) и $\eta = \Delta h / H$ ($\eta \leq 1$) и $M = 0$, то формуле (9) можно придать вид

$$h_M = \frac{1}{12} \frac{B^2}{H} \frac{\rho_w}{\rho_1 + (\rho_2 - \rho_1)(1-2\lambda)(1-2\beta)(1-\eta)} + \frac{1}{2} H \frac{\rho_1 + (\rho_2 - \rho_1)(1-2\lambda)(1-2\beta)(1-\eta)}{\rho_w} + \frac{1}{2} H \frac{\rho_1 + (\rho_2 - \rho_1)(1-2\lambda)(1-2\beta)(1-\eta^2)}{\rho_1 + (\rho_2 - \rho_1)(1-2\lambda)(1-2\beta)(1-\eta)}. \quad (9')$$

На рис. 2 показаны зависимости метацентрической высоты h_M от ширины контейнера B при фиксированных $L = 3$ м, $H = 1$ м,

$p_1 = p_2 = 0,4$ и $\lambda = \beta = \eta$ («пропорциональная модель»). При этом кривые 1–4 отвечают следующим случаям: кривая 1 – $\lambda = \beta = \eta = 0,1$ ($\Delta l = L/10, \Delta b = B/10, \Delta h = H/10$), кривая 2 – $\lambda = \beta = \eta = 0,2$, кривая 3 – $\lambda = \beta = \eta = 0,3$ и кривая 4 – $\lambda = \beta = \eta = 0,4$. Из графика видно, что устойчивому плаванию контейнера ($h_M > 0$) отвечают достаточно большие значения ширины контейнера B , притом, тем большие, чем меньше параметр $\lambda = \beta = \eta$ (чем меньше «толщина стенок» контейнера плотности ρ_1).

На рис. 3 изображены зависимости h_M от B при заданных $L = 3$ м, $H = 1$ м, $\lambda = \beta = \eta = 0,4$ и разных значениях коэффициента полндревесности. В этом случае кривая 1 отвечает значению $p_1 = p_2 = 0,3$, а кривая 2 – значению $p_1 = p_2 = 0,6$. Кривые, как видно из рисунка, оказались весьма близки друг к другу; близкими оказались и минимальные значения ширины контейнера, начиная с которых его плавание будет устойчивым. Таким образом, зависимость метацентрической высоты от коэффициента полндревесности оказалась весьма слабой.

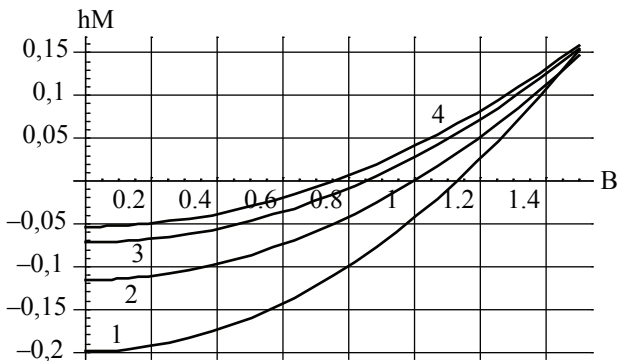


Рис. 2. Зависимость поперечной метацентрической высоты h_M от ширины контейнера B (в метрах) при разной толщине наморозенного слоя

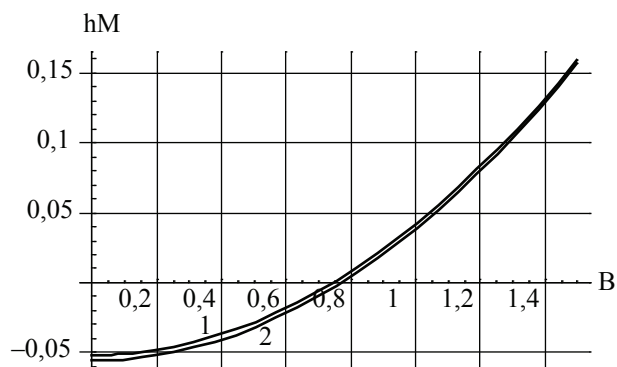


Рис. 3. Зависимость поперечной метацентрической высоты h_M от ширины контейнера B при различных коэффициентах полндревесности p

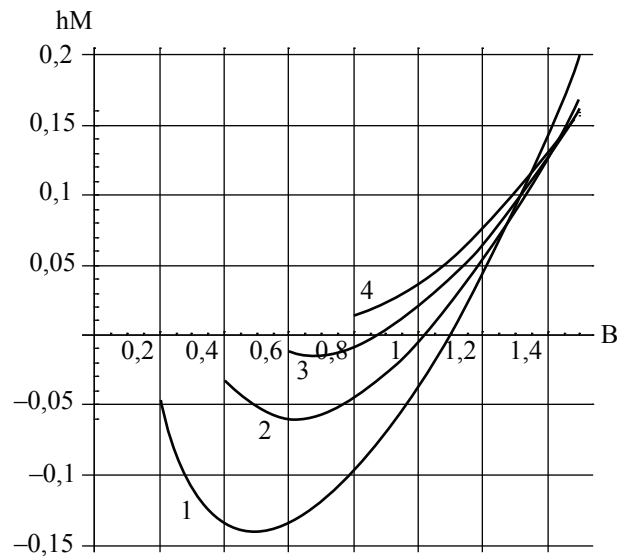


Рис. 4. Зависимость поперечной метацентрической высоты h_M от ширины контейнера для различных толщин его наморозенного слоя

На рис. 4 показаны зависимости метацентрической высоты от ширины контейнера при фиксированных $L = 3$ м, $H = 1$ м, $p_1 = p_2 = 0,4$ и $\Delta l = \Delta b = \Delta h$ («однородная модель»). Здесь кривые 1–4 отвечают следующим случаям: кривая 1 – $\Delta l = \Delta b = \Delta h = 0,1$ м, кривая 2 – $\Delta l = \Delta b = \Delta h = 0,2$ м, кривая 3 – $\Delta l = \Delta b = \Delta h = 0,3$ м и наконец кривая 4 – $\Delta l = \Delta b = \Delta h = 0,4$ м. При построении графиков учтено, что зависимость (9) имеет смысл лишь в области значений $B \geq 2 \Delta b$, из-за чего области определения функции (9) для разных Δb оказываются различными; на рис.3 показаны зависимости $h_M(B)$ лишь области их определения.

С использованием средств «МАТНЕМАТИСА-7.0» авторами написана программа, позволяющая вычислять параметры устойчивости контейнера рассматриваемой конструкции не только для «пропорциональной модели» (когда $\Delta l/L = \Delta b/B = \Delta h/H$) или «однородной» (когда $\Delta l = \Delta b = \Delta h$), но и в случае произвольных значений $\Delta l, \Delta b$ и Δh .

Библиографический список

1. Лебедев, Н.И. Лесосплавной флот: Учебник для студентов специальности 260100 / Н.И. Лебедев. – М.: МГУЛ, 2003. – 205 с.
2. Карпачев С.П., Комяков А.Н. Расчет лесосплавных судов с упрощенными обводами корпуса: учеб. пособие для студентов спец. 250401 и 17040 / С.П. Карпачев, А.Н. Комяков. – М.: Изд. МГУЛ, 2008. – 60 с.

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАВУЧИХ КОНТЕЙНЕРОВ И КОНТЕЙНЕРНЫХ СОСТАВОВ ДЛЯ ДОСТАВКИ ИЗМЕЛЬЧЕННЫХ ЛЕСНЫХ ГРУЗОВ

А.Н. КОМЯКОВ, доц. каф. транспорта леса МГУЛ, канд. техн. наук,
М.А. СОРОКИН, ст. преподаватель каф. транспорта леса МГУЛ

akomyakov@mail.ru; sorokin@mgul.ac.ru

Технико-экономические показатели доставки потребителям измельченных и прочих лесных грузов в плавучих контейнерах в значительной степени определяются затратами на их транспортировку. Для выполнения тяговых, технологических и экономических расчетов необходимо знать гидродинамические характеристики одиночных плавучих контейнеров, контейнерных составов различных конструкций и, прежде всего, сопротивление воды их движению. На кафедре транспорта леса МГУЛ в последние годы проведен ряд теоретических и экспериментальных исследований сопротивления воды движению этих новых лесотранспортных единиц для водной доставки лесных грузов. Исследовались одиночные контейнеры, контейнерные составы, комбинированные (совместно с пучковыми) плоты и большегрузные плавучие контейнеры.

Целью исследований было установление аналитических зависимостей сопротивления воды движению от геометрических параметров, скоростного режима буксировки, путевых условий и конструктивных особенностей. Исследования проводились в опытовых бассейнах лабораторий водного транспорта леса МГУЛ, С-ПЛТА и в натуральных условиях на реках Кама, Вычегда и Северная Двина.

Контейнерные составы имеют много общего с традиционными пучковыми плотами. Они также являются плохообтекаемыми телами, состоящими из большого количества самостоятельных грузовых единиц (контейнеров). Характерной особенностью и тех и других является наличие продольных и поперечных интервалов между отдельными единицами, сложная форма подводной поверхности. Поэтому для расчета сопротивления воды движению контейнерного состава мы сочли возможным не разделять его на сопротивление трения и остаточное сопротив-

ление и применить одночленную формулу М.М. Овчинникова [1]

$$R = C_R(\rho V^2 / 2)BT, (1)$$

где C_R – коэффициент сопротивления плота;
 ρ – плотность воды;
 V – скорость движения относительно воды;
 B и T – ширина и осадка плота.

У пучковых плотов коэффициент C_R зависит главным образом от отношения длины плота к его осадке L / T и практически не зависит от скоростного режима и отношения B / T , так как при характерных для плотов значениях $B / T > 10...15$ обтекание плота потоком становится двумерным и сопротивление изменяется пропорционально ширине плота. В случае с контейнерными составами этими факторами пренебрегать нельзя, поскольку контейнеры и контейнерные составы могут буксироваться с повышенными скоростями и изменять соотношение главных размерений (L, B, T) в более широких пределах. Из-за этого характер обтекания потоком будет более сложным.

В результате серии опытов с моделями контейнерных составов получены следующие уравнения регрессии:

– для составов с продольным расположением контейнеров

$$C_R = 0,91417 - 0,00633 L / T - 0,02487 B / T - 2,08875Fr + 0,00034(L / T)^2 + 0,00162(B / T)^2 + 3,1053Fr^2 - 0,00032(LB / T^2) + 0,00985(L / T) \times Fr + 0,07148(B / T)Fr; (2)$$

– для составов с поперечным расположением контейнеров

$$C_R = 0,91417 - 0,00633 L / T - 0,02487 B / T - 2,08875Fr + 0,00034(L / T)^2 + 0,00162(B / T)^2 + 3,1053Fr^2 - 0,00032(LB / T^2) + 0,00985(L / T) \times Fr + 0,07148(B / T)Fr. (3)$$

Для ориентировочных расчетов величины C_R получены следующие линейные уравнения регрессии для составов с продоль-

ным и поперечным расположением контейнеров соответственно

$$C_R^M = 0,0155L / T + 0,0177B / T + 0,895Fr, \quad (4)$$

$$C_R^M = 0,0254L / T + 0,0152B / T + 0,675Fr + 0,159. \quad (5)$$

Расхождения между значениями C_R , рассчитанными по формулам (4,5), и результатами опытов не превышают 8...12 %. Исследования проводились в диапазонах определяющих факторов L / T от 12 до 45, B/T от 4 до 13 и числа Фруда $Fr = V / \sqrt{gT}$ от 0,14 до 0,47. Натурные буксировочные испытания контейнерных составов, которые проводились на реке Северная Двина, показали, что опытные значения C_R и R несколько превышают (примерно на 10 %) расчетные. Это позволяет сделать вывод о том, что полученные математические модели буксировки контейнерных составов достаточно точно отражают реальный процесс. При этом целесообразно ввести поправочный коэффициент $k_n = 1,1$ для пересчета результатов моделирования на натуру.

Для большегрузных плавучих контейнеров прямоугольных очертаний получено линейное уравнение регрессии

$$c_R = 1,296 + 0,01488 L / T + 0,02279 B / T - 0,4472 Fr. \quad (6)$$

Рост коэффициента сопротивления c_R с увеличением параметра L/T объясняется, главным образом, простым увеличением длины транспортируемого тела. То есть, чем длиннее плот, судно или контейнер, тем больше его сопротивление.

Увеличение коэффициента c_R с ростом параметра B/T обусловлено увеличением «лобового» сопротивления из-за возникновения поперечной волны перед передней торцевой поверхностью транспортной единицы. Кроме того, он может быть связан с усилением вихревых процессов в кормовой части у относительно широких транспортных единиц.

Характер зависимости c_R от числа Фруда схож с зависимостью коэффициента гидравлического местного сопротивления от скорости потока до выхода в режим автомодельности: при увеличении скорости коэффициент сопротивления несколько снижается с достижением на больших скоростях некоторого постоянного значения.

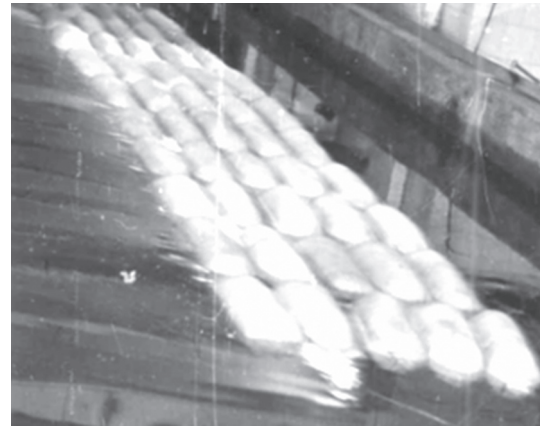


Рис. 1. Буксировка модели контейнерного состава

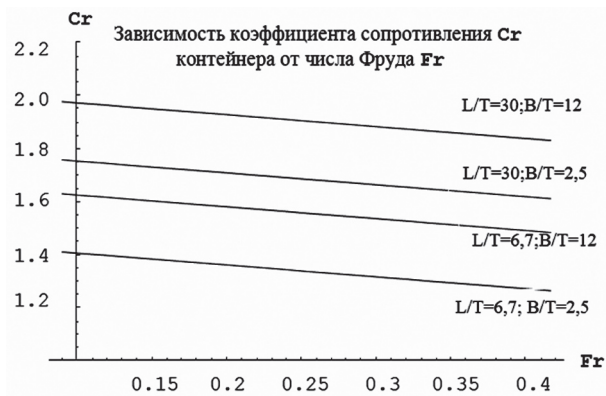


Рис.2. Зависимость коэффициента сопротивления C_R от числа Фруда для различных значений относительных длины L / T и ширины B / T контейнера

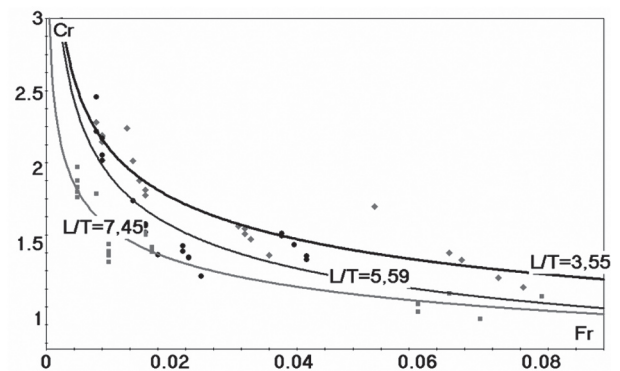


Рис. 3. Зависимость коэффициента сопротивления воды поперечному перемещению цилиндрических емкостей от числа Фруда

В настоящее время на кафедре транспорта леса МГУЛ проводится серия опытов по изучению гидродинамических характеристик одиночных мягких цилиндрических емкостей с твердым наполнителем. С практической точки зрения они могут представлять интерес не только для транспортировки по воде измельченных грузов, но и в качестве ос-

новного элемента мобильных гидротехнических сооружений (плотин, дамб, полузапруд и т.п.) наполняемого типа. В ходе опытов в широких пределах изменяются геометрические параметры, осадка, скоростной режим буксировки, а также ориентация в потоке.

Для коэффициентов сопротивления воды движению одиночных цилиндрических емкостей получены следующие уравнения регрессии:

$$Cr = 3,57 - 3,26 Fr - 3,02 T / D + 1,54 Fr^2 + 0,0015(L / T)^2; \quad (7)$$

$$Cr = 1,79 + 0,02 L / T - 3,46Fr + 0,0024 Fr^2. \quad (8)$$

В формулах (7, 8) параметр T / D – отношение осадки цилиндрической емкости к ее диаметру. Данные зависимости были получены для условия безграничного потока, т.е. без учета влияния дна и берегов. При использовании таких емкостей для создания временных гидротехнических сооружений (плотин, полузапруд и т.п.) на малых реках влияние мелководья и сужения потока должно быть учтено.

Библиографический список

1. Камусин, А.А. Водный транспорт леса: учебник для вузов / А.А. Камусин и др. Под ред. В.И. Пяткина. – М.: МГУЛ. 2007. – 432 с.

ПРИМЕНЕНИЕ БОЛЬШЕГРУЗНЫХ ПЛАВУЧИХ КОНТЕЙНЕРОВ ДЛЯ НУЖД ЛЕСНОЙ БИОЭНЕРГЕТИКИ

А.Н. КОМЯКОВ, доц. каф. транспорта леса МГУЛ, канд. техн. наук,
С.П. КАРПАЧЕВ, проф. каф. транспорта леса МГУЛ, д-р техн. наук

akomyakov@mail.ru

Экономическая целесообразность использования отходов лесозаготовок и остающейся на корню низкокачественной древесины в качестве топлива для биоэнергетики в значительной степени определяется транспортными затратами. Опыт Швеции и Финляндии показывает, что доставка лесосечных отходов в виде измельченной древесины или топливных пакетов на ТЭЦ автомобилями экономически оправдана на расстояние транспортировки не более 100–150 км по дорогам круглогодочного действия с твердым покрытием. Поэтому данный вид топлива при вывозке автомобилями применим только для нужд местной биоэнергетики, т.е. для обеспечения тепловой и электрической энергией предприятий и населенных пунктов в непосредственной близости от мест лесозаготовок.

В условиях России препятствиями для развития местной биоэнергетики на основе лесосечных отходов являются слабо развитая сеть автомобильных дорог в местах лесозаготовок и отсутствие соответствующей инфраструктуры (специализированные ТЭЦ, склады для хранения топлива и т.п.). При этом потенциально доступное количество лесосеч-

ных отходов и неиспользуемой низкокачественной древесины значительно превышает потребности местной энергетики и промышленности в силу низкой плотности населения и ограниченных потребностей местных предприятий и организаций в энергии.

Большинство лесных массивов Европейского Севера, Урала и Сибири примыкают к пригодным для лесосплава и судовых перевозок водным путям. Увеличить экономически оправданное расстояние транспортировки лесосечных отходов до мест их использования, в том числе и для нужд энергетики, позволит применение технологий водного транспорта лесных грузов. Водный транспорт является самым экономичным из всех видов транспорта лесных грузов. Известно, что потребная мощность на перемещение одинакового по массе груза по водному пути вследствие использования энергии потока в 60–80 раз меньше, нежели по железнодорожному пути, и в сотни раз меньше, чем по грунтовым дорогам [1]. В 1980-х годах к водным путям в СССР доставлялось около 75 % всей заготавливаемой древесины. Многие предприятия, в т.ч. энергетичес-

кие, расположены вблизи водоемов и могут принимать сырье и топливо, поступающее водным путем. В настоящее время разрабатываются проекты мобильных тепло-электростанций на плавучем основании для энергоснабжения производственных и жилых объектов, примыкающих к водным путям. Доставка древесного топлива для них также может осуществляться водным транспортом. Однако в настоящее время водная доставка таких грузов еще не получила широкого распространения.

Причина неудовлетворительного использования древесных отходов в лесах, примыкающих к водным путям, отсутствие надежного и экономически оправданного способа транспортирования измельченной древесины или топливных пакетов. Малые глубины, короткие периоды судоходства, низкая концентрация отходов на лесосплавных объектах существенно ограничивают распространение судовых перевозок щепы. Применение сухопутных видов транспорта часто оказывается невозможным по экономическим соображениям.

Вопросами доставки измельченного древесного сырья по водным путям с удаленных труднодоступных лесозаготовительных предприятий кафедра транспорта леса МГУЛ активно занималась в 1980–90-х годах. Были разработаны конструкции мягких герметичных и водонепроницаемых контейнеров и транспортно-технологические схемы доставки щепы с береговых складов, оборудованных стационарными цехами щепы, передвижными рубительными машинами; а также от плавучих цехов щепы, размещаемых на акваториях лесосплавных рейдов [2, 3]. Все предложенные технологии прошли производственную апробацию на предприятиях ПО «ДВИНОСПЛАВ». Эти производственные опыты показали техническую возможность и, при определенных условиях, экономическую целесообразность контейнерной доставки измельченной древесины по водным путям. Однако существенным недостатком применявшихся в этих опытах плавучих контейнеров был их небольшой объем (1–3 м³), несоизмеримый с возможными объемами выработки технологической щепы из

отходов и низкокачественной древесины на береговых складах.

В развитие идеи контейнерного лесосплава в МГУЛ предложена технология, которая позволяет создавать в условиях затопляемых плотбищ береговых складов большегрузные плавучие контейнеры (БПК) емкостью сотни и тысячи м³. Способ формирования и конструкция такого БПК защищены патентом (патент RU Патент: RU 2153456 С1). Эта технология базируется на отлично зарекомендовавшей себя и привычной для лесосплавных предприятий транспортно-технологической схеме с использованием зимней береговой сплотки.

Переработка древесных отходов в щепу и изготовление БПК производятся в зимний межнавигационный период (с ноября по март). На предварительно подготовленном участке затопляемого плотбища устанавливается съемная опалубка по габаритам изготавливаемого БПК, внутри которой расстилается гибкий водонепроницаемый материал в виде полотна прямоугольной формы. Роль опалубки в целях экономии материалов могут выполнять снежные валы с выровненной вертикальной внутренней поверхностью. Они также будут способствовать сохранению качества щепы и формы контейнера до момента водосъема и начала транспортировки.

Внутри изготовленной таким образом формы насыпается щепа. Технология загрузки БПК может быть различной в зависимости от применяемого на береговых складах оборудования, к примеру, непосредственно от передвижной рубительной машины. С помощью некоторых технических решений в днище и по бортам БПК создается замороженный слой из щепы с водой. Этот слой служит для придания нужной формы БПК и сохранения этой формы в процессе транспортировки. Наличие замороженного слоя значительно снижает нагрузки на оболочку со стороны сыпучего материала и обеспечивает за счет льда необходимый запас плавучести на случай повреждения оболочки при транспортировке. Ниже приведены результаты натурных экспериментов по определению скорости таяния льда в таких контейнерах и проведено их сравнение с теоретической оценкой в одной из моделей таяния.

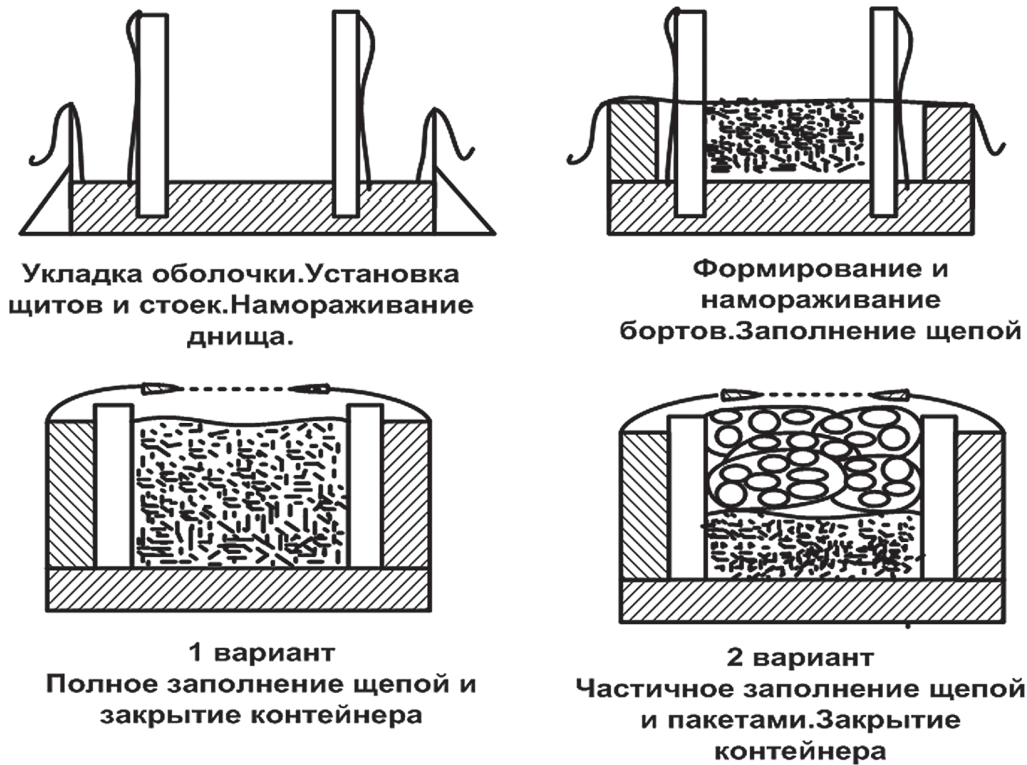


Рис. 1. Технологическая последовательность формирования BPK

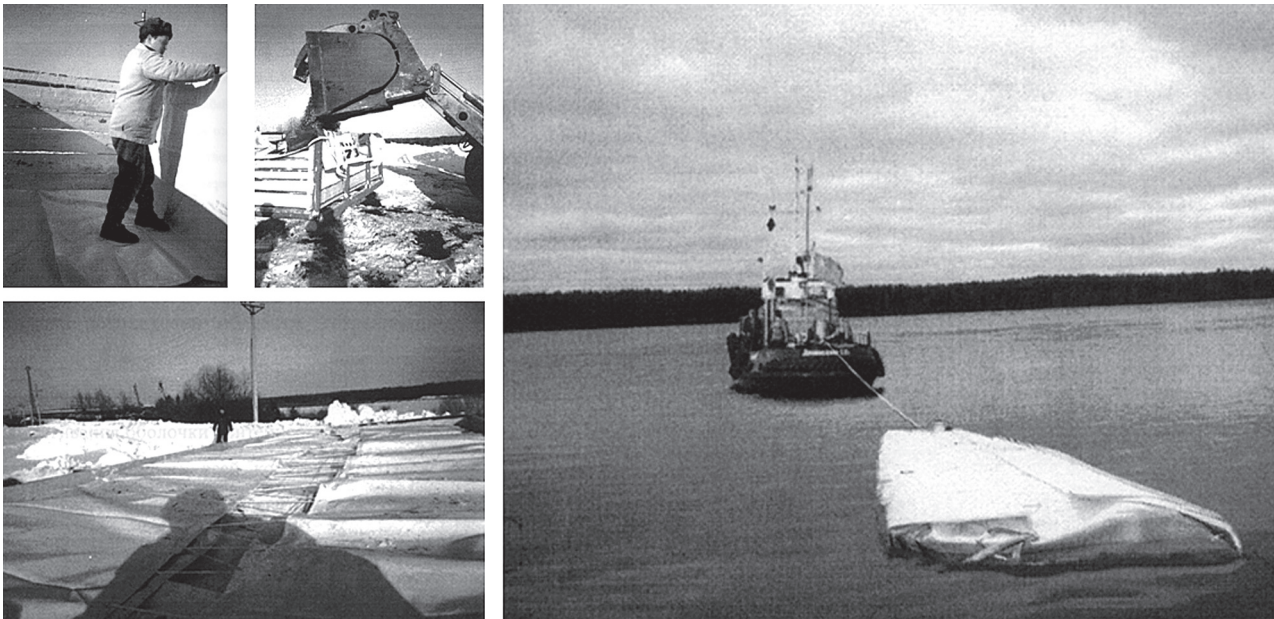


Рис. 2. Производственные опыты формирования BPK, п. Жешарт, Республика Коми

В конструкции BPK предусмотрена дренажная система для удаления воды из замороженного слоя и замедления процесса его таяния. Поверх замороженного слоя укладывается сухая щепа, которая, являясь хорошим теплоизолятором, способствует сохранению замороженного слоя и формы BPK в целом.

При обеспечении BPK необходимых плавучести, остойчивости и прочности на-

мороженного слоя в его верхней части может быть оборудована грузовая площадка для транспортировки других лесных и прочих грузов (например, пакетов пиломатериалов или топливных пакетов).

После заполнения BPK укрывается сверху свободными краями оболочки и стягивается специальным такелажом из синтетических канатов.

В начале навигации при затоплении плотбища до необходимых уровней БПК всплывает и транспортируется потребителю за тягой буксировщика. Может осуществляться буксировка как отдельных БПК, так и составов из них, а также доставка их в составе пучковых плотов.

Выгрузка БПК из воды в пункте приплава может осуществляться различными способами в зависимости от их веса и применяемого выгрузочного оборудования. БПК весом до 20–30 т могут выгружаться с помощью порталных и плавучих кранов. БПК емкостью в сотни кубометров целесообразно выгружать на берег методом обсушки, т.е. заводить его в период стояния высоких уровней воды на специально подготовленную грузовую площадку, с которой вода уходит после окончания половодья. Опорожнение измельченной древесины из БПК может производиться также с помощью пневмо- и гидротранспортных установок.

По описанной технологии были изготовлены три опытных образца БПК: один на

базе Щелковского учебно-опытного лесхоза и два в производственных условиях Жешартского фанерного комбината (Республика Коми, река Вычегда). Опыты показали техническую возможность изготовления большегрузных плавучих контейнеров и их транспортировки по судоходным и временно судоходным рекам. Предельная дальность транспортировки определяется экономическими соображениями, а также способностью контейнера сохранять свои транспортные качества (прежде всего плавучесть и остойчивость) и качество перевозимого груза

Библиографический список

1. Пятакин, В.И. Водный транспорт леса: учебник для вузов / В.И. Пятакин, Ю.А. Дмитриев, А.А. Зайцев. – М.: Лесная пром-сть, 1985. – 336 с.
2. Комяков, А.Н. Сплав щепы в эластичных контейнерах / А.Н. Комяков // Лесная промышленность. – 1985. – № 6. – С. 25–26.
3. Карпачев, С.П. Транспорт щепы по воде в мягких плавучих контейнерах: обзорная информация / С.П. Карпачев, А.Н. Комяков. – М.: ВНИПИЭИ-леспром, 1986. – 36 с.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ОСВОЕНИЯ БИОРЕСУРСОВ ИЗ ЛЕСА ДЛЯ НУЖД БИОЭНЕРГЕТИКИ

Е.Н. ЩЕРБАКОВ, доц. проректор по УМО МГУЛ, канд. техн. наук,
С.П. КАРПАЧЕВ, проф. каф. транспорта леса МГУЛ, д-р техн. наук,
А.Н. КОМЯКОВ, доц. каф. транспорта леса МГУЛ, канд. техн. наук

akomyakov@mail.ru

В статье [1] предложена технологическая схема освоения биоресурсов из леса для биоэнергетики в мягких контейнерах. В предложенной технологии определяющей машиной при операциях в лесу является рубительная машина. Она не должна простаивать. Простой рубительной машины возможны из-за потери времени на установку контейнеров под загрузку и их упаковку после загрузки. Для исключения простоев между рубительной машиной и контейнером установлен бункер щепы.

Детально узел работы рубительной машины с контейнерами и промежуточным бункером щепы представлен на рис. 1.

Представим математическую модель узла работы рубительной машины с контейнерами и промежуточным бункером щепы.

Пусть за смену рубительная машина перерабатывает n деревьев (лесосечных отходов, топляков). В результате получается некоторый объем щепы $Q_{щ}$

$$\forall \sum_{i=1}^n \tau_{0i} = T \cdot \eta \Rightarrow \Pi = \sum_{i=1}^n q_{dep.i}, \quad (1)$$

где n – число деревьев, переработанных рубительной машиной за смену;

T – продолжительность смены, с;

$q_{dep.i}$ – объем i -ого дерева, захваченного манипулятором из штабеля, м³;

h – коэффициент использования машины;

t_{0i} – продолжительность цикла работы рубительной машины на обработке i -ого дерева, с:

$$\tau_{0i} = \tau_{1i} + \tau_{2i} + \tau_{3i} + \tau_{4i} + \tau_{5i}, \quad (2)$$

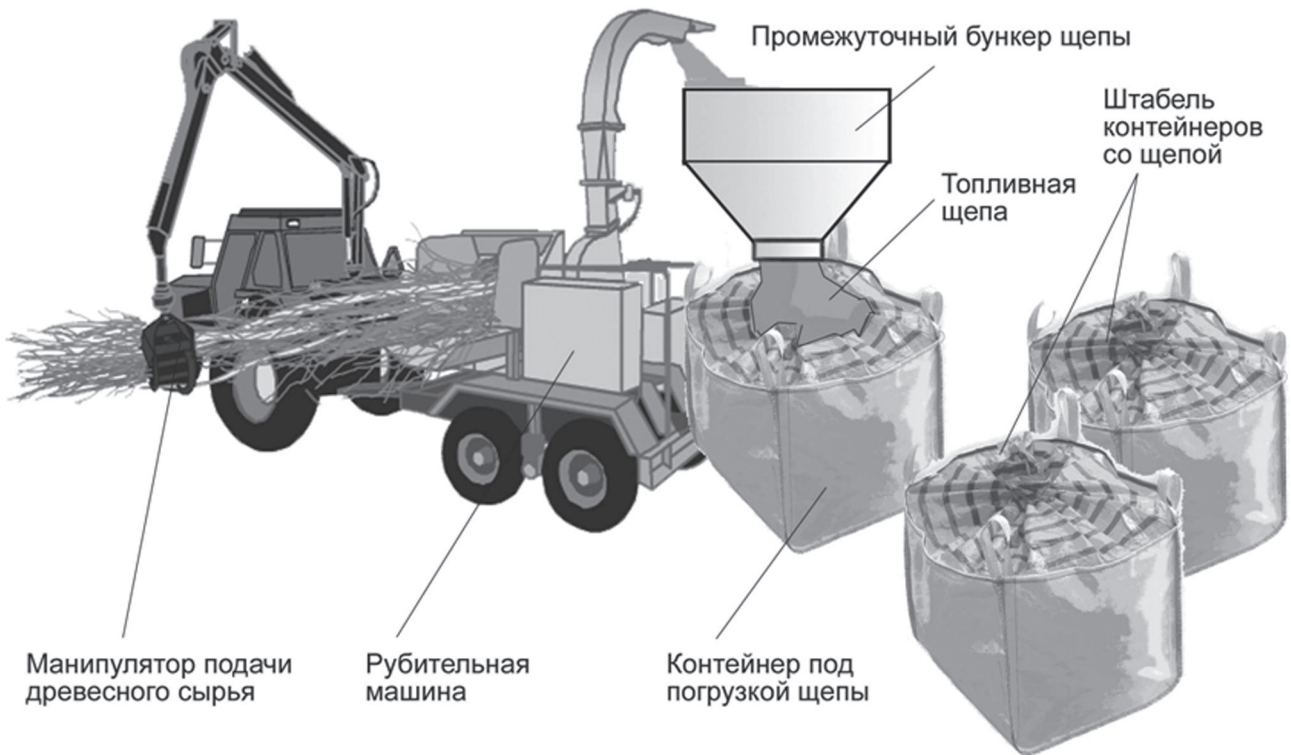


Рис. 1. Узел переработки древесной массы на топливную щепу и загрузки ее в контейнеры через промежуточный бункер

- t_{1i} – время цикла наведения манипулятора на i -ое дерево, с;
- t_{2i} – время захвата i -ого дерева из штабеля, с;
- t_{3i} – время подачи i -ого дерева к рубительной машине, с;
- t_{4i} – время измельчения i -ого дерева рубительной машиной, с;
- t_{5i} – время возврата манипулятора в исходное состояние, с.

$$\tau_{4i} = \frac{q_{дер.i}}{q_{\tau}}, \quad (3)$$

где q_{τ} – скорость рубки дерева на щепу, м³/с.

Пусть за смену загружают и упаковывают m контейнеров. В результате получается некоторый объем щепы, загруженной в контейнер $Q_{кон}$

$$\forall \sum_{j=1}^m \tau_{0j} = T \cdot \eta \Rightarrow \Pi = \sum_{j=1}^m q_{кон.j}, \quad (4)$$

где m – число загруженных щепой и упакованных за смену контейнеров, шт.;

- T – продолжительность смены, с;
- $q_{кон.j}$ – объем j -го контейнера, м³;
- h – коэффициент использования времени смены;
- t_{0j} – продолжительность цикла упаковки

j -ого контейнера, с;

$$\tau_{0j} = \tau_{1j} + \tau_{2j} + \tau_{3j}, \quad (5)$$

t_{1j} – время установка j -ого контейнера под загрузку, с;

t_{2j} – время загрузки j -ого контейнера, с;

t_{3j} – время упаковки j -ого контейнера, с.

Разрабатывая технологию загрузки контейнеров щепой от рубительной машины, необходимо стремиться к выполнению условия

$$\sum_{i=1}^n q_{дер.i} = \sum_{j=1}^m q_{кон.j}. \quad (6)$$

Условие (6) на практике может не выполняться. Объем переработанных на щепу деревьев может быть больше объема щепы, загруженной в контейнер

$$\sum_{i=1}^n q_{дер.i} \geq \sum_{j=1}^m q_{кон.j}. \quad (7)$$

Из-за неравномерности загрузки некоторый объем щепы может накапливаться в бункере

$$\sum_{i=1}^n q_{дер.i} = \sum_{i=1}^n q_{бун.i} - \sum_{j=1}^m q_{кон.j}, \quad (8)$$

где $q_{кон.i}$ – объем бункера при измельчении i -ого дерева и заполнении j -го контейнера, м³.

Максимальный объем бункера $q_{\text{бунк.мах}}$ должен быть таким, чтобы выполнялось условие

$$\sum_{i=1}^n q_{\text{бун.}i} \leq q_{\text{бунк.мах}} \quad (9)$$

Если объем бункера будет недостаточным, то рубительную машину придется периодически останавливать.

Работу рубительной машины и заполнение контейнеров удобно представить в виде Q – схемы.

Будем считать деревья (лесосечные отходы, топляки) заявками на обслуживание.

Эти заявки будем называть заявками первого уровня, которые поступают от источника И. Каждой заявке назначается атрибут, который идентифицируется с объемом дерева $q_{\text{дер}}$. Объем дерева $q_{\text{дер}}$ является случайным числом. Поступившая на обслуживающий прибор (в рубительную машину) заявка первого уровня воздействует на клапан $K_{л1}$ и перекрывает вход в прибор другим заявкам, ставит их в очередь. Поступившая в прибор заявка обслуживается в канале K_1 . Длительность обслуживания заявки первого уровня определяется по формуле (1). После обслуживания заявка первого уровня расщепляется на заявки второго уровня. Заявки второго уровня – это заявки, которым назначается атрибут A_2 , идентифицируемый с некоторым минимальными объемами щепы, полученными после измельчения дерева. Минимальные объемы щепы $q_{\text{щепы.мин}}$ назначаются из условия возможности манипуляции ими при загрузке контейнеров через дозатор бункера. Число заявок второго уровня n_2 определяется в зависимости от значения атрибута заявки первого уровня (объема дерева) по формуле

$$n_2 = \frac{q_{\text{дер}}}{q_{\text{щепы.мин}}}, \quad (10)$$

где $q_{\text{дер}}$ – значение атрибута заявки 1-ого уровня (объем дерева), м³;

$q_{\text{щепы.мин}}$ – значение атрибута заявки 2-ого уровня (минимальный объем щепы), м³.

Заявки второго уровня попадают в накопительное устройство H_1 (бункер щепы) и становятся в очередь к обслуживающему прибору (щепы накапливаются в бункере и

ждет открытия дозатора). Очередь накопителя H_1 ограничена некоторым максимальным объемом $q_{\text{бунк.мах}}$. Поступающие в очередь заявки второго уровня имеют атрибуты A_2 , которые хранят значения их объемов $q_{\text{щепы.мин}}$. Эти значения суммируются при поступлении заявок в очередь. В накопитель H_1 поступает максимальное число заявок, но при этом не допускается его переполнения очереди по объему

$$\sum_{j=1}^{n_2} q_{\text{щепы.мин.}j} \leq q_{\text{конт.мах}} \quad (11)$$

Последняя заявка воздействует на клапан $K_{л2}$ и перекрывает вход заявкам второго уровня в очередь накопителя H_1 .

Если клапан $K_{л3}$ открыт, то заявки второго уровня попадают на обслуживающий прибор (дозатор), где обслуживаются в канале K_2 . Длительность обслуживания заявки второго уровня определяется по формуле (4). После обслуживания заявки второго уровня попадают в накопительное устройство H_2 (контейнер). Накопитель имеет ограничение на прием заявок второго уровня по максимальному объему $q_{\text{конт.мах}}$. Поступающие в очередь заявки второго уровня имеют атрибуты A_2 , которые хранят значения их объемов $q_{\text{щепы.мин}}$. Эти значения суммируются при поступлении заявок в накопитель H_2 . В накопитель H_2 должно поступить максимальное число заявок, но при этом не допускается его переполнения по объему

$$\sum_{i=1}^{n_2} q_{\text{щепы.мин.}i} \leq q_{\text{бунк.мах}} \quad (12)$$

Последняя заявка воздействует на клапан $K_{л3}$ и перекрывает вход заявкам второго уровня в очередь накопителя H_2 .

Заявки второго уровня, накопленные в накопителе H_2 , образуют ансамбль, который формирует заявку третьего уровня (заполненный щепой контейнер). Заявка третьего уровня имеет атрибут A_3 , который идентифицируется с объемом контейнера и является случайным числом. После обслуживания в канале K_2 заявка покидают систему.

Концептуальная модель узла работы рубительной машины с контейнерами и промежуточным бункером щепы представлена на рис. 2.

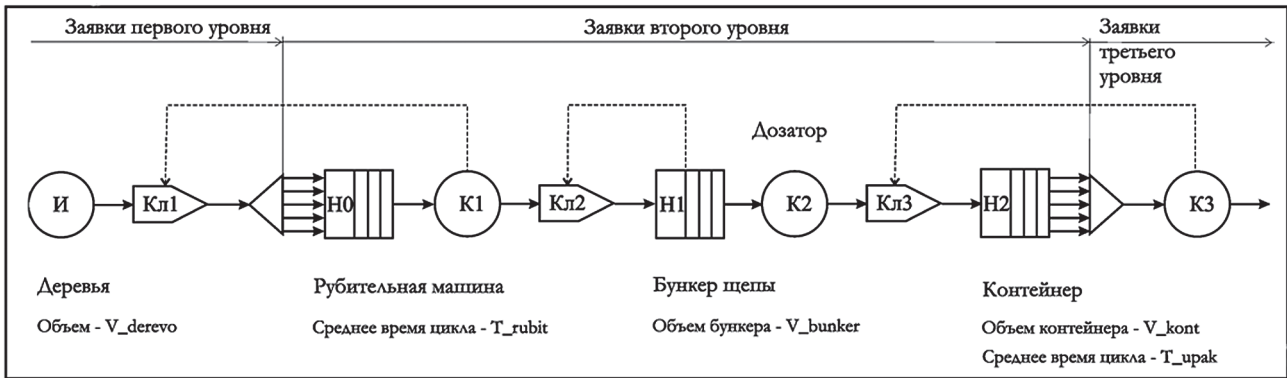


Рис. 2. Концептуальная модель узла работы рубительной машины с контейнерами и промежуточным бункером щепы

Т а б л и ц а

Результаты дисперсионного анализа

Alias Group	Effect	Sum of Squares	Degrees of Freedom	F – for Only Main Effects	Critical Value of F (p=.05)
T_{rub}	148,951	88745,705	1	60,507	4,96
$T_{упак}$	80,503	25923,100	1	17,675	4,96
V_{bunker}	41,362	6843,246	1	4,666	4,96
V_{kont}	19,840	1574,537	1	1,074	4,96
V_{derevo}	-1,577	9,950	1	0,007	4,96
Error		14666,932	10		
Total		137763,469	15		
Grand Mean		230,718			

Особенности работы технологического узла как поток заявок на обслуживание:

- заявки первого уровня – деревья, лесосечные отходы и пр.;
- заявки второго уровня – минимальный объем щепы, доступный для манипуляции в технологическом процессе;
- заявки третьего уровня – объем контейнеров со щепой.

Концептуальная модель узла работы рубительной машины с контейнерами и промежуточным бункером щепы была реализована в виде компьютерной программы на языке GPSS/W. Компьютерная модель была использована в экспериментах.

Отсеивающий эксперимент (дисперсионный анализ) проводился с целью установления значимости различных факторов на производительность технологического узла производства щепы и упаковки контейнеров.

Анализируемые факторы и уровни их варьирования в экспериментах были приняты следующими:

1. Среднее время цикла переработки $0,01 \text{ м}^3$ древесины на щепу – $T_{rub} = 0,5 - 5 \text{ с}$.
 2. Среднее время цикла на установку контейнера под загрузку – $T_{упак} = 0 - 60 \text{ с}$.
 3. Объем бункера – $V_{bunker} = 0 - 1 \text{ м}^3$.
 4. Объем контейнера – $V_{kont} = 20 - 1 \text{ м}^3$.
 5. Объем дерева – $V_{derevo} = 2 - 0,5 \text{ м}^3$.
- Результаты отсеивающего эксперимента представлены в таблице.

Из таблицы следует, что объем дерева (фактор V_{derevo}) не влияет на производительность узла. Наиболее значимыми факторами являются среднее время цикла переработки древесины на щепу (фактор T_{rub}) и среднее время цикла на установку контейнера под загрузку (фактор $T_{упак}$).

С учетом результатов отсеивающего эксперимента была составлена матрица эксперимента, цель которого получить уравнение регрессии, связывающее производительность узла с четырьмя факторами. В основу был положен В-план 2-го порядка.

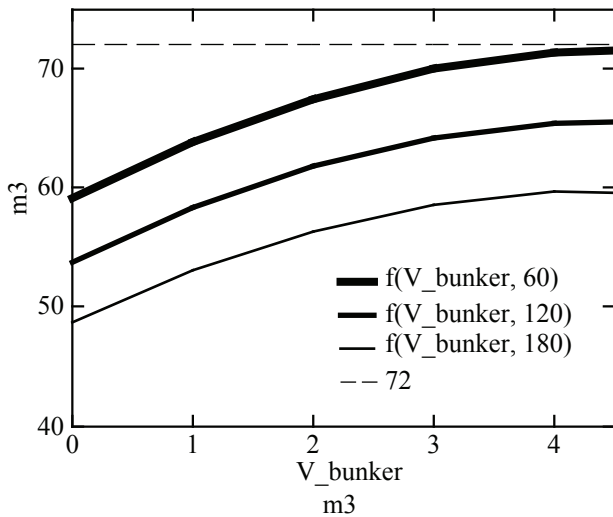


Рис. 3. Зависимость производительности технологического узла от объема бункера

По результатам эксперимента было получено уравнение регрессии и построены кривые зависимости производительности технологического узла от объема бункера (рис. 3). Анализ полученной зависимости показывает, что объем бункера, среднее время цикла на установку контейнера под загрузку и среднее время цикла переработки древесины на щепу влияют на производительность узла. С увеличением объема бункера производительность узла стремится к максимальной, теоретически возможной производительности рубительной машины (пунктирная линия на графике).

Библиографический список

1. Карпачев, С.П. Некоторые вопросы технологии освоения и водного транспорта биоресурсов из

леса для биоэнергетики / С.П. Карпачев // Ученые записки РГСУ. Экологическая безопасность и природопользование. – 2009. – №5 – С. 130–138.
 2. Dr. Lauri Sikanen. Forest Energy in Finland. Finish Forest Research Institute “METLA”. 2003г.
 3. <http://www.lesnoyexpert.ru/index.php?p=article&id=view&n=19&a=1>
 4. Карпачев С.П. Транспорт технологической щепы по воде в мягких контейнерах. Дисс. ... к.т.н. М., МЛТИ, 1985. – 249с.
 5. Action plan for renewable energy sources. Publications 1/2000. Ministry of Trade and Industry. 2000.
 6. Energy for the future: Renewable sources of energy. White paper for a community strategy and action plan. Communication from the Commission. COM (97) 599. 1977.
 7. Energy statistics 2002. Statistics Finland. 2003.
 8. Finnish statistical yearbook of forestry 2002. Finnish Forest Research Institute. SVT agriculture, forestry and fishery 2002, p. 45.
 9. Hakkila P. Developing technology for large-scale production of forest chips. Wood Energy Technology Programme 1999-2003. Technology Programme Report 5/2003. Tekes.
 10. Ylitalo E. Puupolttoaineen kaytto energiantuotannossa. SVT agriculture, forestry and fishery 2001, p. 52.
 11. Hakkila P. Factors driving the development of forest energy in Finland. IEA/Task 31, 2003. Flagstaff.
 12. Концепция развития лесного хозяйства Российской Федерации на 2003–2010 годы (внесенные изменения), <http://www.rosleshoz.gov.ru/agency/strategy/0>
 13. Суханов, В.С. Перспективы использования древесных отходов и дровяной древесины для выработки тепловой и электрической энергии / В.С. Суханов // ЛесПромИнновации. – 2005. – №3 (5).
 14. <http://www.topgran.ru/info/>.
 15. <http://www.lesnoyexpert.ru/index.php?p=article&id=view&n=19&a=1>

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ТЕРМИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

М.Г. ЕРМОЧЕНКОВ, доц. каф. теплотехники МГУЛ, канд. техн. наук

ermochenkov@mgul.ac.ru

В настоящее время все более широкое распространение получают строительные материалы на основе термически модифицированной древесины. В зависимости от температуры и времени выдержки получают древесину с существенно различными декоративными, теплофизическими, физико-механическими и другими свойствами. Вста-

ет вопрос определения свойств термически модифицированной древесины как функций времени нагрева и интенсивности теплового воздействия.

Для выбора режимов термической обработки древесины была разработана математическая модель, описывающая процессы, протекающие в древесине при нагреве [1].

Результаты термогравиметрических исследований древесины березы и сосны

Номер стадии	Начальная безразмерная масса стадии		Энергия активации E_j / R		Частотный фактор A_j, c^{-1}	
	Береза	Сосна	Береза	Сосна	Береза	Сосна
1	0,172	0,025	57810	54680	$2,377 \cdot 10^{51}$	$4,857 \cdot 10^{50}$
2	0,168	0,128	23140	15900	$1,362 \cdot 10^{18}$	$1,783 \cdot 10^{12}$
3	0,215	0,341	29420	20540	$2,784 \cdot 10^{21}$	$3,482 \cdot 10^{14}$
4	0,345	0,418	38740	29820	$2,623 \cdot 10^{26}$	$1,346 \cdot 10^{20}$
5	0,1	0,088	8671	18430	$6,517 \cdot 10^4$	$2,338 \cdot 10^{10}$

Древесину можно рассматривать как композиционный материал, состоящий из материала древесины, связанной влаги, свободной влаги и паровоздушной смеси в порах [2]. Внутри материала при тепловом воздействии протекают различные физико-химические превращения. При тепловом воздействии из древесины сначала удаляются различные виды влаги, а затем при дальнейшем увеличении температуры начинается термическая деструкция материала древесины.

Протекающие внутри материала физико-химические превращения носят многостадийный характер. Стадии можно рассматривать как параллельные независимые химические реакции. Скорость протекания каждой стадии можно описать уравнением

$$\frac{d\omega}{d\tau} = \omega^n \cdot A \cdot \exp\left(-\frac{E}{RT}\right). \quad (1)$$

Скорость протекания многостадийного процесса описывается уравнением [3]

$$\frac{d\omega_j}{d\tau} = \sum_{j=1}^m \omega_j^{n_j} A_j \exp\left(-\frac{E_j}{RT}\right), \quad (2)$$

где j – индекс, соответствующий номеру стадии;

m – число стадий;

A_j – частотный фактор j -й стадии;

E_j – энергия активации j -й стадии;

n_j – порядок реакции j -й стадии;

R – газовая постоянная;

T – температура;

ω – безразмерная масса стадии.

Решая обратную задачу методом, предложенным Б.А. Шведовым [3], можно получить кинетические параметры, определяющие протекание каждой стадии физико-химических превращений и соответствующую ей начальную массу стадии.

В табл. 1 представлены результаты термогравиметрических исследований древесины березы и сосны, приведенные в настоящем журнале в статье Т.Е. Кувик «Физико-химические процессы, протекающие в древесине при интенсивном нагреве».

Принятая модель физико-химических процессов, протекающих в древесине при тепловом воздействии, позволяет определить теплофизические свойства модифицированной древесины исходя из приведенных ниже соотношений.

Плотность древесины рассчитывается из уравнения

$$\rho = \sum_{i=1}^n A_i \cdot \rho_i^o \cdot \exp\left[-A_i \cdot \int_0^{\tau} \exp\left(-\frac{E_i}{R \cdot T(\tau)}\right) d\tau\right], \quad (3)$$

где ρ – плотность древесины;

$T(\tau)$ – функция изменения температуры образца по времени;

τ – время нагрева;

i – номер стадии;

n – число стадий;

ρ^o – начальная плотность стадии;

Теплоемкость древесины

$$c = \frac{1}{\rho} \sum_{i=1}^n c_i \cdot \rho_i, \quad (4)$$

где ρ_i – текущая плотность i -й стадии;

c_i – теплоемкость i -й стадии.

При расчете коэффициента теплопроводности модифицированной древесины можно воспользоваться моделью композиционного материала как структуры с взаимопроницаемыми компонентами [4]

$$\lambda = f(\lambda_j). \quad (5)$$

$$\lambda = \lambda_j \cdot \left[B^2 + \frac{\lambda_{j-1}}{\lambda_j} (1-B)^2 + 2 \frac{\lambda_{j-1}}{\lambda_j} \cdot \frac{B \cdot (1-B)}{\frac{\lambda_{j-1}}{\lambda_j} B + 1 - B} \right] \quad (6)$$

Здесь
 $B = 0,5 + A \cdot \cos(\varphi / 3)$
 при $0 \leq r_{j-1} \leq 0,5$
 $A = -1;$
 $\varphi = 2 \cdot \pi - \arccos(1 - 2 \cdot r_{j-1})$
 при $0,5 \leq r_{j-1} \leq 1$
 $A = 1;$
 $\varphi = 2 \cdot \pi - \arccos(2 \cdot r_{j-1} - 1),$
 где r – объемная доля компонента композиционного материала;
 $\tau_j = \rho_j / \rho_j^u,$ (7)
 ρ_j – плотность j -го компонента;
 ρ_j^u – истинная плотность j -го компонента.

Древесина является анизотропной средой. Коэффициент теплопроводности древесины зависит от направления, вдоль которого он измеряется. В общем случае направление анизотропии (ξ, η) может не совпадать с направлением координатных осей (x, y).

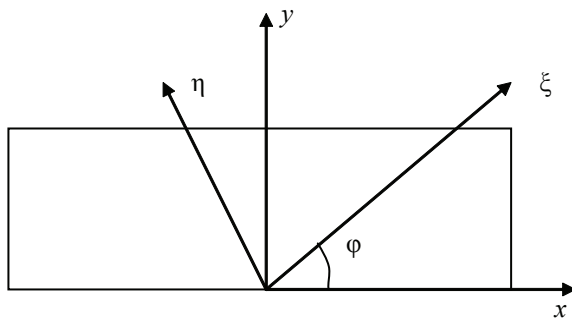


Рис. 1. Расчетная схема для решения уравнения Фурье-Кирхгофа в анизотропной среде.

В этом случае коэффициенты теплопроводности материала вдоль координатных осей соответственно выразятся как

$$\lambda_x = \lambda_\xi \cos^2(\varphi) + \lambda_\eta \sin^2(\varphi),$$

$$\lambda_y = \lambda_\xi \sin^2(\varphi) + \lambda_\eta \cos^2(\varphi),$$

где λ_ξ и λ_η – коэффициенты теплопроводности древесины вдоль направлений анизотропии.

Основным декоративным свойством модифицированной древесины является цвет. При разработке метода прогнозирования цветовых характеристик древесины было исследовано влияние степени разложения древесины на ее цвет.

Математическое описание зависимости цветовых характеристик древесины от степени термического разложения основано на

учете влияния каждой стадии термодеструкции на цвет древесины. Для идентификации цвета использовался метод разложения в системе RGB

$$R(\omega_i) = fr_i(\omega_i);$$

$$G(\omega_i) = fg_i(\omega_i);$$

$$B(\omega_i) = fb_i(\omega_i). \quad (8)$$

Для получения функциональных зависимостей fr, fg, fb в явном виде были проведены экспериментальные исследования с предельным разложением образцов.

По кинетическим параметрам (табл. 1) были рассчитаны предельная температура и время нагрева, соответствующие выходу $1/2$ массы первой стадии, затем температура и время нагрева, соответствующие полному выходу массы первой стадии, затем выходу первой стадии и половины массы второй стадии и т.д.

Для рассчитанной температуры и времени выдержки были выполнены термогравиметрические эксперименты на вакуумной установке. В качестве образцов использовались пустотелые цилиндры длиной 30 мм диаметром 14 мм с толщиной стенки 1 мм. Температура измерялась с помощью термопары, помещенной в центр образца. Темп нагрева был постоянным 7 град./мин.

Для идентификации цвета использовался метод разложения в системе RGB. Цифровые фотоснимки образцов, полученных после термического воздействия, обрабатывались на ЭВМ в стандартной программе *Adobe Photoshop* с усреднением цвета по поверхности образца.

Результаты разложения цвета образцов после термической обработки в системе RGB приведены в табл. 2

Исходя из полученных данных были определены в явном виде функциональные зависимости составляющих цвета R,G,B от степени разложения древесины в процессе деструкции:

$$R(\omega_2, \omega_3) = 262,59 - 12482 \cdot \omega_2 + 13631 \cdot (\omega_2)^2 + 81,68 \cdot \omega_2^3 - 2196 \cdot \omega_3 + 5652 \cdot \omega_3^2 - 40,57 \cdot \omega_3^3;$$

$$G(\omega_2, \omega_3) = 209,90 - 1292 \cdot \omega_2 + 16385 \cdot (\omega_2)^2 + 133,93 \cdot \omega_2^3 - 1691 \cdot \omega_3 + 4262 \cdot \omega_3^2 - 74,64 \cdot \omega_3^3;$$

$$B(\omega_2, \omega_3) = 211,84 - 1412 \cdot \omega_2 + 17030 \cdot (\omega_2)^2 + 192,22 \cdot \omega_2^3 - 1674 \cdot \omega_3 + 3955 \cdot \omega_3^2 - 131,28 \cdot \omega_3^3. \quad (9)$$

№	$t_{max}, ^\circ C$	Убыль массы	R	G	B	Масса образца M , мг			погрешность
						начальная	конечная	расчетная	
	20	0 %	233	229	194	—	—	—	—
1	202	2 % второй стадии	218	203	151	642	580,8	623	7,4
2	257	56 % второй стадии	153	122	75	669,9	577,9	535	6,0
3	268	87 % второй стадии	128	94	61	624,5	520,6	540	3,7
4	282	8 % третьей стадии	116	82	54	617,1	490,3	507,4	3,5
5	300	29 % третьей стадии	92	70	56	729,5	532,6	548,4	2,9
6	322	80 % третьей стадии	58	50	47	729,6	449,2	423,4	5,7

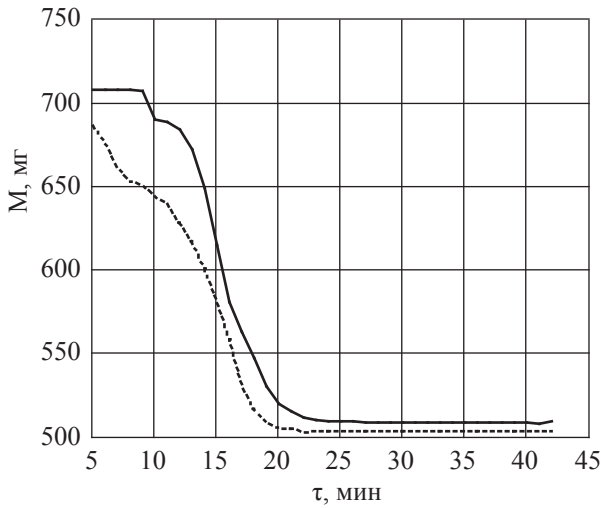


Рис. 2. Графики изменения массы цилиндрического образца при нагреве в вакууме: — — расчет; - - - - эксперимент

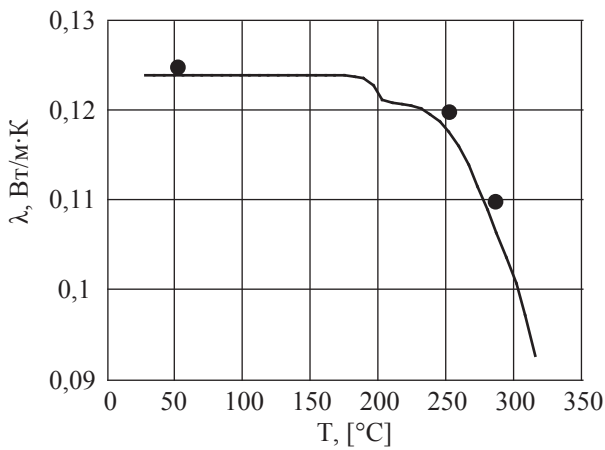


Рис. 3. График зависимости коэффициента теплопроводности термически модифицированной древесины от конечной температуры нагрева

Была проведена экспериментальная проверка адекватности предложенной модели. Образец из древесины сосны нагревался в вакууме до температуры 290°С с темпом нагрева 34 К/мин. После отжига образца и разложения его цвета на составляющие получили

$$R = 87;$$

$$G = 67;$$

$$B = 54.$$

При расчетном определении составляющих цвета образца по уравнениям (2), (9) было получено

$$R = 86;$$

$$G = 66;$$

$$B = 47.$$

При проведении экспериментальной проверки модели зависимости цвета от степени разложения древесины регистрировалась масса образца. На рис. 2 приведено сравнение графиков изменения массы образца по времени, полученные экспериментально (сплошная линия) и расчетным путем (пунктирная линия).

На рис. 3 приведена расчетная зависимость коэффициента теплопроводности термомодифицированной древесины сосны от конечной температуры нагрева. Нагрев считался с темпом 7 °С в минуту. Точками нанесены экспериментальные значения коэффициента теплопроводности модифицированной древесины соответствующей плотности.

Экспериментальные образцы изготавливались из промышленно модифицированной древесины сосны производства компании ТМД. Образцы предварительно высушивались при температуре 100 °С. Измерения проводились стационарным методом плоского слоя. Коэффициент теплопроводности определялся поперек волокон.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что предложенные выше соотношения позволяют удовлетворительно прогнозировать теплофизические параметры и цвет термически модифицированной древесины.

Данный подход можно применить для прогнозирования теплотехнических и декоративных свойств древесины и при других методах модификации, в том числе различными полимерными материалами.

Библиографический список

1. Ермоченков, М.Г. Математическая модель процессов, протекающих в древесине при интенсивной сушке / М.Г. Ермоченков, Ю.П. Семенов, В.Г. Малинин. – М.: Технология и оборудование для переработки древесины, 2004. – С. 14–19.
2. Чудинов, Б.С. Вода в древесине / Б.С. Чудинов. – Новосибирск: Наука, 1984. – 267 с.
3. Шведов, Б.А. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Б.А. Шведов. – М.: МЛТИ, 1990. – 542 с.
4. Дульнев, Г.Н. Теплопроводность смесей и композиционных материалов / Г.Н. Дульнев, Ю.П. Заричняк. – Л.: Энергия, 1974. – 264 с.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ПРОТЕКАЮЩИЕ В ДРЕВЕСИНЕ ПРИ ИНТЕНСИВНОМ НАГРЕВЕ

Т.Е. КУВИК, *асп. каф. теплотехники МГУЛ*

caf-teploteh@mgul.ac.ru

Под физико-химическими процессами, рассмотренными в данной статье, понимаются испарение влаги из древесины и термическое разложение древесины при интенсивном нагреве.

Вода в древесине подразделяется на свободную и связанную. Связанная вода в древесине прочно удерживается, в основном, физико-химическими связями. Удаление этой воды затруднено и существенно влияет на большинство свойств древесины. Свободная вода, удерживаемая силами капиллярного взаимодействия (физико-механические связи), удаляется значительно легче и оказывает меньшее влияние на свойства древесины. Между древесинным веществом и водой существует химическая связь. Она образуется, когда вода связывается в виде гидроксильных ионов или когда образуются кристаллогидраты. Такая влага не удаляется даже при воздействии температуры 120–150 °С [1]. Ее количество незначительно, и при исследовании процессов сушки ее наличие не рассматривают. Однако при дальнейшем нагреве материала до термической деструкции ее наличие необходимо учитывать.

Процессы термической деструкции заметны уже при 100 °С. При воздействии на древесину температур в диапазоне 120...550 °С происходит значительное разрушение химических связей структурных компонентов древесины. Разрушаются кислородсодержащие группы, а затем разрываются

углерод-углеродные связи в гемицеллюлозах, целлюлозе и лигнине. Наблюдается **термическая деструкция материала**.

При термической обработке древесины протекают все вышеназванные процессы. Процессы испарения и термической деструкции влияют на скорость обработки и изменение свойств материала. Наличие общей математической модели для испарения и для термической деструкции позволит осуществлять сквозной расчет этих процессов и учитывать их влияние на продолжительность термической обработки и свойства обработанной древесины.

По исследованию термической деструкции синтетических полимерных материалов издан ряд работ [2]. Термическая деструкция рассматривается как сложный многостадийный физико-химический процесс. Для ее описания используется математическая модель на основе уравнения Аррениуса.

В данной статье представлены результаты исследований по разработке математической модели для расчета физико-химических процессов, протекающих в древесине при интенсивном нагреве.

Разработанная модель (1) основана на уравнении Аррениуса, учитывает многостадийный характер процессов испарения и деструкции, влияние относительной влажности воздуха в порах древесины и влагосодержания древесины на скорость протекающих процессов:

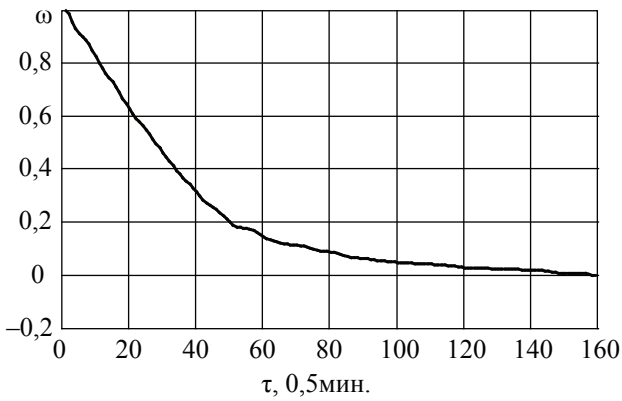


Рис. 1. Изменение концентрации влаги в образце

$$-\frac{d\omega}{d\tau} = \sum_{j=1}^m \omega_j^{n_j} \cdot A_j \cdot \exp\left(-\frac{E_j}{RT}\right), \quad (1)$$

где j – индекс, соответствующий номеру стадии;

m – число стадий;

A_j – частотный фактор j -й стадии, c^{-1} ;

E_j – энергия активации j -й стадии, Дж/моль;

n_j – порядок реакции j -й стадии;

R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К);

T – температура, К;

ω – безразмерная концентрация влаги в древесине, вычисляемая по формуле (2)

$$\omega = \frac{W_k - W}{W_0 - W}, \quad (2)$$

где W_p , W_k , W_0 – текущее, конечное и начальное влагосодержание в древесине.

Согласно модели (1) испарение влаги и термическая деструкция внутри древесины рассматриваются как сложные многостадийные физико-химические процессы. Стадийность объясняется наличием воды с разными формами связи с древесинным веществом. При термической деструкции стадийность объясняется разной температурой разложения структурных компонентов древесины. Каждая стадия независима и идет параллельно с остальными. Скорость стадии зависит от набора кинетических параметров: энергии активации, частотного фактора и концентрации влаги в древесине. Экспериментально было установлено, что скорость испарения влаги также зависит от относительной влажности воздуха. Причем, после изучения влияния относительной влажности воздуха на кинетические

параметры было установлено, что из всего набора кинетических параметров только энергия активации является функцией относительной влажности воздуха. Исходя из изложенного выше модель для расчета многостадийных физико-химических процессов испарения влаги при интенсивном нагреве имеет вид

$$-\frac{d\omega}{d\tau} = \sum_{j=1}^m \omega_j^{n_j} \cdot A_j \cdot \exp\left(-\frac{E_j(\varphi)}{RT}\right), \quad (3)$$

где φ – относительная влажность воздуха в порах древесины.

Для получения кинетических параметров, входящих в модель для расчета многостадийных физико-химических процессов испарения влаги, была разработана экспериментальная установка, описанная в [3].

Для исключения влияния тепло- и массообмена внутри образца на результаты экспериментов проведены исследования по оптимизации размеров стружки, плотности ее упаковки в тигле, размеров и конструкции тигля, скорости обдува и темпа нагрева.

Были проведены эксперименты на березовой стружке в осушенном воздухе ($d = 2$ г/кг). Результаты представлены на графике (рис. 1).

Многочисленные эксперименты показали удовлетворительное совпадение кривых изменения концентрации влаги в образце ω . Расхождение не превышает 3–5 % по массе.

В результате математической обработки с использованием изложенной выше математической модели (1) получены кинетические параметры для шести стадий. Они представлены в табл. 1.

Для использования этих данных при расчете физико-химических процессов в древесине при другой начальной влажности воздуха необходимо получить функциональную зависимость энергии активации от φ .

Для этого были проведены термогравиметрические эксперименты в воздухе с различным влагосодержанием ($d = 2; 5; 14; 18$ г/кг). Для получения воздуха с определенным влагосодержанием в осушенный ранее воздух вводилось определенное количество пара. Это позволило изменять начальную относительную влажность воздуха φ от 0,85 до 0,06. Эксперименты проводились на березовой стружке с начальной влажностью 20–22 %.

Кинетические параметры парообразования в древесине березы

Номер стадии j	Концентрация влаги j -й стадии w_j	Энергия активации E_j , кДж/моль	Частотный фактор A_j , с ⁻¹
1	0,611 ($\omega = f(w)$)	103,34	$4,83 \cdot 10^{17}$
2	0,224 ($\omega = f(w)$)	82,84	$1,882 \cdot 10^{13}$
3	0,1 ($\omega = f(w)$)	75,14	$1,743 \cdot 10^{11}$
4	0,022 ($\omega = f(w)$)	111,74	$6,106 \cdot 10^{15}$
5	0,013 ($\omega = f(w)$)	156,22	$1,111 \cdot 10^{21}$
6	0,045 ($\omega = f(w)$)	36,13	$6,305 \cdot 10^3$

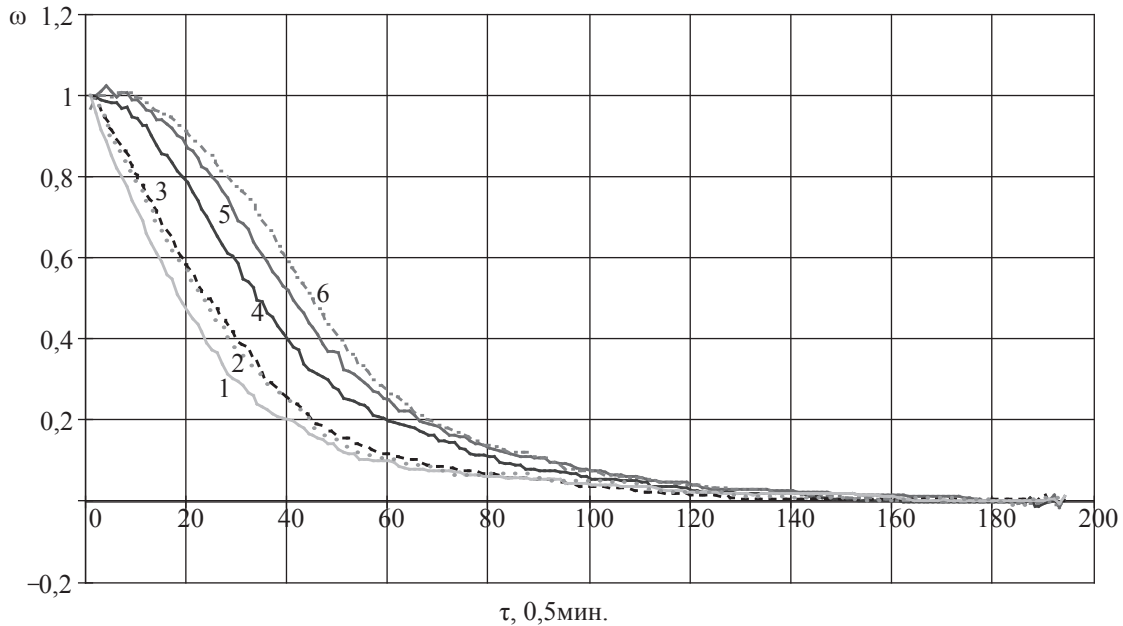


Рис. 2. Изменение концентрации влаги в образцах при различном начальном влагосодержании воздуха: 1 – $d = 2$ г/кг ($j_{нач} = 0,085$); 2,3 – $d = 5$ г/кг ($j_{нач} = 0,19$); 4 – $d = 14$ г/кг ($j_{нач} = 0,65$); 5 – $d = 15$ г/кг ($j_{нач} = 0,73$); 6 – $d = 18$ г/кг ($j_{нач} = 0,85$)

В результате проведенных экспериментов были получены термогравиметрические кривые, показанные на графике (рис. 2).

Из графика видно, что с увеличением влагосодержания воздуха скорость изменения массы образца уменьшается. В результате обработки данных кривых были получены кинетические параметры A , E и ω для всех экспериментов. Значения A , ω и число стадий для всех экспериментов одинаковы. Значения энергии активации являются функциями относительной влажности воздуха. По результатам полученных данных были построены зависимости энергии активации от ϕ для каждой стадии.

На графике (рис.3) точками показаны значения, полученные экспериментальным путем. А кривые являются аппроксимациями

этих данных с использованием эмпирических формул (4–7). Эти формулы получены после математической обработки экспериментальной зависимости энергии активации от ϕ .

Для определения кинетических параметров термической деструкции, входящих в модель (1), были проведены термогравиметрические эксперименты на вакуумной установке, описанной в [2]. Установка состоит из пружинных весов, кольцевого тигля, вертикальной трубчатой печи, катетометра В-630 и контрольно-измерительной системы. В ходе экспериментов измерялись температура и масса навески с интервалом 30 сек.

$$E1(\phi) = 0,988 + 0,162\phi - 0,29\phi^2 + 0,223\phi^3, \quad (4)$$

$$E2(\phi) = 0,97 + 0,953\phi - 5,805\phi^2 + 12,744\phi^3, \quad (5)$$

$$E3(\kappa) = 0,995 + 6,196\phi - 7,607\phi^3, \quad (6)$$

$$E4(\phi) = 0,984 + 51,667\phi^2 - 602,564\phi^3, \quad (7)$$

Кинетические параметры термической деструкции

Номер стадии	Степень разложения древесины		Энергия активации E_j , кДж/моль		Частотный фактор A_j , с ⁻¹	
	Береза	Сосна	Береза	Сосна	Береза	Сосна
1	0,146	0,024	480,63	454,61	$2,377 \cdot 10^{51}$	$4,857 \cdot 10^{50}$
2	0,168	0,128	192,39	132,19	$1,362 \cdot 10^{18}$	$1,783 \cdot 10^{12}$
3	0,215	0,341	244,6	170,77	$2,784 \cdot 10^{21}$	$3,482 \cdot 10^{14}$
4	0,345	0,418	322,08	247,92	$2,623 \cdot 10^{26}$	$1,346 \cdot 10^{20}$
5	0,1	0,088	72,09	153,23	$6,517 \cdot 10^4$	$2,338 \cdot 10^{10}$

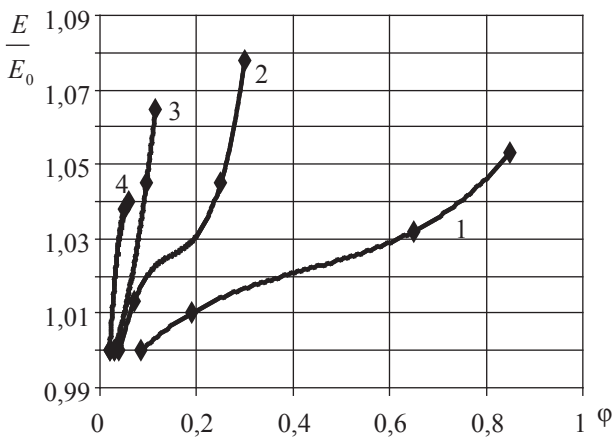


Рис. 3. Зависимость энергии активации E от относительной влажности воздуха для четырех стадий парообразования в образце: 1 – первая стадия ($t_{cp} = 24^\circ\text{C}$); 2 – вторая стадия ($t_{cp} = 43^\circ\text{C}$); 3 – третья стадия ($t_{cp} = 62^\circ\text{C}$); 4 – четвертая стадия ($t_{cp} = 80^\circ\text{C}$)

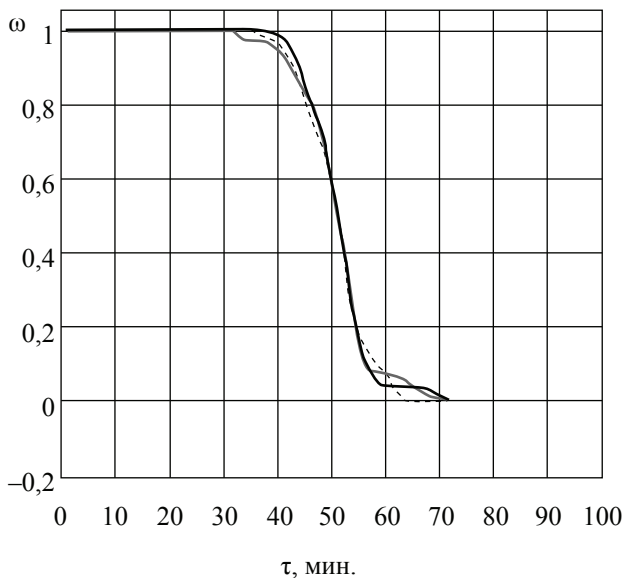


Рис. 4. Зависимость степени разложения древесины сосны от времени обработки (температура нагрева $7^\circ\text{C}/\text{мин.}$)

Был проведен ряд экспериментов в вакууме на древесине березы и сосны. Чтобы исключить влияние тепло- и массопереноса, использовались образцы в виде стружки навеской около 70 мг. Образцы нагревались с постоянным темпом нагрева до полной деструкции древесины. Конечная температура составляла 450°C . На рис. 4 показаны кривые зависимости степени разложения древесины от температуры и времени нагрева.

По полученным термогравиметрическим кривым рассчитаны кинетические параметры термической деструкции древесины сосны и березы (табл. 2) Можно отметить сопоставимость полученных кинетических параметров этих пород.

Разработанная математическая модель физико-химических процессов, протекающих в древесине при интенсивном нагреве, и полученные для нее кинетические параметры парообразования и термической деструкции древесины березы и сосны применяются для расчета внутренних источников теплоты и массы при расчете полей температуры, влажности и степени термической деструкции древесины при интенсивном нагреве.

Библиографический список

1. Лыков, А.В. Теория сушки / А.В. Лыков. – М.: Энергия, 1968. – 472 с.
2. Шведов, Б.А. Дисс... докт. техн. наук. – М.: 1990. – 542 с.
3. Ермоченков, М.Г. Термогравиметрические исследования кинетики термической сушки древесины / М.Г. Ермоченков, А.Г. Евстигнеев, Т.Е. Кувик // Технология и оборудование для переработки древесины: сб. науч. тр. МГУЛ. – 2007. – Вып. 335. – С. 36–46.

ОСОБЕННОСТИ ИМПУЛЬСНОЙ СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

А.А. КОСАРИН, *ст. преподаватель каф. сушки и защиты древесины МГУЛ*

kosarin@mgul.ac.ru

Интерес специалистов в области деревообработки к сушке пиломатериалов с прерывистым подводом тепловой энергии прослеживается с первой половины прошлого столетия. Так, в начале 30-х годов на одной из фирм США [3] была предложена конвективная сушка пиломатериалов путем их циклического увлажнения. Отмечено повышение качества сушки и некоторое снижение продолжительности процесса. Позднее [4] предложены прерывистые режимы сушки пиломатериалов твердых лиственных пород, которые предусматривают проведение процесса циклами: нагревание и последующее охлаждение. Автор этой работы отмечает значительное сокращение сроков сушки. Проверка этих режимов в ЦНИИМОДе [2] подтвердила их эффективность и для пиломатериалов хвойных пород. В С.-Петербургской (Ленинградской) ЛТА [1] были проведены исследования осциллирующих режимов, сходных по технологии с прерывистыми режимами. Эти исследования также подтвердили целесообразность чередования циклов нагревания и последующего охлаждения материала в процессе сушки. Профессором И.В. Кречетовым [2] и несколько позднее одной из фирм Германии [5] предложено вести процесс сушки при циклическом отключении циркуляционных вентиляторов, что дает существенную экономию расхода электроэнергии. Кроме того, профессор И.В. Кречетов отмечает повышение качества сушки по таким показателям, как равномерность конечной влажности штабеля, снижение перепада влажности по толщине материала и остаточных напряжений.

Начало широкого внедрения в промышленность сушки пиломатериалов с прерывистым подводом тепловой энергии относится к 90-м годам, когда на кафедре сушки и защиты древесины МГУЛ были начаты исследования [6] такого способа в условиях производства. Был получен патент на способ сушки пиломатериалов [7]. В соответствии с ним сушку ведут циклами, на первой ста-

дии которых процесс проходит при подаче теплоносителя в калориферы и циркуляции сушильного агента в сушильном объеме, а на второй стадии – полном прекращении подачи энергоносителя в калориферы, циркуляции сушильного агента и подачи свежего воздуха в сушильный объем. Исследования и внедрение способа продолжаются до настоящего времени. В этой работе активное участие принимает и автор статьи. Разработаны и внедрены в производство режимы сушки как для пиломатериалов основных отечественных пород [8, 9, 10], так и для пиломатериалов из древесины ряда тропических пород (эбена, махагони, меранти, венге, мирбау), мореного дуба, карельской березы. Анализ производственных данных показывает, что имеет место значительная экономия электроэнергии в системе циркуляции сушильного агента (50...75 %), продолжительность сушки снижается на 10...15 % по сравнению с сопоставимыми условиями протекания традиционной конвективной сушки. Существенно уменьшаются остаточные напряжения, определенные в конце сушки. Для обеспечения сушки пиломатериалов по II – III категориям качества не требуется проведения кондиционирования.

Ранее применявшиеся термины, характеризующие этот способ сушки, а именно: «прерывистые режимы сушки», «режимы сушки с прерывистой циркуляцией сушильного агента», «осциллирующие режимы сушки» и др. – не отражают его сущности. Режим сушки по определению не может быть прерывистым. Режимы с прерывистой циркуляцией сушильного агента – термин указывает на периодическое отсутствие циркуляции, без акцента на то, что при этом прекращается передача тепловой энергии материалу. Осциллирующие режимы содержат указание на то, что состояние сушильного агента изменяется по некоторой периодической функции. То же самое относится к термину «циклическая сушка». Принятый нами термин «импульсная

сушка» в полной мере отражает сущность способа, так как указывает на передачу энергии материалу тепловыми импульсами, следующими с определенной цикличностью.

Цикл импульсной сушки складывается из двух стадий: «работа» и «пауза». На стадии «работа» проходит аккумуляция тепла материалом; сушка проходит в воздухе повышенной температуры и низкой влажности при циркуляции сушильного агента через штабель. Эта стадия характеризуется высокой интенсивностью процесса за счет большего градиента влажности по толщине материала.

На стадии «пауза» подача тепловой энергии материалу прекращается. В этот период возрастает степень насыщенности воздуха в камере и происходит увлажнение поверхности древесины вследствие продолжающегося испарения воды из материала, снижаются сушильные напряжения.

Рассмотрим механизм процесса импульсной сушки. Предположим, что образец древесины в виде пластины толщиной S с начальной влажностью W_n , превышающей $W_{пн}$, помещен в сушильную установку, в которой циркулирует воздух, нагреваемый в теплообменнике. Состояние воздуха характеризуется температурой t_c и температурой предела охлаждения $t_{по}$. Влага по толщине пластины распределена равномерно. Материал предварительно нагревается. После прогрева последовательно проводятся циклы «работа – пауза».

Проведем анализ изменения температуры и влажности образца в одном из циклов на том периоде сушки, когда начинается образование гигроскопической зоны на его поверхности.

Пусть к моменту начала стадии «работа» влажность на поверхности $W_{пов}$ равна влажности предела насыщения $W_{пн}$ (рис. 1).

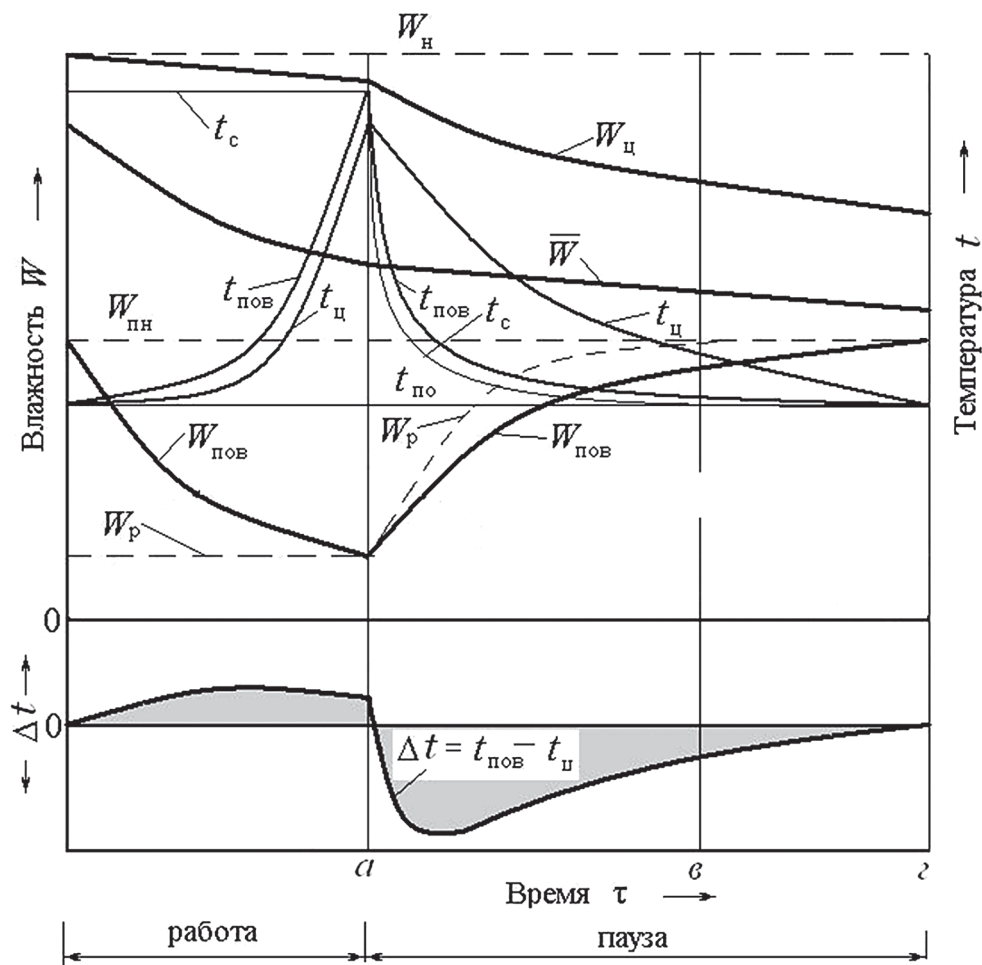


Рис. 1. Кривые изменения температуры и влажности древесины в цикле «работа – пауза»

Средняя влажность древесины \bar{W} несколько ниже начальной влажности W_n . Температура на поверхности материала $t_{пов}$ и в центре t_c равна температуре предела охлаждения $t_{по}$. На стадии «работа» начинается интенсивный процесс испарения влаги с поверхности материала, поскольку равновесная влажность W_p существенно ниже $W_{пн}$. Поверхностная влажность $W_{пов}$ снижается и к концу стадии достигает W_p (кривая $W_{пов}$ на отрезке 0–а). Происходит некоторое понижение влажности в центральной зоне W_c и средней влажности \bar{W} .

Температура на поверхности $t_{пов}$ и в центре t_c возрастает и стремится к концу стадии к t_c . Следует обратить внимание на рост перепада влажности в гигроскопической зоне $\Delta W = W_{пн} - W_{пов}$ и, следовательно, градиента влажности. Движущей силой процесса на этой стадии является влажпроводность.

На стадии «пауза» теплоснабжение и циркуляция воздуха прекращаются. Вследствие продолжающегося процесса испарения температура среды t_c постепенно понижается и к концу паузы стремится к $t_{по}$.

Одновременно растет разность температуры между поверхностью и центром сортифта. Температура на поверхности сортифта уменьшается, стремясь также к температуре предела охлаждения. Между поверхностью и центром возникает значительный перепад температуры $\Delta t = t_{пов} - t_c$, величина которого возрастает по мере снижения влажности материала в ходе сушки. Появляется, таким образом, градиент температуры, под действием которого возрастает интенсивность потока влаги к поверхности. Интенсивность же движения влаги под действием градиента влажности снижается и к моменту окончания этой стадии достигает минимума.

Поскольку термоградиентный коэффициент δ в диапазоне влажности 20...60 % значительно превышает коэффициент влажпроводности (в 2...4 раза [11]), то следует ожидать интенсивного движения влаги в период паузы, которое не только компенсирует снижение интенсивности движения за счет градиента влажности, но и может его превзойти.

Особенность этого движения состоит в том, что движущийся из центральных зон

водяной пар на пути встречается со слоями древесины, уже охладившимися и имеющими температуру ниже давления насыщения. Происходит конденсация водяного пара, но в слоях, более близких к поверхности. Имеет место «перекачка» влаги из центра к поверхностным зонам. Таким образом, на этой стадии одна часть влаги в виде водяного пара удаляется из древесины, а другая часть «перекачивается» из внутренних в наружные зоны. Первая часть существенно меньше второй. Это выявлено нами в результате анализа количества удаленной воды из камеры в цикле «работа – пауза» конденсационной сушилки по количеству образовавшегося конденсата [10].

По соотношению количества удаленной влаги на разных стадиях установлена доля удаленной воды на стадии паузы. Она составила величину, равную 0,15...0,25 от общего количества влаги, удаленной за один цикл.

Поскольку общая продолжительность импульсной сушки примерно на 10...15 % меньше, чем сушки классическим методом при сопоставимых режимах, то следует считать, что в одном цикле «работа – пауза» удаляется влаги больше (на те же 10...15 %), чем за тот же период при классической сушке. Причем наибольший эффект достигается на стадии «работа».

Результаты, полученные для конденсационных сушилок, в полной мере распространяются на обычные конвективные сушилки.

Характер распределения влаги в начале паузы и после ее окончания иллюстрируют схемы, приведенные на рис. 2. Для рассмотренного выше момента сушки поле влажности к моменту окончания стадии «работа» характеризуется кривой 1 (рис. 2а). Поверхностная влажность $W_{пов}$ равна равновесной W_{p1} . В гигроскопической зоне глубиной δ влага перемещается под действием градиента влажности, а к ее внутренней границе – за счет градиента капиллярного давления. На стадии «пауза» происходит увлажнение гигроскопической зоны за счет влаги, переместившейся из центра образца. К концу паузы влажность на поверхности достигнет равновесного состояния W_{p2} и равного $W_{пн}$ (кривая 2).

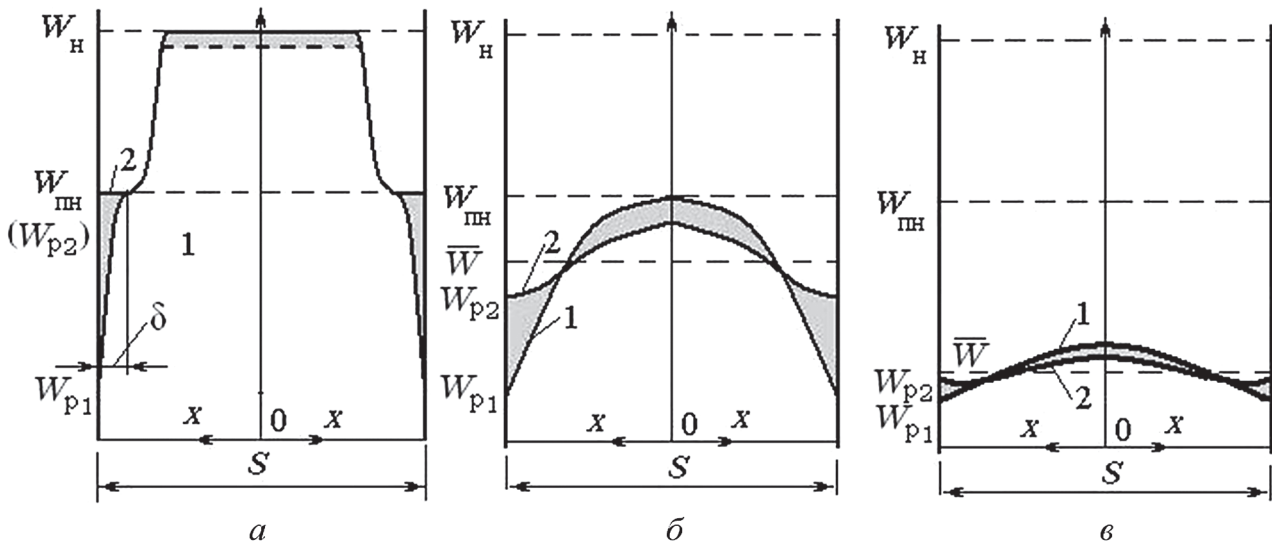


Рис. 2. Поле влажности в древесине до начала паузы 1 и после ее окончания 2; а – в начальном периоде сушки, когда $W_{пов} < W_{пн}$ и $W_{ц} > W_{пн}$; б – в середине процесса, когда влажность по толщине материала стала ниже предела насыщения; в – в конце сушки, когда $\bar{W} \approx W_k$

На последующих этапах сушки (рис. 2 б, в, кривые 2) увлажнение поверхностной зоны будет проходить в меньшей степени. Влажность W_{p2} на поверхности в конце пауз будет зависеть от средней влажности древесины \bar{W} . Обращает на себя внимание то, что разность средней влажности древесины и равновесной влажности ($\bar{W} - W_{p2}$) на стадии «пауза» уменьшается по мере высушивания материала. К моменту окончания процесса эта разность может быть достаточно малой и находится в пределах допустимого, с точки зрения качества сушки, перепада влажности по толщине материала.

Это обстоятельство дает основание считать, что по уровню равновесной влажности, а следовательно, по состоянию сушильного агента в конце паузы можно судить о средней влажности материала.

Экспериментальные исследования температурных и влажностных полей в циклах, выполненные на единичных образцах в лабораторной сушильной установке кафедры, полностью подтвердили результаты проведенного выше анализа. Об этом свидетельствует хорошее совпадение экспериментальных и аналитических кривых изменения температуры на поверхности и в центре образцов на стадиях «работа» и «пауза». Доказано увлажнение поверхностных слоев образцов на стадии «пауза».

Рассмотрим особенности развития напряжений в цикле, который на стадии «работа» начинается с момента снижения влажности на поверхности ниже предела насыщения (рис. 3).

На этой стадии (рис. 3, отрезок 0 – а) процесс проходит по тем же закономерностям, как при обычной конвективной сушке. Влажность древесины на поверхности $W_{пов}$ достаточно быстро после начала сушки снижается и стремится к равновесной влажности W_p .

Характер развития напряжений аналогичен тому, как они развиваются при классической сушке. В поверхностной зоне развиваются влажностные напряжения растяжения $\sigma_{вл}$ (рис. 3, участок 0 – а). Эти напряжения вызывают остаточные деформации удлинения, приводящие к образованию остаточных напряжений сжатия $\sigma_{ост}$. Полные напряжения имеют знак большей составляющей – растяжения. Под действием полных напряжений остаточные удлинения постепенно увеличиваются, соответственно возрастают остаточные напряжения.

Вполне очевидно, чем ниже величина равновесной влажности и чем меньше глубина гигроскопической зоны, тем интенсивнее идет процесс сушки. При обычной конвективной сушке эта интенсивность ограничивается величиной развивающихся сушильных напряжений.

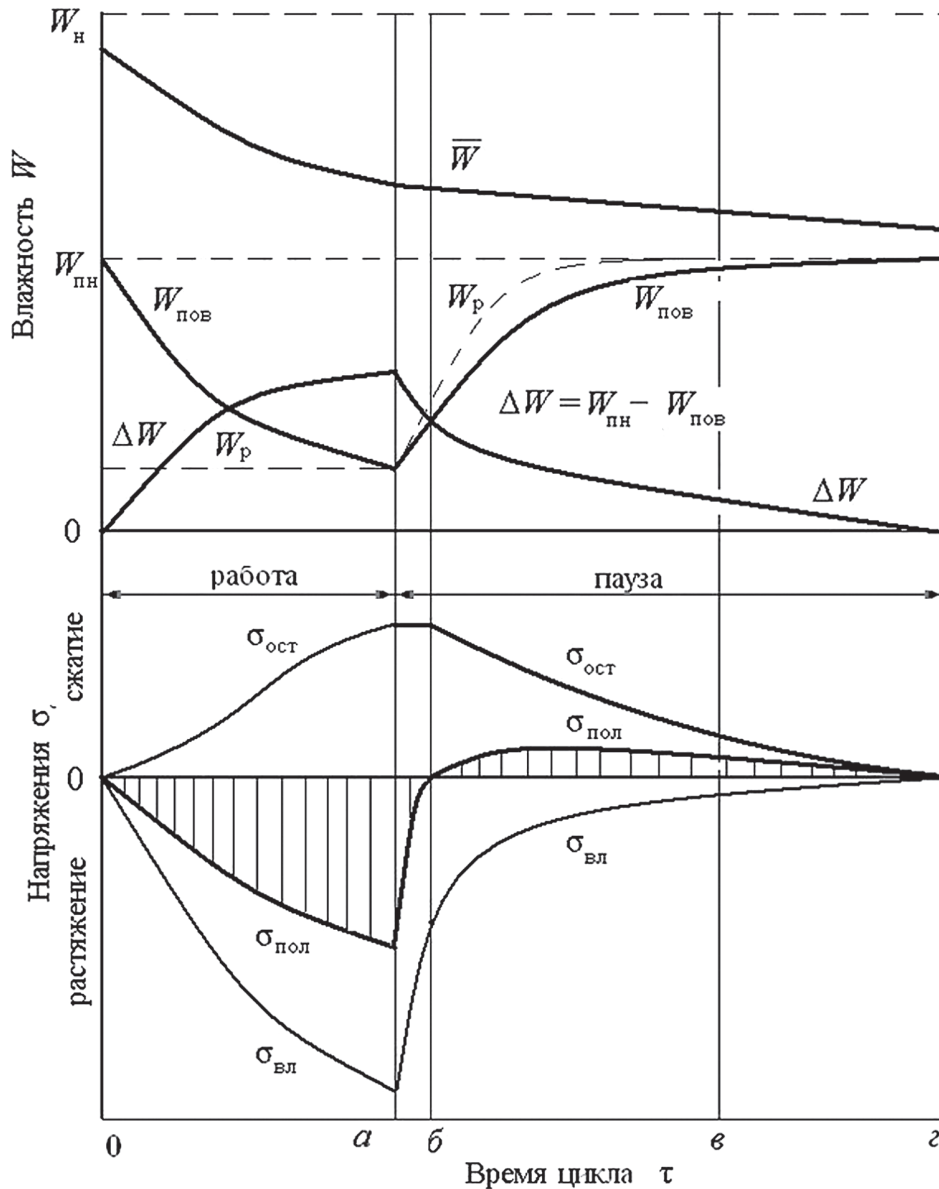


Рис. 3. График изменения влажностных, остаточных и полных напряжений в цикле «работа – пауза»

Разработанные [13] и позднее стандартизованные режимы [14] сушки пиломатериалов построены исходя из допущения, что напряжения σ , развивающиеся в материале, не должны превышать 75...80 % от величины предела прочности $[\sigma]_{пр}$ на растяжение поперек волокон.

Эти же допущения сохраняются и при разработке режимов импульсной сушки.

Сушка на стадии «работа» проводится в среде с низкой равновесной влажностью, что существенно интенсифицирует процесс удаления влаги, но ведет к ускоренному росту сушильных напряжений. В момент достижения допустимого максимума напряжений подача тепловой энергии к материалу пре-

кращается. Начинается стадия «пауза». На стадии «пауза» за счет роста степени насыщенности сушильного агента в камере возрастает величина равновесной влажности (рис. 3, кривая W_p), происходит увлажнение поверхности (кривая $W_{пов}$). В начале процесса сушки степень насыщенности сушильного агента доходит до единицы, а равновесная влажность и несколько позднее поверхностная влажность $W_{пов}$ достигает $W_{пн}$, что показано на рис. 3.

На последующих этапах, по мере углубления гигроскопической зоны, степень насыщенности снижается, соответственно уменьшается равновесная и поверхностная влажность древесины.

Режимы импульсной сушки пиломатериалов из древесины сосны, ели, пихты, кедра

Влажность древесины, %	Параметры режима	Толщина пиломатериалов, мм				
		16 19	22 25	32 40	50	60
> 35	τ_p , час	4,0	3,0	2,0	2,0	2,0
	$t^{\circ}\text{C}$	75	75	75	75	75
	τ_n , час	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
35-20	τ_p , час	4,0	3,0	2,0	2,0	2,0
	$t^{\circ}\text{C}$	75	67	75	75	75
	τ_n , час	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
<20	τ_p , час	4,0	3,0	2,0	2,0	2,0
	$t^{\circ}\text{C}$	75	75	75	75	75
	τ_n , час	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0

В результате увлажнения поверхности материала перепад влажности ΔW в интервале времени $a - b$, уменьшается. Полные напряжения снижаются и в момент времени b становятся равными нулю. Рост остаточных напряжений прекращается. Продолжающееся уменьшение ΔW (участок $b - z$) приводит к образованию полных сжимающих напряжений. При повышенной влажности древесина становится более пластичной. Под действием полных напряжений сжатия в наружных зонах образуются остаточные деформации укорочения, которые компенсируют ранее имевшиеся там остаточные удлинения. Остаточные напряжения соответственно уменьшаются. При отсутствии перепада влажности (момент z) они становятся равны нулю. Однако выравнивание влажности является чрезвычайно длительным процессом, практическая реализация которого не представляется возможной. Стадия «пауза» заканчивается значительно раньше (момент z). При этом остаточные напряжения сохраняются, однако их величина существенно ниже, чем к моменту начала стадии «пауза».

Таким образом, при последовательном проведении сушки циклами «работа – пауза» высушиваемый материал будет иметь на всем протяжении процесса малые остаточные напряжения, что и подтверждается результатами промышленных сушек.

Из анализа характера развития сушильных напряжений следует:

– на стадии «работа» возможно ведение очень интенсивного процесса как за счет снижения величины равновесной влажности (как

параметра режима сушки), так и некоторого повышения температуры сушильного агента; режимная температура устанавливается исходя из того, что средняя температура сушильного цикла будет равна температуре, определенной режимом обычной конвективной сушки;

– на стадии «пауза» за счет увлажнения наружной зоны материала происходит снижение остаточных напряжений, что дает возможность сушки пиломатериалов с малыми остаточными напряжениями; режимная продолжительность стадии определяется временем выравнивания температуры по толщине сортамента.

В качестве примера в таблице приведены режимы импульсной сушки пиломатериалов мягких хвойных пород. Режимы составлены с учетом обеспечения бездефектной сушки при практически полном сохранении природной прочности древесины, с возможным незначительным изменением ее цвета.

Определяющими параметрами режимов приняты: температура воздуха t , продолжительность стадии «работа» τ_p , ч и продолжительность паузы τ_n , ч. Степень насыщенности воздуха не регулируется, что существенно упрощает систему автоматического регулирования процесса сушки в камере.

Выводы

Применение импульсной сушки пиломатериалов в производстве позволило:

– существенно сократить расходы электроэнергии на циркуляцию сушильного агента на 50...75 %, в зависимости от толщины и породы древесины;

- снизить продолжительность сушки на 10...15 % по сравнению с сопоставимыми условиями протекания традиционной конвективной сушки;
- уменьшить в несколько раз остаточные напряжения;
- упростить систему автоматического контроля и регулирования процесса сушки в камере;
- обеспечить более равномерное просыхание пиломатериалов в штабеле и распределение влажности по их толщине.

Библиографический список

1. Мингазов, М.Г. Осциллирующие режимы сушки / М.Г. Мингазов, Н.В. Качалин. – М.: Лесная промышленность, 1967. – 49 с.
2. Кречетов, И.В. Сушка древесины. Изд.4-е, переработанное и дополненное / И.В. Кречетов. – М.: БРИЗ, 1997. – 496 с.
3. Миниович, Я.М. Искусственная сушка дерева / Я.М. Миниович. – М.-Л.: Государственное научно-техническое издательство, 1931. – 204 с.
4. Захаржевский, В.Г. Скоростная сушка древесины / В.Г. Захаржевский. – М.: Министерство промышленности строительных материалов РСФСР, 1948. – 54 с.
5. Senkung des Elektroenergieverbrauches bei der Schnellholztrocknung durch wechseiweise Abschaltung von Ventilatoren/Mutter H. – Holztechnologie, 6/1989, JO, s. 195–197.
6. Расев, А.И. Особенности развития техники и технологии сушки пиломатериалов на современном этапе / А.И. Расев // Лесной вестник. – 1998. – № 1. – С. 28–34.
7. Расев, А.И. Патент № 2027127. Способ сушки пиломатериалов / А.И. Расев, Г.Н. Курышов и др. – М.: Роспатент, 1995. – бюл. № 2.
8. Расев, А.И. Тепловая обработка и сушка древесины: учебник / А.И. Расев. – М.: Издательство МГУЛ, 2009. – 360 с.
9. Косарин, А.А. Сушка импульсными режимами в сушильных камерах МГУ Леса с поперечно-горизонтальной циркуляцией / А.А. Косарин, Г.Н. Курышов // Науч. тр. МГУЛ. – 2005. – Вып. 331. – С. 61–63.
10. Косарин, А.А. Сушка дубовых пиломатериалов импульсными режимами в сушильной камере учебно-производственных мастерских (УПМ) МГУ Леса / А.А. Косарин, Г.Н. Курышов // Науч. тр. МГУЛ. – 2007. – Вып. 338. – С. 31–33.
11. Расев, А.И. Утилизация тепловой энергии в сушильных камерах пиломатериалов / А.И. Расев, С.А. Кучер // Третья международная научно-практическая конференция «Современные энергосберегающие тепловые технологии СЭТТ – 2008/ Труды конференции, 2 том/МГУПБ. – 2008. – С. 200–206.
12. Шубин, Г.С. Сушка и тепловая обработка древесины / Г.С. Шубин. – М.: Лесная промышленность, 1990. – 336 с.
13. Серговский, П.С. О принципах построения рациональных режимов сушки пиломатериалов. Сушка древесины: труды Всесоюзной юбилейной научно-технической конференции / П.С. Серговский. – Архангельск, 1968. – С. 36–55.
14. Руководящие технические материалы по технологии камерной сушки древесины. – Архангельск: ЦНИИМОД, 1985. – 143 с.

СНИЖЕНИЕ ПРОЧНОСТИ И ПОТЕМНЕНИЕ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ КАМЕРНОЙ СУШКЕ

Н.В. СКУРАТОВ, *проф. каф. сушки и защиты древесины МГУЛ, канд. техн. наук*

skuratov@mgul.ac.ru

При камерной сушке древесина длительное время находится в воздушной среде с повышенной температурой, что может привести к заметной потере ее естественной прочности и изменению цвета. Эти изменения тем больше, чем выше температурный уровень режима сушки, влажность древесины и длительность процесса.

Классические режимы камерной сушки пиломатериалов имеют ступенчатую структуру с повышающейся по ходу процесса температурой сушильного агента (рис. 1). На

начальном этапе сушки, когда сырая древесина наиболее чувствительна к температурным воздействиям, в камере поддерживают относительно низкую температуру при достаточно высокой влажности среды. По мере снижения влажности древесины температуру воздуха ступенчато повышают, а его влажность уменьшают. На конечном этапе сушки, когда влажность древесины существенно ниже предела насыщения клеточных стенок, в камере устанавливают максимально допустимую температуру при минимальной влажности среды.

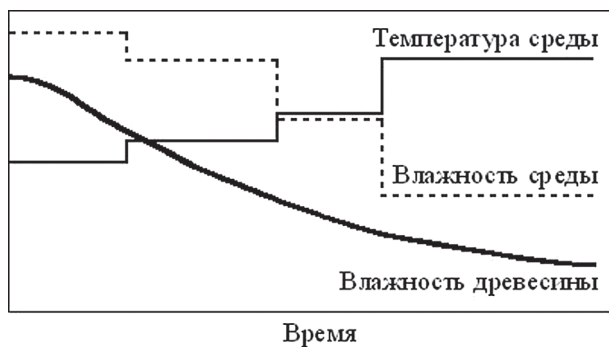


Рис. 1. Изменение влажности древесины и состояния среды в процессе камерной сушки

Низкотемпературные режимы сушки пиломатериалов в зависимости от температурного уровня подразделяются на 3 категории: мягкие, нормальные и форсированные [1]. Принято считать, что мягкие режимы гарантируют высококачественную сушку практически при полном сохранении природных свойств древесины и, прежде всего, ее прочности и цвета. Нормальные режимы обеспечивают качественную сушку без заметного изменения или с незначительным изменением прочности и цвета древесины. При сушке форсированными режимами происходит существенное снижение (до 20 %) показателей прочности и значительное потемнение древесины.

Температуры мягких режимов установлены исходя из предположения, что при температуре до 60 °С не происходит деструкции древесинного вещества, независимо от продолжительности температурного воздействия. В то же время имеются данные о том, что при достаточно длительном температурном воздействии наблюдается некоторое снижение прочности древесины даже при температуре 55...60 °С [2]. Аналогичные выводы [3] были сделаны в результате обобщения экспериментальных данных, полученных в работе [4]. В работе [5] экспериментально исследовано влияние режимов камерной сушки различных категорий на показатели прочности высушенных еловых и березовых пиломатериалов толщиной 25 и 50 мм. В частности, было установлено, что при сушке мягкими режимами возможно небольшое снижение прочности древесины. Взаимосвязь между потерей прочности и потемнением древесины при воздействии высоких температур отмечена в работе [6]. Это дает основание полагать, что в процессе сушки даже при сравнительно невы-

соких температурах может изменяться не только прочность, но и цвет древесины.

Для проверки этой гипотезы была определена потеря прочности на статический изгиб и степень потемнения дубовых досок толщиной 32 мм и шириной 120 мм, высушенных двумя различными режимами и, для сравнения, при комнатной температуре. Выбор древесины дуба обусловлен тем, что лиственная древесина более чувствительна к повышенным температурам, чем хвойная. Кроме того, эта древесина широко используется для изготовления мебели и дорогих напольных покрытий, где цветовые характеристики особенно важны.

Для сушки дубовых пиломатериалов в ГОСТ 19773-84 предлагается использовать трех-пятиступенчатые режимы сушки, в которых количество ступеней зависит от толщины материала. Анализ температурных уровней режимов показывает, что в процессе сушки пиломатериалы толщиной до 60 мм в той или иной мере подвергаются воздействию температур выше 55–60 °С (рис. 2).

Опытные сушки проводились в однопутных двухштабельных камерах с вертикально-поперечной циркуляцией средней интенсивности на предприятии «Сходня-мебель» (Московская область). Из одной партии пиломатериалов были выбраны 3 доски длиной 4 м с примерно одинаковой текстурой и светлотой. Начальная влажность древесины была равна 55–58 %, а базисная плотность – 552–563 кг/м³. Затем из каждой доски были выпилены по 3 опытных образца длиной 600–800 мм, которые не имели существенных пороков. Сразу после выпилки торцы образцов влагоизолировались.

Первые 3 образца были высушены в комнатных условиях при регулируемой относительной влажности воздуха до конечной влажности 8 % в течение 4 месяцев. Впоследствии эти образцы использовались в качестве эталонных.

Другие 3 образца были помещены в промышленную сушильную камеру и высушивались вместе с остальными досками партии до средней конечной влажности 8 %. Как и все загруженные в камеру доски, образцы подвергались начальной и конечной влаготеплообработкам. График первой опытной сушки приведен на рис. 3.

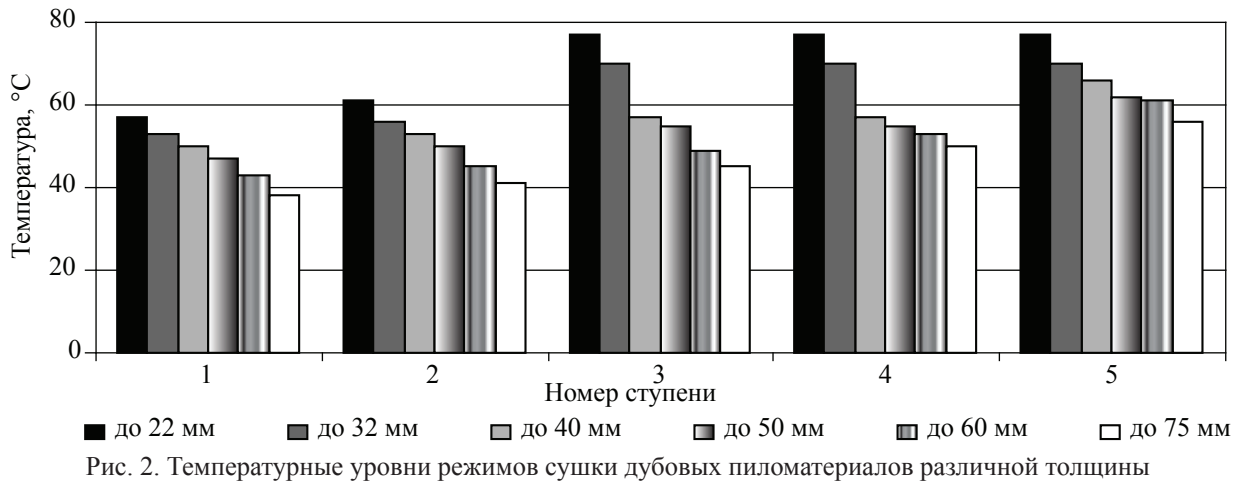


Рис. 2. Температурные уровни режимов сушки дубовых пиломатериалов различной толщины

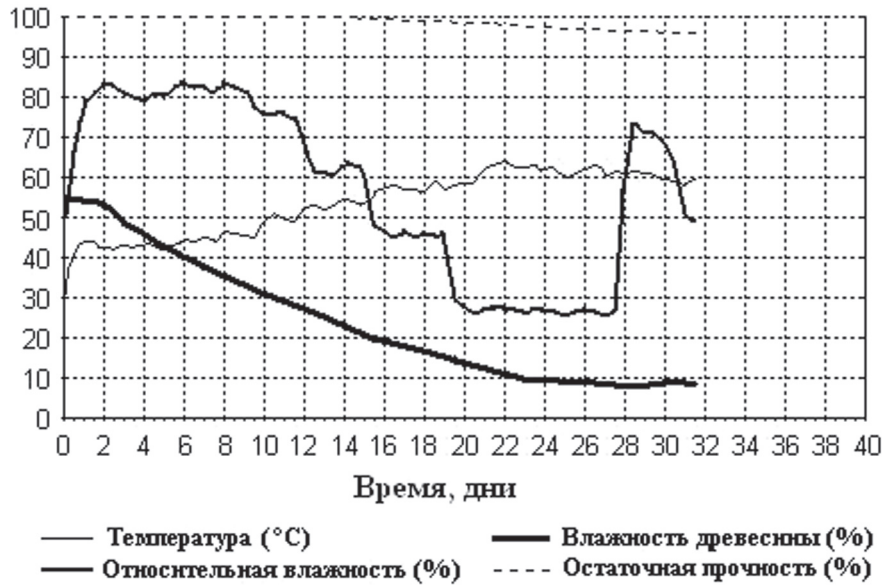


Рис. 3. Изменение температуры и относительной влажности воздуха, а также средней влажности и остаточной (эксплуатационной) прочности древесины в первой опытной сушке

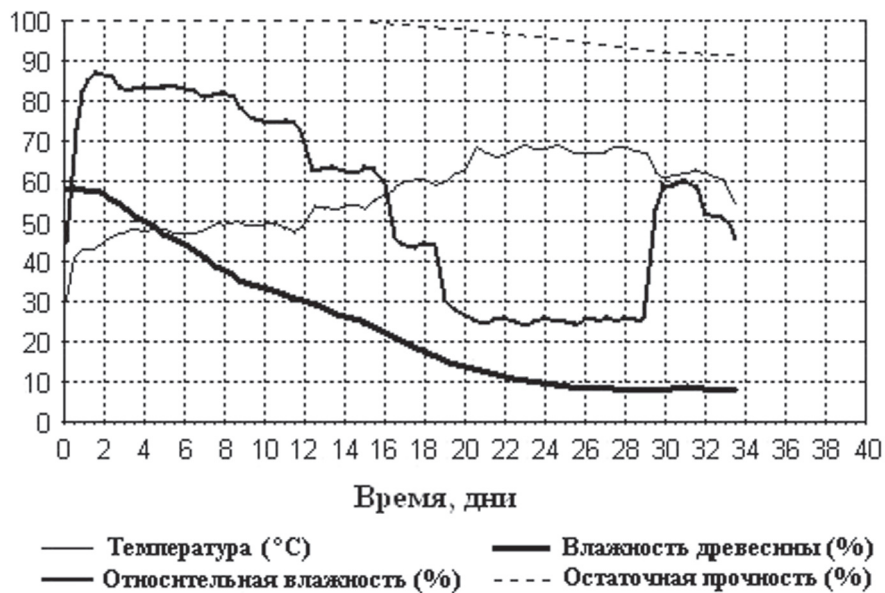


Рис. 4. Изменение температуры и относительной влажности воздуха, а также средней влажности и остаточной (эксплуатационной) прочности древесины во второй опытной сушке



Рис. 5. Фотоэлектрический блескомер ФБ 2

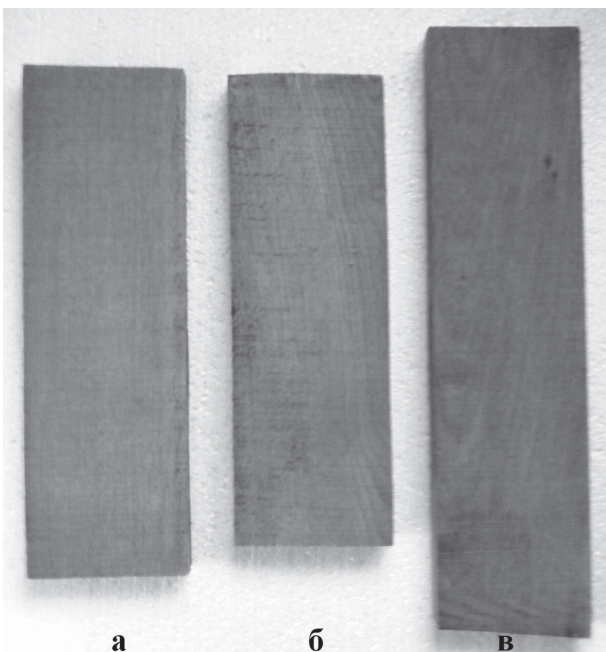


Рис. 6. Образцы с различной степенью потемнения: а – после сушки в комнатных условиях; б – после первой опытной сушки; в – после второй опытной сушки

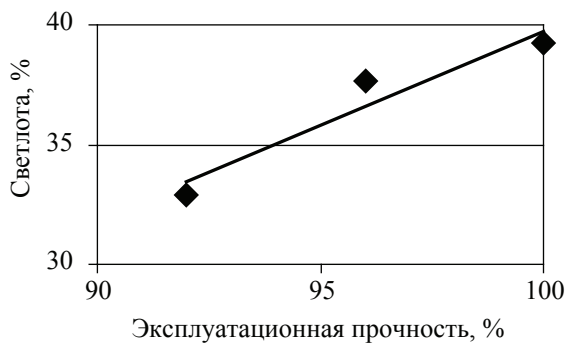


Рис. 7. Взаимосвязь между уменьшением эксплуатационной прочности и светлоты древесины после сушки в различных условиях

Загруженные в камеру пиломатериалы предназначались для изготовления массивных паркетных досок, поэтому их сушили режимом с пониженным температурным уровнем с тем, чтобы минимизировать возможные цветовые изменения. Изменение остаточной прочности древесины было рассчитано по разработанной ранее методике [7]. Ее конечная величина составила 96 %.

Вторая опытная сушка последних 3 образцов проводилась параллельно в соседней камере при повышенном температурном уровне, поскольку к данной партии пиломатериалов жестких требований по качеству не предъявлялось (рис. 4). Как и в предыдущем случае, изменение остаточной прочности определялось по той же методике расчетным путем. В результате этой сушки прочность снизилась до 92 %.

Количественная оценка потемнения древесины после сушки осуществлялась с помощью фотоэлектрического блескомера типа ФБ 2 (рис. 5). Белизна каждого образца определялась в 9 точках, и в качестве результата использовалось среднее значение.

Средняя светлота образцов после сушки составила: в комнатных условиях – 39,22 %, при первой опытной сушке – 37,67 %, при второй опытной сушке – 32,89 %.

На рис. 6 в качестве примера показаны образцы, высушенные при разных условиях.

Как и следовало ожидать, при более высоких температурах сушки древесина становится более темной и менее прочной (рис. 7). Этот результат позволяет предположить, что потемнение древесины при сушке можно прогнозировать по уменьшению ее остаточной прочности.

Библиографический список

1. ГОСТ 19773–84. Пиломатериалы хвойных и лиственных пород. Режимы сушки в камерах периодического действия.
2. Богомазов, В.В. О физико-механических свойствах древесины в зависимости от режимов гидротермической обработки / В.В. Богомазов // В сб. Сушка древесины. – Архангельск, 1980.
3. Скуратов, Н.В. Влияние камерной сушки на эксплуатационную прочность древесины / Н.В. Скуратов // Научн. тр. МГУЛ. – 2000. – Вып. 312. – С. 34–38.

4. Дьяконов, К.Ф. Сохранение прочности древесины при камерной сушке / К.Ф. Дьяконов // В сб. Сушка древесины. – Архангельск, 1968. – С. 56–71.
5. Александров, В.К. Влияние режимов сушки пиломатериалов на прочностные показатели и дальнейшее рациональное использование древесины: автореф. дисс. ... канд. наук / В.К. Александров. – Л., 1986.
6. Bekhta P., Niemz P. Effect of high temperature on change in colour, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood// *Holzforschung*, 2003. – #57. – p. 539-546.
7. Скуратов, Н.В. Влияние камерной сушки на эксплуатационную прочность древесины / Н.В. Скуратов // *Технология и оборудование для переработки древесины: сб науч. тр. МГУЛ. – 2000. – Вып. 312. – С. 34–38.*

ПРИБЛИЖЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О ДВИЖЕНИИ ГРАНИЦЫ ТАЯНИЯ ЛЬДА В НАМОРОЖЕННОМ СЛОЕ ПЛАВУЧЕГО КОНТЕЙНЕРА С ДРЕВЕСНОЙ ЩЕПОЙ

А.Н. КОМЯКОВ, доц. каф. транспорта леса МГУЛ, канд. техн. наук

akomyakov@mail.ru

На кафедре транспорта леса МГУЛ разработана технология, которая позволяет создавать в условиях затопляемых плотбищ береговых складов большегрузные плавучие контейнеры (БПК) емкостью сотни и тысячи м³. Способ формирования и конструкция такого БПК защищены патентом (патент: RU 2153456 С1). Предлагаемая технология базируется на хорошо зарекомендовавшей себя и самой распространенной транспортно-технологической схеме с использованием зимней береговой сплотки. Контейнеры заполняются вблизи реки на затопляемом плотбище в период отрицательных температур и доставляются потребителю в период половодья.

Особенностью предлагаемой конструкции является наличие намороженного слоя измельченной древесины (щепы) по бортам и днищу контейнера. Намороженный слой выполняет ряд функций: обеспечивает форму контейнера, запас его плавучести и сохранность качества перевозимого груза. Необходимая толщина намороженного слоя зависит от интенсивности таяния льда в нем в период хранения и транспортировки до пункта назначения. Для изучения процесса таяния льда в контейнере с замороженной щепой на базе Щелковского учебно-опытного лесхоза МГУЛ был изготовлен опытный образец контейнера предлагаемой конструкции.

Исследования проводились в середине апреля в течение двух недель. С помощью встроенных в контейнер на разных расстояни-

ях от его поверхности трех термопар посуточно измерялась температура в соответствующих точках контейнера, который приблизительно представлял собой параллелепипед с размерами $L = 3$ м, $B = 1$ м и $H = 0,8$ м и содержал лед и щепу с примерно равными объемными долями (в дальнейшем при оценках полагаем коэффициент полндревесности $p = 0,5$). Термопары располагались вдоль оси симметрии, параллельной направлению B (ширине контейнера), на расстояниях от боковой поверхности LH $b_1 = 14$ см, $b_2 = 28$ см и $b_3 = 42$ см. Приход границы таяния в эти точки (приход температурного фронта $T = 0^\circ\text{C}$) был зафиксирован в опытах соответственно на 7-е, 10-е и 15-е сутки. Измерялась, кроме того, температура окружающей среды, которая в указанный период имела устойчивую тенденцию к росту – примерно на 1°C в сутки от 4°C 10.04.00 до 19°C 25.04.00; см. рисунок.

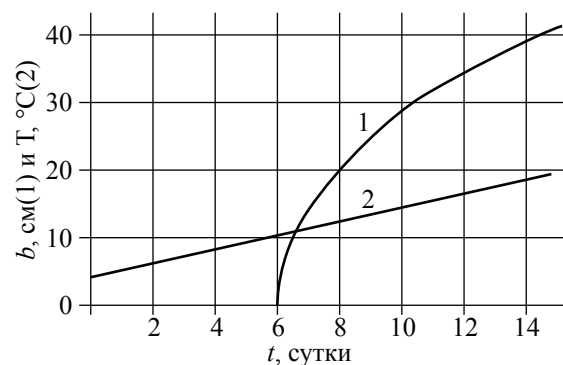


Рисунок. График движения границы таяния льда в контейнере с замороженной щепой

К сожалению, наличие только трех встроенных термопар не позволяет проследить картину движения границы таяния детально, что затрудняет сравнение результатов с теми, которые можно получить теоретически.

Построение теоретических моделей движения границы таяния – задача сама по себе весьма непростая. Известно, что задачи с движущимися границами (в нашем случае – границей таяния) одни из самых трудных в нестационарной теории теплопроводности [1–3] и точное аналитическое решение из них имеют буквально единицы – для наиболее простых геометрий опыта, а также начальных и граничных условий. В данном случае ситуация осложняется еще и тем, что мы имеем дело не с чистыми льдом и водой (далее мы всюду говорим только о той воде, которая образуется в результате таяния льда). На самом деле у нас имеются две дисперсные системы: «лед–щепа» и «вода–щепа». Хотя подобные системы изучаются довольно давно, до сих пор не существует абсолютно надежных методов расчета теплофизических параметров таких материалов (в частности, методов расчета коэффициентов теплопроводности). Существует большое число моделей дисперсных материалов и столь же большое число приближенных методов вычисления их эффективных коэффициентов теплопроводности $\lambda_{эфф}$. Имеется множество различных приближенных формул для $\lambda_{эфф}$ (см. [4]). Для производства нужных нам оценок мы ограничимся здесь лишь простейшей одномерной геометрией задачи Стефана [5] и одной из формул для $\lambda_{эфф}$ – формулой Максвелла-Рэлея-Бургера [4]. В предыдущих работах одного из авторов [6,7] было показано, что сделанные в этом случае приближения оказываются вполне приемлемыми.

Рассмотрим одномерную задачу, когда температура зависит лишь от одной пространственной координаты, например x , и времени t . Пусть в начальный момент $t = 0$ имеется «ступенчатое» распределение температуры: начальная температура льда (полупространство $x > 0$) равна $T_i < T_m = 0^\circ\text{C}$, а температура окружающей среды (область $x < 0$) равна $T_0 > T_m = 0^\circ\text{C}$. В этом случае задача имеет точное аналитическое (стефановское) решение. В случае чистого льда (без щепы)

положение границы таяния как функцию от времени можно найти по формуле

$$b(t) = \beta \sqrt{t}, \quad (1)$$

где $b(t = 0) = 0$ есть начальное положение границы, а коэффициент β должен быть определен как решение трансцендентного уравнения [5]

$$\frac{\lambda_1}{\sqrt{\chi_1}} \frac{(T_0 - T_m) \exp\left(-\frac{\beta^2}{4\chi_1}\right)}{\Phi\left(\frac{\beta}{2\sqrt{\chi_1}}\right)} - \frac{\lambda_2}{\sqrt{\chi_2}} \frac{(T_m - T_i) \exp\left(-\frac{\beta^2}{4\chi_2}\right)}{1 - \Phi\left(\frac{\beta}{2\sqrt{\chi_2}}\right)} = \frac{\sqrt{\pi}}{2} q\beta. \quad (2)$$

Здесь $\lambda_1 = \lambda_w$ и $\lambda_2 = \lambda_i$ – коэффициенты теплопроводности воды и льда, $\chi_1 = \chi_w = \lambda_w / c_w = \lambda_w / C_w \rho_w$ и $\chi_2 = \chi_i = \lambda_i / c_i = \lambda_i / C_i \rho_i$ – их коэффициенты температуропроводности, C_w и C_i – удельные теплоемкости воды и льда, c_w и c_i – их теплоемкости на единицу объема, ρ_w и ρ_i – плотности, $q = \rho_i q_m$ – теплота плавления льда в расчете на единицу объема, q_m – удельная скрытая теплота плавления льда, а

$$\Phi(y) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^y \exp(-t^2) dt$$

так называемая функция (или интеграл) ошибок. Как показано в [7], в случае дисперсных систем «вода–щепа» и «лед–щепа», формула (1) и уравнение (2) остаются в силе, однако теплофизические параметры чистых воды и льда в (2) должны быть заменены эффективными их значениями. Эффективные теплоемкости смесей «лед–щепа» и «вода–щепа», а также эффективная скрытая теплота плавления системы «лед–щепа», отнесенные к единице объема, вычисляются сравнительно несложно по формулам

$$c_1(p) = (1-p) c_w + p c, \quad (3)$$

$$c_2(p) = (1-p) c_i + p c, \quad (4)$$

$$q(p) = (1-p) \rho_i q_m, \quad (5)$$

где индекс «1» относится к системе «вода–щепа», а индекс «2» – к системе «лед–щепа».

Для вычисления эффективной теплопроводности систем используем формулу Максвелла-Рэлея-Бургера [4]

$$\lambda(p) = \Lambda \frac{2 + \nu - 2p(1-\nu)}{2 + \nu + p(1-\nu)}, \quad (6)$$

где $\nu = \lambda / \Lambda < 1$, где λ – теплопроводность древесины, а Λ – теплопроводность воды для системы «вода–щепа» (или теплопроводность льда для системы «лед–щепа»).

Положим

$$\begin{aligned} q_m &= 3,3 \cdot 10^5 \text{ Дж кг}^{-1}, \rho_w = 10^3 \text{ кг м}^{-3}, \\ \rho_i &= 0,92 \cdot 10^3 \text{ кг м}^{-3}, \rho = 0,8 \text{ кг м}^{-3}, \\ C_w &= 4,2 \cdot 10^3 \text{ Дж кг}^{-1}\text{K}^{-1}, C_i = 2,10 \cdot 10^3 \text{ Дж кг}^{-1}\text{K}^{-1}, \\ C &= 1,6 \cdot 10^3 \text{ Дж кг}^{-1}\text{K}^{-1}, \\ \lambda_w &= 0,55 \text{ Вт м}^{-1}\text{K}^{-1}, \lambda_i = 2,2 \text{ Вт м}^{-1}\text{K}^{-1}, \\ \lambda &= 0,15 \text{ Вт м}^{-1}\text{K}^{-1}, \end{aligned}$$

тогда при $p = 0,5$ имеем $\lambda_1 = 0,38 \text{ Вт м}^{-1}\text{K}^{-1}$, $\lambda_2 = 0,99 \text{ Вт м}^{-1}\text{K}^{-1}$, $\chi_1 = 1,2 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2\text{с}^{-1}$, $\chi_2 = 6,0 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2\text{с}^{-1}$. Численное решение уравнения (2), приводит к очень маленьким значениям β , удовлетворяющим неравенствам

$$\beta \ll 2\sqrt{\chi_1}, 2\sqrt{\chi_2}. \quad (7)$$

Это позволяет, вернувшись снова к уравнению (2) и учтя асимптотику функции ошибок для малых аргументов, записать (2) в приближенной форме

$$\frac{\lambda_1(T_0 - T_m)}{\beta} - \frac{\lambda_2(T_m - T_i)}{\sqrt{\pi\chi_2}} \approx \frac{1}{2}q\beta, \quad (8)$$

Последнее уравнение уже не трансцендентное, а дробно-рациональное и имеет аналитическое решение

$$\begin{aligned} \beta &= -\frac{\lambda_2(T_m - T_i)}{\sqrt{\pi\chi_2}q} + \\ &+ \sqrt{\left(\frac{\lambda_2(T_m - T_i)}{\sqrt{\pi\chi_2}q}\right)^2 + \frac{2\lambda_1(T_0 - T_m)}{q}}. \quad (9) \end{aligned}$$

Его можно записать в еще более простом приближенном виде

$$\beta \approx \sqrt{\frac{2\lambda_1(T_0 - T_m)}{q}}, \quad (10)$$

позволяющем без большой потери в точности (ошибка не более 15 %) делать быстрые оценки коэффициента β , а с ним – скорости движения границы таяния по формуле (1), не решая численно на компьютере трансцендентное уравнение Стефана [5].

Оценим смещение границы за 2 недели, положив в (10) $T_0 - T_m = 10^\circ\text{C}$ и $\lambda_1 = 0,4 \text{ Вт м}^{-1}\text{K}^{-1}$; тогда получаем $b(t=2 \text{ недели}) \approx 28 \text{ см}$. Это весьма близко к полученному в опыте значению $b_3 = 42 \text{ см}$. Отличия вызваны не только приближенностью расчетов и экс-

периментальными ошибками. Имеется более важная причина недостаточно точного совпадения теории и эксперимента. Расчет проведен в предположении, что на границе $x=0$ с окружающей средой поддерживалась постоянная температура T_0 . В эксперименте, однако, мы не имели возможности фиксировать эту температуру. Реально она изменялась в среднем на 1 градус в сутки, что за две недели составило 15 градусов. Мы попытались учесть это, взяв в качестве $T_0 - T_m$ среднее значение в 10° .

Имелись еще и колебания температуры в течение суток, которые не были учтены в теории и не фиксировались на опыте. Эти колебания могут быть довольно большими (до 10 градусов и более). Наши численные исследования показывают, однако, хотя колебания температуры в течение суток могут быть велики, но за большой промежуток времени их средний эффект оказывается незначительным (чередующиеся повышения и понижения температуры приводят, так сказать, к «самокомпенсации»). Наибольшее влияние на скорость таяния льда имеет более медленное нарастание среднесуточной температуры в период хранения и транспортировки.

Тем не менее, полученное нами согласие теории и эксперимента (фактически их расхождение составляет примерно 20 %) позволяет считать, что модель в целом правильно передает особенности процессов таяния льда в контейнерах с замороженной древесной щепой.

Полученные в опыте скорости таяния могут быть на практике значительно снижены применением дренажа (в опытном контейнере дренажная система не устанавливалась) для удаления воды из подтаявшей части замороженного слоя щепы или дополнительных теплоизолирующих слоев.

Библиографический список

1. Карташов, Э.М. и Любов Б.Я. // Изв. АН СССР, серия Энергетика и транспорт. – 1974. – № 6. – С. 83.
2. Карташов, Э.М. Аналитические методы в теории теплопроводности твердых тел Э.М. Карташов. – М.: Высшая школа, 1985.
3. Любов, Б.Я. Теория кристаллизации в больших объемах / Б.Я. Любов. – М.: Наука, 1975.

4. Чудновский, А.Ф. Теплофизические характеристики дисперсных материалов / А.Ф. Чудновский. – М.: Физматгиз, 1962.
5. Тихонов, А.Н. Уравнения математической физики / А.Н. Тихонов, А.А. Самарский. – М.: Наука, 1972.
6. Комяков, А.Н. О теплопроводности дисперсных материалов типа замороженной древесной щепы / А.Н. Комяков // Лесопользование и воспроизводство лесных ресурсов: сб. научн. тр. МГУЛ. – 2001. – Вып. 311. – С. 180–188.
7. Комяков, А.Н. О движении границы таяния льда в контейнере с замороженной щепой. Учет дисперсности системы / А.Н. Комяков // Лесопользование и воспроизводство лесных ресурсов: сб. научн. тр. МГУЛ. – 2001. – Вып. 311. – С. 189–193.

О ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ ТИПА ЗАМОРОЖЕННОЙ ДРЕВЕСНОЙ ЩЕПЫ

А.Н. КОМЯКОВ, доц. каф. транспорта леса МГУЛ, канд. техн. наук,
А.А. ЛУКЬЯНОВ, доц. каф. защиты окружающей среды и промышленной безопасности
РГСУ, канд. физ.-мат. наук

akomyakov@mail.ru; lukianaa@mail.ru

На кафедре транспорта леса МГУЛ проводятся исследования по водной доставке лесных грузов в мягких плавучих контейнерах, в конструкции которых предусмотрен намороженный слой измельченной древесины (щепы) для придания нужной формы, обеспечения плавучести и сохранности груза. На Жешартском фанерном комбинате (Республика Коми) при технической помощи сотрудников кафедры был успешно внедрен способ хранения фанерного сырья в штабелях с замороженным слоем древесной щепы. Для обоснованного выбора параметров контейнеров и штабелей необходимо знать теплофизические свойства дисперсных систем типа измельченной древесины, замороженной в лед.

Под *дисперсной системой* понимают такую систему, в которой по крайней мере две фазы разделены сильно развитой поверхностью и равномерно перемешаны. Каждая из фаз системы предполагается примерно однородной. Обычно одна фаза в дисперсном материале – *дисперсная фаза* – распределена относительно равномерно в виде весьма малых «частиц» (в роли «частиц» могут выступать поры) в другой фазе – *дисперсной среде*.

В зависимости от размеров частиц различают мелко- (или тонко-) и крупнодисперсные (или грубодисперсные) материалы. К последним относится и наша система «лед-щепа», имея характерный размер неоднородности порядка нескольких сантиметров.

Все дисперсные системы делят на два класса: в одном из них дисперсное тело трактуется как *зернистый* материал, в другом – как *ячеистый*. В первом случае основа, или остов (скелет) тела представляет собой твердые частицы – зерна, которые разделены промежуточной средой (влажгой, паром, воздухом). Характер контакта частиц может быть различным в зависимости от способа укладки. Такие системы называют также *статистической смесью*. Типичный пример таких систем – порошкообразные вещества. Во втором случае материалы состоят из основной *связанной (непрерывной)* массы твердого тела, куда включены (равномерно или неравномерно) замкнутые *поры* различной структуры и величины. Такие системы называют еще *матричными*.

К какому типу отнести нашу систему? Ясно, если объемная доля щепы в нашей системе мала и щепу трактовать как поры, то наша система относится к матричной; наоборот, если мала доля льда (почти сухая щепа), то систему следует отнести к зернистой. Уже отсюда понятно, что деление дисперсных материалов на матричные системы и статистические смеси до некоторой степени условно.

Первые теоретические исследования кинетических коэффициентов дисперсных материалов начались еще в прошлом веке в трудах Максвелла [1] и Рэля [2], изучавших диэлектрическую проницаемость и электропроводность дисперсных систем. Упомянем

здесь также знаменитую диссертацию Эйнштейна «Новое определение размеров молекул» [3], посвященную исследованию броуновского движения, в которой он вычислил вязкость суспензий (жидкостей, в которых взвешено большое число мелких твердых частиц), а также работу Смолуховского [4], посвященную вычислению теплопроводности порошкообразных материалов.

С тех пор появилось огромное количество работ других авторов; обширную библиографию по этим вопросам можно найти в книгах [5–8]. Изучая теплоперенос в дисперсном материале, последний рассматривают как некое *квазиоднородное (квазигомогенное)* вещество, считая, что к нему применимо уравнение теплопроводности с некими *эффективными* термическими характеристиками материала – теплоемкостью и теплопроводностью. При нахождении названных эффективных характеристик этих материалов необходимо определить их структуру, степень дисперсности, форму, размер и способ контактирования частиц. Естественно, что при таких обстоятельствах задача теплопроводности в дисперсных материалах может быть решена лишь при значительных упрощениях. Реальные дисперсные тела при этом заменяют идеализированными моделями, которые должны их имитировать. В качестве строительных блоков материала рассматриваются пластины, шары, цилиндры, эллипсоиды, различным способом упакованные и по-разному ориентированные по отношению к тепловому потоку. Контакты между этими частицами считаются в некоторых случаях точечными, в других – плоскостными, в третьих – вовсе нулевыми. Промежутки между частицами в различных работах принимаются имеющими разный объем и форму и расположенные в беспорядке или строго равномерно по объему.

Так, в работах Максвелла и Рэля, усовершенствованных позднее Бургером [10], считалось, что в среде распределены мелкие сферические частицы, уложенные по кубической кладке. В работе Кришера [11] дисперсный материал рассматривался как система, состоящая из плоских, поочередно сменяющих друг друга слоев; при этом рассматривались два предельных случая: а) когда тепловой поток

перпендикулярен и б) параллелен слоям. Старостин [12] представляет пористый материал в виде куба, заменяя массу пор в нем большой единственной порой. Берштейн [13] следует более реалистической схеме, рассматривая дисперсный материал как систему, состоящую из пластин, уложенных в «шахматном» порядке. Руссель [14] рассмотрел две крайние структуры: а) модель непрерывного твердого тела с порами в виде шаров с их кубической кладкой (т.е., как и [1-2]) и б) модель непрерывного воздуха, содержащего твердые шары, также уложенные по кубической кладке. Рибо [15] рассматривает пористое тело как некий материал с равномерно включенными порами кубической формы. Вообще подавляющее число исследователей исходят из простой кубической упаковки зерен, которая, как известно, является рыхлой. В некоторых работах, впрочем, рассмотрены более плотно упакованные структуры – кубическая объемно- и границентрированная и тетраэдрическая.

Оделевский [16] рассматривает хаотическое расположение включений; при этом он рассматривает как модель матричной системы, так и статистической смеси.

Качественно большинство обсуждаемых ниже формул описывают теплопроводность λ дисперсных материалов примерно одинаково, хотя количественные различия могут быть весьма заметными.

Введем обозначения. Пусть имеется двухкомпонентная смесь (например, льда и древесины) и пусть одна из фаз (для определенности лед) имеет коэффициент теплопроводности λ_1 , а другая (древесная щепка) λ_2 . Обозначим объемную долю древесины в смеси буквой p . По определению, это есть отношение суммарного объема древесины к объему контейнера

$$p = V_2/V = V_2 / (V_1 + V_2). \quad (1)$$

В случае, если бы мы трактовали древесную щепу как поры в массе льда, ее, согласно принятой терминологии, следовало бы назвать *пористостью*. В случае зернистых материалов такого названия не вводят, говоря просто об относительной объемной доле твердой фазы, но вводят величину

$$\varepsilon = 1 - p, \quad (2)$$

называя ее *порозностью* [17].

λ Вт/(м К)

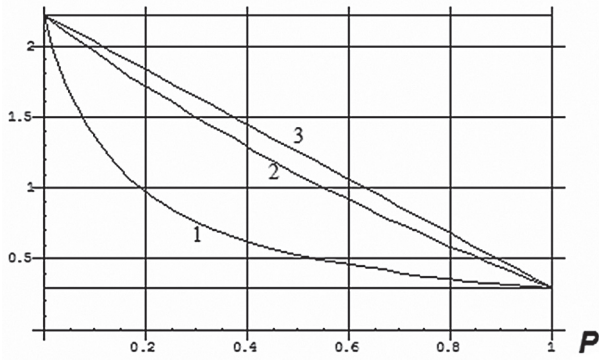


Рис. 1. Зависимость коэффициента теплопроводности от коэффициента полндревесности. Кривые 1 и 3 – формулы Кришера (4 б) и (4 а), кривая 2 – формула Максвелла-Рэлея (5)

λ , Вт/м*К

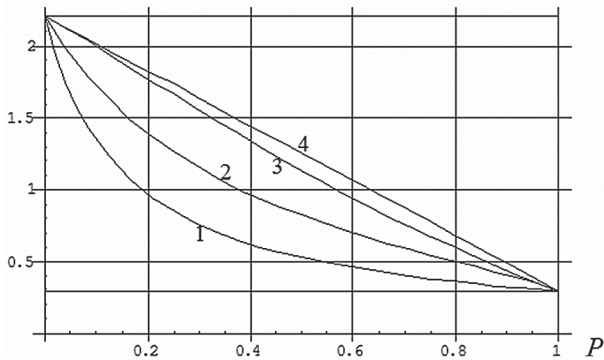


Рис. 2. Зависимость коэффициента теплопроводности от коэффициента полндревесности. Кривые 1 и 4 – формулы Кришера, кривые 2 и 3 – формулы Русселя (6 б) и (6 а)

Наша цель – исследовать зависимость коэффициента теплопроводности смеси λ от «пористости» p (или «порозности» ϵ) и коэффициентов теплопроводности λ_1 и λ_2 . Легко понять, что эта зависимость должна обладать следующими очевидными свойствами

$$\lambda(p = 0) = \lambda_1. \quad (3a)$$

В отсутствие щепы теплопроводность «смеси» определяется льдом; наоборот, в отсутствие льда, теплопроводность определяется древесиной

$$\lambda(p = 1) = \lambda_2. \quad (3б)$$

Наиболее просто получаются две формулы Кришера [11], относящиеся к слоистой модели дисперсного материала. В этом случае при направлении теплового потока, соответственно перпендикулярно и параллельно слоям, имеем следующие выражения для эффективного коэффициента теплопроводности смеси

$$\lambda_{\perp} \equiv \lambda_{\min} = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{p \lambda_1 + (1-p) \lambda_2}, \quad (4a)$$

$$\lambda_{\parallel} \equiv \lambda_{\max} = (1-p) \lambda_1 + p \lambda_2. \quad (4б)$$

Хотя эта, очень идеализированная, модель имеет мало отношения к реальным дисперсным материалам, написанные выше формулы удовлетворяют требованиям (3,а-б), и в этом смысле они вполне разумны. Имеется еще одно важное свойство формул Кришера. Оказывается, что они дают минимально возможную и максимально возможную теплопроводность смеси (говорят также о максимально и минимально возможном теплоизолирующем эффекте), показывая тем самым пределы, в которых может колебаться эффективный коэффициент теплопроводности смеси. Все другие модели дают промежуточные (при заданных λ_1, λ_2 и p) значения эффективного λ .

Формулы Максвелла-Рэлея-Бургера [1-2,10]

$$\lambda = \lambda_1 \frac{2 + v - 2p(1-v)}{2 + v + p(1-v)}, \quad (5)$$

где $v = \lambda_2 / \lambda_1 < 1$ и две формулы Русселя [14]

$$\lambda = \lambda_1 \frac{p^{2/3} + (1-p^{2/3})/v}{p^{2/3} - p + (1-p^{2/3} + p)/v}, \quad (6,a)$$

$$\lambda = \lambda_2 \frac{(1-p)^{2/3} + (1-(1-p)^{2/3})v}{(1-p)^3 - (1-p) + (2-p - (1-p)^3)v} \quad (6,б)$$

относятся к различным кубическим моделям дисперсного материала. Все они удовлетворяют условиям (3,а-б) и качественно правильно описывают зависимость $\lambda = \lambda(p; \lambda_1, \lambda_2)$ (рис. 1–2) (Во всех расчетах здесь и далее положено: $\lambda_1 = 2,21$ Вт/(м К), $\lambda_2 = 0,3$ Вт/(м К).

Формула Рибо [15]

$$\lambda = p^{1/3} \lambda_2 + (1-p)^{2/3} \lambda_1$$

была получена в довольно грубых предположениях и дает, по-видимому, несколько завышенные значения для коэффициента теплопроводности смеси, хотя тоже удовлетворяет условиям (3, а-б).

Удовлетворяет им и формула Бернштейна [13]

$$\lambda = \begin{cases} \lambda_2 \left(\frac{4p}{1+v} + \frac{1-2p}{v} \right) & (p \leq 1/2) \\ \lambda_2 \left(\frac{4(1-p)}{1+v} + 2p - 1 \right) & (p \geq 1/2) \end{cases} \quad (8)$$

(модель «шахматного порядка»), однако она довольно плохо работает в области пористостей, близких к $p = 1/2$, давая несколько заниженные значения для эффективной теплопроводности, приближающиеся к тому, что дает формула Кришера (4а) (рис. 3).

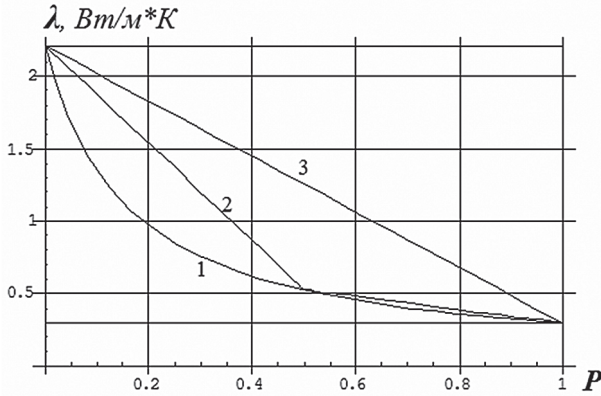


Рис. 3. Зависимость коэффициента теплопроводности от коэффициента полндревесности. Кривые 1 и 3 – формулы Кришера, кривые 2 – формула Бернштейна (8).

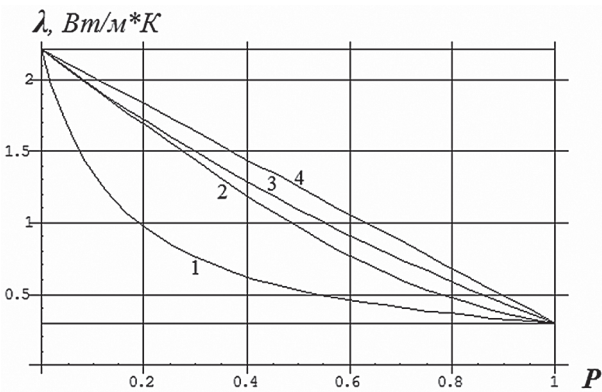


Рис. 4. Зависимость коэффициента теплопроводности от коэффициента полндревесности. Кривые 1 и 4 – формулы Кришера, кривые 2 и 3 – формулы Оделевского (9б) и (9а).

Две формулы Оделевского [16]

$$\lambda = \lambda_1 \left(1 + \frac{p}{(1-p)/3 + \lambda_1/(\lambda_2 - \lambda_1)} \right) \quad (9а)$$

$$\lambda = \frac{1}{4} \{ (3\varepsilon - 1)\lambda_1 + (3p - 1)\lambda_2 + \sqrt{[(3\varepsilon - 1)\lambda_1 + (3p - 1)\lambda_2]^2 + 8\lambda_1\lambda_2} \}, \quad (9б)$$

где $\varepsilon = 1 - p$, относящиеся к хаотическим «структурам», также качественно правильно передают ход кривой $\lambda = \lambda(p; \lambda_1, \lambda_2)$; рис. 4 (причем, первая из них совпадает с формулой Максвелла-Рэля-Бургера), а вот формула Буевича [18]

$$\lambda = \frac{\lambda_1}{7v\varepsilon + 17 + 7p} \{ v(1 + 11p) + 5 - 11 + \sqrt{v(1 + 11p) + 5 - 11]^2 + (7v\varepsilon + 17 + 7p)(v + 17p + 7\varepsilon)} \}, \quad (10)$$

также относящаяся к хаотической структуре, хотя и получена строгими методами, к сожалению, не удовлетворяет обоим условиям (3, а-б), поэтому область применимости ее не слишком широка, и она явно плохо работает в крайних пределах $p = 0$ и $p = 1$.

К сожалению, это относится к большинству из написанных формул: удовлетворительно работая в одной области значений пористости, они часто оказываются несправедливы в другой. В частности формула Максвелла-Рэля-Бургера, хорошо работая при малых p , при $p \geq 0,8$ показывает отклонения от эксперимента [5]. Имеется зависимость и от отношения теплопроводностей отдельных компонент смеси. Так, если теплопроводность частиц меньше, чем теплопроводность промежуточной среды, то теория Максвелла-Рэля-Бургера находится в лучшем согласии с опытом, чем в противоположном случае [6].

Заметим, что ни в одну из приведенных выше формул не вошел размер «пор», но вошло лишь отношение суммарных объемов различных фаз через величину «пористости» (1). В работе Бургера [10] учтена форма частиц, которые вкраплены в основную матрицу.

Скажем еще, что в ряде работ рассматривались дисперсные системы, содержащие три компоненты. Обзор этих работ можно найти в книге [6].

Натурные замеры скорости движения границы таяния, проведенные на опытных образцах плавучих контейнеров и штабелей с замороженным слоем, показали, что в наибольшей степени удовлетворительно процессы теплопроводности в системах «лед–щепа» и «вода–щепа» можно описать с использованием модели Максвелла-Рэля-Бургера.

Библиографический список

1. Maxwell C., Treatise on Electricity and Magnetism, Oxford, 1873.
2. Rayleigh W.R., Phil. Mag., v.34, 48, 1892.
3. Einstein A., Annalen der Physik, v.19, 289, 1906 (Имеется русский перевод: Эйнштейн А., Собрание научных трудов, М.: Мир, 1965).

- ние научных трудов, т.3, Серия «Классики науки». – М.: Наука, 1966.
4. Смолуховский, М. // Журнал русского физико-химического общества. – 1910. – Ч. XXVII.
 5. Чудновский, А.Ф. Теплообмен в дисперсных средах / А.Ф. Чудновский. – М.: Гостехиздат, 1954.
 6. Чудновский, А.Ф., Теплофизические характеристики дисперсных материалов / А.Ф. Чудновский. – М.: Физматгиз, 1962.
 7. Аэров, М.Э. Гидравлические и тепловые основы работы аппаратов со стационарным и кипящим зернистым слоем / М.Э. Аэров, О.М. Тодес. – Л.: Химия, 1968.
 8. Аэров, М.Э. Аппараты со стационарным зернистым слоем / М.Э. Аэров, О.М. Тодес, Д.А. Наринский. – Л.: Химия, 1979.
 9. Wakao N. and Kato K., J. Chem. Eng. Japan, v.2, N1, p.24, 1969.
 10. Burger H., Phys. Zs., v.20, p.73, 1915.
 11. Krisher O., Beihefte z. Gesundheits Ing. v.33. 1934.
 12. Старостин, Д.Ф., Отопление и вентиляция / Д.Ф. Старостин. – 1935. – № 3.
 13. Бернштейн, Р.С., Исследование процессов горения натурального топлива / Р.С. Бернштейн. – М.: Гостехиздат, 1948.
 14. Russel H.W., J. Amer. Ceram. Soc., v.18, p.1, 1935.
 15. Ribaud M., Challur et industrie, v.18, N201, 1937.
 16. Оделевский, В.И., ЖТФ, В. 6, 1951.
 17. Бородуля, В.А., Бувевич Ю.А. ИРЖ, 1977. –Т. 32.– № 2.– С. 257.
 18. Бувевич, Ю.А., Корнеев Ю.А., Щелчкова И.Н. ИРЖ, 1976. – Т. 30. – № 6. – С. 979,

БИОМАССА И БИОТОПЛИВО В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ОТРАСЛЕЙ ЭКОНОМИКИ СТРАНЫ

Г.И. КОЛЬНИЧЕНКО, *проф. каф. электроэнергетики ЛК МГУЛ, д-р техн. наук,*
 А.В. СИРОТОВ, *проф. каф. электроэнергетики ЛК МГУЛ, д-р техн. наук,*
 В.И. ПАНФЕРОВ, *доц. каф. электроэнергетики ЛК МГУЛ, канд. техн. наук,*
 Я.В. ТАРЛАКОВ, *асп. каф. электроэнергетики ЛК МГУЛ*

sirotov@mgul.ac.ru; panferov@mgul.ac.ru

В последние годы в связи с ужесточением экологических требований важным направлением во всем мире считается расширение области применения возобновляемых источников энергии (ВИЭ). В сфере энергетики все большие перспективы приобретает использование энергии биомассы. Биомасса – это органические вещества растительного и животного происхождения. В биомассе посредством фотосинтеза аккумулирована солнечная энергия.

Органических веществ, которые традиционно используются или в принципе могут быть использованы человеком в целях получения энергии, великое множество: это, в первую очередь, древесина и отходы ее переработки, продукция сельского хозяйства с его отходами, начиная от соломы и заканчивая рисовой шелухой, скорлупой орехов и т.д.

Биомасса как возобновляемый источник энергии обладает рядом существенных преимуществ. К ним прежде всего относят:

- распространенность и доступность;
- всесезонность;
- возможность получения различных энергетических продуктов (бионефть, этанол, биогаз, биоводород, синтез-газ и т.д.);

– снижение антропогенной нагрузки на климатическую систему. В атмосферу выделяется при энергетическом использовании биомассы столько же диоксида углерода, сколько его поглощается при росте биомассы. Поэтому биомасса оказывается экологически чистым топливом, не несущим никакой ответственности за парниковый эффект;

– уменьшение загрязнения атмосферы;

– уменьшение территорий свалок (одна из разновидностей биомассы – бытовые отходы органического происхождения) [1].

Содержание биомассы в природе составляет около 800 млрд т., причем ежегодно возобновляется 200 млрд т. Использование биомассы в определенной степени решает экологическую проблему путем утилизации вредных отходов промышленного производства и коммунально-бытового хозяйства.

Основными методами использования биомассы считаются биологическая и термохимическая конверсии. К первой относится процесс брожения, позволяющий получать биотопливо (этанол, бутанол и др.), биогаз и тепловую энергию. Термохимические про-

цессы – это пиролиз, в результате образуются газообразные, жидкие и твердые энергетические продукты [2].

Основное внимание отечественных исследований уделяется переработке отходов лесобработывающей промышленности, сельскохозяйственного производства, городских отходов как наиболее выгодному направлению.

Биомасса как источник энергии играет существенную роль в мировом энергетическом балансе. На ее долю приходится 10,7 % общего потребления энергии, или свыше 1500 млн т у.т. (т у.т. – тонна условного топлива, удельная теплота сгорания которого 7000 ккал/кг, или в системе СИ 29,3 МДж/кг). Для сравнения, годовое потребление России составляет ныне около 1000 млн т у.т.

Неудивительно, что биомасса – абсолютный лидер среди возобновляемых источников энергии, ее вклад составляет 80 %. Энергетический потенциал биомассы таков, что биопродуктивность только наземной части планеты достигает 60–65 млрд т у.т., что превышает современное мировое потребление энергии за счет всех ее источников в 4 раза [3].

В мире широким фронтом идут работы по созданию на основе биомассы моторных топлив, в связи с чем разрабатываются технологии получения и использования альтернативных (по отношению к нефтяным) видов жидкого топлива, создаются биодобавки к основному топливу дизельных и бензиновых двигателей.

В Америке и странах американского континента наибольшую популярность приобрел топливный этанол, используемый как вместо бензина, так и в смеси с ним. В США уже сейчас на производство биоэтанола идет до четверти американского урожая кукурузы. А в Бразилии этанол производят из кукурузы и сахарного тростника в таком количестве, что этанол является серьезным конкурентом традиционному нефтяному топливу.

В Европе широко используется биодизель, сырьем для которого служат различные масла: рапсовое, пальмовое, подсолнечное, и который может применяться как вместо дизельного топлива, так и в смеси с ним.

По аналогии с этанолом смеси с низким содержанием биодизеля не требуют внесения изменений в конструкцию двигателя.

Щедрая поддержка со стороны государств Западной Европы и США привела к заметному росту мощности по производству биоэтанола и биодизеля в этих странах. Только за последние три года производственная мощность этих производств увеличилась примерно в три-четыре раза. Однако следует отметить, что это увеличение сопровождалось ростом цен на продовольствие, что дало повод политикам обвинить биотопливную индустрию в раздувании цен на продовольственные товары. Другими словами, по мнению многих, есть опасение, что производство биотоплива, спасая мир от энергетического кризиса, спровоцирует другой кризис – продовольственный.

Исследования последних лет показывают, что заметный рост цен на продовольствие в мире происходит в основном не из-за безудержного развития биотопливной промышленности, а в связи с увеличением населения в развивающихся странах и повышением их уровня жизни. Тем не менее, большее внимание стало уделяться биотопливу, которое получают из производств, не конкурирующих с пищевыми отраслями. Например, представляется более предпочтительным использование биотоплива, получаемого из соломы и других отходов сельскохозяйственного производства, из отходов древесного производства, а также из водорослей. Сейчас в Японии решается задача, каким образом культивировать водоросли в промышленных масштабах, т.е. как создать поля своей «нефтяной водоросли» [4].

Биотопливо имеет немало преимуществ перед традиционными видами моторного топлива:

- биотопливо получают путем переработки продуктов растительного происхождения, что не ухудшает структурный и химический состав почв в системах севооборота;
- выброс углекислого газа (CO₂) значительно меньше, чем у обычного топлива;
- по сравнению с бензином и дизельным топливом демонстрирует отличные результаты по показателям продуктов сгорания

монооксида углерода, остаточных частиц и сажи;

- в биотопливе по сравнению с минеральными аналогами почти не содержится серы;

- при попадании на биологические объекты биотопливо не причиняет вреда ни растениям, ни животным, ни водным источникам. Кроме того, оно подвергается практически полному биологическому распаду.

Внедрение биодобавок приведет к существенному уменьшению вредных выбросов в атмосферу и значительно улучшит экологическое состояние планеты при сложившихся обстоятельствах глобального потепления.

В странах мира намечены следующие масштабы такого внедрения:

- ЕС планирует достижение к 2020 г. 10 % доли биотоплива в общем количестве топлива, используемого транспортом;

- Китай к 2020 г. планирует достижение 15 % такой доли биотоплива;

- Индия планирует увеличение этой доли до 10 % к 2020 г.;

- Австралия стремится к 5–6 % к 2020 г.;

- США планирует увеличить потребление биотоплива более чем в 10 раз к 2030 г. по сравнению с объемом потребления в 2010 г. [5].

Развитые страны, оценив высокую перспективность получения моторного топлива из возобновляемого сырья, включили это направление в число приоритетных и обеспечили его поддержку на государственном уровне. В результате сегодня доля США в мировом объеме биотехнологической продукции составляет 42 %, Евросоюза – 22 %, Китая – 10 %, Индии – 2 %, а доля России составляет лишь около 0,2 % [6].

Поэтому в России уже идет работа по созданию новой высокотехнологичной отрасли по производству биотоплива из отходов непищевых и самых дешевых источников и прежде всего из отходов деревообработки. В этом плане у нашей страны экономически выгодные позиции.

В России, также как и в Бразилии, сосредоточены основные лесные массивы планеты, в связи с чем остро стоит пробле-

ма более эффективного их использования, в том числе посредством сокращения экспорта круглого леса, внедрения безотходных технологий и технологий глубокой переработки древесины, что связано с проблемой утилизации отходов деревообработки, которые являются сырьем для получения биотоплива [7]. И это сырье в 5–6 раз дешевле зерна.

При активном участии госкорпорации «Ростехнология» уже создана корпорация «Биотехнологии». Это открытое акционерное общество. Им разработана и продвигается программа создания российского рынка экологически чистых присадок к бензинам. Напомним, что постановлением правительства РФ утвержден технический регламент требований к качеству топлива. На смену экологическому стандарту для топлива Евро-2 придет в текущем году Евро-3, а в 2010–2013 г. уже будет действовать Евро-4, предполагающий использование пятипроцентной присадки к бензинам.

Основная цель программы корпорации «Биотехнологии» – замещение пятипроцентной доли российского рынка бензинов за счет применения этанола и бутанола.

Россия – единственная страна в мире, имевшая развитую промышленность по производству спирта из непищевого растительного сырья. За основу новой технологии и в целом всей отрасли по производству биотоплива взяты производственные площадки бывших гидролизных заводов и предприятий спиртовой промышленности. Предполагается до 2020 г. в зонах переработки отходов построить или модернизировать порядка 30 заводов. К этому времени российская биотопливная отрасль может иметь капитализацию более 5 млрд долларов. Данный проект реализуется на основе принципа частно-государственного партнерства. Финансирование на долевой основе: 50 % за счет федерального бюджета, а 50 % – из внебюджетных источников.

Реализация на практике разработанного корпорацией проекта «Развитие биотехнологии в РФ в 2008–2020 гг.» позволит осуществить масштабное преобразование в экономике с обеспечением равновесия топливного баланса страны и решения важнейших технических, экологических и социальных задач.

В России в течение 2007–2008 гг. было заявлено около десяти проектов по производству биодизеля и биобутанола. На средства корпорации «Биотехнологии», например, в Иркутской области запущен пилотный проект по производству биотоплива (Тулунский гидролизный завод).

В числе реализуемых проектов уникальная технология производства биоэтанола из отходов деревообрабатывающей промышленности, разработанная и внедренная на Кировском биохимическом заводе (БХЗ). В этой технологии в качестве исходной биомассы используются опилки и другие отходы лесной и деревообрабатывающей промышленности. Этот факт можно считать инновационным прорывом в стране в сфере производства биотоплива, так как при реализации такой технологии не затрагивается продовольственный сектор экономики. Вложенные в реконструкцию Кировского БХЗ 60 млн руб. окупятся уже через 2 года за счет производства конкурентоспособного по цене биоэтанола. Важным фактором низкой его себестоимости станет отсутствие необходимости транспортировки биомассы из других регионов. Кировский БХЗ обозначен как материальная, научно-исследовательская и экспериментальная база биотехнологического кластера в Кировской области [4].

В большинстве своем биотоплива значительно отличаются по физико-химическим свойствам от традиционных жидких углеводородных топлив. Поэтому весьма важной задачей является изучение влияния свойств биотоплива на итоговые показатели работы двигателя (эксплуатационные, экономические, экологические). В проведении указанной работы особенно заинтересованы лесной, агропромышленный и транспортный секторы экономики России с их многочисленными двигателями внутреннего сгорания. Общеизвестно, что разработка и внедрение двигателей с использованием возобновляемых источников энергии, в том числе биотоплива, является одним из приоритетных направлений в области механизации, электрификации и автоматизации перечисленных выше секторов экономики страны. В первую очередь, это относится к дизельным двигателям, которые являются важнейшей составной частью дизельных электростанций (стационарных и передвижных), широко применяемых в районах страны без централизованного электроснабжения.

Последний фактор является характерным для значительной части потребителей России, учитывая тот факт, что более 10 % населения страны проживает в регионах, не присоединенных к централизованным системам электроснабжения, и пользуется дорогим привозным топливом, поставки которого зачастую не только дороги, но и не надежны.

В таких регионах, как правило, имеется весомый потенциал возобновляемых источников энергии, что позволяет их использовать как взамен, так и в комбинации с традиционными источниками энергии. Более того, в стране уже есть и появляются все новые фирмы и предприятия, производящие технологии и оборудование для решения упомянутых задач. Факторами, препятствующими их решению, являются:

- недостаточная осведомленность руководителей регионов и населения о возможностях биотехнологии;
- более высокие цены на нетрадиционные виды топлива, которые делают их применение экономически неконкурентоспособным по сравнению с традиционным топливом;
- неплатежеспособность тех, кто нуждается в использовании биотоплива;
- отсутствие поощрительного законодательства для разработки и использования возобновляемых источников энергии.

Преодоление перечисленных трудностей будет способствовать созданию эффективных комплексов энергоснабжения (тепло- и электро-) для лесных регионов России на основе комбинированного использования местных ресурсов биомассы.

Необходимо наращивать финансирование научных исследований и демонстрационных разработок, направленных на снижение расходов и увеличение эффективности проектов и демонстрацию долгосрочных выгод этого важного сектора альтернативной энергетики России.

Преодоление перечисленных трудностей будет способствовать созданию эффективных комплексов энергоснабжения (тепло- и электро-) для лесных регионов России на основе комбинированного использования местных ресурсов биомассы.

Необходимо наращивать финансирование научных исследований и демонстрационных разработок, направленных на снижение расходов и увеличение эффективности проектов и демонстрацию долгосрочных выгод этого важного сектора альтернативной энергетики России.

Необходимо наращивать финансирование научных исследований и демонстрационных разработок, направленных на снижение расходов и увеличение эффективности проектов и демонстрацию долгосрочных выгод этого важного сектора альтернативной энергетики России.

Библиографический список

1. Энергетика России: проблемы и перспективы: тр. науч. сессии РАН: общ. собрание РАН 19–21 дека-

- бря 2005 г. / Под ред. В.Е. Фортова, Ю.Г. Леонова. – М.: Наука, 2006. – 499 с.
2. Энергетика XXI века: Условия развития, технологии, прогнозы / Л.С. Беляев, А.В. Лагереv, В.В. Посекалин и др.; отв. ред. Н.И. Воропай. – Новосибирск: Наука, 2004. – 386 с.
 3. Энергетика XXI века: Системы энергетики и управления ими / С.В. Подковальников, С.М. Сендеров, В.А. Стенников и др.; отв. ред. Н.И. Воропай. – Новосибирск: Наука, 2004. – 364 с.
 4. Валенчук, О. Не панацея, а реальная альтернатива / О. Валенчук // Независимая газета. – 29.09.2008 г.
 5. Журнал «Мировая энергетика». – 2007. – №10 (46).
 6. <http://www.rusbiotech.ru/>
 7. Лесная биоэнергетика: учебное пособие / Под ред. Ю.П. Семенова. – М.: МГУЛ, 2008. – 348 с.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМНОГО ВЫХОДА ПИЛОПРОДУКЦИИ ПРИ РАСКРОЕ КОМБИНИРОВАННОГО ПИЛОВОЧНИКА, ПОРАЖЕННОГО РАДИОНУКЛИДАМИ

А.С. ТОРОПОВ, *проф. каф. деревообрабатывающих производств МарГТУ, д-р техн. наук,*
 В.М. МЕРКЕЛОВ, *проф. каф. технологии деревообработки БрянГИТА, канд. техн. наук,*
 Е.В. МИКРЮКОВА, *асс. каф. деревообрабатывающих производств МарГТУ*

vromanov62@mail.ru

В результате аварии на Чернобыльской АЭС значительные лесные массивы на территории РФ подверглись радиоактивному загрязнению. Внедрение современных технологий раскроя и утилизации древесины, загрязненной радионуклидами, позволит в определенной степени решить проблему санитарного состояния радиоактивно загрязненных лесов. Раскрой лесоматериалов, пораженных радионуклидами, отличается от раскроя здоровых лесоматериалов. Одним из недостатков существующих способов является то, что радиоактивные отходы с помощью режущего органа переносятся на поверхность получаемой пилопродукции.

В этом случае значительный интерес представляет разработка схем раскроя, позволяющих более рационально использовать незараженную часть сырья. Это условие выполнимо при использовании нового способа раскроя лесоматериалов, пораженных радионуклидами, на пилопродукцию [1].

Кроме того, наряду с поражением древостоев радионуклидами, остается актуальной проблема поражения их сердцевинной гнилью, в частности напенной. С этой целью предлагается заготовка комбинированного пиловочника [2], в котором низкокачественная часть не разделена по длине с пиловочником по ГОСТ 9262-88 для хвойных пород и ГОСТ 9463-88 для лиственных пород.

Раскрой круглых лесоматериалов, пораженных радионуклидами, осуществляется

следующим образом. Предварительно определяются геометрические параметры лесоматериала в коре, без коры, а также пораженного слоя. Пользуясь аллометрическим методом, можно получить зависимости, описывающие образующую лесоматериала в коре, без коры, образующую здоровой части лесоматериала и образующую напенной гнили в следующем виде

$$d = d_0 + a_1 \cdot l^{b_1}, d_{\sigma} = d_{\sigma 0} + a_2 \cdot l^{b_2}, d_{34} = d_{34 0} + a_3 \cdot l^{b_3}, \\ d_2 = d_{2 0} + a_4 \cdot l^{b_4}, \quad (1)$$

где d , d_{σ} , d_{34} , d_2 – диаметр лесоматериала в коре, без коры, диаметр здоровой части и диаметр гнили в произвольном сечении, м;

d_0 , $d_{\sigma 0}$, $d_{34 0}$, $d_{2 0}$ – концевые диаметры лесоматериала в коре, без коры, здоровой части и гнили, м;

a_1 , a_2 , a_3 , a_4 – константы начального состояния;

l – расстояние от комля до произвольного сечения, м;

b_1 , b_2 , b_3 , b_4 – константы равновесия, передающие темп изменения диаметра относительно l .

Раскрой лесоматериалов производится в несколько этапов. Первоначально в местах выполнения пропилов режущими органами удаляется пораженный слой шириной обработки больше ширины пропила. Затем производится раскрой лесоматериала на пиломатериалы без переноса радионуклидов в плоскости деления. Далее из полученных пиломатериалов удаляют боковые части с радионуклидами

параллельно образующим. После этого пиломатериалы, содержащие гниль, подвергаются торцовке на качественные и низкокачественные части. Из низкокачественных частей удаляют гниль по сбегу. После сушки, сортировки и дополнительной обработки полученные заготовки разворачивают относительно друг друга на 180° и склеивают.

Схема раскроя комбинированного пиловочника, пораженного радионуклидами, приведена на рис. 1.

Используя формулы(1), можно определить геометрические параметры комбинированного пиловочника в произвольном поперечном сечении. Ширину i -го пиломатериала по внутренней пластине в произвольном сечении можно определить по формуле

$$b_{ei} = \sqrt{d_{зч}^2 - (4t_{ei} + a - p)^2},$$

где $d_{зч}$ – диаметр здоровой части комбинированного пиловочника в произвольном сечении;

t_{ei} – расстояние от оси комбинированного пиловочника до внутренней пласти i -го пиломатериала;

a – ширина фрезеруемого слоя;

p – ширина пропила при продольном раскрое.

Ширина i -го пиломатериала в произвольном сечении по наружной пластине

$$b_{ni} = \sqrt{d_{зч}^2 - (4t_{ni} + a + 3p)^2},$$

где t_{ni} – расстояние от оси комбинированного пиловочника до наружной пласти.

При выполнении условия (2) пиломатериалы содержат гниль, в противном случае – нет.

$$t_{ei} < \frac{d_{зч}}{2}. \quad (2)$$

Ширина гнили по внутренней пластине пиломатериала в комлевом торце

$$b_{ei} = \sqrt{d_{зч}^2 - 4t_{ei}^2}.$$

Удаление из пиломатериалов боковых частей, пораженных радионуклидами, производится параллельно образующим. При этом возможны два варианта. В первом варианте обрезка производится перпендикулярно к пластям пиломатериалов (рис. 2а), а во втором варианте с целью повышения выхода пилопродукции – под углом к пластям (рис. 2б).

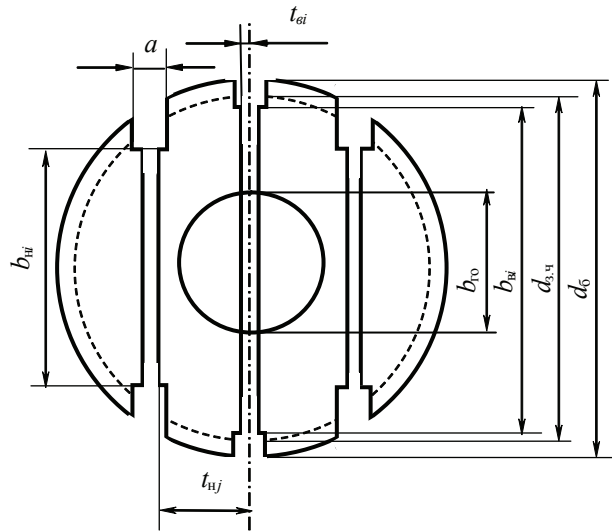


Рис. 1. Схема раскроя комбинированного пиловочника, пораженного радионуклидами, на пиломатериалы

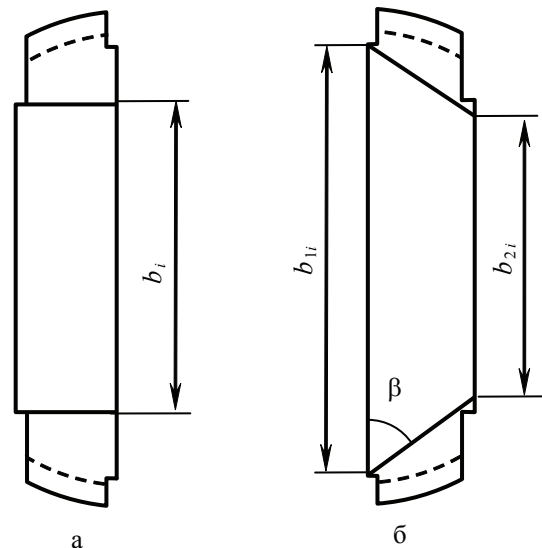


Рис. 2. Схемы удаления пораженных радионуклидами частей из пиломатериалов: а – перпендикулярно к пластям; б – под углом к пластям

После обрезки пораженных частей получают пиломатериалы переменного прямоугольного (рис. 2а) или трапециевидного (рис. 2б) поперечного сечения. В первом случае ширина i -го пиломатериала в произвольном сечении равна ширине необрезного пиломатериала по наружной пластине, или $b_{ni} = b_i$. В случае получения пиломатериалов трапециевидного поперечного сечения необходимо найти две ширины пиломатериала.

Ширина i -го пиломатериала в произвольном сечении по внутренней пластине определяется по формуле

$$b_i = \sqrt{d_{3ч}^2 - (4t_{e_i} + a - p)^2}$$

Ширина i -го пиломатериала в произвольном сечении по наружной пласти определяется по формуле

$$b_{2_i} = \sqrt{d_{3ч}^2 - (4t_{n_i} + a + 3p)^2} \frac{a-p}{\operatorname{tg}\beta}$$

где β – угол наклона пропилов к пластиам при удалении пораженных участков из пиломатериалов.

Пиломатериалы, содержащие гниль, торщуются на качественную и низкокачественную части. Из низкокачественных частей получают черновые заготовки путем удаления из них гнили по образующей. Удаление гнили производится по тому варианту, по которому производилось удаление боковых, пораженных радионуклидами участков. Ширина заготовок из i -го пиломатериала при удалении гнили перпендикулярно пластиам определяется по формуле

$$b_{3_i} = \frac{1}{2}(b_i - b_{e_i}) - \Delta_2$$

где b_{e_i} – ширина гнили по внутренней пласти i -го пиломатериала, м;

Δ_2 – припуск на удаление гнили, м.

Ширина заготовок из i -го пиломатериала при удалении гнили под углом к пластиам определяется по формуле

$$b_{3_i} = \frac{1}{2}(b_i - b_{e_i}) - \Delta_2$$

Общий объемный выход пилопродукции из комбинированного пиловочника, пораженного радионуклидами

$$V_{n/n} = V_{n/m} + V_3$$

где $V_{n/n}$ – общий объем пилопродукции из комбинированного пиловочника, м³;

$V_{n/m}$ – объем качественных пиломатериалов, м³;

V_3 – объем черновых заготовок, полученных из низкокачественных частей, м³.

Таким образом, предлагаемое математическое описание определения выхода пилопродукции из комбинированного пиловочника, пораженного радионуклидами, позволяет аналитически определять геометрические параметры полученной пилопродукции.

Библиографический список

1. Патент 2350460 Российская Федерация, МПК В27В 1/00. Способ раскря круглых лесоматериалов, пораженных радионуклидами / А.С. Торопов, С.А. Торопов, В.М. Меркелов и др.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Марийск. гос. техн. ун-т. – Заявка 2007117657/03; заявл. 11.05.07; опубл. 27.03.09, бюл. № 9. – 9 с.
2. Захарьин, Г.И. О качественных характеристиках комбинированного пиловочника / Г.И. Захарьин, Г.С. Нушкарев // Комплексное использование древесного сырья: сб. науч. тр. – Архангельск. – 1979. – С. 78–80.

РАСКРОЙ КОМБИНИРОВАННОГО ПИЛОВОЧНИКА, ПОРАЖЕННОГО РАДИОНУКЛИДАМИ

А.С. ТОРОПОВ, *проф. каф. деревообрабатывающих производств МарГТУ, д-р техн. наук*,
 В.М. МЕРКЕЛОВ, *проф. каф. технологии деревообработки БрянГИТА, к-т техн. наук*,
 Е.В. МИКРЮКОВА, *асс. каф. деревообрабатывающих производств МарГТУ*,
 А.И. ШАКИРОВА, *асс. каф. деревообрабатывающих производств МарГТУ*

vromanov62@mail.ru

Последствия аварии на Чернобыльской АЭС, в результате которой подвергся радиационному загрязнению цезием-137 лесной фонд пятнадцати субъектов Российской Федерации на площади 982,6 тыс. га, проявляются до сих пор. Наибольшему радиоактивному загрязнению подвергся лесной фонд Брянской и Калужской областей, где общая площадь загрязненных радионуклидами ле-

сов составляет 171 и 177,8 тыс.га. В связи с этим вопросы использования древесины этих территорий весьма актуальны. Кроме этого, в условиях рыночной экономики обеспечение лесоперерабатывающей промышленности Брянской области сырьем и лесоматериалами за счет собственных лесосырьевых ресурсов без их истощения становится актуальной проблемой.

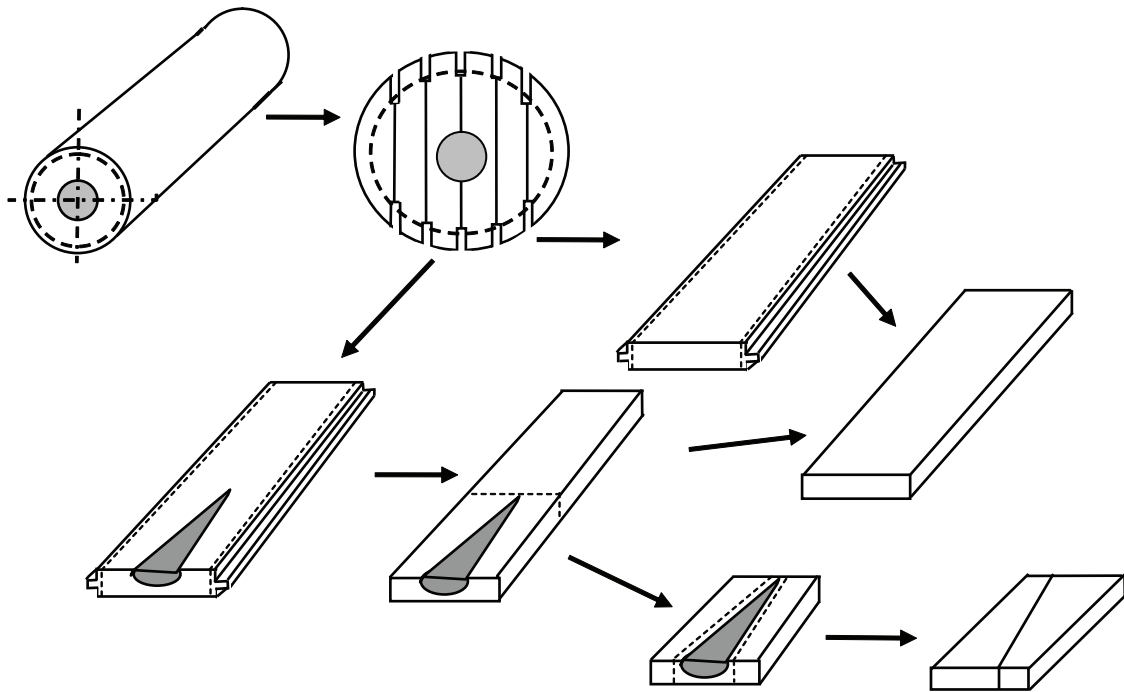


Рис. 1. Схема раскря комбинированного пиловочника, пораженного радионуклидами

В решении этой задачи важную роль должно сыграть рациональное использование древесины, заготовленной в районах, загрязненных радионуклидами.

Проведенные ранее исследования [1, 2] позволили установить, что в древесине, заготовленной в лесных массивах первой зоны загрязнения радионуклидами, наиболее загрязненной частью является кора, и древесина может быть использована в промышленных целях после очистки бревен от коры. Древесина из лесных массивов второй и последующих зон загрязнения может использоваться в промышленных целях при условии полной очистки бревен от коры и снятия определенного внешнего слоя.

Кроме этого, с момента аварии в большинстве лесов, подвергшихся радиоактивному загрязнению, были прекращены лесозаготовительные и лесоводственные работы. В результате на этих территориях скопились избыточные объемы перестойной древесины. Леса захламлены буреломом, валежником, сухостоями и превратились в зоны повышенного экологического риска по причине высокой вероятности возникновения крупномасштабных пожаров, последствия которых могут быть близки к последствиям самой черной катастрофы.

Древесина в таких лесах, наряду с поражением радионуклидами, подвержена негативному воздействию и других пороков, в частности напенной гнили.

Круглый лесоматериал, в котором низкокачественная часть (пораженная напенной гнилью) не разделена по длине с пиловочником по ГОСТ 9462-88 для хвойных пород и ГОСТ 9463-88 для лиственных пород, будем называть комбинированным пиловочником.

На данный момент одной из актуальных тем является поиск новых способов раскря древесины, пораженной радионуклидами, что приведет к более рациональному использованию сырья.

Нами предлагается новый способ раскря круглых лесоматериалов, пораженных сердцевинной гнилью и радионуклидами [3], схема которого показана на рис. 1.

Способ заключается в том, что первоначально у круглого лесоматериала, пораженного радионуклидами в местах выполнения пропилов режущими органами, удаляется пораженный слой шириной обработки больше ширины пропила, а затем производится раскря на пиломатериалы без переноса радионуклидов в плоскости деления. Полученные пиломатериалы базируются по одной из поверхностей обработки, удаляют боковые части с

радионуклидами параллельно образующим. Затем, после сушки и сортировки, полученные заготовки разворачивают относительно друг друга на 180° в горизонтальной плоскости, сопрягают по продольной кромке и скрепляют между собой.

Целью проведенных исследований являлось выявление зависимости выхода пилопродукции из комбинированного пиловочника, пораженного радионуклидами. В целях снижения трудоемкости исследований, нами разработана программа, позволяющая определить объемный выход пилопродукции для предлагаемого способа раскроя круглых лесоматериалов, пораженных радионуклидами, с помощью ЭВМ. Эта программа представляет собой имитационную модель раскроя комбинированного пиловочника, пораженного радионуклидами, без переноса радионуклидов в процессе обработки на пилопродукцию заданного размера.

На основе анализа факторов, влияющих на величину объемного выхода пилопродукции, при раскрое древесины, пораженной радионуклидами, выделены следующие параметры комбинированного пиловочника: диаметр, длина, толщина пораженного слоя и диаметр гнили в комле.

Ряд факторов был принят нами условно-постоянными. Форма бревен близка к телу вращения, форма поперечного сечения – круг, ширина пропила – 2,4 мм.

Исследования основывались на методах математической теории планирования экспериментов, которые позволяют получить математическую модель функционирования объекта исследования в зависимости от изучаемых факторов. При построении математи-

ческих моделей величины объемного выхода пилопродукции при раскрое древесины, пораженной радионуклидами, были использованы основные методические положения по планированию многофакторных экспериментов [4]. Математическое описание процессов сводится обычно к нахождению и исследованию функциональной зависимости, так называемой функцией отклика

$$y = f(x_1, x_1, \dots, x_n).$$

Проведенные предварительные исследования свидетельствуют о нелинейном характере зависимости содержания радионуклидов в древесине сосны от различных факторов. Поэтому нами было принято, что математическая модель, описывающая данный процесс, может быть представлена в виде полинома второй степени.

Выбор уровней варьирования диаметра сырья принят нами на основании анализа размерно-качественной характеристики соснового сырья и представлен в табл. 1.

Нижний уровень варьирования диаметра комбинированного пиловочника определен, исходя из того, что из бревен меньшего диаметра при отсечении пораженного слоя выход пиломатериалов получается минимальным. Выбор верхнего уровня обусловлен тем, что сосновые бревна диаметром больше 36 см встречаются реже. Поэтому были установлены пределы варьирования диаметра $24 \leq d \leq 36$ см. Комлевые бревна диаметром 24–36 см составляют большую часть всего объема соснового сырья, поступающего на переработку.

Исходя из того, что больше всего в деревообрабатывающей промышленности используются бревна средней длины, мы принимаем пределы варьирования длины $5 \leq l \leq 7$ м.

Т а б л и ц а 1

Факторы и уровни их варьирования

Наименование фактора	Обозначение		Уровень варьирования фактора			Интервал варьирования
	натуральное	кодированное	нижний (-1)	основной (0)	верхний (+1)	
Диаметр комбинированного пиловочника, см	<i>d</i>	<i>x</i> ₁	24	30	36	10
Длина комбинированного пиловочника, м	<i>l</i>	<i>x</i> ₂	5	6	7	1
Толщина пораженного слоя, см	<i>h</i>	<i>x</i> ₃	1	2	3	1
Диаметр гнили в комле, см	<i>d</i> _г	<i>x</i> ₄	1	5	9	4

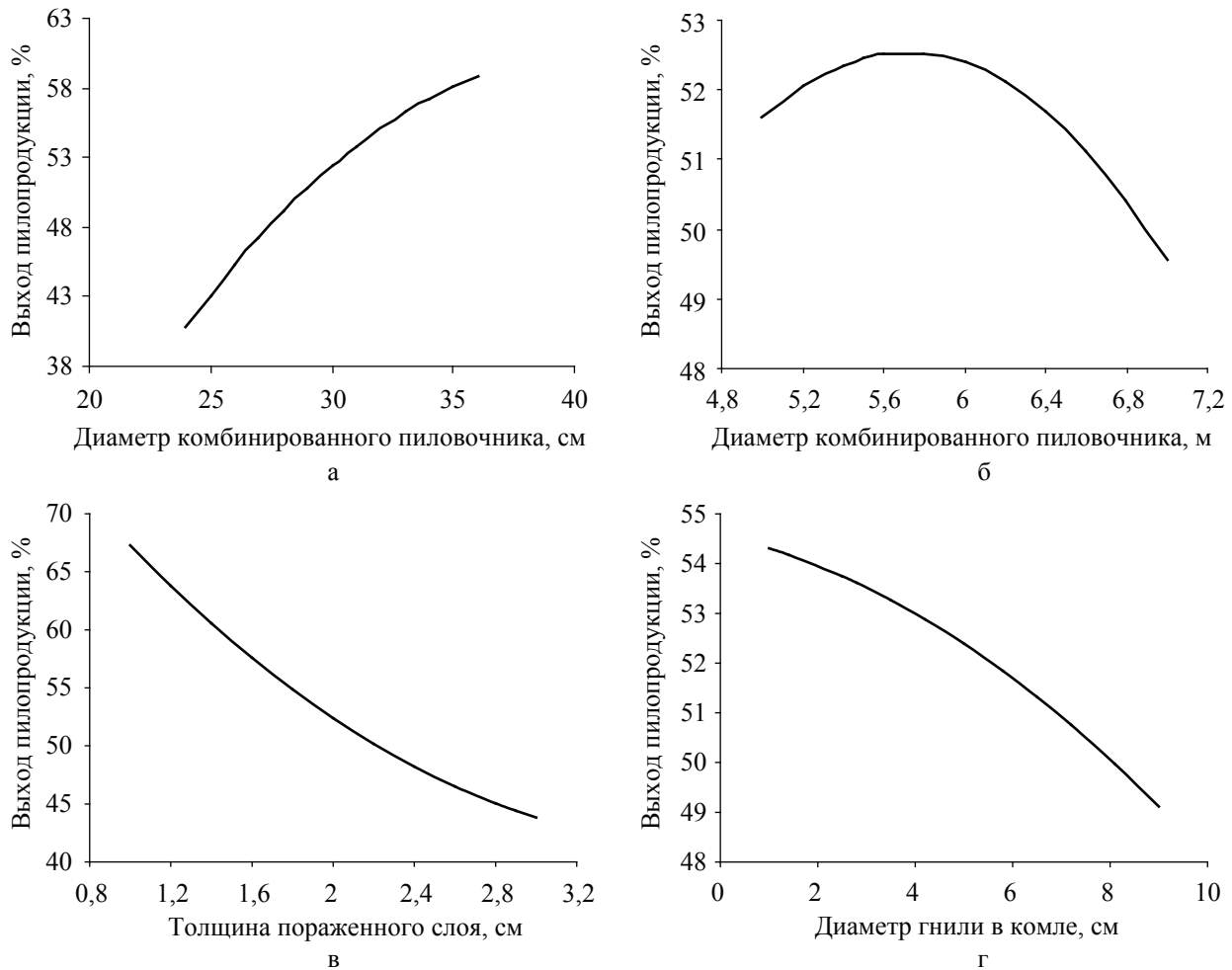


Рис. 2. Графики зависимости выхода пилопродукции из комбинированного пиловочника, пораженного радионуклидами

Исходя из того, что при диаметре гнили больше 9 см выход заготовок получается минимальным, принимаем следующие пределы варьирования диаметра гнили $1 \leq d_2 \leq 9$ см.

Уровни варьирования размеров заготовок выбраны на основе анализа размерной характеристики пилопродукции для столярно-строительных изделий и исходя из возможности получения заготовок данных размеров из имеющегося сырья (очевидно, что получение более толстых и широких заготовок из соснового сырья не представляется возможным из-за чрезвычайно низкого объемного выхода пилопродукции).

Предварительный эксперимент проведен с помощью имитационной модели раскроя сосны, пораженной ядровой гнилью и радионуклидами, составленной на основе программного продукта Excel, при следующих значениях варьируемых факторов: $d = 36$ см, $l = 6$ м, $h = 3$ см, $d_2 = 9$ см. После статистичес-

кой обработки результатов предварительного эксперимента определили минимальное число повторений в опыте, равное 6.

Ранее нами принято, что математическая модель объемного выхода пилопродукции при раскрое древесины сосны, пораженной радионуклидами, описывается полиномом второй степени. Поэтому для проведения эксперимента был выбран план второго порядка V_4 , который содержит 24 опыта. В результате исследований получена следующая зависимость выхода пилопродукции (P , %) из комбинированного пиловочника, пораженного радионуклидами

$$P = -26,3 + 4,36d + 19,87l - 48,59h - 1,51d_2 - 0,021dl + 0,743dh + 0,007dd_2 + 0,302lh + 0,167ld_2 + 0,029hd_2 - 0,071d^2 - 1,81l^2 + 3,165h^2 - 0,043d_2^2.$$

Оценка адекватности математической модели производилась по F -критерию Фишера. Полученное уравнение регрессии адекватно 5 % уровню значимости, так как $F_{расч} < F_{табл}$.

Варианты оборудования для производства пилопродукции из комбинированного пиловочника, пораженного радионуклидами

Наименование операции технологического процесса	Характеристика заготовок перед выполнением	Оборудование для выполнения операции
1. Фрезерование	Длина сортимента $L = 5$ м; Диаметр лесоматериала в комле и вершине $d_k = 28,64$ см; $d_g = 24$ см; Объем сортимента $q = 0,3221$ м ³	Фрезерный станок ВКР-61, ВКР-10
2. Продольный раскрой на пиломатериалы	Длина сортимента $L = 5$ м; Диаметр лесоматериала в комле и вершине $d_k = 28,64$ см; $d_g = 24$ см Объем сортимента $q = 0,3221$ м ³	Горизонтальный ленточнопильный станок ЛП-60, МГ-6200
3. Обрезка пиломатериалов	Длина пиловочной части $L_{п.ч} = 4,896$ м; средняя ширина доски $B_{cp} = 0,197$ м; толщина доски $H = 0,050$ м; объем досок $q = 0,048$ м ³	Круглопильный станок ТСК-01, Ц6-2ИШ
4. Торцовка пиломатериалов, содержащих гниль	Длина сортимента $L = 5$ м; средняя ширина доски $B_{cp} = 0,197$ м; толщина доски $H = 0,050$ м; число досок – 2 шт.; Объем досок $q = 0,049$ м ³	Торцовочный станок ЦСТ-02, ВТ-15
5. Удаление гнили из низкокачественных частей пиломатериалов	Длина низкокачественной части $L_{н.к} = 0,104$ м; средняя ширина доски $B_{cp} = 0,197$ м; толщина доски $H = 0,050$ м; число досок 4 шт; Объем досок $q = 0,00102$ м ³	Круглопильный станок Ц6-2ИШ, ЦК-120
6. Торцовка качественных пиломатериалов	Длина пиловочной части $L_{п.ч} = 4,896$ м; средняя ширина доски $B_{cp} = 0,197$ м; толщина доски $H = 0,050$ м; Объем досок $q = 0,0472$ м ³	Торцовочный станок KS210, KGS-303

Полученное уравнение позволяет определить объемный выход пилопродукции при раскросе комбинированного пиловочника, пораженного радионуклидами, в зависимости от диаметра лесоматериала d , длины лесоматериала l , толщины пораженного слоя h и диаметра гнили d_2 .

На рис. 2 представлены графики зависимости объемного выхода заготовок при раскросе древесины комбинированного пиловочника, пораженного радионуклидами. Постоянные факторы при построении графиков фиксировались на среднем уровне.

Анализ полученных результатов исследований показал, что выход пилопродукции увеличивается в зависимости от диаметра сырья (рис. 2, а). Снижение выхода пилопродукции при увеличении зоны пораженности радионуклидами и напеченной гнилью вызвано уменьшением доли здоровой древесины в общем объеме пиловочника (рис. 2, б, в). Влияние длины на выход пилопродукции носит

нелинейный характер с четко выраженным максимумом в диапазоне варьирования фактора (рис. 2, г). При $d = 30$ см, $h = 2$ см и $d_2 = 5$ см выход пилопродукции максимальный при длине комбинированного пиловочника 5,7 м. Таким образом, на выход пилопродукции из комбинированного пиловочника, пораженного радионуклидами, наибольшее влияние оказывает толщина слоя, пораженного радионуклидами, и диаметр пиловочника, а наименьшее влияние оказывает длина пиловочника.

Полученная математическая зависимость выхода пилопродукции может быть использована для расчета норм расхода древесины, пораженной радионуклидами, в деревообрабатывающих производствах.

Варианты оборудования по каждой технологической операции для реализации раскроса комбинированного пиловочника, пораженного радионуклидами, на пилопродукцию приведены в табл. 2.

Основные показатели проекта по производству пилопродукции из комбинированного пиловочника, пораженного радионуклидами

Показатели	Всего, тыс. руб.
Затраты на организацию производства продукции	19122,524
Товарная продукция	23480,55
Балансовая прибыль проекта	4358,026
В том числе:	
сумма обязательных платежей в бюджет, в том числе налог на прибыль 35 %	1525,31
Чистая прибыль предприятия	2832,716
Рентабельность, %	22,79
Капитальные вложения	769,408
Окупаемость капитальных вложений, лет	3,25

В табл. 3 приведены основные показатели проекта производства пилопродукции из комбинированного пиловочника, пораженного радионуклидами.

Таким образом, при распиловке комбинированного пиловочника, пораженного радионуклидами, новым способом рентабельность производства составит 22,8 %, а срок окупаемости капитальных вложений 3,25 года.

Библиографический список

1. Симонов, А.С. Исследование динамики. Пути использования древесины, зараженной радионук-

лидами / А.С. Симонов и др. // Чернобыль 10 лет спустя. Итоги и перспективы. Мат. Всерос. науч.-практ. конф. – Ч. 2. – Брянск. 1996. – С. 18–19.
 2. Алексахин, Р.М. Миграция радионуклеидов в лесных биогеоценозах / Р.М. Алексахин, М.А. Нарышкин. – М.: Наука, 1977. – 142 с.
 3. Патент 2350460 Российская Федерация, МПК В27В 1/00. Способ раскроя круглых лесоматериалов, пораженных радионуклидами / А.С. Торопов, С.А. Торопов, В.М. Меркелов и др.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Марийск. гос. техн. ун-т. – Заявка 2007117657/03; заявл. 11.05.07; опубл. 27.03.09, бюл. № 9. – 9 с.
 4. Пижурин, А.А. Основы научных исследований в деревообработке: учебник / А.А. Пижурин, А.А. Пижурин. – М.: МГУЛ, 2005. – 304 с.

АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ СТРУИ СУСПЕНЗИИ ПРИ ТЕЧЕНИИ ЕЕ В РАБОЧИХ ОРГАНАХ РАЗМОЛЬНОЙ УСТАНОВКИ «СТРУЯ – ПРЕГРАДА»

А.А. ЕРОФЕЕВА, *асп. СибГТУ*,
 В.И. КОВАЛЕВ, *доц. СибГТУ, канд. техн. наук*,
 Ю.Д. АЛАШКЕВИЧ, *проф. СибГТУ, Институт химии и химической технологии СО РАН, д-р. техн. наук*,
 В.П. БАРАНОВСКИЙ, *проф. СибГТУ, канд. техн. наук*

annakrasnoyarsk@rambler.ru; mapt@sibstu.kts.ru

При изучении процесса движения жидких сред весьма актуальным является вопрос определения их физических характеристик. В связи с этим наибольший интерес представляет определение коэффициента динамической вязкости, поскольку этот физический параметр играет большую роль в расчетах оборудования, связанного с перемещением жидкости по трубопроводам, ка-

налам и рабочим полостям гидравлических машин. Если для воды определение коэффициента динамической вязкости не представляет затруднений, то для волокнистых суспензий его определение представляет некоторые трудности, связанные с невозможностью использования вискозиметров для определения коэффициента динамической вязкости воды.

Значения времени и величина секундного расхода при истечении жидкостей из насадки

Исследуемая жидкость	Время истечения, t, с	Секундный расход, Q, м ³ /с
Вода	30,03	0,00004235
Целлюлоза 0,5 %	32,80	0,00003877
Целлюлоза 1 %	34,56	0,00003680
Целлюлоза 1,5 %	36	0,00003533

Существующие работы [1–3] по определению коэффициента динамической вязкости позволяют определить значение вязкости для волокнистых суспензий определенных концентраций. Для этих целей авторами работ запатентован и использован специальный вискозиметр. Системного подхода к определению значений коэффициента динамической вязкости волокнистых суспензий различных концентраций и вида сырья волокнистого материала, к сожалению, до настоящего времени нет. Для решения поставленной задачи можно идти двумя путями:

1) использовать специальный вискозиметр, позволяющий определить коэффициент динамической вязкости для вышеуказанных суспензий. Этот путь позволяет решить частные задачи, как это было сделано в работах [1–3].

2) определить коэффициент динамической вязкости, заключающийся в использовании закона Ньютона [4–6], связывающего между собой динамическую вязкость и скоростные характеристики потока жидкости

$$\mu = \frac{F \cdot (z_1 - z_2)}{(v_1 - v_2) \cdot s}, \text{ Па} \cdot \text{с}, \quad (1)$$

где μ – динамический коэффициент вязкости, Па·с;

F – сила сдвига, Н;

$(z_1 - z_2)$ – расстояние между слоями жидкости, м;

$(v_1 - v_2)$ – разница между значениями скоростей соседних слоев потока, м/с;

s – площадь сдвига слоев, м².

Основной задачей данной работы является определение характера распределения скорости струи суспензии при течении ее в цилиндрических полостях рабочих каналов размолярной установки «струя – преграда».

С целью получения ответа на данный вопрос была использована безножевая размолярная установка «струя–преграда» [7], раз-

работанная в лаборатории кафедры МАПТ. В качестве исследуемых жидкостей использовалась вода и сульфитная небеленая целлюлоза концентрацией 0,5, 1 и 1,5 %.

Эксперимент проводили при фиксированном давлении жидкости в рабочем цилиндре $P = 4,12$ МПа, температуре $t = 20$ °С, объеме цилиндра $V_{\text{ц}} = 0,008$ м³. Для анализа распределения скоростей необходимо знать время истечения жидкости из насадки. Для этого весь эксперимент снимали на скоростную видеокамеру, затем с помощью программы AVI MPEG ASF WMV Splitter обрабатывали. Данная программа позволяет замерить время с точностью до 0,001с. В табл. 1 представлены значения времени истечения исследуемой жидкости из насадки, а также величина секундного расхода, рассчитанного по формуле

$$Q = V / t, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2)$$

где V – объем рабочего цилиндра установки, м³;

t – время истечения исследуемой жидкости из насадки, с.

Процесс размола волокнистых материалов в данной установке зависит от многих факторов, среди которых определяющими являются скорость истечения струи, форма и характер преграды, расстояние от насадки до преграды, форма насадки, ее диаметр и др. Наибольший интерес представляет скорость течения потока в различных полостях рабочих каналов и характер его распределения по их сечениям. Рабочими каналами, по которым движется жидкость, являются рабочий цилиндр ($d_{\text{ц}} = 0,09$ м и $l_{\text{ц}} = 1,25$ м), удлинитель ($d_{\text{уд}} = 0,02$ м и $l_{\text{уд}} = 0,16$ м) и насадка ($d_{\text{н}} = 0,002$ м и $l_{\text{н}} = 0,025$ м).

В результате проверочного расчета выяснилось, что режим течения во всех рабочих каналах установки турбулентный ($Re > 2320$) [4–6].

Расчетные значения скоростей v_{cp} , c_{cp} и v_{max} , c_{max} в рабочих каналах установки

Исследуемая жидкость	Средняя скорость, м/с			Максимальная скорость, м/с		
	$d_{из}$, м	$d_{уп}$, м	$d_{из}$, м	$d_{из}$, м	$d_{уп}$, м	$d_{из}$, м
Вода	0,042	0,84	84,29	0,055	1,07	100,71
Целлюлоза 0,5 %	0,038	0,77	77,17	0,05	0,98	92,42
Целлюлоза 1 %	0,036	0,73	73,24	0,048	0,93	87,83
Целлюлоза 1,5 %	0,035	0,7	70,31	0,046	0,9	84,41

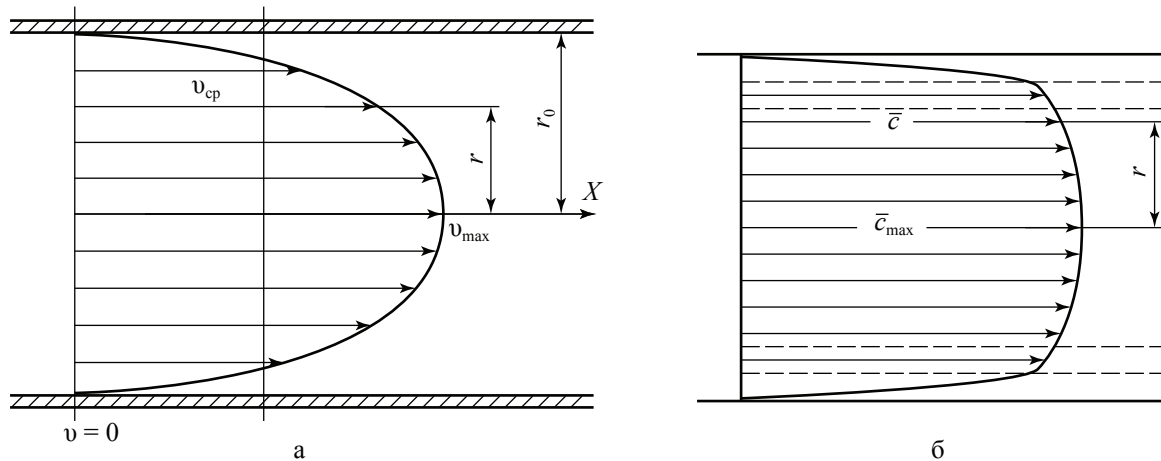


Рис. 1. Эпюры распределения скоростей в потоке: а – для ламинарного режима; б – для турбулентного режима

Из расчетных данных реальное число Рейнольдса в полости рабочего цилиндра близко к верхней границе ламинарного течения $Re = 3746$.

Будем считать, что в рабочем цилиндре ламинарный режим течения жидкости. Согласно литературным данным [6], на рис. 1 изображены эпюры распределения скоростей в потоке по диаметру для различных режимов течения жидкости.

Среднюю скорость потока для ламинарного и турбулентного режимов течения можно представить выражением [4–6]

$$v_{cp} = c_{cp} = Q / s, \text{ м/с}, \quad (3)$$

где v_{cp} – средняя скорость потока для ламинарного течения, м/с;

c_{cp} – средняя скорость потока для турбулентного течения, м/с;

Q – секундный расход жидкости, $\text{м}^3/\text{с}$;

s – площадь живого сечения рабочих каналов, м^2 .

Максимальная скорость потока при ламинарном режиме вдоль оси X имеет место при $r = 0$ и определяется выражением

$$v_{max} = 2 \cdot v_{cp}, \text{ м/с}. \quad (4)$$

Максимальная скорость потока при турбулентном режиме

$$c_{max} = c_{cp} \cdot n = c_{cp} \cdot \frac{1,64}{Re^{38}}, \text{ м/с}. \quad (5)$$

При ламинарном режиме скорость в потоке в любой точке живого сечения можно определить из зависимости

$$v = v_{max} \left[1 - \left(\frac{r}{r_0} \right)^2 \right], \text{ м/с}, \quad (6)$$

где v – скорость в какой-либо точке живого сечения, м/с;

v_{max} – максимальная скорость в потоке, м/с;

r – расстояние от оси полости рабочего канала до какой-либо точки живого сечения, м;

r_0 – радиус полости рабочего канала, м.

При турбулентном режиме скорость в потоке в любой точке живого сечения можно определить из зависимости [6]

$$c = c_{max} - 5,75 \cdot \sqrt{\frac{\tau_{max}}{\rho}} \cdot \lg \frac{r_0}{y}, \text{ м/с}, \quad (7)$$

где τ_{max} – максимальное значение касательного напряжения внутреннего трения, Па;

ρ – плотность исследуемой жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$;

y – расстояние до данной точки от стенки рабочего канала, м.

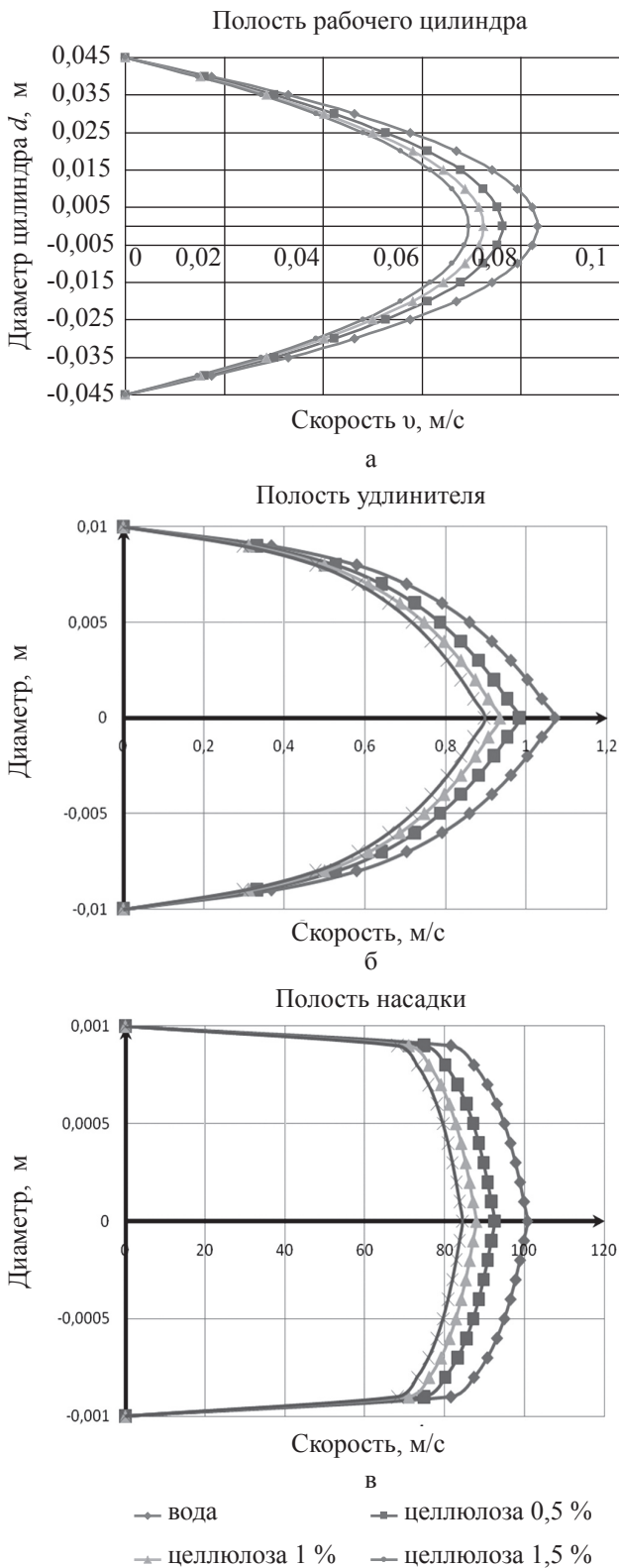


Рис. 2. Эпюры распределения скоростей в потоке для исследуемых жидкостей в рабочих каналах установки: а – в рабочем цилиндре; б – в удлинителе; в – в насадке

Максимальное значение касательного напряжения внутреннего трения [6]

$$\tau_{max} = \frac{\Delta p}{2 \cdot l} \cdot r_0, \text{ Па}, \quad (8)$$

где $\Delta p / l$ – падение давления на единицу длины трубы, Па/м.

Зависимость падения давления на единицу трубы после незначительных преобразований можно представить в виде [6]

$$\frac{\Delta p}{l} = \lambda \frac{c_p \cdot \rho}{4 \cdot r_0}, \text{ Па/м}, \quad (9)$$

где λ – коэффициент гидравлического трения, который рассчитывается по формуле [6]:

$$\lambda = 1 / (1,8 \cdot \lg Re - 1,5)^2. \quad (10)$$

Величины скоростей рассчитываются путем подстановки значений r и y в уравнения (5) и (6). В табл. 2 представлены расчетные значения скоростей v_{cp} , c_{cp} и v_{max} , c_{max} в рабочих каналах установки.

Эпюры распределения скоростей в потоке для исследуемых жидкостей в вышеуказанных каналах представлены в графическом виде на рис. 2.

Из рис. 2 следует, что для воды (ньютоновской жидкости) значение скорости всех режимов течения является наибольшей величиной в сравнении с течением волокнистой суспензии. Для волокнистых суспензий, при прочих равных условиях, увеличение концентрации рабочей среды приводит к уменьшению значений скоростей потока, так как концентрация непосредственно связана с вязкостью, значит, с увеличением коэффициента динамической вязкости значения скоростей потока уменьшаются.

Выводы

1) Проведен анализ распределения скоростей потока суспензии при течении ее в рабочих зонах размольной установки «струя–преграда» при различных режимах течения.

2) Возможность регулирования скоростных характеристик волокнистых суспензий в рабочих полостях размольной установки позволяет определить коэффициент динамической вязкости этих суспензий, а сама установка является своеобразным вискозиметром для определения значений динамической вязкости волокнистых суспензий.

Библиографический список

- 1 Веретнов, А.К. Исследование влияния силовых воздействий на процесс размола целлюлозы в ножевых машинах и разработка конструкции гарнитуры для ее гидродинамической обработки: дис. ... канд. техн. наук / А.К. Веретнов. – 1973.
- 2 Реусов, А.В. Вискозиметр для волокнистых суспензий / А.В. Реусов, М.Г. Кизин, В.Е. Богословский // Бумажная промышленность. – 1968. – № 9. – С. 11–12.
- 3 Смирнова, Э.А. Разработка модели комплексной реологической характеристики бумажной массы с целью практического использования при оптимизации режимов работы гидравлического оборудования ЦБП: дис. ... канд. техн. наук / Э.А. Смирнова. – Л., 1983. – 228 с.
- 4 Агроскин, И.И. Гидравлика / И.И. Агроскин. – М.: Энергия, 1964. – 352 с.
- 5 Осипов, П.Е. Гидравлика, гидравлические машины и гидропривод / П.Е. Осипов. – Липецк: Интеграл, 2006. – 424 с.
- 6 Старк, С.Б. Основы гидравлики, насосы и воздушные машины / С.Б. Старк. – М.: МеталлурГИЗдат, 1961. – 460 с.
- 7 Пат. 1559026 СССР, D21D 1/34, B02C 19/06. Установка для измельчения волокнистого материала/ Лахно А.Г., Васютин В.Г., Алашкевич Ю. Д., Войнов Н.А., Репях С.М.; заявитель и патентообладатель: Сибир. госуд. технолог. ун-т, №4399132; заявл. 28.03.88; опубл. 23.04.90. Бюл. №15. – 6 с.
- 8 Терентьев, О.А. Гидродинамика волокнистых суспензий в целлюлозно-бумажном производстве / О.А. Терентьев. – М.: Лесная пром-сть, 1980. – 248 с.

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА НА ФОРМИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ПЛИТ ИЗ КОРЫ И ВТОРИЧНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

Б.Д. РУДЕНКО, доц. каф. технологии композиционных материалов и древесиноведения СибГТУ, канд. техн. наук

rudenko@orionnet.ru; bdrudenko@mail.ru

Структура плит из коры и термопластичного связующего отличается от структуры древесно-стружечных плит тем, что связь древесных частиц в ДСтП осуществляется за счет сформированной клеевой прослойки, а связь частиц коры формируется за счет матрицы термопласта. Количественные соотношения связующего разные, при использовании термопласта его гораздо больше, чем при получении ДСтП. Согласно [1] невозможно получить равномерное распределение связующего термопласта по высоте брикета, если использовать порошкообразные частицы полиэтилена, кроме того, возникают дополнительные технические трудности при его получении. Несколько проще получить частицы ветвистой структуры, однако его количество в плитах будет составлять не менее 20 % [1]. Состав композиционных материалов на основе древесных частиц и термопластических связующих изучен [2], там он имеет название WPC (Wood-Polymer-Composites).

Утилизация коры является сложной проблемой использования отходов переработки древесины. Связано это с ее особым строением, поливариантностью связей и структурных звеньев [3], что предопределяет ее отличные от древесных частиц характеристики. Поэтому

требуется изучить формирование свойств плитных материалов из коры и термопластов.

Последнее обстоятельство требует проведения эксперимента по изучению влияния состава плит из коры и вторичного полиэтилена на их свойства, особенно прочность получаемого композита. Как известно, кора древесины лиственницы и кора сосны имеют различные механические свойства и состав [3]. Их преобладающие количества и различные свойства требуют детального рассмотрения в виде совместного использования в композитах на основе термопластов.

В качестве заполнителя использовалась кора древесины лиственницы и сосны, высушенная до воздушно сухого состояния (12 %) и измельченная ударным способом до фракции, проходящей через отверстия сита 1,5 мм, насыпной плотностью 274 кг/м³.

В качестве термопласта использовался полиэтилен (ПЭ), бытовые мешки, выброшенные в мусор, измельченные резанием до частиц размером: длина 2–5 мм, ширина 1–2 мм, толщина 0,02–0,05 мм. Насыпная плотность ПЭ 184 кг/м³, температура плавления 130 °С, т.е. ПЭНД, температура плавления которого от 125 до 137 °С.

Значения псевдокоординат

Наименование компонента	Обозначение компонента	Новые вершины компонентов (% содержание)		
		1	2	3
ПЭ	А	80	10	10
К _{листв}	В	10	80	10
К _{сосна}	С	10	10	80

Примечание: ПЭ означает полиэтилен, К_{листв} – кора древесины лиственницы, К_{сосна} – кора древесины сосны

Плиты прессовались размером 250×200×10 мм при давлении 0,5 МПа. Заданная плотность получаемых плит находилась в пределах от 840 до 960 кг/м³.

В соответствии ГОСТ 10635-88, ГОСТ10634-88, ГОСТ10636-90 определялись показатели прочности при изгибе, растяжении, плотности, водопоглощении и разбухании по толщине.

Для изучения процесса формирования свойств плит из коры в зависимости от их состава представим такую взаимосвязь в виде диаграммы состав–свойство. Для исследования диаграмм состав–свойство используем метод планирования эксперимента [4].

Факторное пространство представляет собой в нашем случае правильный треугольник. Нас интересует не вся область значений факторов, а только та, где они имеют реальные значения, т.е. на локальном участке диаграммы. В этом случае требуется произвести перенормировку и принять составы в вершинах выбранной области за самостоятельные псевдокоординаты, однако требуется для выбранной области симплекса выполнение условий, как и для полной диаграммы [5]. С таким учетом выбраны псевдокоординаты.

Для выбора плана и обработки результатов реализации эксперимента воспользуемся программой STATGRAPHICS Plus 5.1, описание работы с ней изложены в [6 и 7].

Исследование прочности при изгибе образцов

На рис. 1 и 2 представлены полученные экспериментальные значения по определению прочности исследованных образцов. Наблюдается монотонное увеличение прочности по мере увеличения содержания термопласта в смеси. Причем прочность у

образцов с наибольшим количеством коры лиственницы чуть больше, чем у образцов из коры сосны. Это связано, возможно, с тем, что твердость у частиц коры из лиственницы почти в четыре раза больше, чем у частиц коры из сосны. Хотя и прочность на сжатие коры лиственницы чуть меньше, чем у коры из сосны. Наибольшая прочность достигает значения в 41 МПа, т.е. частицы коры повышают прочность при изгибе получаемого композита. Полиэтилен не имеет показателя прочности при изгибе, поэтому сравнить этот показатель не с чем. Укажем, что предел текучести полиэтилена составляет 10–19 МПа.

На рис. 1 представлена контурная поверхность отклика для прочности при изгибе исследуемых образцов. Видно, что наибольшую прочность имеют образцы с максимальным содержанием термопласта. Характер увеличения прочности пропорциональный, с незначительным прогибом по всему исследуемому диапазону.

Трассировочный график изображен на рис. 2. Точка сечения, через которую проведена плоскость, взята по умолчанию, с координатами 0,33 соответственно для всех компонентов. Видно, что увеличение прочности с увеличением содержания полиэтилена почти пропорционально, имеется небольшая кривизна. Соответственно с увеличением содержания коры прочность уменьшается в пределах каждого компонента.

Совершенно закономерно, что разбухание по толщине уменьшается при увеличении содержания полиэтилена в смеси. Примерно равное разбухание характеризует компоненты как коры лиственницы, так и сосны.

На рис. 3 представлена контурная поверхность отклика для разбухания образцов по толщине.

Контурная поверхность для прочности

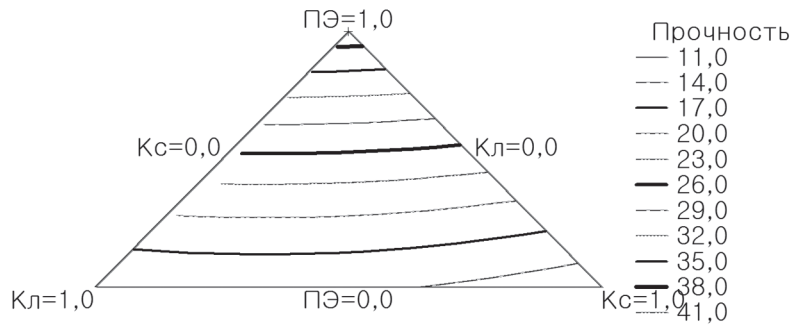


Рис. 1. Контурная поверхность отклика для прочности при изгибе

Трассировочный график для прочности

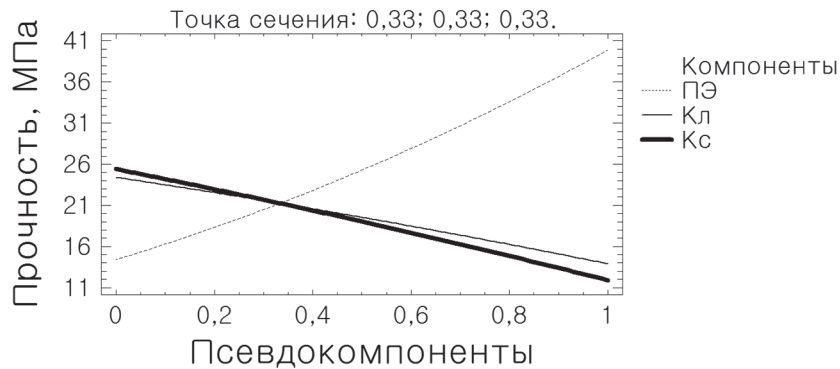


Рис. 2. Трассировочный график для прочности при изгибе

Контурная поверхность отклика для разбухания по толщине

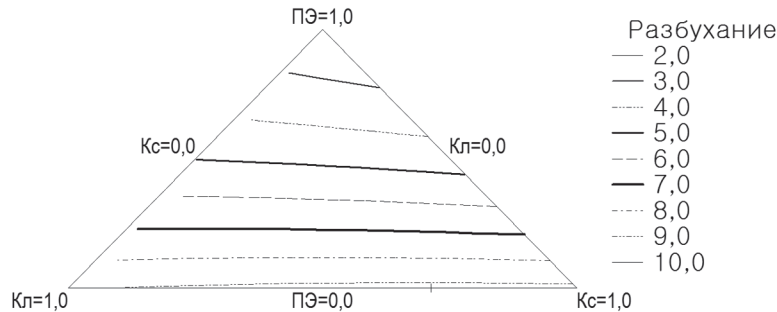


Рис. 3. Контурная поверхность отклика для разбухания по толщине

Наибольшее разбухание соответствует 10 %, при минимальном содержании термопласта в смеси наименьшее разбухание равно 2 %, когда доля полиэтилена в смеси максимальна. Частицы коры лиственницы и сосны в этом виде испытаний ведут себя одинаково, ничем не проявляя.

Исследование разбухания образцов по толщине

Трассировочный график представлен на рис. 4. Поведение компонентов предсказуемо, их свойства определяют характер изменения свойств получаемого композита.

Точка сечения плоскости характеризуется координатами 0,33 для всех компонентов, т.е. это точка, через которую мысленно проведена секущая плоскость, и в этой плоскости представлены кривые изменения свойств для компонентов. В каждой точке кривой любого компонента остальные компоненты присутствуют в равных остаточных долях.

Исследование водопоглощения образцов

На рис. 5 изображена контурная поверхность отклика для рассматриваемых компонентов.

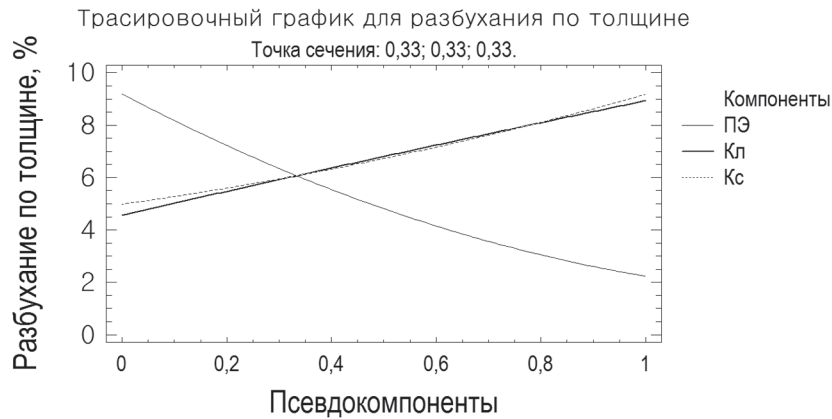


Рис. 4. Трассировочный график для разбухания образцов по толщине

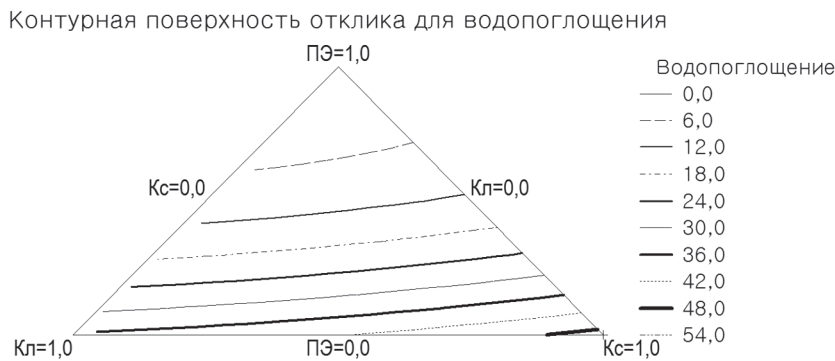


Рис. 5. Контурная поверхность отклика для водопоглощения образцов

Минимальное водопоглощение составляет 0 %, при минимальном содержании коры в смеси, наибольшее водопоглощение составляет 54 % для состава при наибольшем содержании коры сосны и 42 %, когда в смеси наибольшее количество коры лиственницы. Такое некоторое различие объясняется, по-видимому, различными свойствами коры лиственницы и сосны. Для сравнения укажем, что водопоглощение коры сосны примерно в полтора раза больше, чем у лиственницы.

Из результатов проведенного исследования видно, что при плотности, равной 960 кг/м³, комплекс наилучших свойств составляет: прочность при изгибе – 41 МПа; разбухание по толщине – 2 %; водопоглощение – 0,1 %; прочность на разрыв перпендикулярно пласти – 16 МПа.

Для получения таких свойств содержание компонентов составляет: ПЭНД – 80 % по массе; кора – 20 % по массе.

Разницы в свойствах практически не наблюдается при использовании коры лиственницы и коры сосны.

Практически, если не прессовать в герметичных условиях, большей плотнос-

ти у композита получить не удастся, так как при разогреве смесь становится очень пластичной и хорошо течет, не позволяя получать большую плотность. Это свойство изучаемой смеси хорошо использовать при трансферном получении изделий.

Библиографический список

1. Савицкий, А.С. Производство древесно-стружечных плит на термопластичном связующем / С.В. Васильев, М.А. Терпугов, В.И. Карцовник // Плиты и фанера: сб. ст. – М.: 1991. – с 2 -17.
2. Holz ist ein innovativer Werkstoff_I // НК: Holz- und Kunststoffverarb. : Internationale Fachzeitschrift fur Unternehmer und Führungskräfte. – 2006. – 41, № 7-8. – С. 22-26. – Нем.
3. Веретенник, Д.Г. Использование древесной коры в народном хозяйстве / Д.Г. Веретенник, – М.: Лесная пром-сть, 1976. – 120 с.
4. Пижурин, А.А. Научные исследования в деревообработке. Основы научных исследований / А.А. Пижурин. – М.: МГУЛ, 2002. – 103 с.
5. Ахназарова, С.Л. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии / С.Л. Ахназарова, В.В. Кафаров. – М.: Высш. школа, 1978. – 319 с.
6. Пен, Р.З. Планирование эксперимента в Statgraphics / Р.З. Пен. – Красноярск.: СибГТУ-Клареттианум, 2003. – 246 с.
7. Дюк, В. Обработка данных на ПК в примерах / В. Дюк. – СПб.: Питер, 1997. – 240 с.

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ШИПОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДЕРЕВЯННЫХ ДЕТАЛЕЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Г.П. КУЗНЕЦОВ, *проф. каф. начертательной геометрии и черчения ВятГУ, д-р техн.наук*,
О.А. РУБЛЕВА, *ст. преподаватель каф. машин и технологий деревообработки ВятГУ*

kuznetsov@vgu.ru; ru_olga_ru@mail.ru

Шиповые клеевые соединения деревянных деталей широко используются в производстве мебели, столярно-строительных и других изделий. В настоящее время наибольшее применение получили шиповые соединения с прямоугольной и треугольной (зубчатой) формой шипов в продольном сечении, изготовленные на фрезерных станках с применением дорогостоящих фрез, имеющих сравнительно невысокую стойкость [1].

С целью повышения качества шиповых соединений деревянных деталей и снижения затрат на их изготовление разработаны конструкции шипов и технологии их изготовления путем вдавливания в торцы заготовок на прессах пуансона с профилем, соответствующим форме шипов [2]. Эти конструкции шипов и технологии их изготовления наиболее привлекательны для отдельных предпринимателей и малых предприятий деревообрабатывающей промышленности.

В связи с существованием множества альтернативных вариантов конструкций шиповых соединений и технологий их изготовления актуальной задачей является разработка методического обеспечения системного проектирования шиповых соединений и технологий их изготовления, а также методик выбора наиболее привлекательных из них для предприятий.

Для решения этой задачи разработан процесс системного проектирования технологических процессов изготовления шиповых соединений, включающий три подпроцесса (рис. 1):

1) проектирование шиповых соединений и выбор наиболее привлекательного по качеству (разработка альтернативных вариантов шипового соединения, оценка и выбор типа и размеров наиболее привлекательного по качеству варианта, разработка чертежей);

2) разработка технологических процессов и выбор наиболее привлекательного (разработка альтернативных вариантов технологических процессов, оценка и выбор наиболее привлекательного варианта, разработка технологической документации);

3) проектирование технологической оснастки и выбор наиболее привлекательной (разработка альтернативных вариантов технологической оснастки, оценка и выбор наиболее привлекательного варианта, разработка чертежей).

В состав исходной информации для разработки этих подпроцессов входят требования к качеству изделия; сведения о заготовке (размеры заготовки, порода древесины, влажность, направление волокон); комплекс требований к шиповому соединению (технические требования заказчика к изделию, государственные стандарты на соединения); ограничения по затратам на изготовление соединения.

Для выполнения *первого* подпроцесса разработан классификатор шиповых соединений в форме компактной морфологической таблицы (рис. 2).

На этом классификаторе пунктирными линиями отмечены в качестве примера альтернативные варианты трех шиповых соединений. Первый вариант – зубчатое шиповое соединение по ГОСТ 19414-90, изготовленное фрезерованием. Второй вариант – прямоугольное шиповое соединение, однорядное, видимое по пласти, изготовленное прессованием. Третий вариант – прямоугольное шиповое соединение, двухрядное, невидимое по пласти, изготовленное прессованием.

Выбор наиболее привлекательного по качеству шипового соединения производится с помощью системы показателей «Качество шипового соединения» (рис. 3).

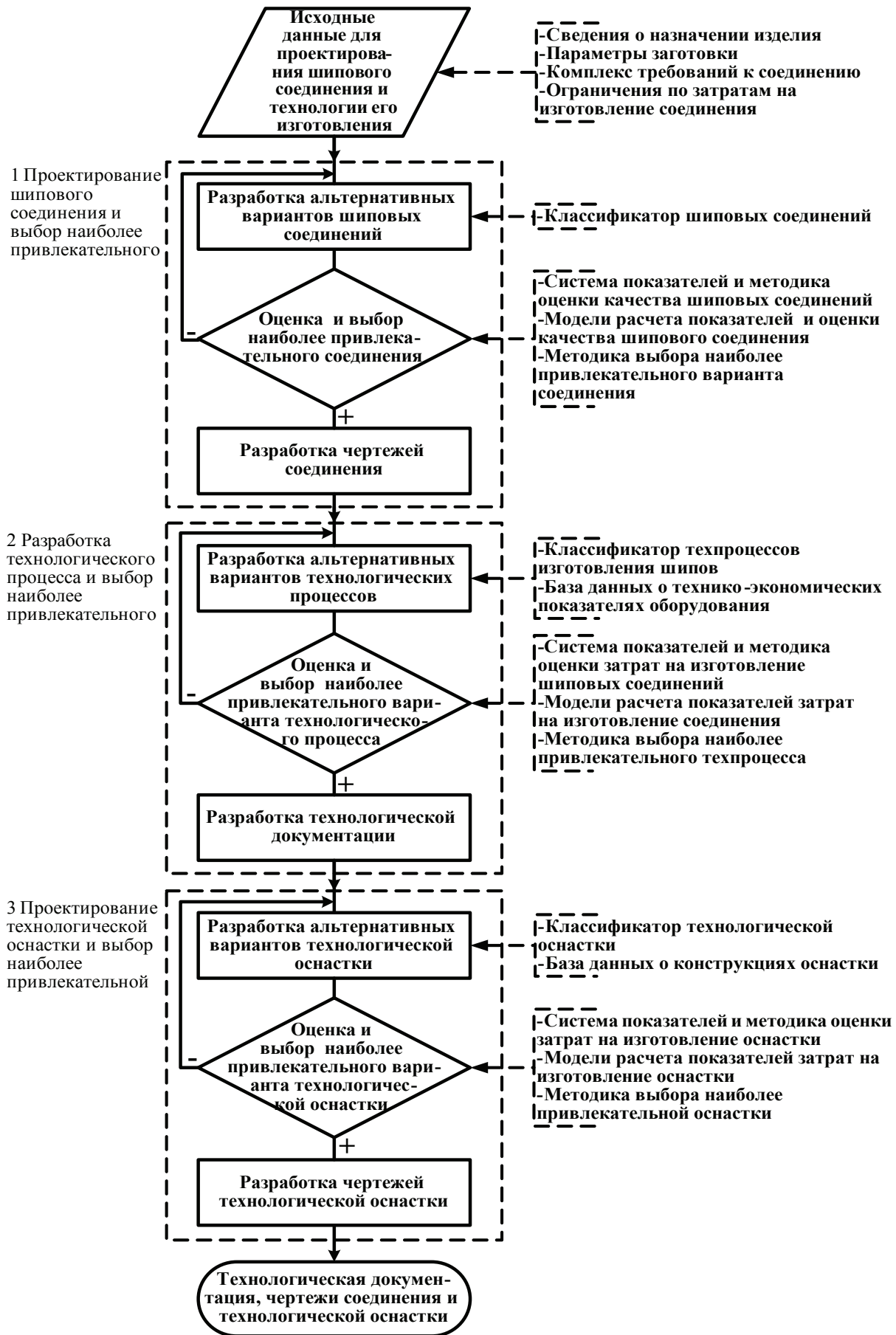


Рис. 1. Процесс системного проектирования шиповых соединений и технологических процессов их изготовления

1.1		1.1.1	1.1.2	1.1.3	1.1.4	1.1.5
По форме продольного сечения шипа	Треугольный	Прямоугольный	Трапецеидальный	Сложной формы		
1.2		1.2.1	1.2.2	1.2.3	1.2.4	1.2.5
По форме поперечного сечения шипа	Круглый	Прямоугольный	Треугольный			
1.3		1.3.1	1.3.2	1.3.3	1.3.4	1.3.5
По количеству шипов	Одинарный	Двойной	Тройной	Многошипное соединение		
1.4		1.4.1	1.4.2	1.4.3	1.4.4	1.4.5
По количеству рядов шипов	Один ряд	Два ряда	Три ряда	Многорядное соединение		
1.5		1.5.1	1.5.2	1.5.3	1.5.4	1.5.5
По выходу шипов на пластъ заготовки	Видимые	Невидимые				

- - - - - зубчатое однорядное шиповое соединение
 - прямоугольное однорядное шиповое соединение
 - прямоугольное двухрядное шиповое соединение

Рис. 2. Классификатор шиповых соединений деревянных заготовок по длине

Этот комплексный показатель оценивается единичными (частными) показателями: глубина деформированной зоны; изменение макроструктуры деформированной зоны; шероховатость граней проушины; твердость дна проушины; прочность соединения по длине на растяжение; прочность соединения по длине на изгиб.

В результате исследований разработаны методики и модели для расчетов этих единичных показателей [3]. После оценки единичных показателей качества шиповых соединений выбираются наиболее привлекательные (лучшие) шиповые соединения. Этот выбор производится дифференциальным и (или) комплексным методами, описанными в ГОСТ 15467-79.

Первый подпроцесс заканчивается разработкой чертежей наиболее привлекательного по качеству шипового соединения

деревянных деталей.

Второй и третий подпроцессы системного проектирования техпроцессов (рис. 1) тесно взаимосвязаны и могут выполняться последовательно или совместно.

Для выполнения этих подпроцессов разработаны классификатор технологических процессов и оснастки для изготовления шипов прессованием в форме морфологической таблицы и структура баз данных о технологическом оборудовании, его стоимости и производителях.

Классификатор технологических процессов и оснастки для прессования шипов включает технические показатели: схема обработки (позиционная, проходная, позиционно-проходная), тип прессы по направлению усилия прессования (го-

ризонгальный, вертикальный), тип привода (пневматический, гидравлический, механический и др.), усилие прессования (до 1,5 кН, свыше 1,5 до 5 кН и т.д.), скорость прессования (до 30 мм/мин, свыше 30 до 60 мм/мин и т.д.), способ обжима заготовки

(без обжима, двухсторонний, четырехсторонний), конструкция механизма обжима заготовки (винтовой, клиновой, пневматический и др.), конструкция устройства для извлечения пуансона (пружинное, гидравлическое, рычажное и др.).

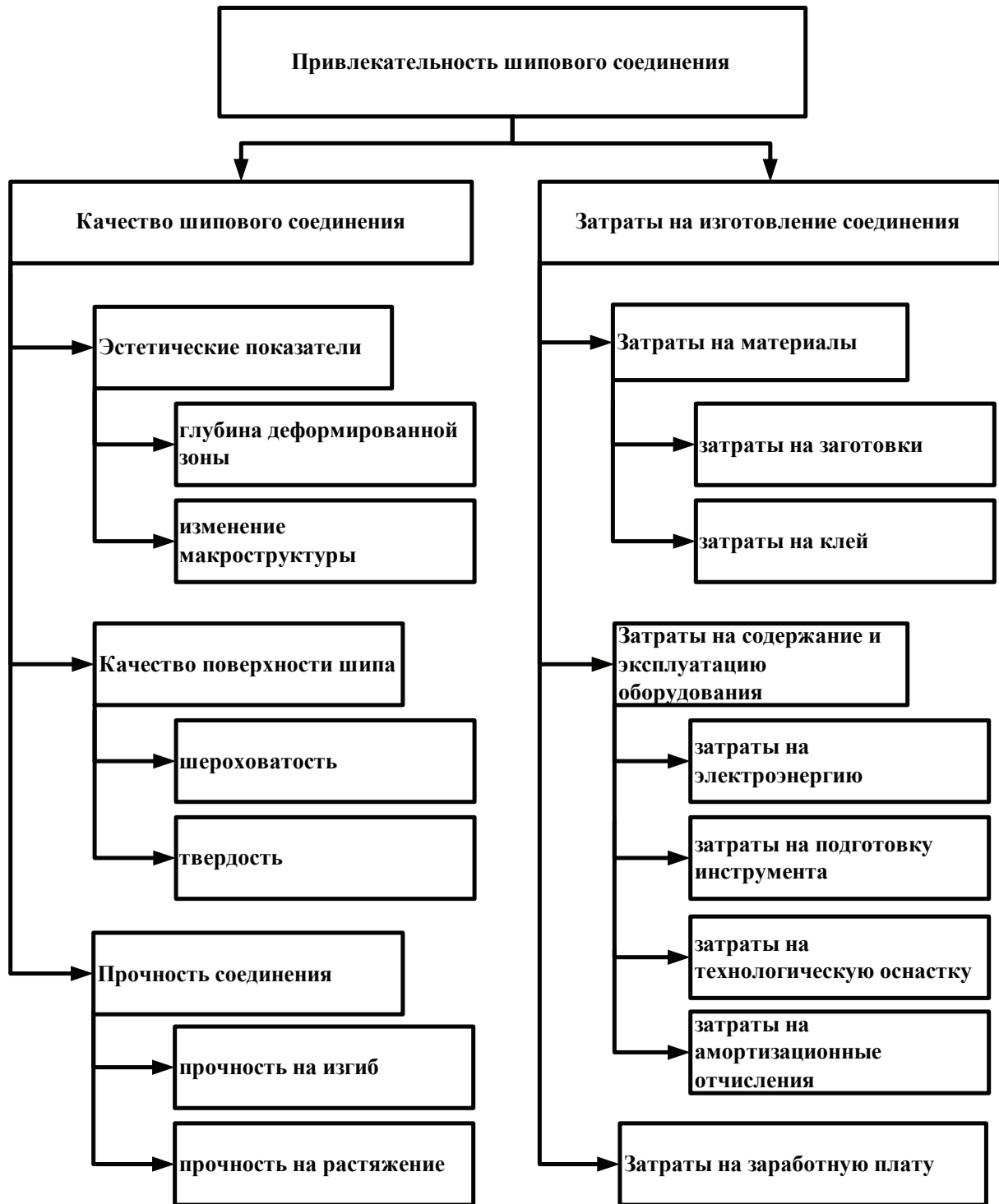


Рис. 3. Система показателей для оценки привлекательности шиповых соединений и технологических процессов их изготовления

На этом классификаторе пунктирными линиями отмечены в качестве примера альтернативные варианты технологических процессов и оснастки для прессования шиповых соединений. Первый вариант предусматривает использование горизонтального пневматического прессы для сращивания заготовок по длине, с усилием 3 кН. Схема обработки позиционно-проходная. Скорость прессования 120 мм/мин. Обжим заготовки четырехсторонний, пневматический. Извлечение пуансона производится за счет пружинного приспособления. Во втором варианте используют вертикальный гидравлический пресс с усилием 10 кН. Схема обработки позиционная. Скорость прессования 80 мм/мин. Обжим заготовки четырехсторонний, винтовой. Извлечение пуансона производится пружинным приспособлением. Третий вариант основан на применении винтового вертикального прессы с усилием 5 кН. Схема обработки позиционная. Скорость прессования 20 мм/мин. Обжим заготовки двухсторонний, винтовой. Извлечение пуансона производится рычажным приспособлением.

Для оценки затрат на изготовление шиповых соединений разработана система показателей (рис. 3). Комплексный показатель «Затраты на изготовление соединения» оценивается по ряду единичных (частных) показателей: затраты на заготовки, клей, электроэнергию, на подготовку инструмента, технологическую оснастку, амортизационные отчисления, на заработную плату. Для расчета единичных показателей разработаны методики и модели их оценки [3, 4].

Для выбора наиболее привлекательного технологического процесса используются два комплексных показателя: «Качество шипового соединения» и «Затраты на изготовление соединения» (рис. 3). Выбор наиболее привлекательного техпроцесса производится по обобщенному (глобальному) критерию «Привлекательность шипового соединения», причем, коэффициенты

весомости показателей определяются с позиций производителя и потребителей изготавливаемой продукции.

Второй и третий подпроцессы заканчиваются разработкой технологической документации и чертежей оснастки.

Результаты работы. Разработана методика системного подхода к проектированию шиповых соединений деревянных деталей и технологических процессов их прессования. Разработан комплекс методического обеспечения, включающий классификаторы шиповых соединений и технологических процессов прессования шипов, систему показателей для оценки привлекательности шиповых соединений и технологических процессов их изготовления, модели расчета показателей качества шиповых соединений и показателей затрат на изготовление соединения, а также методики выбора наиболее привлекательных конструкций шиповых соединений и техпроцессов их изготовления.

Библиографический список

1. Гончаров, Н.А. Технология изделий из древесины: учеб. для вузов – 2-е изд., испр. и доп. / Н.А. Гончаров, В.Ю. Башинский, Б.М. Буглай. – М.: Лесная пром-сть, 1990. – 525 с.
2. Рублева, О.А. Замена фрезерования в операции формирования шипов при сращивании деревянных заготовок по длине на обработку давлением / О.А. Рублева, А.О. Россинский // Ежегодная региональная научно-техническая конференция ВятГТУ «Наука – производство – технология – экология». – Киров: ВятГТУ, 2000. – Т. 3. – С. 103.
3. Рублева, О.А. Экспериментальное исследование показателей качества и усилия прессования прямоугольной проушины в заготовке из древесины сосны / О.А. Рублева, Г.П. Кузнецов // Сборник материалов всероссийской ежегодной научно-технической конференции «Наука – производство – технология – экология». – Киров: ВятГТУ, 2006. – Т. 5. – С. 175–179.
4. Рублева, О.А. Методика проектирования технологического процесса изготовления прямоугольного шипового соединения способом прессования / О.А. Рублева // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы международной научно-технической конференции. – Вологда: ВоГТУ, 2008. – С. 67–69.

КАЧЕСТВО ШИПОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ХОЛОДНЫМ ТОРЦОВЫМ ПРЕССОВАНИЕМ

О.А. РУБЛЕВА, *ст. преподаватель каф. машин и технологий деревообработки ВятГУ*,
Г.П. КУЗНЕЦОВ, *проф. каф. начертательной геометрии и черчения ВятГУ, д-р техн. наук*

ru_olga_ru@mail.ru; kuznetsov@vgu.ru

В производстве мебели, столярно-строительных и других изделий из древесины широко применяются шиповые клеевые соединения деталей. В [1] представлена инновационная технология изготовления шипов прямоугольной формы путем вдавливания в торцы заготовок на прессах пуансона с профилем, соответствующим форме шипов. При внедрении этой технологии актуальной проблемой является оценка показателей качества шипов и шиповых соединений.

Проведен комплекс исследований, целью которых являлась разработка системы показателей для оценки качества шипов, полученных холодным торцовым прессованием, и разработка методов их измерения, оценки и анализа.

Для определения номенклатуры [2] показателей качества шипов и шиповых соединений использовали рекомендации:

- государственных стандартов на соединения по длине и изделия с их применением (ГОСТ 19414–90, 9330–76, 475–78, 23166–99);
- типовых номенклатур показателей качества продукции [3, 4];
- государственных стандартов на номенклатуру показателей качества для изделий из древесины (ГОСТ 4.208–79, 4.226–83).

В систему для оценки качества шипов включены следующие показатели:

- 1) твердость дна проушин, оцениваемая по показателю HRL или HRM ;
- 2) относительная глубина деформированной зоны h_3 (рис. 1);
- 3) шероховатость граней шипа (проушины) $R_{m\ max}$, оцениваемая по ГОСТ 7016–82;
- 4) качество макроструктуры пластически деформированной зоны;
- 5) прочность шиповых соединений на растяжение σ_{rW} и изгиб σ_{izW} , оцениваемая по ГОСТ 15613.5–79 и 15613.4–78.

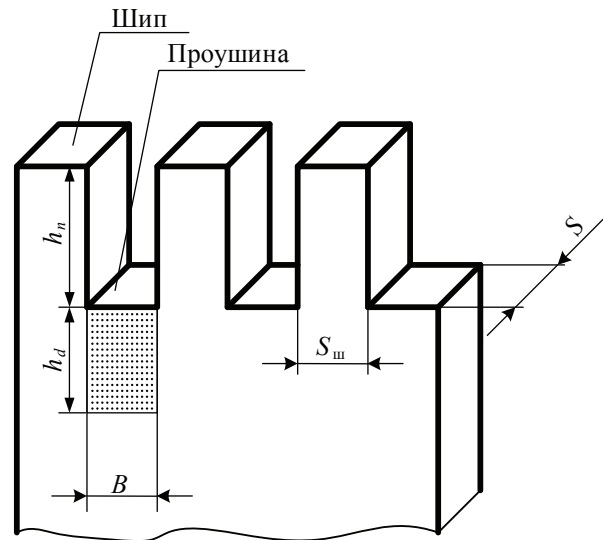


Рис. 1. Форма и размеры заготовки

Выполнен комплекс исследований, целью которого являлась разработка моделей для расчета показателей качества шипов и прочности шиповых соединений.

Исследования качества шипов проводили на заготовках из древесины сосны, березы, дуба влажностью $W = 8 \times 18 \%$. Размеры заготовки: толщина $S = 25$ мм, ширина $T = 40$ мм, высота $H = 60$ мм; размеры проушины: глубина $h_n = 5 \times 11$ мм, ширина $B = 4 \times 20$ мм. Форма и размеры заготовки приведены на рис. 1.

Прессование шипов выполняли на прессе П–10 с приспособлением для закрепления заготовок и инструмента (пуансона). Для измерения влажности применяли влагомер *Hydromette Compact*. Твердость по методу Роквелла измеряли на приборе TP 5014. Фотографии образцов получали с помощью фотоаппарата Canon A530 и сканера HP ScanJet 2380. Экспериментальные исследования прочности шиповых соединений проводили на разрывной машине Р–5.

Прессование шипов осуществляли со скоростью $v = 50$ мм/мин, при этом заготовки обжимали с усилием $P_0 = 1000$ Н.

Уровни и интервалы варьирования факторов

Порода древесины	Факторы	Интервалы варьирования	Уровни факторов		
			основной 0	верхний +1	нижний -1
Сосна	Влажность древесины W , %	5,0	13,0	18,0	8,0
	Глубина проушины h_n , мм	3,0	8,0	11,0	5,0
	Ширина проушины B , мм	8,0	12,0	20,0	4,0
Береза	Влажность древесины W , %	1,5	8,0	9,5	6,5
	Глубина проушины h_n , мм	2,0	6,0	8,0	4,0
	Ширина проушины B , мм	8,0	12,0	20,0	4,0
Дуб	Влажность древесины W , %	1,0	8,0	9,0	7,0
	Глубина проушины h_n , мм	1,5	7,5	9,0	6,0
	Ширина проушины B , мм	8,0	12,0	20,0	4,0

Для получения профиля шипового соединения на обеих соединяемых деталях использовали один и тот же пуансон и приспособление.

Для определения относительной глубины деформированной зоны h_3 измеряли глубину проушины h_n и размер деформированной зоны h_d под проушиной. Расчет относительной глубины деформированной зоны h_3 , % производили по формуле (1)

$$h_3 = (h_d / h_n) \cdot 100, \quad (1)$$

Для расчета относительного увеличения твердости (HRL для образцов из древесины сосны, HRM для образцов из древесины березы и дуба) замеряли торцовую твердость образца до прессования проушины и твердость дна полученной проушины. Статическая твердость торцовой поверхности образцов до изготовления проушины на образцах из древесины сосны составляла 37 HRL , из древесины березы 35 HRM , из древесины дуба 39 HRM . Расчет относительного увеличения твердости производили по формулам (2) и (3)

$$HRL = \frac{HRL_d - HRL_t}{HRL_t} \cdot 100, \quad (2)$$

$$HRM = \frac{HRM_d - HRM_t}{HRM_t} \cdot 100, \quad (3)$$

где HRL_d , HRM_d твердость дна проушины; HRL_t , HRM_t – торцовая твердость образца.

Для получения математических моделей (уравнений регрессии), необходимых для технологических расчетов HRL или HRM и h_3 , реализовали полный факторный эксперимент типа 2^3 для древесины березы и дуба и некомпозиционный план второго порядка для трех факторов для древесины сосны. Уровни

и интервалы варьирования факторов приведены в табл. 1.

Математическую обработку экспериментальных данных проводили по методике, приведенной в [5]. В результате статистической обработки результатов экспериментов (при 5 %-ом уровне значимости) получили эмпирические модели расчета твердости дна проушины HRL или HRM и относительной глубины деформированной зоны h_3 , представленные на рис. 2. Модели позволяют с достаточной точностью определить твердость дна и относительную глубину деформированной зоны прямоугольной проушины в заготовках из древесины сосны, березы, дуба.

Оценку шероховатости граней проушины $R_{m\ max}$ проводили по фотоснимкам срезов образцов путем измерения высот максимальных неровностей в соответствии с ГОСТ 7016–82. При исходной шероховатости торца заготовки $R_{m\ max} = 200$ мкм среднее значение шероховатости граней проушины для образцов из древесины сосны составило $R_{m\ max} = 80$ мкм, из древесины березы – $R_{m\ max} = 83$ мкм, из древесины дуба – $R_{m\ max} = 78$ мкм.

Оценку качества макроструктуры пластически деформированной зоны проводили визуально, по фактическому состоянию образцов и их фотоснимкам, путем сравнения с эталонами. Для оценки разработали пятибалльную шкалу: от 5 баллов – «отличная структура» – видимые изменения макроструктуры отсутствуют, до 1 балла – «дефектная структура» – в зоне деформации наблюдается значительное изменение направления волокон и значительное изменение тона окраски, четко просматриваются границы деформированной зоны.

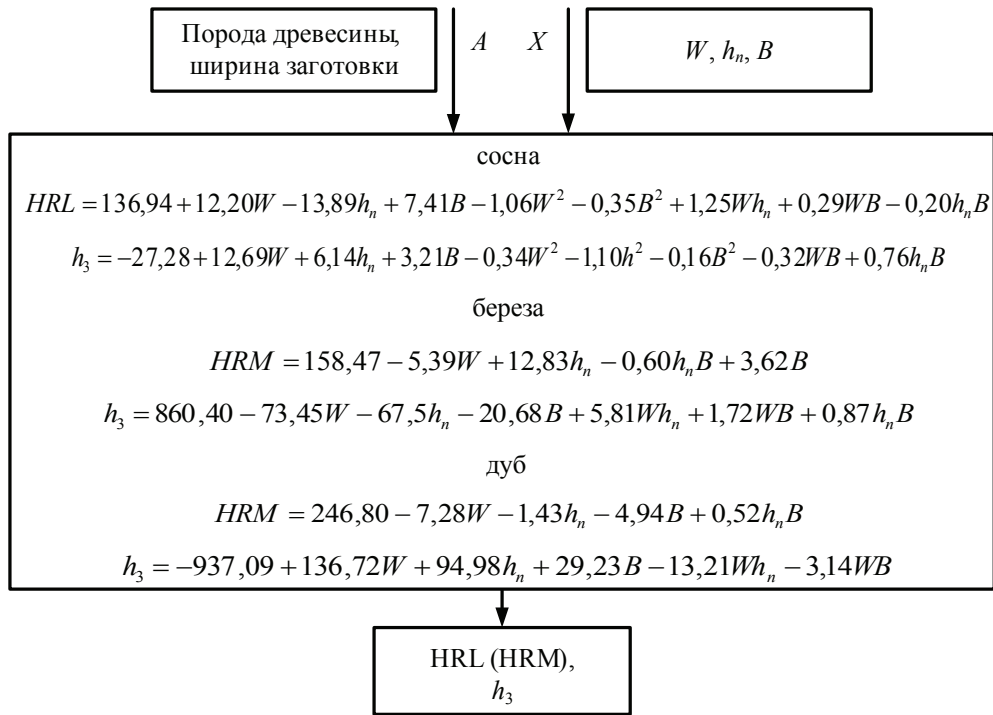


Рис. 2. Модели расчета твердости дна и относительной глубины деформированной зоны прямоугольной проушины

Так, в образцах из древесины сосны изменения макроструктуры деформированной зоны оценили в основном на 4 балла (53 %), 4 % образцов были оценены на 5 баллов, 7 % – на 3 балла, 3 % – на 2 балла. Образцы из древесины березы и дуба в основном были оценены на 3 или 4 балла. 4 % образцов из древесины березы и 6 % образцов из древесины дуба были оценены на 1 балл. 32 % образцов из древесины березы и 28 % образцов из древесины дуба были оценены на 4 балла.

По приведенным в [6] данным, нормативная прочность зубчатых соединений на современных клеях составляет 50 – 60 % прочности древесины. В связи с этим для расчета пределов прочности соединения по длине на растяжение σ_{rW} и на изгиб σ_{izW} при заданной влажности получены аналитические модели (4) и (5)

$$\sigma_{rW} = k_1 \sigma_r \quad (4)$$

$$\sigma_{izW} = k_2 \sigma_{iz} \quad (5)$$

где σ_r – предел прочности древесины при растяжении вдоль волокон, при заданной влажности;

σ_{iz} – предел прочности древесины при статическом изгибе, при заданной влажности;

k_1 и k_2 – поправочные коэффициенты, полученные в результате эксперимен-

тальных исследований, учитывающие форму и размеры соединения, применяемый клей, влажность заготовок.

Физико-механические характеристики древесины образцов при нормализованной влажности 12 % (прочность при статическом изгибе и растяжении вдоль волокон) определяли по методикам, приведенным в [7]. Прочность соединений по длине на растяжение и изгиб определяли в соответствии с требованиями ГОСТ 19414–90.

Исследование прочности шиповых соединений проводили на заготовках из древесины сосны и березы толщиной $S = 25$ мм, шириной $T = 40$ мм, длиной $H = 160$ мм. Путем прессования на заготовках получили профиль шипового соединения двух типоразмеров – А и Б. Для типоразмера А толщина шипа составила $S_{ш} = 2$ мм, ширина проушины $B = 2,2$ мм, глубина проушины $h_n = 10$ мм, шаг шипа $t_{ш} = S_{ш} + h_n = 4,2$ мм; для типоразмера Б – $S_{ш} = 4$ мм, $B = 4,2$ мм, $h_n = 20$ мм, $t_{ш} = 8,2$ мм.

После прессования шипов на торцах заготовки соединялись на клей ПВА с пределом прочности клея на сдвиг при растяжении не менее 4,4 МПа. Применялось двухстороннее нанесение клея, расход 200 г/м².

Результаты испытаний и значения коэффициентов k_1 и k_2

Порода образца и тип соединения	Предел прочности соединения на растяжение σ_{r12} , МПа	Предел прочности древесины на растяжение σ_r , МПа	Предел прочности соединения на изгиб σ_{iz12} , МПа	Предел прочности древесины на изгиб σ_{iz} , МПа	k_1	k_2
сосна А	46,640	108,9	48,908	83,4	0,4283	0,5864
сосна Б	41,808	108,9	48,508	83,4	0,3839	0,5816
береза А	55,322	136,9	51,356	107,5	0,4041	0,4777
береза Б	51,586	136,9	50,268	107,5	0,3768	0,4676

Время открытой выдержки 30 с, время закрытой выдержки 30 с. Усилие запрессовки не более 5000 Н. Время выдержки под давлением 30 с. После склеивания образцы выдерживали при относительной влажности воздуха $65 \pm 15\%$ и температуре 20°C в течение 22 суток.

Испытания на растяжение и на изгиб проводились по ГОСТ 15613.5–79 и 15613.4–78. При определении предела прочности при продольном растяжении образец непрерывно нагружали со скоростью 10 мм/мин так, чтобы разрушение происходило через 20 ± 10 с. При определении предела прочности при статическом изгибе скорость приложения нагрузки устанавливалась постоянной; разрушение происходило через $2,5 \pm 0,5$ мин.

В результате экспериментов определены значения пределов прочности соединений и поправочных коэффициентов k_1 и k_2 (табл. 2).

Величина поправочных коэффициентов k_1 и k_2 составила от 0,38 до 0,59, то есть прочность соединения на прямоугольный шип – не менее 38 % прочности древесины. Для сравнения, нормативное снижение прочности сечения зубчатого шипового соединения по сравнению с прочностью цельной древесины может составлять до 50 % ($k_2 = 0,5$) при величине затупления шипов от 2,5 до 3,5 мм [5]. Вместе с тем, по ГОСТ 475–78, прочность на изгиб деталей каркаса и полотен дверей должна составлять не менее 26 МПа ($k_1 \leq 0,31$), для деталей коробок дверей не менее 20 МПа ($k_1 \leq 0,24$). Следовательно, прочность исследуемых соединений можно считать достаточно высокой и удовлетворяющей требованиям стандартов на изделия из склеенных по длине заготовок.

Модели расчета прочности соединений приведены на рис. 3.



Рис. 3. Модели расчета прочности соединений по длине на растяжение и изгиб

Постоянными факторами являются порода древесины, характеристики клея, режимы склеивания. Переменными факторами являются влажность заготовки W , пределы прочности древесины при растяжении вдоль волокон и при статическом изгибе. В результате применения моделей можно определить значения пределов прочности на растяжение и изгиб для соединений на прямоугольные шипы, полученные холодным торцовым прессованием.

Результаты исследования:

1) разработана система показателей для оценки качества шипов, полученных холодным торцовым прессованием;

2) разработаны методы измерения, оценки и анализа показателей качества: твердости дна проушины, относительной глубины деформированной зоны и макроструктуры пластически деформированной зоны в образцах из древесины сосны, березы, дуба;

3) в результате экспериментальных исследований получены модели, позволяющие с достаточной точностью рассчитать твердость дна проушины и глубину деформированной зоны;

4) качество проушин, полученных холодным торцовым прессованием, по проверенным показателям удовлетворяет требованиям, предъявляемым ГОСТ 19414–90 и 9330–76;

5) получены модели для расчета прочности соединений на растяжение и изгиб; экспериментально определены поправочные коэффициенты для этих моделей.

Результаты научно-исследовательской работы рекомендуются для оценки и выбора наиболее эффективных конструкций и технологий изготовления шиповых соединений.

Библиографический список

1. Рублева, О.А. Замена фрезерования в операции формирования шипов при сращивании древесных заготовок по длине на обработку давлением / О.А. Рублева, А.О. Россинский // Ежегодная региональная научно-техническая конференция ВятГТУ «Наука – производство – технология – экология». – Киров, Изд-во ВятГУ. – 2000. – Т. 3. – С. 103.
2. Рублева, О.А. Методика проектирования технологического процесса изготовления прямоугольного шипового соединения способом прессования / О.А. Рублева // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы международной научно-технической конференции. – Вологда: ВоГТУ, 2008. – С. 67–69.
3. Управление качеством продукции. Справочник / под ред. В.В. Бойцова, А.В. Гличева. – М.: Издательство стандартов, 1985. – 464 с.
4. Федюкин, В.К. Основы квалиметрии. Управление качеством продукции: учеб. пособие / В.К. Федюкин. – М.: Филинь, 2004. – 296 с.
5. Спиридонов, А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А.А. Спиридонов. – М.: Машиностроение, 1981. – 184 с.
6. Фрейдин, А.С. Прогнозирование свойств клеевых соединений древесины / А.С. Фрейдин, К.Т. Вуба. – М.: Лесная пром-сть, 1980. – 224 с.
7. Уголев, Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения: учебник для лесотехнических вузов. Изд. 3-е, перераб. и доп. / Б.Н. Уголев. – М.: МГУЛ, 2001. – 340 с.

СОСТАВ ЖИРНЫХ КИСЛОТ «БЕЛВИТАМИЛА» КОНДОПОЖСКОГО ЦБК И ИЗБЫТОЧНОГО АКТИВНОГО ИЛА СЕГЕЖСКОГО ЦБК

И.С. ГЕЛЕС, доц. *Института леса КарНЦ РАН, канд. техн. наук,*
 Н.А. ВАСИЛЬЕВА, зл. химик *аналитической лаборатории Института леса КарНЦ РАН,*
 М.А. КОРЖОВА, *Институт леса КарНЦ РАН*

amorozov@krc.karelia.ru

Сточные воды (СВ) целлюлозно-бумажных предприятий содержат в растворенном виде разнообразные органические соединения, различающиеся химическим составом и строением. Удаление основного их количества происходит на биологических очистных сооружениях, где сообщество различных микроорганизмов (активный ил – АИ) использует указанные вещества в качестве источника углеродного питания. При достижении регламентированных показателей нормативным требованиям считается, что такие СВ не оказывают больше негативного влияния на окружающую среду. Однако возникает другая опасность ее загрязнения – образование значительных количеств избыточного активного ила (ИАИ), для которого пока не найдены оптимальные

методы утилизации [1]. Отчасти его собирают в илонакопителях или после обезвоживания складывают и/или сжигают. Из-за трудности удаления воды сжигание его малоэффективно, при этом атмосфера загрязняется окислами азота и образуется значительное количество зольного остатка. Вместе с тем АИ содержит ряд ценных компонентов, в частности белок (до 43,6 %) [2]. Относительно высокое содержание белка послужило основанием предлагать ИАИ в качестве кормовой добавки в рационах животных. Одним из ее видов рассматривали так называемый «Белвитамил» – ИАИ Кондопожского ЦБК, получаемый путем высушивания суспензии ИАИ в аэрофонтанной сушилке. В нем наряду с белком содержатся различные биологически активные вещества.

**Групповой состав эфирорастворимых веществ «Белвитамила»
Кондопожского ЦБК и избыточного активного ила (ИАИ) Сегежского ЦБК**

Показатели	Образцы «Белвитамила»			Образцы ИАИ		
	1	2	3	«1С»	«2 С»	«3 С»
Вещества, экстрагируемые диэтиловым эфиром, % на исх. абс. массу	8,51	7,70	9,84	4,44	2,99	5,90
Состав диэтилового экстракта, % от его массы:						
Свободные смоляные и жирные кислоты, в том числе:	34,0	48,9	–			
смоляные	13,7	11,4	–	9,93	4,77	1,54
жирные	20,1	36,1	–	33,52	37,09	46,75
Нейтральные вещества, в том числе:	62,8	50,7	–	48,50	42,77	42,43
неомыляемые	38,3	21,2	–	26,18	33,37	23,39
омыляемые	23,6	27,0	–	22,32	16,73	18,70
Из них:						
жирные кислоты	18,8	24,4	–	21,48	15,28	14,96
неэтерифицируемые вещества	3,4	2,5	–	0,73	1,06	3,74

Однако присутствие в «Белвитамиле» тяжелых металлов лишило это направление практического применения. «Белвитами́л» состоит из микроорганизмов, которые очищают сточные воды, содержащие в том числе некоторое количество моно- и олигосахаридов от сульфитной (бисульфитной) варки еловой древесины. Аналогичный состав имеет ИАИ от очистки СВ сульфат-целлюлозного производства, как было показано при анализе его образцов, взятых на очистных сооружениях Сегежского ЦБК, но он содержит меньше белка и других полезных веществ [3]. В то же время следует отметить, что СВ этих предприятий существенно отличаются по содержанию загрязняющих органических веществ.

В связи с указанными выше ограниченными возможностями использования всей массы ИАИ встает проблема эффективного применения его отдельных достаточно значимых групп соединений.

Определенный интерес, на наш взгляд, представляют экстрактивные вещества (ЭВ), содержание которых может достигать 9 и более процентов (табл. 1). Все эти соединения могут выступать в качестве высококалорийного топлива без загрязнения атмосферы окислами азота, серы, пылевидными выбросами и т.д.

ЭВ ИАИ предприятий ЦБП мало изучены, что послужило основанием для оп-

ределения их группового жирнокислотного состава.

Пробы ИАИ указанных предприятий отбирали в различные периоды года. После их подготовки (подсушка до воздушно-сухого состояния, измельчение, просеивание, отбор средних проб для анализа) экстрагирование вели в аппаратах Сокслета диэтиловым эфиром в течение 24 часов (рабочее время). Экстракты от отдельных аппаратов объединяли, после чего брали две аликвоты, которые упаривали. Полученный остаток сушили до постоянной массы при 105 °С для определения количества ЭВ. Другие аликвоты упаривали в вакууме при температуре 42–45 °С в роторном испарителе, но не сушили, чтобы избежать изменений в соотношении между свободными и связанными группами жирных кислот, что имело место в практике анализа подобных экстрактов. Фракционирование ЭВ и получение метиловых эфиров жирных кислот (МЭЖК) вели по известному методу [4]. Индивидуальный состав МЭЖК каждой фракции определяли методом газожидкостной хроматографии (ГЖХ) с использованием хроматографа «СНРОМ-5». При анализе применяли стеклянные колонки длиной 250 см и внутренним диаметром 0,3 см, твердыми носителями служили «хроматон N-супер» фракцией 0,16–0,20 мм и «хроматон N-AW-DMCS» фракцией 0,100–0,125 мм.

Т а б л и ц а 2

Индивидуальный состав фракций свободных и связанных жирных кислот в виде их метиловых эфиров образцов «Белвитамила» Кондопожского ЦБК, % от массы кислот

Название кислоты	Образец 1		Образец 2		Образец 3	
	Свободные	связанные	свободные	связанные	свободные	связанные
Миристиновая	отс.	отс.	отс.	0,19	отс.	отс.
X ₁	-“-	-“-	следы	1,39	-“-	-“-
Пентадекановая	-“-	-“-	следы	0,39	-“-	-“-
X ₂	-“-	-“-	отс.	0,25	-“-	-“-
Пальмитолеиновая	21,80	4,53	следы	2,29	0,86	2,00
Пальмитиновая	7,51	19,51	37,05	14,94	9,35	30,56
Маргариновая	4,90	4,42	1,71	8,32	3,22	1,61
X ₃	Следы	следы	0,61	0,48	0,49	0,32
Непредельные C ₁₈	53,65	50,65	46,30	55,76	49,63	47,85
Нондекановая	1,84	0,46	1,68	1,80	отс.	1,02
Арахидиновая	отс.	следы	2,06	4,27	1,90	4,02
Арахидиновая	1,61	7,82	1,83	3,09	14,63	4,95
X ₄	0,38	отс.	следы	0,40	отс.	0,30
Генейкозановая	0,31	1,92	следы	1,80	3,75	0,20
Эруковая	0,16	0,46	0,15	0,30	следы	0,38
Бегеновая	3,98	4,91	3,29	2,19	6,35	4,23
Трикозановая	0,31	0,61	0,30	следы	0,82	следы
X ₅	3,54	2,85	3,96	2,12	2,26	2,56
X ₆	отс.	следы	0,61	следы	0,49	следы
X ₇	-“-	следы	0,46	следы	1,48	следы
X ₈	-“-	следы	отс.	отс.	отс.	отс.

Т а б л и ц а 3

Индивидуальный состав фракций свободных и связанных жирных кислот в виде их метиловых эфиров ИАИ Сегежского ЦБК (выборка), % от массы кислот

Наименование кислот	Образец «1С»		Образец «2С»		Образец «3С»	
	свободные	связанные	свободные	связанные	свободные	связанные
Пальмитолеиновая	следы	0,06	следы	0,09	0,32	2,70
Пальмитиновая	42,51	16,83	41,46	15,78	28,20	14,13
X ₁₇	следы	0,30	следы	0,26	Следы	0,52
Линоленовая	следы	следы	следы	следы	4,35	6,43
Линолевая	42,88	43,56	55,69	45,38	54,22	42,87
Стеариновая	8,38	1,52	1,63	1,33	1,98	2,83
X ₂₂	следы	0,70	следы	0,65	2,00	0,85
X ₂₃	1,73	36,95	0,26	36,38	3,66	4,70
X ₂₄	4,43	следы	1,05	следы	2,03	0,46
Бегеновая	0,8	0,08	0,06	0,11	1,51	0,70
Лигноцерининовая	0,04	отс.	следы	отс.	1,29	0,35

Примечание: X₁₇, X₂₂ и т.д. указаны в соответствии с их положением на хроматограммах.

В качестве неподвижной фазы для первого из упомянутых носителей служил силиконовый полимер OV-1 в количестве 3 % от массы хроматона, для второго – лак 2R-446 в количестве 15 %. Расход газов составлял: гелия 30, водорода 40, воздуха 400 мл/мин, детектор пламенно-ионизационный. Для достаточно четкого разделения компо-

нентов применяли как программирование температуры от 100 до 278 °С со скоростью 3°/мин., так и изотермический режим (196 °С); температура испарителя 230 °С, детектора 200 °С. Для идентификации компонентов использовали метчики. Расчет количественного состава МЭЖК проводили методом внутренней нормализации [5].

Из приведенных данных (табл. 1) следует, что в «Белвитамиле» присутствует больше ЭВ, нежели в ИАИ Сегежского ЦБК. Результаты определения группового состава показывают, что в ЭВ ИАИ содержится относительно меньше так называемых «смоляных» кислот и нейтральных веществ, но больше свободных жирных кислот. Ограниченное число независимых анализов не позволяет сделать обоснованные заключения о соотношении различных фракций в ЭВ указанных видов ИАИ.

Во всяком случае, можно отметить тенденцию меньшего различия в количестве свободных и связанных жирных кислот у «Белвитамила», тогда как у ИАИ Сегежского ЦБК свободных жирных кислот существенно больше, нежели связанных (табл. 1). Ценность жирных кислот и целевое использование определяется их составом. Жирнокислотное представительство у образцов «Белвитамила» насчитывает 21 кислоту (табл. 2). Для всех трех независимых образцов характерно присутствие 17 индивидуальных кислот.

В одном образце дополнительно были обнаружены четыре низкомолекулярные кислоты, отсутствующие в других. В целом можно считать, что компоненты свободных и связанных кислот представлены компактной группой. Однако содержание одной и той же кислоты в указанных фракциях у разных образцов подвержено сильным колебаниям. Например, у образца «1» «Белвитамила» пальмитолеиновой кислоты содержится значительно больше во фракции свободных, нежели связанных кислот, тогда как у образцов «2» и «3» соотношения противоположны. Аналогичные соотношения наблюдаются и для многих других кислот. Важным, на наш взгляд, представляется высокое, достигающее 50 % и более, содержание трех непредельных кислот с 18 углеродными атомами: олеиновой, линолевой и линоленовой. Заслуживает внимание то обстоятельство, что в большинстве случаев содержание непредельных кислот превышает предельные (табл. 2). Это значит, что до 30 % от общей массы ЭВ представлено непредельными кислотами, основную часть которых составляют указанные три кислоты.

При анализе жирнокислотного состава образцов ИАИ Сегежского ЦБК было обнаружено в совокупности значительно большее число индивидуальных веществ – всего у проанализированных ЭВ определено 57 представителей этого класса соединений. Большая часть из них присутствовала в очень небольших количествах, и наблюдались значительные различия между образцами. Поэтому будут рассмотрены кратко только те, которые характерны для трех проанализированных образцов (табл. 3). Одно из отличий состава жирных кислот «Белвитамила» и ИАИ Сегежского ЦБК состоит в том, что у последних во фракции свободных кислот значительный процент составляет пальмитиновая кислота, которой всегда больше, нежели у фракции связанных кислот (табл. 3). Особого внимания заслуживает высокий процент линолевой кислоты в обеих фракциях жирных кислот. Причем, хотя образцы ИАИ Сегежского ЦБК отбирались в разные времена года, процентное содержание указанной кислоты существенно не различается.

Необходимо отметить важную особенность состава жирных кислот ИАИ независимо от различий в составе сточных вод и условий их очистки – высокий процент непредельных кислот (табл. 2 и 3). Это значит, что в устоявшихся ценозах разных предприятий присутствует некоторый общий для них набор микроорганизмов, способный трансформировать органические вещества в непредельные жирные кислоты ряда C_{18} . Повидимому, углеводная составляющая влияет на количество образующихся жирных кислот. Следует отметить, что в природе жирные кислоты, особенно непредельные, составляют основную массу растительных масел, являющихся продуктами питания [6, с.192–196]. Наряду с этим они находят широкое применение в различных отраслях промышленности и медицине [7, с.155–156]. Поэтому замена их на жирные кислоты из различных отходов производства имеет важное практическое и социальное значение [8]. В этом отношении следует отметить использование жирных кислот от переработки талловых продуктов сульфатного способа варки в мыловаренном производстве, получении жирующих смесей

при выработке натуральных кож, эмульсионных смазочно-охлаждающих жидкостей, синтеза пластификаторов – стабилизаторов, эпоксицированных сложных эфиров и многое другое [7, 9, 10]. Расширение сырьевой базы получения жирных кислот, тем более из отходов, образующихся при очистке СВ, имеет, на наш взгляд, важное практическое значение. Оптимизируя состав и условия очистки СВ, можно полагать, что удастся получить вместо обременительного отхода высококачественное сырье для производства материалов различного назначения.

Библиографический список

1. Blosser R., Miner R.A. Sludge handling and disposal practices in U.S. pulp and paper industry // Paperi ja puu. 1988. Vol. 70. N 3. p. 265–274.
2. Стеценко, Л.А. Характеристика состава активного ила из очистных сооружений целлюлозно-бумажных предприятий / Л.А. Стеценко // Бум. пром-сть. – 1987. – № 11. – С. 28–29.
3. Гелес, И.С. Химический состав активного ила ПО «Кондопогабумпром» и «Сегежабумпром» / И.С. Гелес, М.А. Коржова // Целлюлоза, бумага, картон. – 1992. – № 6–7. – С. 25–26.
4. Комшилов, Н.Ф. Метод подробного анализа сульфатного мыла / Н.Ф. Комшилов, Н.К. Рогачевская, М.А. Анбайнис // Изв. Кольского и Карельского филиалов АН СССР. – 1958. – № 4. – С. 35–37.
5. Столяров, Б.В. Руководство к практическим работам по газовой хроматографии / Б.В. Столяров, И.М. Савинов, А.Г. Витенберг. – Л., 1978. – 288 с.
6. Химическая энциклопедия. – Т. 4 «Большая российская энциклопедия». – М., 1995. – 639 с.
7. Химическая энциклопедия. – Т. 3 «Большая российская энциклопедия». – М., 1992. – 639 с.
8. Бобкова, Л.А. Экономическая эффективность производства и потребления талловых продуктов / Л.А. Бобкова. – М.: «Лесохимия и подсочка», 1978. – № 3. – С. 11.
9. Дорфман, С.Б. Использование талловых продуктов в эмульсионных смазочно-охлаждающих жидкостях для обработки металлов / С.Б. Дорфман, А.И. Максимова, Л.И. Цегельник. – М.: «Лесохимия и подсочка», 1978. – № 5. – С. 11–12.
10. Головин, А.И. Сульфозэмульгатор на основе талловых жирных кислот / А.И. Головин, А.И. Киприанов, М.И. Соколова и др. // Лесной журнал. – 1986. – № 5. – С. 72–76.

JUGLANS NIGRA L.: ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВОЛОКОН ЛИБРИФОРМА В УСЛОВИЯХ ИНТРОДУКЦИИ

Т.А. СВИРИДОВА, *асп. каф. садово-паркового и ландшафтного строительства БРГИТА*,
Е.Н. САМОШКИН, *проф. каф. садово-паркового и ландшафтного строительства БРГИТА*,
д-р. биол. наук

mail@bgita.ru; bgitakafspl@yandex.ru; tatyana_s11@mail.ru

Как известно [1], длина и ширина волокон либриформа являются критериями оценки качества древесины.

Деревья орехов произрастают в центре г. Брянска (Ботанический сад им. Б.В. Гроздова). Керны древесины взяты на высоте 1,3 м с южной стороны дерева, образцы – из ранней и поздней древесины 3, 5, 8, 10, 12, 15 и 18 годичных слоев (расположены по радиусу ствола от коры к сердцевине).

Исследования проводили на мацерированной древесине по общеизвестным методикам с некоторыми дополнениями и уточнениями [1, 4].

В каждом образце измеряли длину и ширину в наиболее широкой части волокна. Принятое количество измерений ($n = 121$)

обеспечило необходимую точность опыта (p_x): длины волокон ранней древесины – 0,97...1,95 %, поздней – 1,12...1,60 %; ширины волокон ранней древесины – 1,18...1,83 %, поздней – 1,27...1,56 %.

Вычисляли: среднюю арифметическую величину с ошибкой ($M_x \pm m_{Mx}$), основное отклонение полное с ошибкой ($\sigma_x \pm m_{\sigma x}$), коэффициент вариации (C_x), показатель точности опыта (p_x).

Существенность различий $M_x \pm m_{Mx}$ определяли по t -критерию Стьюдента с учетом трех доверительных уровней: $t_{0,5} = 1,97$; $t_{0,9} = 2,60$; $t_{0,9,9} = 3,33$ [2, 3].

Анализ показал, что длина и ширина волокон либриформа зависят от места расположения по радиусу ствола.

Т а б л и ц а 1

Длина волокон либриформа ранней древесины

Номер годичного кольца от коры	$M_x \pm m_{Mx}$, мм	$\sigma_x \pm m_{\sigma x}$, мм	C_x , %	p_x , %	Min, мм	Max, мм
3	1,269 ± 0,0205	0,226 ± 0,0145	17,77	1,62	0,697	2,486
5	1,057 ± 0,0119	0,130 ± 0,0084	12,35	1,12	0,787	1,388
8	1,146 ± 0,0147	0,162 ± 0,0104	14,10	1,28	0,757	1,469
10	1,054 ± 0,0123	0,136 ± 0,0087	12,87	1,17	0,720	1,386
12	1,063 ± 0,0136	0,150 ± 0,0096	14,07	1,28	0,571	1,384
15	0,863 ± 0,0168	0,185 ± 0,0119	21,45	1,95	0,446	1,350
18	0,644 ± 0,0063	0,069 ± 0,0044	10,71	0,97	0,445	0,787

Т а б л и ц а 2

Ширина волокон либриформа ранней древесины

Номер годичного кольца от коры	$M_x \pm m_{Mx}$, мкм	$\sigma_x \pm m_{\sigma x}$, мкм	C_x , %	p_x , %	Min, мкм	Max, мкм
3	21,993 ± 0,3191	3,487 ± 0,2226	15,86	1,44	14,098	31,167
5	23,722 ± 0,3710	4,096 ± 0,2597	17,26	1,57	15,586	35,616
8	23,009 ± 0,3487	3,814 ± 0,2449	16,57	1,51	14,846	31,164
10	23,833 ± 0,3710	4,111 ± 0,2671	17,26	1,57	15,582	37,100
12	23,039 ± 0,3265	3,576 ± 0,2300	15,53	1,41	14,841	34,132
15	20,301 ± 0,3710	4,088 ± 0,2597	20,12	1,83	14,096	30,422
18	23,232 ± 0,2745	3,013 ± 0,1929	12,98	1,18	16,324	30,420

Т а б л и ц а 3

Длина волокон либриформа поздней древесины

Номер годичного кольца от коры	$M_x \pm m_{Mx}$, мм	$\sigma_x \pm m_{\sigma x}$, мм	C_x , %	p_x , %	Min, мм	Max, мм
3	0,995 ± 0,0125	0,137 ± 0,0088	13,79	1,25	0,634	1,269
5	0,970 ± 0,0130	0,143 ± 0,0092	14,73	1,34	0,631	1,261
8	0,984 ± 0,0157	0,173 ± 0,0111	17,57	1,60	0,519	1,350
10	0,924 ± 0,0130	0,143 ± 0,0092	15,47	1,41	0,557	1,276
12	0,865 ± 0,0125	0,138 ± 0,0089	15,92	1,45	0,564	1,447
15	0,907 ± 0,0122	0,134 ± 0,0086	14,80	1,35	0,549	1,209
18	0,774 ± 0,0087	0,096 ± 0,0061	12,36	1,12	0,579	1,039

Т а б л и ц а 4

Ширина волокон либриформа поздней древесины

Номер годичного кольца от коры	$M_x \pm m_{Mx}$, мкм	$\sigma_x \pm m_{\sigma x}$, мкм	C_x , %	p_x , %	Min, мкм	Max, мкм
3	19,804 ± 0,3116	3,413 ± 0,2226	17,21	1,56	14,090	27,454
5	23,744 ± 0,3042	3,324 ± 0,2152	14,00	1,27	15,584	30,424
8	21,110 ± 0,3191	3,517 ± 0,2226	16,66	1,51	13,356	30,423
10	21,696 ± 0,3042	3,339 ± 0,2152	15,40	1,40	14,095	29,680
12	20,004 ± 0,3042	3,369 ± 0,2152	16,83	1,53	14,094	31,168
15	22,245 ± 0,3116	3,406 ± 0,2152	15,30	1,39	14,846	34,134
18	20,457 ± 0,3042	3,332 ± 0,2152	16,28	1,48	14,840	30,422

Максимальная длина волокон либриформа ранней древесины (табл. 1) отмечена в 3 от коры годичном кольце, по сравнению с ним длина волокон достоверно меньше: 5

кольца – на 16,7 % ($t_{\text{факт}} = 8,94$), 8 – на 9,7 % ($t_{\text{факт}} = 4,88$), 10 – на 16,9 % ($t_{\text{факт}} = 8,99$), 12 – на 16,2 % ($t_{\text{факт}} = 8,37$), 15 – на 32,0 % ($t_{\text{факт}} = 15,32$) и 18 – на 49,3 % ($t_{\text{факт}} = 29,14$). Волокна

5 кольца существенно короче волокон 8 – на 7,8 % ($t_{\text{факт}} = 4,71$), длиннее 15 – на 22,5 % ($t_{\text{факт}} = 9,42$) и 18 – на 64,1 % ($t_{\text{факт}} = 30,67$), но значимо не отличались от волокон 10 ($t_{\text{факт}} = 0,18$) и 12 ($t_{\text{факт}} = 0,33$). Длина волокон 8 годичного кольца достоверно превышала 10 – на 8,7 % ($t_{\text{факт}} = 4,80$), 12 – на 7,8 % ($t_{\text{факт}} = 4,14$), 15 – на 32,8 % ($t_{\text{факт}} = 12,68$) и 18 – на 78,0 % ($t_{\text{факт}} = 31,39$). Не отмечено существенного различия длины волокон 10 и 12 колец ($t_{\text{факт}} = 0,49$); при этом длина каждого значимо превышала волокна 15 – на 22,1 % ($t_{\text{факт}} = 9,17$) и 23,2 % ($t_{\text{факт}} = 9,25$), а также волокна 18 – на 63,7 % ($t_{\text{факт}} = 29,67$) и 65,1 % ($t_{\text{факт}} = 27,96$). Минимальная длина волокон ранней древесины наблюдалась в 18 годичном кольце, которая существенно (на 25,4 %) меньше длины волокон 15 кольца ($t_{\text{факт}} = 12,21$).

Уровень варьирования (C_x) длины волокон либриформа ранней древесины – низкий, средний и высокий (10,71...21,45 %). Наибольшая вариабельность зафиксирована в 15 годичном кольце, наименьшая – в 18, хотя размах изменчивости (от *Min* до *Max*) не полностью соответствует длине волокон либриформа.

Наибольшая ширина волокон либриформа ранней древесины (табл. 2) отмечена в 10 годичном кольце; она существенно превысила ширину волокон 3 – на 8,4 % ($t_{\text{факт}} = 3,76$), 15 – на 17,4 % ($t_{\text{факт}} = 6,73$), но значимо не отличалась от ширины волокон 5 ($t_{\text{факт}} = 0,21$), 8 ($t_{\text{факт}} = 1,62$), 12 ($t_{\text{факт}} = 1,61$) и 18 ($t_{\text{факт}} = 1,30$) колец. Волокна либриформа 3 кольца достоверно уже волокон 5 – на 7,3 % ($t_{\text{факт}} = 3,53$), 8 – на 4,4 % ($t_{\text{факт}} = 2,15$), 12 – на 4,5 % ($t_{\text{факт}} = 2,29$) и 18 – на 5,3 % ($t_{\text{факт}} = 2,94$). Ширина волокон 5 годичного кольца существенно не различалась с волокнами 8 ($t_{\text{факт}} = 1,40$), 12 ($t_{\text{факт}} = 1,38$) и 18 ($t_{\text{факт}} = 1,06$), а 8 кольца – с волокнами 12 ($t_{\text{факт}} = 0,06$) и 18 ($t_{\text{факт}} = 0,50$); ширина волокон 12 и 18 колец практически одинакова ($t_{\text{факт}} = 0,45$). Наименьшая ширина зафиксирована в 15 кольце: волокна здесь существенно уже, чем в 3 кольце на 7,7 % ($t_{\text{факт}} = 3,46$), 5 – на 14,4 % ($t_{\text{факт}} = 6,52$), 8 – на 11,8 % ($t_{\text{факт}} = 5,32$), 10 – на 14,8 % ($t_{\text{факт}} = 6,73$), 12 – на 11,9 % ($t_{\text{факт}} = 5,54$) и 18 – на 12,6 % ($t_{\text{факт}} = 6,35$).

Уровень варьирования ширины волокон ранней древесины – средний

(12,98...20,12 %). Наибольшей изменчивостью по ширине отличались волокна 15 кольца, наименьшей – 18.

Максимальная длина волокон либриформа поздней древесины (таблица 3) – в 3 годичном кольце: она значимо превышала длину волокон 10 – на 7,7 % ($t_{\text{факт}} = 3,94$), 12 – на 15,0 % ($t_{\text{факт}} = 7,35$), 15 – на 9,7 % ($t_{\text{факт}} = 5,04$), 18 – на 28,6 % ($t_{\text{факт}} = 14,51$), но несущественно – 5 ($t_{\text{факт}} = 1,39$) и 8 ($t_{\text{факт}} = 0,55$) колец.

Волокна 5 кольца значимо длиннее 10 – на 5,0 % ($t_{\text{факт}} = 2,50$), 12 – на 12,1 % ($t_{\text{факт}} = 5,82$), 15 – на 7,0 % ($t_{\text{факт}} = 3,53$), 18 – на 25,3 % ($t_{\text{факт}} = 12,53$), но существенно не отличались от волокон 8 кольца ($t_{\text{факт}} = 0,69$). Установлено достоверное превышение длины волокон 8 кольца над 10 – на 6,5 % ($t_{\text{факт}} = 2,94$), 12 – на 13,8 % ($t_{\text{факт}} = 5,93$), 15 – на 8,5 % ($t_{\text{факт}} = 3,87$) и 18 – на 27,1 % ($t_{\text{факт}} = 11,70$). Волокна 10 кольца существенно длиннее 12 – на 6,8 % ($t_{\text{факт}} = 3,27$), 18 – на 19,4 % ($t_{\text{факт}} = 9,59$) и практически одинаковы с волокнами 15 кольца ($t_{\text{факт}} = 0,95$). Минимальной длиной характеризовались волокна 18 кольца поздней древесины, которые существенно короче 12 – на 10,5 % ($t_{\text{факт}} = 5,98$) и 15 – на 14,7 % ($t_{\text{факт}} = 8,88$), однако длина волокон 12 кольца меньше 15 – на 4,6 % ($t_{\text{факт}} = 2,40$).

Изменчивость длины волокон либриформа (C_x) поздней древесины – средняя, составляет 12,36...17,57 %, максимальная – в 8 и минимальная – в 18 годичном кольце; наибольший размах изменчивости зафиксирован в 12 кольце, наименьший – в 18.

Максимальная ширина волокон поздней древесины (табл. 4) отмечена в 5 кольце: она значимо шире волокон 3 – на 19,9 % ($t_{\text{факт}} = 9,05$), 8 – на 12,5 % ($t_{\text{факт}} = 5,97$), 10 – на 9,4 % ($t_{\text{факт}} = 4,76$), 12 – на 18,7 % ($t_{\text{факт}} = 8,69$), 15 – на 6,7 % ($t_{\text{факт}} = 3,44$) и 18 – на 16,1 % ($t_{\text{факт}} = 7,64$). Самые узкие волокна в 3 кольце: они достоверно меньше на 16,6 % волокон 5 кольца ($t_{\text{факт}} = 9,05$), на 6,2 % – 8 ($t_{\text{факт}} = 2,93$), на 8,7 % – 10 ($t_{\text{факт}} = 4,34$), на 11,0 % – 15 ($t_{\text{факт}} = 5,54$), но несущественно различаются по ширине с волокнами 12 ($t_{\text{факт}} = 0,46$) и 18 ($t_{\text{факт}} = 1,50$) колец. Установлено значимое превышение ширины волокон 8 кольца над 12 – на 5,5 % ($t_{\text{факт}} = 2,51$) и 15 – на 5,1 % ($t_{\text{факт}} = 2,54$).

Средние размеры волокон либриформа

Место расположения и параметры волокна		$M_x \pm m_{Mx}$	$\sigma_x \pm m_{\sigma x}$	Min	Max	C_x	p_x
						%	
Ранняя древесина	длина, мм	1,006 ± 0,0108	0,242 ± 0,0076	0,445	1,677	24,02	1,07
	ширина, мкм	22,735 ± 0,1781	3,925 ± 0,1261	14,098	37,100	17,26	0,77
Поздняя древесина	длина, мм	0,913 ± 0,0071	0,160 ± 0,0051	0,519	1,336	17,47	0,78
	ширина, мкм	21,169 ± 0,1632	3,658 ± 0,1187	13,356	34,132	17,27	0,77

Волокна 10 кольца существенно превзошли ширину волокон 12 – на 8,5 % ($t_{\text{факт}} = 3,93$), волокна 15 – на 11,2 % ширину волокон 12 кольца ($t_{\text{факт}} = 5,15$), волокна 18 уже 10 – на 5,7 % ($t_{\text{факт}} = 2,88$) и 15 – на 8,0 % ($t_{\text{факт}} = 4,11$). Не отмечено значимой разницы ширины волокон 8 кольца – с 10 ($t_{\text{факт}} = 1,33$) и 18 ($t_{\text{факт}} = 1,48$), 15 – с 10 ($t_{\text{факт}} = 1,26$), 12 – с 18 ($t_{\text{факт}} = 1,05$).

Вариабельность (C_x) ширины волокон поздней древесины – средняя, изменяется по радиусу ствола в пределах 14,00...17,21 %. Наиболее изменчива ширина волокон 3 кольца, наименее – 5.

Различие длины волокон ранней и поздней древесины существенно ($P = 99,9\%$) в 3 кольце ($t_{\text{факт}} = 11,41$), 5 ($t_{\text{факт}} = 4,94$), 8 ($t_{\text{факт}} = 7,53$), 10 ($t_{\text{факт}} = 7,26$), 12 ($t_{\text{факт}} = 10,72$), 18 ($t_{\text{факт}} = 12,10$), 15 ($t_{\text{факт}} = 2,12$, $P = 95\%$); ширины волокон – недостоверно для 5 ($t_{\text{факт}} = 0,05$) и значимо ($P = 99,9\%$) для 3 ($t_{\text{факт}} = 4,9$), 8 ($t_{\text{факт}} = 4,02$), 10 ($t_{\text{факт}} = 4,45$), 12 ($t_{\text{факт}} = 6,80$), 15 ($t_{\text{факт}} = 4,01$) и 18 ($t_{\text{факт}} = 6,77$) колец.

С точностью $P = 99,9\%$ следует отметить (табл. 5), что волокна либриформа ранней древесины в условиях интродукции

несколько длиннее ($t_{\text{факт}} = 7,20$) и шире ($t_{\text{факт}} = 6,48$) поздней. При этом изменчивость (C_x) указанных признаков соответствует среднему и высокому уровням.

Таким образом, длина волокон либриформа ранней и поздней древесины уменьшается от коры к сердцевине, максимальная в 3 годичном кольце, минимальная – в 18. Нет четкой закономерности изменения ширины волокон по радиусу ствола. Вариабельность размеров волокон либриформа – средняя и высокая. Превышена длина (на 10 %) и ширина (на 7 %) волокон ранней древесины над поздней.

Библиографический список

1. Уголев, Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения / Б.Н. Уголев. – М.: МГУЛ, 2001. – 340 с.
2. Зайцев, Г.Н. Методика биометрических расчетов. Математическая статистика в экспериментальной ботанике / Г.Н. Зайцев. – М.: Наука, 1973. – 256 с.
3. Лакин, Г.Ф. Биометрия / Г.Ф. Лакин. – М.: Высшая школа, 1990. – 352 с.
4. Свиридова, Т.А. Изменчивость длины и ширины волокон либриформа древесины березы повислой и березы карельской / Т.А. Свиридова, Е.Н. Самошкин // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2008. – № 6. – С. 81–83.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СТАНКА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА

Р.В. ЗАЙЦЕВ, асп. МГТУ им. Н.Э.Баумана

romzes_xyz@mail.ru

Современное металлообрабатывающее оборудование представляет собой машины со сложными и функциональными свойствами. Как правило, это машины, находящиеся в сложном сообществе других машин, и отказ одной из них приводит к отказу сложной технической системы.

Отказы в технических системах имеют различные причины. Наиболее сложным случаем в эксплуатации является наступление предельного состояния, когда техническая система не может выполнять свои функции.

В настоящее время, для того чтобы «неожиданно» система не очутилась в предельном

состоянии, успешно развивается такое направление научно-практической деятельности, как оценка значения остаточного ресурса [1].

Значение величины времени эксплуатации до предельного состояния является гарантией того, что не наступит катастрофических последствий, в силу того что известен момент наступления предельного состояния.

Современные станочные системы – дорогостоящие устройства. При достижении предельного состояния возникает вопрос о дальнейшей судьбе этого устройства. Если открывается возможность восстановить его, прибегают к процедуре ремонта. В этом случае преследуется цель восстановления утраченной за время эксплуатации работоспособности путем ряда ремонтных мероприятий. Ремонт выполняют специалисты другого профиля, а не те, кто эксплуатирует данный станок. Возникает разрыв в оценке свойств металлообрабатывающего станка.

Предельное состояние обнаруживается во время эксплуатации. Это фиксируют специалисты, эксплуатирующие станки. Восстановление производят ремонтники. Перед ремонтом станка возникает задача количественной оценки степени и места повреждения. Для этого подходят известные методы и средства, используемые при проведении приемосдаточных испытаний для новых станков. Такая информация является исходной для процедуры ремонта. При проведении исследований состояния станка на основе методов приемосдаточных испытаний станок находится в статическом состоянии (оценка геометрической точности, жесткости, погрешности координатных перемещений формообразующих узлов и т.д.). Разрыв в оценке состояния станка (во время рабочего процесса и в статическом состоянии) является источником потери информации и влияет на качество ремонта.

Такое положение может быть исправлено, если процедуру по оценке количественного значения остаточного ресурса (ОР) строить с учетом того, что информация, полученная при оценке ОР, согласуется с процедурой ремонта. Исходным следует считать формирование выходных параметров станка, определяющих его параметрическую работоспособность [2].

Данный набор для токарного станка является определяющим в характеристике состояния станка. Это параметры типовой детали (вал), такие как отклонения формы в поперечном сечении, отклонение формы в продольном сечении. В первом случае это овальность/огранка. Во втором – это конусообразность, бочкообразность/седлообразность. Каждый из этих параметров формируется специальным устройством в станочной системе.

Параметры поперечного сечения зависят от состояния шпиндельной группы и в наибольшей степени от шпиндельных опор. Параметры цилиндричности, такие как бочкообразность, зависят от суппортной группы, а конусообразность – от несущей системы станка, его станины.

Каждая из этих сборочных единиц, участвуя в формообразовании получаемых деталей, формирует точность поверхностей. В процессе ремонта каждый из этих механизмов требует своих приемов, которые зависят от степени повреждения. Такая ситуация требует от процедуры оценки остаточного ресурса анализа именно этих параметров во время эксплуатации, по которым оценивают предельное состояние. По мере эксплуатации станочного оборудования система начинает проявлять несоответствие требованиям нормативных документов. Параметры точности получаемых деталей приближаются к предельным значениям, вибрационный фон и шероховатость обработанных поверхностей ухудшаются и т.д.

Оценивают техническое состояние конструкции. Данную операцию производят путем обработки заготовки типовой детали (конфигурация, размеры, материал заготовки оговариваются в паспорте станка). После обработки контрольных образцов деталей производят измерение основных параметров обработанных поверхностей. Полученные данные сравнивают с техническими требованиями на допустимые изменения согласно с паспортными данными на данный станок. По степени близости полученных данных измерений с допустимыми значениями формируют вывод о состоянии станка.

Если принимается решение о ремонте, возникает задача декомпозиции полученных данных на составные части и установления

количественного значения степени влияния каждого из параметров на общую величину предельного состояния. По составу элементарных составляющих вопрос ясен. Это шпиндель, суппорт, несущая система. По степени их влияния в количественном выражении вопрос остается открытым.

Следуя логике системы приемо-сдаточных испытаний, оценку состояния следует проводить в статике, исследуя раздельно свойства с их количественной оценкой. Однако рабочий процесс порождает различные процессы, протекающие в едином пространстве конструкции и в одно и то же время. Это обстоятельство приводит к тому, что они оказывают влияние друг на друга и соответственно изменяют свои и сопряженные параметры. Известно, что жесткость несущей системы станка изменяется от изнашивания [3]. Жесткость изменяется от действия тепла [4, 5]. Количество тепла, образующегося в конструкции, увеличивается по мере изнашивания и т.д.

С учетом методики приемо-сдаточных испытаний и существующих данных о повреждении конструкции во время рабочего процесса была составлена программа обработки данных, полученных с контрольных деталей. В отличие от приемо-сдаточных испытаний, для того чтобы учесть действия термических явлений, обрабатывали не одну, а несколько заготовок в продолжение смены.

Полученные детали (рис. 1) в процессе эксперимента подвергаются измерениям в пяти сечениях по длине. В этих же сечениях измеряют диаметр в двух взаимно перпендикулярных сечениях. В первом случае это информация об отклонении формы вдоль оси, а во втором – это информация об овальности в поперечном сечении.

В данном случае погрешность в виде овальности однозначно говорит о состоянии шпиндельных опор. Ремонт этих механизмов будет состоять либо в регулировке, либо в замене подшипников.

Более сложная задача – расшифровка погрешности вдоль оси, так как она зависит от изменения положения оси шпинделя от двух составляющих. За время чистового прохода изменяется значение момента в горизонтальной плоскости.

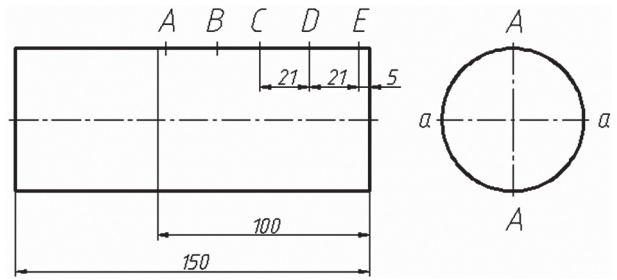


Рис. 1. Конфигурация контрольной детали

Сила резания может оставаться постоянной, но плечо ее действия изменяется вслед за положением резца при движении вдоль оси. Вторым фактором, действующим в течение смены, это действие тепла на изменение положения оси.

Следующая группа причин связана с изменением положения инструмента. Поскольку есть возможность исключить либо учесть действие износа, этот фактор исключаем из рассмотрения.

Положение вершины резца меняется из-за износа направляющих, изменения жесткости сопряжения направляющие–суппорт, тепловых изменений несущей системы относительно оси шпинделя. Во время экспериментальной оценки состояния для исключения погрешности установки заготовки в патрон осуществляют черновой проход. Этим исключают угловую погрешность установки. Значение диаметра в первом сечении обнуляют, тем самым исключают влияние погрешности установки инструмента перед чистовым проходом.

Исходными данными являются значение отклонения формы вдоль оси, определенные как половина погрешности в каждом сечении. Программа аппроксимирует эти данные некоторой кривой методом наименьших квадратов. На графике по оси абсцисс отложено расстояние вдоль оси, а по оси ординат – погрешность диаметра в разных сечениях (рис. 2).

В конце рабочего хода, когда момент от силы резания приближается к нулю, положение кривой, аппроксимирующей экспериментальные данные, характеризует положение оси шпинделя, и касательная к аппроксимирующей кривой в начале координат определяет положение оси шпинделя в момент окончания резания (рис. 3).

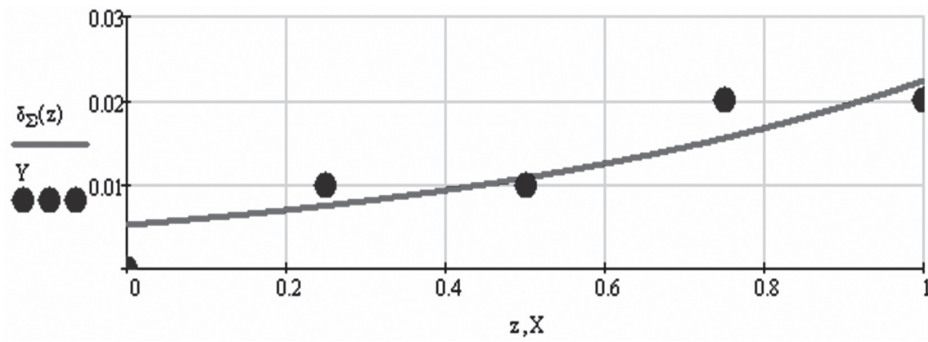


Рис. 2. Аппроксимация экспериментальных данных

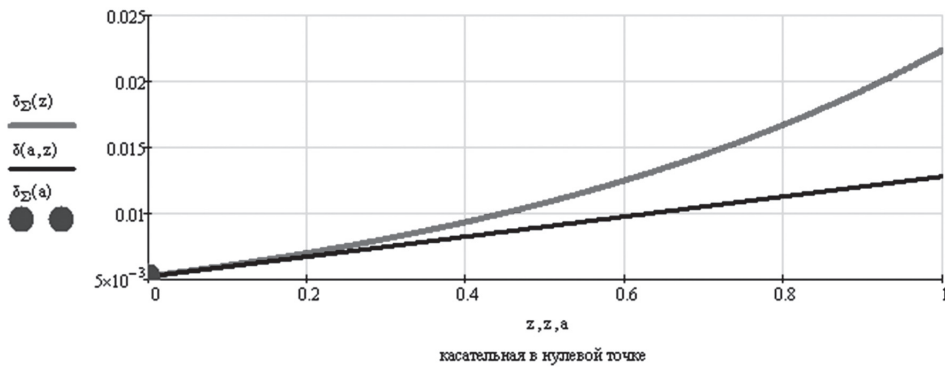


Рис. 3. Положение оси шпинделя относительно направляющих

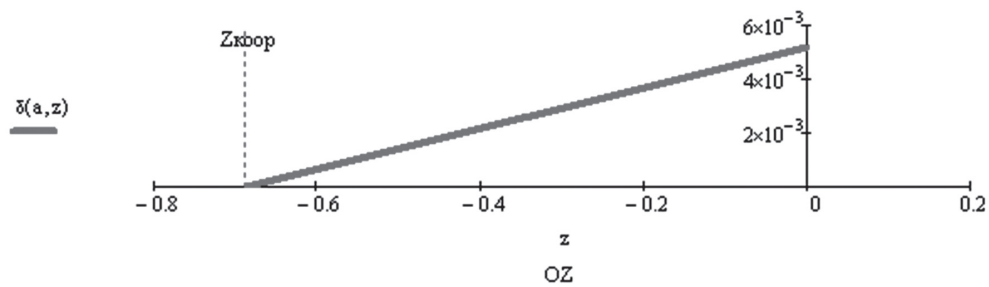


Рис. 4. Точка встречи касательной с осью

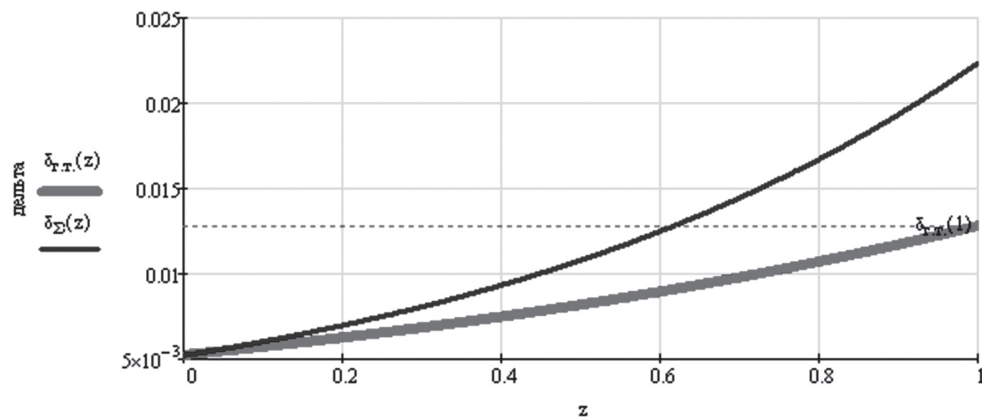


Рис. 5. Отклонение формы в продольном направлении

Величина погрешности в момент $Z=0$ характеризует радиальную жесткость шпинделя. Зная силу резания в данный момент, можно оценить в количественном выражении искомую жесткость.

Изменение положения касательной за время смены показывает изменение положения оси шпинделя от тепла. А изменение радиальной жесткости шпинделя говорит о поведении опор под действием тепла.

Т а б л и ц а 1

**Изменение радиальной жесткости
в течение смены**

t мин	0	20	50	110	170
j н/мкм	5500	2100	2200	2700	2700

Т а б л и ц а 2

**Изменение отклонения формы вдоль
оси из-за отжатия шпинделя
в горизонтальной плоскости**

t мин	Z мм	0	20	40	80	100
0	Δ мкм	0	7	8	6	0
170		0	5	10	12	0

Т а б л и ц а 3

**Изменение положение оси шпинделя
за время смены**

t мин	0	20	50	110	170
Δ мкм	16	17	12	10	5

Δ – оценивают на 100 мм от фланца шпинделя

Т а б л и ц а 4

**Влияние износа направляющих
на образование отклонения формы**

Z мм	0	20	40	80	100
Δ мкм	0	2	3	3	0

Аппроксимируя ординаты $Z = 0$ и $Z = 100$ мм прямой линией, получают значение конусообразности, которая представляет собой положение оси шпинделя относительно направляющих (рис. 4).

Отклонение от этой прямой представляет собой седлообразность, которая состоит из отклонения, образованного износом направляющих, и отжатия шпинделя из-за изменения изгибающего момента во время чистового прохода.

Для того, чтобы найти величину седлообразности вследствие действия износа направляющих, используем знание формы суммарной поверхности и определим параметры этой кривой для ординат $Z = 0$ и $Z = 100$ при положении оси шпинделя в момент окончания обработки, что, по сути, есть геометрическая точность положения оси относительно направляющих. Прогиб этой кривой характеризует влияние износа направляющих на образование отклонения формы.

Разница этого прогиба относительно суммарного значения погрешности составляет влияние жесткости шпинделя (рис. 5).

Оценка исследуемых параметров производится в течение смены. Станок работает на холостом ходу, но периодически производят обработку заготовок (4 или 6 штук) в зависимости от модели станка и его состояния. Чистое время работы составляет 2,8 часа=170 мм.

Для исследуемого станка были получены следующие значения основных показателей.

Полученные результаты анализа предельного состояния станка говорят о плачевном состоянии шпиндельной группы как по механическим показателям, так и по тепловым.

Выводы

1. Анализ причин и количественного значения их влияния на формирование предельного состояния предлагаемым методом не исключает, а дополняет использование методов приемо-сдаточных испытаний.

2. Оценка остаточного ресурса с учетом последующего использования этой информации при ремонте удлиняет процедуру оценки, но увеличивает достоверность оценки состояния перед ремонтом.

3. Для того чтобы использовать данный подход к оценке остаточного ресурса и иметь сравнимые данные о состоянии станка, необходим общественный договор по режимам проведения оценки.

Библиографический список

1. Болотин, В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций / В.В. Болотин. – М.: Машиностроение, 1984. – 312 с.
2. Зайцев, Р.В. Структура показателей работоспособности металлообрабатывающего станка для оценки остаточного ресурса / Р.В. Зайцев // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2009. – № 1. – С. 67–72.
3. Левина, З.М. Контактная жесткость машин / З.М. Левина, Д.Н. Решетов. – М.: Машиностроение, 1971. – 264 с.
4. Енджеевски, Е. Влияние тепловых изменений зазора в подшипниках качения на жесткость шпиндельных узлов / Е. Енджеевски, В. Квасны // Станки и инструменты. – 1977. – № 4. – С. 10–12.
5. Дмитриев, Б.М. Изменение жесткости станка от действия тепловых возмущений / Б.М. Дмитриев, О.Г. Королев // Известия вузов. Машиностроение. – 1994. – № 10–12. – С. 112–116.

Суханов В.С. РОЛЬ БИОЭНЕРГЕТИКИ В ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ.

Изложены результаты многолетних исследований, выполненных автором в ФГУП «Государственный научный центр лесопромышленного комплекса» в области оценки влияния энергетического использования некачественной древесины и отходов на повышение эффективности всех подотраслей ЛПК.

Приведены данные об объеме ресурса древесной биомассы, пригодной для производства энергии в России, а также данные о долях, различных по источнику образования видов ресурса. Представлены данные о распределении ресурса по территории России. Анкетированием большинства крупных и средних предприятий ЛПК получены данные о современном состоянии энергетического хозяйства. Обобщены важные сведения о числе лесозаготовительных предприятий и их годовой производительности. Показано, что без серьезной реструктуризации лесозаготовительной подотрасли ЛПК ускоренное развитие глубокой переработки древесины невозможно. Сформулированы основные меры, призванные устранить препятствия для развития лесной биоэнергетики и лесного сектора экономики в целом.

Ключевые слова: биоэнергетика, лесопромышленный комплекс, комплексное предприятие.

Sukhanov V.S. THE BIO-ENERGETICS ROLE IN INCREASE OF EFFICIENCY OF THE TIMBER INDUSTRY COMPLEX.

Results of the long-term researches executed by the author in «The State centre of science of a timber industry complex» in the field of an estimation of influence of power use of poor-quality wood and a waste on efficiency increase of a timber industry complex are stated.

Data about volume of a resource of a wood biomass, suitable for energy production in Russia, and also data about shares various on a source of formation of kinds of a resource are cited. Data about resource distribution on territory of Russia are presented. Questioning of the majority of large and average wood enterprises obtains data about a modern condition of there power plant. The important data on number of harvesting enterprises and their annual production rate are generalized. These data convincingly testify to necessity of serious re-structuring of forest industry. It is shown, that without such re-structuring the accelerated development of deep processing of wood not probably. The basic measures called to eliminate an obstacle for development of wood bio-energetics and wood sector of economy as a whole are formulated.

Key words: bio-energetics, timber industry complex, complex enterprise.

Герасимов Ю., Карьялайнен Т. РЕСУРСЫ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ.

Судя по объемам лесозаготовок в 2006 г., на лесосеках и нижних складах северо-запада России образуется порядка 22 плотных млн м³ древесного топлива, включающего низкотоварную и неликвидную древесину (65 %), неиспользованные для укрепления волоков порубочные остатки (8 %), механически поврежденную во время лесозаготовок древесину (8 %) и еловые пни (19 %). Кроме того, более 9 млн м³ древесного топлива образуется при глубокой переработке древесины в виде отходов лесопиления и лущения шпона. В сумме это дает около 31 млн плотных м³ (62 TWh) древесного топлива, что соответствует 6 % от всей энергопотребности северо-запада России. Часть этого ресурса, а именно дрова на нижних складах и отходы на лесопильных и фанерных производствах, используется как в энергетических, так и технологических целях.

Ключевые слова: низкотоварная и неликвидная древесина, порубочные остатки, лесоснабжение.

Gerasimov Yu, Karjalainen T. ENERGY WOOD RESOURCES IN NORTHWEST RUSSIA.

The energy wood procurement possibilities for the eight regions making up Northwest Russia were assessed. Wood byproducts from wood harvesting and sawmilling were considered for energy production based on actual harvesting, sawmill and plywood production figures for 2006. Of the total calculated potential of 31 million solid m³ (62 TWh), nearly 70 % (21.8 million m³) is from harvesting. The remainder (9 million m³) is from saw and plywood milling. The approximate available energy wood by region would be: 2.3 million m³ from the Republic of Karelia, 2.7 million m³ from the Republic of Komi, 5.4 million m³ from Arkhangelsk, 4.6 million m³ from Vologda, 3.8 million m³ from Leningrad, 2.0 million m³ from Novgorod, 0.8 million m³ from Pskov, and 41,000 m³ from the Murmansk regions. There are large differences in the potentials between and within the regions. This is due to the differences in their forest resources; differences in their utilisation of these resources; the available infrastructures; some limitations on wood harvesting. A part of this calculated potential is already utilised, since some non-industrial roundwood from central processing yards sawmills and plywood mills are currently used in energy production.

Key words: non – industrial round wood, logging residues, delivery wood.

Карьялайнен Т., Лейнонен А., Линнонен Л. МИРОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ ЛЕСА, СЕРТИФИКАЦИЯ ЗАПАСОВ И РЫНОК ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ.

В результате международных соглашений, направленных на сокращение выбросов парниковых газов, и попыток снизить зависимость от невозобновляемых энергетических ресурсов значительно возросла роль биоэнергии в качестве возобновляемого энергетического ресурса. Древесная энергия, в том числе лесное биотопливо – хорошая перспектива перехода к новым технологиям на новых и развивающихся рынках для финских поставщиков оборудования и систем. В статье анализируется доступность лесной биомассы для производства энергии, устойчивость производства биоэнергии и вопросы сертификации. Исследуется образование новых рынков и коммерческих возможностей для финских биоэнергетических технологий и дана оценка быстрорастущих рынков Южной и Северной Америки и северо-западной части России. Ожидается, что собранная информация и анализ энергетического сектора, потенциала древесной энергии и инфраструктуры исследованных регионов поможет финским поставщикам технологий быть конкурентоспособными.

Ключевые слова: лесная биомасса, критерий устойчивости, предприятие по переработке биомассы.

Karjalainen T., Leinonen A., Linnanen L. GLOBAL FOREST ENERGY RESOURCES, CERTIFICATION OF SUPPLY AND MARKETS FOR ENERGY TECHNOLOGY.

The role of bioenergy as one of the renewable energy sources has increased substantially due to international agreements to mitigate greenhouse gas emissions, and attempts to reduce dependence on non-renewable energy sources. Wood-based energy, including forest biomass fuels, are opportunities for Finnish suppliers of machines, equipment and systems in technology transfer for new and developing markets. This requires region specific knowledge about conditions and markets. Availability of forest biomass to energy production, sustainability of bioenergy production and certification situation has been analysed in this project which also aimed at finding new markets and business opportunities for the Finnish bioenergy technology and expertise in rapidly growing markets in South and North America, and Northwest Russia. Gathered information and analysis about energy sector, forest energy potentials and infrastructures from the target regions are hoped to help Finnish technology suppliers to succeed in the competition.

Key words: forest biomass, sustainability criteria, biomass plant.

Левин А.Б. ТОПЛИВНЫЙ РЕСУРС ЛЕСНОЙ БИОЭНЕРГЕТИКИ РФ.

Предложены определения для трех видов потенциальных ресурсов древесной биомассы для производства энергии – располагаемого, действительного и экономически доступного. Приведена методика их определения. Определен объем каждого из видов ресурсов лесов России для 2007 и 2012 г.г.

Ключевые слова: биоэнергетика, ресурс древесного топлива.

Levin A.B. THE FUEL RESOURCE OF WOOD BIO-ENERGETICS OF THE RUSSIAN FEDERATION.

Definitions for three kinds of potential resources of a wood biomass for energy manufacture – disposable, actual and economically affordable are offered. The technique of their definition is resulted. The volume of each of kinds of resources of forests of Russia for 2007 and 2012 of is defined.

Key words: bioenergetics, a resource of wood fuel.

Левин А.Б., Суханов В.С., Шереметьев Д.В. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ТОПЛИВНОГО РЕСУРСА ЛЕСНОЙ БИОЭНЕРГЕТИКИ РФ.

Определен энергетический потенциал ресурса древесного топлива в России, который составил для 2007 г. 507 ПДж, или 17,4 млн т у.т. Возможный экономический эффект от полного использования этого ресурса может составить 80 млрд руб. в год.

Ключевые слова: биоэнергетика, ресурс древесного топлива, энергетический потенциал древесного топлива

Levin A.B., Sukhanov V.S., Sheremetev D.V. THE ENERGY POTENTIAL OF THE FUEL RESOURCE OF WOOD BIO-ENERGETICS OF THE RUSSIAN FEDERATION.

The energy potential of a wood fuel in Russia which has made 507 ПДж or 12.8 million t o.e. is defined for 2007. Possible economic benefit of full use of the resource can make 80 billion ruble a year.

Key words: bioenergetics, a resource of wood fuel, an energy potential of wood fuel

Семенов Ю.П. ПОДГОТОВКА МАГИСТРОВ ПО НАПРАВЛЕНИЮ ТЕХНОЛОГИИ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ И ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ.

Рассмотрены основные положения программы постановки курса по биоэнергетическому использованию древесины в учебном процессе подготовки магистров по технологии деревообработки.

Ключевые слова: биоэнергетическое использование древесины, высшее образование, подготовка магистров, деревообработка.

Semenov Y.P. FOREST BIOENERGY TRAINING OF WOOD TECHNOLOGY MASTERS.

Substantive provisions of the program of the organization of a topic on wood bioenergy for training wood technology masters are considered.

Key words: wood, bioenergy, training masters, higher education, woodworking.

Холодков В.С. РАЗРАБОТКА ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА РЕГИОНОВ С УЧЕТОМ РЕСУРСОВ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА.

Развитие возобновляемой энергетики в России обсуждалось в течение последнего времени на самом высоком правительственном уровне. Возобновляемая энергетика – важная составляющая политики в области энергообеспечения всех федеральных округов. Устойчивое энергоснабжение необходимо для решения многих социальных проблем.

Качественная методология оценки количества фактических древесных топливных ресурсов и их экономической доступности – основа для составления баланса топлива и энергии регионов на долгосрочную перспективу.

Ключевые слова: древесное топливо, оценка ресурсов древесного топлива.

Kholodkov V.S. DEVELOPMENT OF A FUEL-AND-ENERGY BALANCE FOR REGIONS TAKING INTO ACCOUNT WOOD FUEL RESOURCES.

The development of renewable energy use has been debated for quite a long time by highest officials in Russia, and the common trends of a policy in the energy area for all federal districts are raising energy efficiency, fulfillment of active energy saving policies, as well as solution of social problems. The qualitative methodology for estimating the amount of actual wood fuel resources and economic availability of wood fuel are a base for development of a fuel-and-energy balance (FEB) of regions for long-term outlook.

Key words: wood fuel, estimating of wood fuel resources

Алексеева Л.В. ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА ОТХОДОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЛЕСОПИЛЕНИЯ.

Приведены результаты изучения формирования отходов, образующихся в производстве сырых пиломатериалов

Ключевые слова: производство сырых пиломатериалов, состав отходов лесопиления.

Alekseeva L.V. RESEARCH OF STRUCTURE OF THE WASTE OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF SAWING UP OF WOOD.

The results of study of the waste formation generated in the production of raw sawn timber.

Key words: manufacture of crude saw-timbers, structure of a waste of sawing up of wood.

Алексеева Л.В., Деснев А.Н. ОБРАЗОВАНИЕ И ОЦЕНКА ОБЪЕМОВ ОТХОДОВ В ЛЕСОПИЛЕНИИ.

Приведены результаты исследований объемов отходов лесопиления

Ключевые слова: объем древесных отходов, способы ориентации бревен.

Alekseeva L.V., Desnev A.N. FORMATION AND THE ESTIMATION OF VOLUMES OF THE WASTE IN WOOD SAWING UP.

The results of researches of the volumes of sawmilling waste.

Key words: volume of a wood waste, ways of orientation of logs.

Ракитова О.С. БИОТОПЛИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ РОССИИ И ЕЕ ВОЗМОЖНОСТИ НА МИРОВОМ РЫНКЕ БИОТОПЛИВА.

Россия обладает крупнейшими в мире возобновляемыми запасами биомассы, пригодной для использования в энергетических целях. В лесном секторе общая масса отходов при сегодняшнем уровне развития ЛПК оценивается на уровне 20–30 млн т в год. Значительная часть этих ресурсов может быть с успехом использована для выработки энергии и производства топлива, в том числе для поставки на экспорт.

Наиболее технологичный вид твердого топлива, изготавливаемого из биомассы – топливные гранулы (пеллеты) и топливные брикеты. В странах Европы растет спрос на альтернативные виды энергии, в частности на биотопливо. К 2020 г. в Европейском Союзе уровень использования возобновляемых источников энергии, в частности биомассы, должен достигнуть 20 % и впоследствии увеличиться до 25 %. На транспорте доля использования биотоплива должна быть равна 10 % к 2020 г.

Ключевые слова: биомасса, возобновляемый, энергия, биотопливо.

Rakitova O.S. BIOFUEL POTENTIAL OF RUSSIA AND ITS POSSIBILITY IN THE BIOFUEL WORLD MARKET.

Russia possesses the world's largest renewed stocks of a biomass, suitable for use in the power purposes. Total volume in of wood waste at today's level of development forest industry is estimated at a level 20–30 million tons a year. The significant part of these resources can be used with success for energy production and manufacture of fuel, including – for delivery to export.

The most technological kind of the firm fuel made of a biomass – fuel granules (pellets) and fuel briquettes. Demand for alternative kinds of energy grows in the countries of the Europe, in particular, on biofuel. By 2020 in the European Union the level of use of renewed energy sources, in particular biomass, should achieve 20 % and in a consequence to increase up to 25 %. On transport the share of use of biofuel should be equal 10 % by 2020.

Key words: biomass renewed, energy, biofuel.

Любов В.К., Горюнов В.В. КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ЦИКЛЕ ЛЕСОПИЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ.

Рассмотрены основные результаты энергетического обследования основного оборудования мини-ТЭЦ и цеха по производству древесных гранул, определена эффективность их работы. Разработаны мероприятия для дальнейшего комплексного повышения надежности и экономичности работы оборудования мини-ТЭЦ и цеха по производству древесных гранул.

Ключевые слова: котлоагрегат, топочная камера, древесные отходы, древесные гранулы, пресс-гранулятор, барабанная сушилка, потери теплоты.

Lyubov V.K., Goryunov V.V. COMPREHENSIVE UTILIZATION OF ARBOREAL STAPLE IN THE TECHNOLOGICAL CYCLE OF SAWING INDUSTRY.

The basic results, which was obtained by execution energy investigation of mini heat station and production plant of woodpellets are discussed, efficiency them operation are evaluated. Ways of increase of economic and ecological parameters of working equipment of mini heat station and equipment generating woodpellets are offered.

Key words: industrial boiler, combustion chamber, wood waste, woodpellets, press granulator, drum dryer, loss of the het.

Яковлев Ю.В. УНИВЕРСАЛЬНАЯ ТОПКА ДЛЯ СЖИГАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОТХОДОВ ДЕРЕВООБРАБОТКИ.

Рассмотрены основные принципы создания универсальной топки для сжигания различных видов производственных отходов деревообрабатывающих производств.

Ключевые слова: отходы деревообработки, сжигание, топка.

Yakovlev Y.V. THE UNIVERSAL FURNACE FOR BURNING OF WASTE WOOD.

Main principles of designing universal furnace for burning various kinds of industrial waste of woodworking factory are considered.

Key words: waste wood, burning, furnace.

Трушаков Р.В. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НА ТОПЛИВОПОТРЕБЛЕНИЕ В РЕГИОНЕ ПЕРЕХОДА ОТ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ К АВТОНОМНОМУ.

В статье анализируются целесообразность перехода от централизованного энергоснабжения к децентрализованному с энергетической точки зрения. Приводится краткое описание математической модели по определению топливопотребления в регионе. Приводится также внешний вид разработанного программного продукта. Приведены результаты расчета энерго-

обеспечения промышленного предприятия централизованным способом, посредством ТЭЦ и КЭС и районной котельной, при отказе от централизованного теплоснабжения.

Ключевые слова: энергоснабжение, математическая модель, программный продукт.

Trushakov R.V. EFFECT OF CHANGE FROM DISTRICT ENERGY SUPPLYING TO AUTONOMOUS POWER SUPPLY.

There is the utility of change from district energy supplying to distributed one with power viewpoint to be scanned. There is summary of mathematical model of fuel consumption in a region to be given. The calculation results of industrial enterprise power supplying by means of distributed one including heat stations, condensing plants and district generating stations after district energy supplying refusing are also given.

Key words: energy supplying, mathematical model, software product.

Щербаков Е.Н., Карпачев С.П., Комяков А.Н., Слинченков А.Н. ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ БИОЭНЕРГЕТИКИ НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ В РОССИИ.

Обоснованы факторы устойчивого развития лесных регионов и роль в этом биоэнергетики на основе местных древесных ресурсов.

Показано, что на основе древесных ресурсов из леса, таких как лесосечные отходы, можно развивать местную экологически чистую энергетику и что использование биотоплива в России может помочь решению проблем энергоснабжения малых городов и поселков, предприятий лесопромышленного комплекса.

Ключевые слова: устойчивое развитие, лесные ресурсы, лесосечные отходы.

Scherbakov E.N., Karpachev S.P., Komjakov A.N., Slinchenkov A.N. PROBLEMS OF DEVELOPMENT OF BIOENERGETICS ON THE BASIS OF WOOD RAW MATERIALS IN RUSSIA.

Factors of a sustainable development of wood regions and a role in it of bio-energetics on the basis of local wood resources are proved.

It is shown that on the basis of wood resources from wood, such as, forest slash waste, it is possible to develop local non-polluting power and that biofuel use can help with Russia to the decision of problems of power supply of small cities and settlements, the enterprises of a timber industry complex.

Key words: sustainable development, wood resources, forest slash waste.

Горохов Д.Г., Бабурина М.И., Иванкин А.Н., Прошина О.П. ЖИДКОЕ БИОТОПЛИВО ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО И ЖИВОТНОГО СЫРЬЯ. ТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ.

Проведен анализ мирового рынка биодизельной и биоэтанольной отрасли. Показана возможность переработки животных жиров различной степени окисленности в жидкое биотопливо. Рассмотрено влияние технологических параметров на глубину модификации животных жиров в моноалкиловые эфиры жирных кислот. Представлены основные физико-химические показатели полученных образцов биотоплива и результаты апробации на дизельном двигателе. Предложены основные принципы производства биодизеля из животных жиров и применения в дизельной технике.

Ключевые слова: биодизель, животные жиры, трансэтерификация, утилизация.

Gorohov D.G., Baburina M.I., Ivankin A.N., Proshina O.P. LIQUID BIOFUEL FROM VEGETATIVE AND ANIMAL RAW MATERIAL. TECHNICAL AND ECONOMIC ASPECTS.

The analysis of the world market biodiesel and bioethanol branches is lead. The opportunity of processing of animal fats of a various degree of oxidation in liquid biofuel is shown. Influence

of technological parameters on depth of updating of animal fats in monoalkyl ethers of fat acids is considered. The basic physical and chemical parameters of the received samples of biofuel and results of approbation on the diesel engine are presented. Main principles of manufacture of a biodiesel engine from animal fats and its applications in diesel equipment are offered.

Key words: a biodiesel engine, animal fats, transesterification, recycling.

Забелкин С.А., Тунцев Д.В., Грачев А.Н., Башкиров В.Н. ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖИДКИХ ПРОДУКТОВ БЫСТРОГО ПИРОЛИЗА ДРЕВЕСИНЫ.

Определены химический состав, показатели активности ионов водорода (рН), коэффициент кинематической вязкости, давление паров смеси в состоянии равновесия жидких продуктов быстрого пиролиза биомассы. Проведены исследования и разработана установка для энергетического использования пиролизной жидкости.

Ключевые слова: быстрый пиролиз, пиролизная жидкость.

Zabelkin S.A., Tuntsev D.V., Grachev A.N., Bashkirov V.N. ENERGY USE OF LIQUID PRODUCTS OF WOOD FAST PYROLYSIS.

Chemical compound, potential of hydrogen (pH), coefficient of kinematic viscosity, mixture vapour pressure at equilibrium condition of liquid products of wood fast pyrolysis have been identified. Researches of energy use of liquid products of fast pyrolysis have been carried out and experimental plant has been developed.

Key words: fast pyrolysis, pyrolysis liquid.

Зиатдинова Д.Ф. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ И ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ В ВИДЕ СПИРТОВ, ДРОЖЖЕЙ, ФУРФУРОЛА ИЗ НИЗКОКАЧЕСТВЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ.

Разработана технология получения целлюлозного волокна и побочных продуктов в виде спиртов, дрожжей и фурфурола из отходов деревообработки и низкокачественной древесины, заключающаяся в интенсивной термообработке с последующим сбросом давления. Основным отличием от традиционных технологий получения целлюлозы являются быстрота проведения процесса, малый расход химических реагентов (дополнительных катализаторов), полное отсутствие выбросов вредных веществ.

Ключевые слова: автогидролиз, целлюлоза, давление, сброс, температура, древесина, переработка, лигнин, моносахара, реактор, пар, растворитель.

Ziatdinova D.F. WORKING OUT OF THE «KNOW-HOW» OF CELLULOSE AND BY-PRODUCTS IN THE FORM OF SPIRITS, YEAST, ФУРФУРОЛА FROM BAD QUALITY WOOD.

The technology of reception of a cellulose fibre and by-products in the form of spirits, yeast and furfural from a waste treeprocessing and the bad quality wood, consisting in intensive heat treatment with the subsequent dump of pressure is developed. The basic difference from traditional technologies of reception of cellulose is: speed of carrying out of process, the small expense of chemical reagents (additional catalyts), a total absence of emissions of harmful substances.

Key words: autohydrolysis, cellulose, pressure, dump, temperature, wood, perera-botka, лигнин, monosugar, the reactor, steam, solvent.

Сафин Р.Р., Воронин А.Е., Зиатдинова Д.Ф. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСНОЙ ЗЕЛЕНИ ХВОЙНЫХ ПОРОД.

Разработана экспериментальная установка для переработки древесной зелени, основанная на обработке водяным паром с получением эфирного масла. Проведены исследования

зависимости между температурой проведения процесса переработки и количеством получаемого эфирного масла. Определена динамика извлечения эфирных масел по времени. Определена динамика прогрева древесной зелени. Проведен сравнительный анализ состава эфирного масла путем тонкослойной хроматографии.

Ключевые слова: древесная зелень, переработка, эфирное масло, водяной пар.

Safin R.R., Voronin, A.E. Ziatdinova D.F. EXPERIMENTAL RESEARCHES OF GREEN SOFTWOOD PROCESSING

The experimental processor is designed; it is used for processing green softwood with vapour and results aspic oil. Dependence researches between temperature of carrying out of processing and quantity of a received product are conducted. Dynamics of extraction of aspic oil on time is defined. Dynamics of warming up of green softwood is defined. The comparative analysis of structure of aspic oil by thinlayer chromatography is carried out.

Key words: wood greens, processing, aspic oil, water steam.

Хасаншин Р.Р., Разумов Е.Ю., Сафин Р.Р. ИЗМЕНЕНИЕ НАНОСТРУКТУРЫ ДРЕВЕСНЫХ ЧАСТИЦ В ПЛАЗМЕ ВЧ-РАЗРЯДА ПОНИЖЕННОГО ДАВЛЕНИЯ.

Приведены данные экспериментальных исследований влияния ВЧ плазменной обработки на структуру и свойства древесины. Установлено, что ВЧ плазменная обработка позволяет регулировать гигроскопичность и пористость за счет модификации внутренней микроструктуры древесины при проведении объемной обработки.

Ключевые слова: древесина, плазма, вакуум, нанотехнология.

Khasanshin R.R., Razumov E.U., Safin R.R. CHANGE NANOSTRUKTURU WOODS MATERIALS IN RF-plasma of the lowered pressure.

The article contains data of experimental researches of influence of RF-plasma processing on structure and properties of wood were chosen. It is established, that RF-plasma processing allowing of regulate hygroscopicity and porosity by modification its internal microstructure of woods during volume processing.

Key words: woods, plasma, vacuum, nanotechnology.

Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Разумов Е.Ю., Оладышкина Н.А. ТЕРМОМОДИФИЦИРОВАНИЕ ДРЕВЕСИНЫ В СРЕДЕ ТОПОЧНЫХ ГАЗОВ.

Проведены исследования по термомодифицированию древесных материалов в топочных газах, позволяющему получать продукцию, которая будет обладать повышенной устойчивостью к воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды и биоповреждениям, с высокой прочностью и повышенными декоративными свойствами. В технологическом процессе термомодификации используется тепловая энергия топочных газов, излишки которой применяются для сушки древесных материалов.

Ключевые слова: термомодифицирование, топочный газ, древесина, сушка.

Safin R.R., Khasanshin R.R., Razumov E.U., Oladyshkina N.A. STUDIES OF THE PROCESS OF WOOD TERMOMODIFITSIROVANIYA FURNACE gases.

The researches on thermo-modification of timber-based materials in furnace gases that allow to obtain products which will have increased resistance to adverse of environmental factors and biodeterioration, high strength and extra decorative properties were held there. In the technological process of thermo-modification the heat energy of furnace gases is used and it's surpluses are used for drying timber-based materials.

Key words: thermomodifying, termomodification, furnace gas, wood, drying.

Комяков А.Н., Шевелев И.Л. ПЛАВУЧЕСТЬ И ОСТОЙЧИВОСТЬ КОНТЕЙНЕРА ДЛЯ ВОДНОЙ ДОСТАВКИ ЛЕСНЫХ ГРУЗОВ.

Получены аналитические зависимости для расчета параметров плавучести и остойчивости большегрузного плавучего контейнера прямоугольной формы с сыпучим грузом неоднородной структуры.

Ключевые слова: плавучий контейнер, измельченная древесина, замороженный слой, остойчивость, плавучесть.

Komyakov A.N., Shevelev I.L. BUOYANCY AND STABILITY OF CONTAINER FOR WATER DELIVERY TIMBER CARGO.

Abstract: An analytical dependences for calculating the parameters of buoyancy and stability of heavy floating container of rectangular shape with the bulk inhomogeneous structure.

Key words: floating container, chopped wood, frozen layer, stability, buoyancy.

Комяков А.Н., Сорокин М.А. ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАВУЧИХ КОНТЕЙНЕРОВ И КОНТЕЙНЕРНЫХ СОСТАВОВ ДЛЯ ДОСТАВКИ ИЗМЕЛЬЧЕННЫХ ЛЕСНЫХ ГРУЗОВ.

В статье изложены результаты экспериментальных исследований гидродинамических характеристик плавучих контейнеров и контейнерных составов различных конструкций. А также одиночных мягких цилиндрических емкостей при продольном и поперечном перемещении в потоке.

Ключевые слова: плавучие контейнеры, контейнерные составы, сопротивление движению.

Komiakov A.N., Sorokin M.A. HYDRODYNAMIC CHARACTERISTICS OF FLOATING CONTAINERS AND CONTAINER STRUCTURES FOR DELIVERING SMALL PARTICLES FOREST CARGOS.

In article the results of experimental researches of hydrodynamic characteristics of floating containers and container structures of various designs are stated. And also the single soft cylindrical capacities at longitudinal and cross-section moving to a stream are stated.

Key words: floating containers, container structures, resisters of movement.

Комяков А.Н., Карпачев С.П. ПРИМЕНЕНИЕ БОЛЬШЕГРУЗНЫХ ПЛАВУЧИХ КОНТЕЙНЕРОВ ДЛЯ НУЖД ЛЕСНОЙ БИОЭНЕРГЕТИКИ.

Рассмотрена технология формирования большегрузных контейнеров для водного транспорта биомассы из леса.

Ключевые слова: большегрузные контейнеры, биоэнергетика.

Komyakov, A.N. Karpachev S.P. APPLICATION OF SUPERSIZE FLOATING CONTAINERS FOR NEEDS OF BIOENERGETICS.

The technology of formation of supersize containers for a sailing charter of a biomass from wood is considered.

Key words: supersize containers, bioenergetics.

Щербаков Е.Н., Карпачев С.П., Комяков А.Н. НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ОСВОЕНИЯ БИОРЕСУРСОВ ИЗ ЛЕСА ДЛЯ НУЖД БИОЭНЕРГЕТИКИ.

Рассмотрена технология производства топливной щепы на верхнем складе. Предложена схема транспорта топливной щепы в мягких контейнерах в смешанных сухопутно-водных перевозках. Рассмотрен узел переработки древесной массы на топливную щепу и загрузки ее в контейнеры. Разработана концептуальная модель узла работы рубительной машины с контейнерами и промежуточным бункером щепы, которая была реализована в виде компьютерной

программы на языке GPSS/W. Компьютерные эксперименты позволили установить зависимость производительности технологического узла от объема бункера.

Ключевые слова: топливная щепка, компьютерная программа на языке GPSS/W.

Scherbakov E.N., Karpachev S.P., Komjakov A.N. SOME QUESTIONS OF DEVELOPMENT OF FOREST BIORESOURCES FOR NEEDS OF BIOENERGETICS.

«The know-how» fuel chips in the top warehouse is considered. The scheme of transport fuel chips in soft containers in the mixed road-and-water is offered. The knot of processing of a wood pulp on fuel chips and its loadings in containers is considered. The conceptual model of knot of work chipper with containers and the intermediate bunker chips which has been realised in the form of the computer program in language GPSS/W is developed. Computer experiments have allowed to establish dependence of productivity of technological knot on bunker volume.

Key words: fuel chips, containers, computer program in language GPSS/W.

Ермоченков М.Г. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ТЕРМИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ.

Предложена математическая модель зависимости свойств термически модифицированной древесины от степени термической деструкции. Приведены математические соотношения, позволяющие прогнозировать цветовые и теплофизические параметры термически модифицированной древесины. Проведено сравнение соответствующих параметров, полученных расчетным и экспериментальным путем.

Ключевые слова: прогнозирование свойств, математическая модель, термическая модификация, теплофизические параметры, цветовые характеристики.

Ermochenkov M.G. FORECASTING OF PROPERTIES OF THERMALLY MODIFIED WOOD.

A mathematical model of the dependence of properties of thermally-stimulated been modified wood on the degree of thermal degradation. The mathematical relationships allow to predict the color and thermal parameters of thermally modified wood. A comparison of the relevant parameters of the calculated and experimental way.

Key words: prediction of properties, mathematical model, thermal modification, thermal parameters, the color characteristics.

Кувик Т.Е. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ПРОТЕКАЮЩИЕ В ДРЕВЕСИНЕ ПРИ ИНТЕНСИВНОМ НАГРЕВЕ.

Представлена математическая модель физико-химических процессов, протекающих в древесине при интенсивном нагреве, и даны кинетические параметры парообразования и термической деструкции древесины сосны и березы, входящие в модель.

Ключевые слова: физико-химические процессы, математическая модель, древесина.

Kuvik T.E. THE PHYSICAL-CHEMICAL PROCESSES IN WOOD AT INTENSIVE HEATING.

The mathematical model of the physical and chemical processes proceeding in wood at intensive heating and kinetic parameters of evaporation and thermal decomposition of a birch and a pine, entering in it is presented.

Key words: physical-chemical processes, mathematical model, wood.

Косарин А.А. ОСОБЕННОСТИ ИМПУЛЬСНОЙ СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ.

Рассмотрен механизм импульсной сушки пиломатериалов на примере одного цикла «работа–пауза». Экспериментальные исследования температурных и влажностных полей в

цикле полностью подтвердили результаты проведенного анализа. Рассмотрены особенности развития сушильных напряжений. Показано, что процесс импульсной сушки характеризуется относительно малыми остаточными сушильными напряжениями. Продолжительность импульсной сушки на 10...15 %, а расход электроэнергии на 50...75 % ниже, чем при традиционной конвективной сушке, при более высоком качестве высушенных пиломатериалов.

Ключевые слова: импульсная сушка, цикл «работа–пауза», сушильные напряжения, влажностные поля.

Kosarin A.A. THE SPECIAL FEATURES OF THE IMPULSE DRYING OF LUMBER.

The mechanism of the impulse drying of lumber is examined on an example of one cycle «work-pause». Experimental studies of temperature and humid pour in the cycle completely confirmed the results of the analysis. The special features of the development of drying stresses are examined. It is shown that the process of impulse drying is characterized by relatively small residual drying stresses. The duration of impulse drying is lower than the one of the traditional convective drying to 10...15 %, the consumption of electric power is lower to 50...75 %, while the quality of the dried lumber is higher.

Key words: impulse drying, cycle «work-pause», drying stresses, humid pour.

Скуратов Н.В. СНИЖЕНИЕ ПРОЧНОСТИ И ПОТЕМНЕНИЕ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ КАМЕРНОЙ СУШКЕ.

Исследована взаимосвязь между снижением прочности и потемнением древесины при низкотемпературной камерной сушке. Показано, что потемнение древесины при сушке можно прогнозировать по уменьшению ее остаточной прочности.

Ключевые слова: камерная сушка, потемнение древесины, остаточная прочность древесины.

Skuratov N.V. DECREASE OF STRENGTH AND DARKENING OF WOOD AT KILN DRYING.

The interrelation between reduction of strength and darkening of wood at low temperature kiln drying is investigated. It is shown that darkening of wood at drying can be predicted on reduction of its residual strength.

Key words: kiln drying, wood darkening, residual wood strength.

Комяков А.Н. ПРИБЛИЖЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О ДВИЖЕНИИ ГРАНИЦЫ ТАЯНИЯ ЛЬДА В НАМОРОЖЕННОМ СЛОЕ ПЛАВУЧЕГО КОНТЕЙНЕРА С ДРЕВЕСНОЙ ЩЕПОЙ.

В статье изложено приближенное решение задачи Стефана для вычисления скорости движения и положения границы таяния льда в замороженном слое измельченной древесины, который является конструктивным элементом большегрузного плавучего контейнера.

Ключевые слова: большегрузные плавучие контейнеры, замороженный слой измельченной древесины, задача Стефана, движение границы таяния, дисперсные системы «лед–щепа» и «вода–щепа», эффективные коэффициенты теплопроводности дисперсных систем, математическая модель движения границы таяния, приближенное решение.

Komjakov A.N. THE APPROACHED DECISION OF A PROBLEM ON MOVEMENT OF BORDER OF THAWING OF ICE IN FREEZED LAYER OF THE FLOATING CONTAINER WITH WOOD CHIPS.

In article the approached decision of a problem of Stefana for calculation of speed of movement and position of border of thawing of ice in freezed layer of the crushed wood which is a constructive element of the supersize floating container is stated.

Key words: supersize floating containers, freezed layer of the crushed wood, a problem of Stefana, movement of border of thawing, disperse systems «ice-shchepa» and «water-shchepa»,

effective factors of heat conductivity of disperse systems, mathematical model of movement of border of the thawing, the approached decision.

Комяков А.Н., Лукьянов А.А. О ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ ТИПА ЗАМОРОЖЕННОЙ ДРЕВЕСНОЙ ЩЕПЫ.

Дан анализа различных моделей дисперсных систем и зависимостей эффективного коэффициента теплопроводности дисперсной системы от ее пористости и коэффициентов теплопроводности ее компонентов применительно к системе «древесная щепа – лед».

Ключевые слова: модели дисперсных систем, эффективный коэффициент теплопроводности, полнодревесность.

Komyakov A.N., Lukianov A.A. ON THE THERMAL CONDUCTIVITY OF DISPERSED MATERIALS TYPE FROZEN WOOD CHIPS.

An analysis of various models of disperse systems and the dependence of the effective thermal conductivity of the dispersed system of its porosity and thermal conductivity of its components in relation to the «wood chips – the.

Key words: models of disperse systems, the effective coefficient of thermal conductivity.

Кольниченко Г.И., Сиротов А.В., Панферов В.И., Тарлаков Я.В. БИОМАССА И БИОТОПЛИВО В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ОТРАСЛЕЙ ЭКОНОМИКИ СТРАНЫ.

В статье рассмотрены предпосылки более масштабного энергетического использования биомассы и дано обоснование научно-исследовательских работ по изучению влияния свойств биотоплива на итоговые характеристики двигателей внутреннего сгорания, работающих в условиях лесного комплекса и других отраслей экономики страны.

Ключевые слова: биомасса, биотопливо, биотехнологии.

Kolnichenko G.I., Siroto A.V., Panferov V.I., Tarlakov Ya.V. THE BIOMASS AND BIOFUEL IN POWER MAINTENANCE OF BRANCHES OF THE NATIONAL ECONOMY.

In article preconditions of more scale power use of a biomass are considered and the substantiation of research works on studying of influence of properties of biofuel on total characteristics of the internal combustion engines working in the conditions of a wood complex and other branches of a national economy is given.

Key words: a biomass, biofuel, biotechnologies.

Торопов А.С., Меркелов В.М., Микрюкова Е.В. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМНОГО ВЫХОДА ПИЛОПРОДУКЦИИ ПРИ РАСКРОЕ КОМБИНИРОВАННОГО ПИЛОВОЧНИКА, ПОРАЖЕННОГО РАДИОНУКЛИДАМИ.

Предлагается математическое описание определения выхода пилопродукции из комбинированного пиловочника, пораженного радионуклидами, позволяющее аналитически определять геометрические параметры получаемой пилопродукции.

Ключевые слова: радионуклид, аллометрический метод, пилопродукция, комбинированный пиловочник.

Toropov A.S., Merkelov V.M., Mikryukova E.V. MATHEMATICAL MODEL OF THE DETERMINATION LEAVING THE BOARDS UNDER FISSION LUMBER, STRUCK RADIATION.

The mathematical description of the determination of the leaving the boards is Offered from lumber, struck radiation, allowing analytically define the geometric parameters of the got boards.

Key words: radiation, stocking up, boards, lumber.

Торопов А.С., Меркелов В.М., Микрюкова Е.В., Шакирова А.И. РАСКРОЙ КОМБИНИРОВАННОГО ПИЛОВОЧНИКА, ПОРАЖЕННОГО РАДИОНУКЛИДАМИ.

Приводятся результаты исследования раскроя комбинированного пиловочника, пораженного радионуклидами, на пилопродукцию по варианту, предложенному авторами, а также рассмотрены варианты оборудования по предложенному варианту раскроя.

Ключевые слова: радионуклид, пилопродукция, комбинированный пиловочник.

Toropov A.S., Merkelov V.M., Mikryukova E.V., Shakirova A.I. FISSION LUMBER, STRUCK RADIATION.

Happen to the results of the study reveal; open lumber, struck radiation, on boards on variant, offered author, as well as considered variants of the equipment on offered variant reveal; open.

Key words: radiation, boards, lumber.

Ерофеева А.А., Алашкевич Ю.Д., Барановский В.П. АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ СТРУИ СУСПЕНЗИИ ПРИ ТЕЧЕНИИ ЕЕ В РАБОЧИХ ОРГАНАХ РАЗМОЛЬНОЙ УСТАНОВКИ «СТРУЯ - ПРЕГРАДА».

В работе представлен анализ распределения скорости струи воды и небеленой целлюлозы концентрацией 0,5, 1 и 1,5% при течении их в рабочих органах размольной установки «струя-преграда».

Ключевые слова: динамическая вязкость, жидкость, волокнистая суспензия, размол, распределение скорости, ламинарный режим течения, турбулентный режим течения.

Erofeeva A.A., Alashkevich J.D., Baranovsky V.P. THE ANALYSIS OF DISTRIBUTION OF SPEED OF A STREAM OF SUSPENSION AT ITS CURRENT IN WORKING BODIES BEATING INSTALLATIONS «A STREAM - A BARRIER»

In work the analysis of distribution of speed of a stream of water and not bleached cellulose by concentration 0,5, 1 and 1,5 % is presented at their current in working bodies размольной installations «stream-barrier».

Key words: dynamic viscosity, liquid, fibrous suspension, beat, distribution of speed, a laminar mode of a current, a turbulent mode of a current.

Руденко Б.Д. ВЛИЯНИЕ СОСТАВА НА ФОРМИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ПЛИТ ИЗ КОРЫ И ВТОРИЧНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА.

По результатам проведенного исследования видно, что комплекс наилучших свойств составляет: прочность при изгибе – 41 МПа; плотность – 960 кг/м³; разбухание по толщине – 2 %; водопоглощение – 0,1 %; прочность на разрыв перпендикулярно пласти – 16 МПа. Для получения таких свойств содержание компонентов составляет: ПЭНД – 80 % по массе; кора – 20 % по массе. Разницы в свойствах практически не наблюдается при использовании коры лиственницы и коры сосны.

Ключевые слова: вторичный полиэтилен, прочность, плотность, разбухание, водопоглощение.

Rudenko B.D. INFLUENCE OF STRUCTURE ON FORMATION OF PROPERTIES OF PLATES FROM THE BARK AND SECONDARY POLYETHYLENE.

On result of the carried out research it is visible, that the complex of the best properties makes: Durability at a bend – 41 MPa; Density – 960 kg/m³; Swelling on a thickness – 2 %; Water absorption – 0,1 %; Breaking strength perpendicularly пласти – 16 MPa. For reception of such properties the maintenance of components makes: PE – 80 % on weight; the Bark – 20 % on weight. Differences in properties practically it is not observed at use of a bark of a larch and a pine bark.

Key words: secondary polyethylene, durability, density, swelling, water absorption.

Кузнецов Г.П., Рублева О.А. СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ШИПОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДЕРЕВЯННЫХ ДЕТАЛЕЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ.

Разработана методика системного подхода к проектированию шиповых соединений деревянных деталей и технологических процессов их прессования. Разработан комплекс методического обеспечения, необходимого для проектирования шиповых соединений деревянных деталей и технологических процессов их прессования.

Ключевые слова: шиповые соединения деревянных деталей, системный подход, проектирование шиповых соединений, проектирование технологических процессов.

Kuznetsov G.P., Rubleva O.A. THE SYSTEM APPROACH TO DESIGNING OF WOODEN DETAILS THORN CONNECTIONS AND TECHNOLOGICAL PROCESSES OF THEIR MANUFACTURING.

The technique of the system approach to designing of wooden details thorn connections and technological processes of their pressing is developed. The complex of the methodical maintenance necessary for designing of wooden details thorn connections and technological processes of their pressing is developed.

Key words: thorn connections of wooden details, the system approach, designing of thorn connections, designing of technological processes.

Рублева О.А., Кузнецов Г.П. КАЧЕСТВО ШИПОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ХОЛОДНЫМ ТОРЦОВЫМ ПРЕССОВАНИЕМ.

В статье приведена система показателей для оценки качества шипов. Разработаны методы измерения, оценки и анализа показателей качества. Получены модели для расчета показателей качества шипов.

Ключевые слова: шиповые соединения деревянных деталей, оценка качества шипов, проектирование шиповых соединений.

Rubleva O.A., Kuznetsov G.P. QUALITY OF THORNS MANUFACTURED BY COLD PRESSING ALONG THE WOOD FIBERS.

The article contains the system of factors for thorns quality rating. The methods of measuring, evaluation and analysis of quality factors are developed. Models for calculating the quality of thorns are obtained.

Key words: finger joints of wooden details, thorns quality rating, designing of finger joints.

Гелес И.С., Васильева Н.А., Коржова М.А. СОСТАВ ЖИРНЫХ КИСЛОТ «БЕЛВИТАМИЛА» КОНДОПОЖСКОГО ЦБК И ИЗБЫТОЧНОГО АКТИВНОГО ИЛА СЕГЕЖСКОГО ЦБК.

Определен жирнокислотный состав образцов избыточного активного ила Кондопожского ЦБК («Белвитамил») и Сеgezha ЦБК. Несмотря на различный состав сточных вод и условия очистки, общим для активного ила обоих предприятий является высокое содержание непредельных кислот с 18-ю углеродными атомами от массы диэтилового экстракта.

Ключевые слова: сточные воды, активный ил, экстрактивные вещества, жирные кислоты.

Geles I.S., Vasileva N.A., Korzhov M.A. FATTY ACID COMPOSITION OF «BELVITAMIL» FROM KONDOPOGA PPM AND EXCESS ACTIVATED SLUDGE FROM SEGEZHA PPM.

Fatty acid composition of activated sludge samples from Kondopoga pulp-&-paper mill («Belvitamil») and from Segezha pulp-&-paper mill was determined by GLC. It is shown that although the composition of waste waters and treatment conditions differ, activated sludge from both companies features a high content of unsaturated acids with 18 carbon atoms in the diethyl extract.

Key words: wastewater, activated sludge, extractive substances, fatty acids.

Свиридова Т.А., Самошкин Е.Н. JUGLANS NIGRA L.: ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВОЛОКОН ЛИБРИФОРМА В УСЛОВИЯХ ИНТРОДУКЦИИ.

Длина волокон либриформа ранней и поздней древесины *Juglans nigra l.* уменьшается в основном от коры к сердцевине. Волокна ранней древесины длиннее и шире, чем поздней.

Ключевые слова: орех черный, изменчивость, радиус ствола, волокна либриформа.

Sviridova T.A., Samoshkin E.N. JUGLANS NIGRA L.: VARIABILITY OF LIBRIFORM FIBRES IN CONDITIONS OF INTRODUCTION.

Length of libriform fibres of springwood and summerwood *Juglans nigra L.* decreases basically from a bark to a core. Fibres of springwood more longly and more widely, than summerwood.

Key words: *Juglans nigra L.*, variability, radius of a trunk, a libriform fibres.

Зайцев Р.В. ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СТАНКА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА.

Рассматриваются методы для оценки остаточного ресурса станка. Автором предлагается свой подход к оценке остаточного ресурса станка, по результатам которого принимается решение о восстановлении его работоспособности.

Ключевые слова: технические системы, отказ, остаточный ресурс, точность, предельное состояние

Zaicev R.V. REPAIR OF MACHINE TOOL WORKING CAPACITY BASED ON THE FEED-BACK FROM DIAGNOSIS OF REMAINING RESOURCE.

In this article methods for estimation (diagnostic) the residual resource of machine tool are considered. The authors are offered (proposed) one's approach to estimate the residual resource of machine tool. In accordance to these results the decision of it's restoration is made.

Key words: technical type, resufal, residual resources, precision, utmost, condition.