

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 630*83:630*34(043.3)

ЛЕОНОВ
Евгений Анатольевич

**КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОЙ РАБОТЫ
 ГИБКИХ ТЕРМИНАЛОВ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.21.01 – технология и машины лесозаготовок
и лесного хозяйства

Минск 2012

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет» на кафедре лесных машин и технологии лесозаготовок

Научный руководитель

Федоренчик Александр Семенович,
кандидат технических наук, доцент,
учреждение образования «Белорусский
государственный технологический
университет», кафедра лесных машин
и технологии лесозаготовок

Официальные оппоненты:

Коробкин Владимир Андреевич,
доктор технических наук, главный
конструктор специального производства
РУП «Минский тракторный завод»;

Баранчик Владимир Павлович,
кандидат технических наук, доцент,
учреждение образования «Белорусский
государственный технологический
университет», кафедра менеджмента
и экономики природопользования

Оппонирующая организация

Учреждение образования «Международный
государственный экологический
университет имени А. Д. Сахарова»

Защита состоится 26 сентября 2012 г. в 14.00 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.08.06 при учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет по адресу: 220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, ауд. 240, корп. 4, тел.: (017) 327-83-41; e-mail: root@bstu.unibel.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет».

Автореферат разослан 24 августа 2012 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций
кандидат технических наук, доцент



С. П. Мохов

ВВЕДЕНИЕ

В Республике Беларусь, как и в большинстве стран с развитой лесозаготовительной, большое внимание уделяется комплексному использованию древесины. Приоритетным направлением, связанным с переработкой низкокачественной древесины и отходов лесозаготовок, является получение топливной щепы, сжигание которой позволит дополнительно покрыть до 12–14% энергетических потребностей страны. В этой связи актуальным является поиск возможностей эффективного использования существующих систем машин для совместной заготовки деловой и топливной древесины.

Топливая древесина, заготовленная традиционными системами машин и являющаяся местным возобновляемым источником энергии, достаточно эффективно может быть переработана на топливную щепу с помощью мобильных систем машин на гибких терминалах (лесных складах), предназначенных для складирования, хранения и переработки этого сырья. Вследствие круглогодичного характера заготовки топливной древесины и сезонного характера ее потребления поставщики древесного топлива вынуждены создавать его межсезонные запасы, что ведет к увеличению стоимости энергетического сырья, а при неправильном выборе параметров терминала приводит к перебоям в поставках или завыванию запасов топлива и потерям их древесного вещества при хранении.

Вовлечение в переработку дополнительного сырья и поиск путей устойчивого обеспечения энергообъектов древесным топливом в течение года является новой научной задачей, имеющей важное практическое значение и позволяющей решить проблему утилизации образующихся в лесном комплексе отходов, создать новые рабочие места, снизить выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, повысить энергетическую безопасность Беларуси.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами и темами. Тема диссертационной работы соответствует приоритетным направлениям фундаментальных и прикладных научных исследований в Республике Беларусь на 2005–2010, 2011–2015 гг. и научному направлению кафедры лесных машин и технологии лесозаготовок БГТУ. Диссертационная работа выполнялась в рамках следующих НИР: БС 26-205 и ИФЗ 26-305 в рамках задания 1.18 «Разработать, обосновать и внедрить комплексную технологию лесозаготовки и подготовки древесного сырья для энергетического использования на основе прогрессивной техники», № ГР 20063983, 2006–2009 гг. (ИНТП «Управление лесами и рациональное лесопользование»); ГБ 28-039 «Провести анализ потенциала использования отходов деревообрабатывающих производств в Республике Беларусь в качестве энергетического сырья, и разработать рекомендации по их рациональному практическому использованию», № ГР 20080861, 2010 г.; ГБ 28-042 «Провести анализ потенциала и территориального распределения древесного сырья в Республике Беларусь. Разработать рекомендации и типовой проект по его практическому освоению», № ГР 2008084, 2010 г.

Цель и задачи исследования. Целью работы является повышение комплексного использования древесного сырья на лесопромышленных предприятиях путем создания гибких терминалов и организации на них производства

1635¹ ар



топливной щепы из низкокачественной древесины и отходов лесозаготовок при минимальных затратах для устойчивого снабжения ею энергообъектов.

Достижение поставленной цели потребовало решения следующих задач:

1. Разработать математическую модель работы лесоэнергетических терминалов (ЛЭТ) с учетом вероятностно-статистических характеристик поставки и потребления древесного топлива в течение года, потерь в нем древесного вещества и изменения влажности его основных видов при длительном открытом способе хранения, а также применяемой системы машин и вида покрытия площадки терминала.

2. Установить зависимости и исследовать характер изменения в течение года (по месяцам) потоков топливной древесины на предприятии для прогноза динамики изменения запаса древесного топлива с учетом производственной мощности энергообъекта и его месторасположения.

3. Экспериментально определить закономерности и величины потерь древесного вещества и изменения влажности основных видов древесного топлива (не измельченных сучьев, ветвей и вершинок, кроны, щепы, опилок и коры) во времени при их длительном открытом способе хранения.

4. Экспериментально определить значения коэффициентов полнодревесности отходов, образующихся при сортиментной заготовке, учитываемых при оценке эффективности погрузочно-транспортных и складских операций.

5. Провести оценку возможности увеличения статической загрузки погрузочно-транспортных машин (ПТМ) на операции транспортировки отходов лесозаготовок путем модернизации грузового пространства и нового способа загрузки.

6. Провести апробацию и внедрение разработанных методов загрузки ПТМ и организации функционирования ЛЭТ в производственных условиях на основе анализа результатов теоретических и экспериментальных исследований; разработать практические рекомендации, направленные на повышение эффективности производства топливной щепы из низкокачественной древесины и лесосечных отходов и увеличение устойчивого снабжения ею энергообъектов (мини-ТЭЦ и котельных).

Объект исследования: виды и потоки древесного топлива на гибких ЛЭТ, рубильные машины и ПТМ для его производства и транспортировки.

Предмет исследования: модели, зависимости и уравнения регрессии, характеризующие взаимосвязь параметров оборудования и технологии, обеспечивающих получение топливной древесины (щепы) и устойчивое обеспечение ею энергообъектов (мини-ТЭЦ и котельных).

Положения, выносимые на защиту:

- концепция гибкого лесоэнергетического терминала (ЛЭТ), базирующаяся на принципах мобильной системы машин, перенастраиваемой технологии, перераспределения запасов и видов хранимой древесной биомассы;

- математические модели функционирования ЛЭТ, отличающиеся учетом вероятностного характера его функционирования, изменения потерь и влажности различных видов древесного топлива при длительном открытом способе хранения и стохастичной структуре их укладки, неравномерности поставок и потребления топливной древесины в течение года, эксплуатируемых систем машин, типа покрытия площадки терминала;

- значения параметров логистической функции для определения потерь древесного вещества различных видов древесного топлива;

- результаты исследований коэффициентов полнодревесности отходов

лесозаготовок;

– практические рекомендации по переработке древесного сырья для энергетических целей на лесозаготовительных предприятиях, принятые в качестве отраслевых документов для предприятий Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь.

Личный вклад соискателя. Диссертация является результатом личной работы автора. Им проведен анализ научной литературы по теме диссертации и обоснована актуальность исследований. Соискатель непосредственно участвовал в формулировании целей и задач исследований; осуществлял разработку математической модели обоснования вместимости ЛЭТ, позволяющей повысить устойчивое функционирование энергообъектов с учетом неравномерности поставок и потребления сырья в течение года, потерь древесного вещества и изменения влажности основных видов древесного топлива при длительном открытом кучевом хранении; выявлял закономерности функционирования в течение года (по месяцам) потоков топливной древесины в условиях межсезонного склада с учетом производственной мощности энергообъекта. Автором разработаны методики и проведены экспериментальные исследования по определению потерь древесного вещества и динамики изменения влажности основных видов древесного топлива при их длительном открытом кучевом хранении, а также коэффициентов полнодревесности лесосечных отходов. Выполнены обработка и анализ полученных данных. Соискатель лично участвовал в подготовке публикаций по теме диссертации. Соавторами ряда опубликованных работ являются сотрудники учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет».

Апробация результатов диссертации. Основные результаты диссертационной работы докладывались: на III Международном евразийском симпозиуме «Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века» (УГЛТУ, Екатеринбург, 2008 г.); Международной научно-технической конференции «Ресурсосберегающие и экологически перспективные технологии и машины лесного комплекса будущего» (ВГЛТА, Воронеж, 2009 г.); Международной научно-практической конференции «Биоэнергетика и биотехнологии – эффективное использование отходов лесозаготовок и деревообработки» (МГУЛ, Москва, 2009 г.); международных научно-технических конференциях «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии» (БФУ, Могилев, 2007, 2009 гг.); научно-технических конференциях БГТУ 2007–2012 гг. и др.

Опубликованность результатов диссертации. По результатам исследований опубликовано 15 работ, в том числе 5 научных статей в рецензируемых научных журналах, включенных в перечень ВАК по специальности, объемом 1,75 авторских листа, 3 – в научных сборниках, 5 – в материалах и тезисах научных конференций, 2 – патента.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, 5 глав, заключения, библиографического списка, включающего список использованных источников из 140 наименований (в том числе 14 иностранных) и список публикаций соискателя из 15 наименований, приложений. Работа изложена на 165 страницах печатного текста, включая 45 иллюстраций на 41 страницах, 12 таблиц на 11 страницах, 5 приложений на 34 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит общую характеристику состояния исследований в рассматриваемой области, обоснование актуальности научной работы и ее значимости для лесного комплекса Республики Беларусь.

В **первой главе** проведен обзор и анализ исследований в области организации заготовки деловой древесины и комплексного использования древесного сырья, рассмотрены тенденции использования древесной биомассы, топливных гранул (пеллет) и брикетов в энергетических целях на примере ведущих стран с развитой лесозаготовкой и Республики Беларусь.

Проблемы заготовки, транспортировки, хранения и использования древесины, в том числе низкокачественной и отходов лесозаготовок для энергетического использования, обоснования уровней запасов древесины, выбора места их создания на основе моделирования наиболее фундаментально решались различными советскими, отечественными и зарубежными научными центрами: МГУЛ, ЦНИИМЭ, СПбГЛТА, КарНИИЛП, БГТУ, МГЭУ, MapГТУ, TTY, VTT (FIN), METLA (FIN), STEM (SWE), TUD (GER), DBFZ (GER), USDA (USA), BERC (CAN) и рядом других организаций.

За рамками исследований остались вопросы: устойчивого обеспечения энергетических объектов измельченным древесным топливом в условиях сезонного характера его производства и потребления; изменения влажности и динамики потерь древесного топлива из низкокачественной древесины и отходов при длительном кучевом хранении; новых технических и технологических решений, повышающих комплексное использование древесины при минимальных затратах.

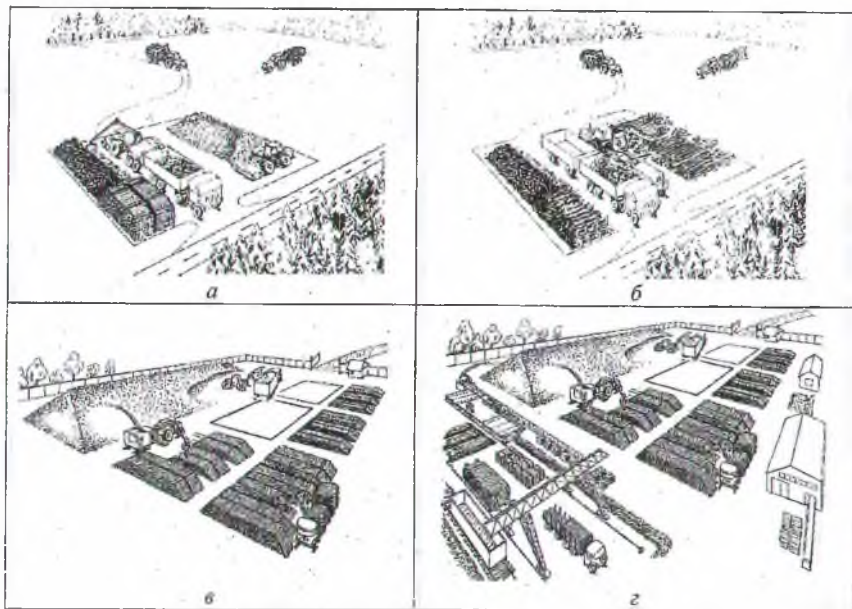
На основании анализа научных работ и состояния заготовки деловой и топливной древесины сформулированы цель и задачи исследований.

Вторая глава посвящена разработке теоретических основ функционирования гибких лесозаготовительных терминалов (ЛЭТ). *Под ЛЭТ будем понимать временное или постоянное техническое сооружение, предназначенное для складирования, измельчения древесной биомассы и бесперебойного снабжения энергообъектов древесным топливом* [8-А (в соавторстве с М. И. Кулаком и А. С. Федоренчиком)].

Отличительными особенностями ЛЭТ от складов являются:

- применение мобильной системы специализированных машин;
- гибкий технологический процесс измельчения сырья, допускающий изменение мест и зон работы машин и хранения сырья и древесного топлива;
- переработка древесного сырья в широком диапазоне размерно-качественных характеристик;
- возможность выбора и изменения места расположения ЛЭТ в транспортно-технологической схеме освоения ресурсов сырья в зависимости от конкретных производственных условий;
- возможность разделения ЛЭТ на несколько составных частей;
- возможность функциональной и территориальной интеграции с другими структурными образованиями (лесными складами, биржами сырья, деревообрабатывающими производствами, энергообъектами и др.).

Примеры технологических схем функционирования ЛЭТ, разработанных с участием автора и внедренных на предприятиях системы Минлесхоза, приведены на рисунке 1.



а, б – при производстве топливной щепы на промежуточном складе; в – при производстве топливной щепы на автономном терминале; г – при производстве топливной щепы на терминале, интегрированном с лесным складом

Рисунок 1 – Технологические схемы функционирования ЛЭТ

Модель функционирования ЛЭТ без промежуточных складов. Она описывает работу ЛЭТ различной производственной мощности, расположенного у потребителя, с учетом неравномерности поставок и потребления сырья в течение года, влажности и потерь основных видов древесного топлива при длительном открытом способе хранения, эксплуатации различных систем машин и типов покрытия площадки терминала.

В соответствии с целями исследований ЛЭТ рассматривается как динамичная система с ограниченной вместимостью. Для такой системы состояния основных фаз на конец i -го месяца характеризуются месячными коэффициентами неравномерности поставки $K^n(t_i)$ и сжигания $K^c(t_i)$ древесного топлива, которые показывают, как отличаются объемы производства за конкретный интервал (i -й месяц) по сравнению со среднеинтервальными (среднемесячными):

$$K(t_i) = \frac{V(t_i)}{V_{\text{ср}}} = \frac{n \cdot V(t_i)}{V_{\text{об}}} = \frac{n \cdot V(t_i)}{\sum_{i=1}^n V(t_i)}, \quad (1)$$

где $V(t_i)$ – фактический объем производства за i -й месяц, тыс. м³; $V_{\text{ср}}$ – среднемесячный объем производства за год, тыс. м³; n – число интервалов, составляющих исследуемый период, $i = \overline{1, n}$ ($n = 12$); $V_{\text{об}}$ – общий объем производства за весь период работы (год), тыс. м³.

Тогда запас древесного топлива на ЛЭТ в относительных (безразмерных) величинах на 1 число любого месяца можно выразить следующим образом:

$$Z(t_i) = 0,12 \cdot a + \sum_{i=0}^{12} [K^n(t_i) - K^c(t_i)], \quad (2)$$

где a – переходящий остаток древесного топлива на ЛЭТ, %.

При этом необходимо выполнение ряда допущений производственного характера:

– на 1 число месяца для нормального функционирования котельной (мини-ТЭЦ) на ЛЭТ должен быть неснижаемый (страховой) запас – Z_{\min} , т. е.

$$Z(t_i) \geq Z_{\min}; \quad (3)$$

– сжечь древесного топлива больше, чем поставлено на ЛЭТ, нельзя:

$$\sum_{i=1}^{12} K^n(t_i) + 0,01 \cdot a \geq \sum_{i=1}^{12} K^c(t_i); \quad (4)$$

– суммы объемов поставок древесного топлива и его сжигания за год равны между собой

$$\sum_{i=1}^{12} K^n(t_i) = \sum_{i=1}^{12} K^c(t_i). \quad (5)$$

Целевая функция состоит в минимизации удельных эксплуатационных затрат по содержанию ЛЭТ с учетом затрат на строительство и по площадке терминала, потерь (снижения качества) древесного сырья при открытом кучевом хранении и дополнительных затрат, вызванных ограниченностью вместимости ЛЭТ:

$$\mathcal{E}Z_{об}^{уд} = \left[(\mathcal{E}Z_{пл}^{мес} + 0,01 \cdot X_{пот} \cdot \Pi_{т}^{уд} \cdot k_{обн}) \cdot W_{отн} + \left(\frac{\mathcal{E}Z_{тр}^{см}}{\Pi_{тр}^{см}} + \mathcal{E}Z_{пр.тр}^{мес} \right) \cdot P_{пер} + \right. \\ \left. + \left(\frac{\mathcal{E}Z_{рм}^{см}}{\Pi_{рм}^{см}} + \frac{\mathcal{E}Z_{пм}^{см}}{\Pi_{пм}^{см}} + \mathcal{E}Z_{пр.рм}^{мес} + \mathcal{E}Z_{пр.пм}^{мес} \right) \cdot (P_{пер} + P_{отс}) \right] \rightarrow \min, \quad (6)$$

где $\mathcal{E}Z_{пл}^{мес}$ – среднемесячные удельные эксплуатационные затраты (в денежных условных единицах) по содержанию доли площади ЛЭТ, необходимой для размещения на ней 1 плотного кубического метра топливной древесины (с учетом типа покрытия площадки и применяемого оборудования), у. е./пл. м³; $X_{пот}$ – величина среднемесячных потерь древесного вещества при открытом хранении, %; $\Pi_{т}^{уд}$ – цена 1 пл. м³ древесного топлива с учетом влажности и зольности, у. е./пл. м³; $k_{обн}$ – коэффициент обновления запаса древесного топлива на терминале ($k_{обн} = 0,25-0,5$); $W_{отн}$ – относительная вместимость ЛЭТ (является безразмерной величиной и выражает возможность размещения топлива в количестве среднемесячных объемов производства), мес.; $\mathcal{E}Z_{тр}^{см}$, $\mathcal{E}Z_{рм}^{см}$, $\mathcal{E}Z_{пм}^{см}$ – соответственно эксплуатационные затраты содержания 1 маш.-смены автотранспортных средств, рубильных

машин и ковшовых погрузчиков, обслуживающих ЛЭТ, в том числе с зарплатой обслуживающих их рабочих, у. е.; $\Pi_{\text{тр}}^{\text{см}}$, $\Pi_{\text{рм}}^{\text{см}}$, $\Pi_{\text{пм}}^{\text{см}}$ – соответственно сменные производительности автотранспортных средств, рубильных машин и ковшовых погрузчиков, м³; $\text{ЭЗ}_{\text{пр.тр}}^{\text{мес}}$, $\text{ЭЗ}_{\text{пр.рм}}^{\text{мес}}$, $\text{ЭЗ}_{\text{пр.пм}}^{\text{мес}}$ – соответственно среднемесячные эксплуатационные затраты от простоя транспортных средств, рубильных машин и ковшовых погрузчиков за год из-за ограниченности вместимости ЛЭТ или отсутствия сырья на нем, у. е.; $P_{\text{отс}}$ и $P_{\text{пер}}$ – соответственно вероятности отсутствия сырья на ЛЭТ и его переполнения.

Оценка влияния экономических показателей, характеризующих разные системы машин, типы покрытия площадки терминала и потери древесного вещества, а также вероятностных характеристик потоков древесного топлива осуществляется с помощью разработанного алгоритма и программы расчета в пакете Mathcad 14 [5-А].

Данная программа позволяет вычислять вероятности переполнения ЛЭТ в течение года ($P_{\text{пер}}$), отсутствия на нем сырья ($P_{\text{отс}}$), определять величину межсезонного запаса древесного топлива и значения целевой функции удельных эксплуатационных затрат.

Разработанная *модель функционирования ЛЭТ с промежуточными складами* отличается от модели, рассмотренной выше, тем, что допускает частичное хранение древесного топлива как на основном терминале потребителя, так и на промежуточных складах, расположенных у дорог круглогоддового действия. На практике это часто вызвано отсутствием требуемых площадей в населенных пунктах для основного терминала и возможностью концентрации на промежуточных складах низкокачественной древесины и лесосечных отходов с нескольких лесосек.

В этом случае целевая функция минимизации удельных эксплуатационных затрат имеет следующий вид:

$$\text{ЭЗ}_{\text{об}}^{\text{уд}} = \left[\begin{aligned} & (\text{ЭЗ}_{\text{пл. пр}}^{\text{мес}} \cdot d + \text{ЭЗ}_{\text{пл. ос}}^{\text{мес}} \cdot (1-d) + 0,01 \cdot X_{\text{пот}} \cdot \text{Ц}_{\text{т}}^{\text{уд}} \cdot k_{\text{обн}}) \cdot W_{\text{отн}} + \\ & + \left(\frac{k_{\text{тр}} \cdot \text{ЭЗ}_{\text{тр}}^{\text{см}}}{\Pi_{\text{тр}}^{\text{см}}} + \text{ЭЗ}_{\text{пр.тр}}^{\text{мес}} \right) \cdot P_{\text{пер}} + \\ & + \left(\frac{\text{ЭЗ}_{\text{рм}}^{\text{см}}}{\Pi_{\text{рм}}^{\text{см}}} + \frac{\text{ЭЗ}_{\text{пм}}^{\text{см}}}{\Pi_{\text{пм}}^{\text{см}}} + \text{ЭЗ}_{\text{пр.рм}}^{\text{мес}} + \text{ЭЗ}_{\text{пр.пм}}^{\text{мес}} \right) \cdot (P_{\text{пер}} + P_{\text{отс}}) \end{aligned} \right] \rightarrow \min, \quad (7)$$

где $\text{ЭЗ}_{\text{пл. пр}}^{\text{мес}}$ – среднемесячные удельные эксплуатационные затраты по содержанию доли площади промежуточного склада, необходимой для размещения на ней 1 пл. м³ топливной древесины (с учетом типа покрытия площадки и применяемого оборудования), у. е./пл. м³; $\text{ЭЗ}_{\text{пл. ос}}^{\text{мес}}$ – среднемесячные удельные эксплуатационные затраты по содержанию доли площади терминала потребителя, необходимой для размещения на ней 1 пл. м³ топливной древесины (с учетом типа покрытия площадки и применяемого оборудования), у. е./пл. м³; d – доля вместимости промежуточных складов по отношению к общему межсезонному запасу

су древесного топлива; $k_{тр}$ – коэффициент увеличения удельных эксплуатационных затрат транспортных средств, учитывающий доставку топлива из промежуточных складов.

Третья глава посвящена теоретическому обоснованию (на основе теории продольно-поперечной устойчивости путем конструктивного изменения грузового пространства с учетом способов загрузки сырья и ограничения рабочей зоны гидроманипулятора) увеличения статической загрузенности погрузочно-транспортных машин (ПТМ), обеспечивающих транспортировку как деловой древесины, так и различных видов древесной биомассы, образуемой в процессе разработки лесосек или при расширении просек воздушных линий электропередач [15-А (в соавторстве с А. В. Ледниким, А. С. Федоренчиком, Г. И. Завойских, П. А. Протасом, А. И. Хотяновичем)].

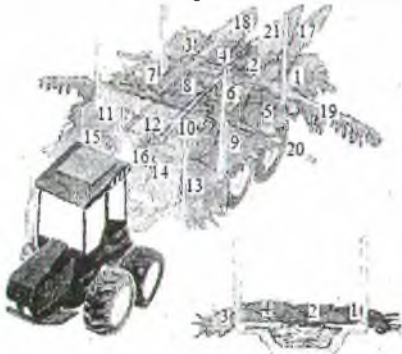


Рисунок 2 – Продольно-поперечная загрузка ПТМ

Установлено, что статический коэффициент использования грузоподъемности $\gamma_{ст}$ ПТМ изменяется в зависимости от вида перевозимого груза от 0,10 (лесосечные отходы) до 1,0 (сортименты). Для увеличения статической загрузки ПТМ в практических условиях рекомендуется комбинированный (продольно-поперечный) способ погрузки отходов лесозаготовок, схема которого дана на рисунке 2 [4-А].

Доказана возможность загрузки отходов лесозаготовок, превышающей грузовое пространство ПТМ, ограниченное высотой стоек коников, длиной грузовой платформы и рабочей зоной гидроманипулятора. Результаты определения рейсовых нагрузок форвардеров МЛПТ-354М, МПТЛ-5-11 и Ponsse Buffalo по предложенным рекомендациям и способу загрузки приведены на рисунке 3.



Рисунок 3 – Графики изменения рейсовых нагрузок (G) ПТМ при загрузке сырья продольно-поперечным способом с допускаемыми превышениями высоты стоек коников (h_c) и длины грузовой платформы (l_c)

Из графиков видно, что паспортная грузоподъемность ПТМ при перевозке тонкомерной древесины, а для МЛПТ-354М и при перевозке крупных сучьев, достигается путем ее загрузки выше уровня стоек коника от 0,4 до 1,5 м при соответствующем увеличении длины грузовой платформы на величину до 1,5 м. При транспортировке других видов древесного сырья рост статической загрузки ПТМ составит: при перевозке крупных сучьев – 69–90% (МТПЛ-5-11), 60–82% (Ponsse Buffalo) от допустимой нагрузки – что выше по сравнению с традиционным способом загрузки в 2 раза (МТПЛ-5-11) и 1,35раза (Ponsse Buffalo); при перевозке отходов лесозаготовок – 57–74% (МЛПТ-354М), 40–54% (МТПЛ-5-11), 36–50% (Ponsse Buffalo) от допустимой нагрузки – что выше по сравнению с традиционным способом загрузки в 1,85 раза (МЛПТ-354М), 2 раза (МТПЛ-5-11) и 1,35 раза (Ponsse Buffalo) [4-А].

Обжатие гидроманипулятором ваз перевозимого сырья, в зависимости от его вида, обеспечивает дополнительное увеличение статической загрузки ПТМ до 10–15%.

В четвертой главе представлена общая методика и результаты экспериментальных исследований, включающие имитационное моделирование функционирования ЛЭТ.

Методика определения закономерностей поставок и потребления древесного топлива включала изучение данных отчетов предприятий, после обработки которых определялись месячные объемы поставок и сжигания сырья, а также по формуле (1) – месячные коэффициенты неравномерности $K^n(t_i)$ и $K^c(t_i)$. В целях получения адекватной математической модели коэффициент неравномерности для любого предприятия по фазам поставки и сжигания определяли как среднее значение для каждого месяца за последних 5 лет.

Статистический анализ эмпирических данных показал, что случайная величина коэффициента неравномерности поставки древесного топлива в течение года подчиняется закону нормального распределения. Достоверность полученных результатов при доверительной вероятности 0,95 подтверждена критериями Пирсона и Колмогорова [5-А].

Анализ неравномерности сжигания древесного топлива по месяцам в течение года методами статистики показал (при доверительной вероятности 0,95) синусоидальную зависимость величины коэффициента неравномерности от времени, которая имеет вид [5-А]:

$$K^c(t_i) = a_1 + a_2 \cdot \sin(a_3 + \frac{\pi}{6} t_i), \quad (8)$$

где a_1, a_2, a_3 – параметры, зависящие от объема производства и месторасположения предприятия ($a_1 = 1-1,16$; $a_2 = 0,9-1,16$; $a_3 = 1,01-1,05$).

Методика определения месячных потерь древесного вещества и изменения влажности топливной биомассы включала формирование куч (валов) нескольких видов щепы, коры, опилок, не измельченных сучьев и ветвей (объемом 10 нас. м³ каждая) на специально подготовленных площадках на действующих лесных складах предприятий Витебской области. Из этих куч (валов) ежемесячно осуществлялся отбор проб и определялись исследуемые параметры в сертифицированной лаборатории ОАО «Витебскдрев». Продолжительность

наблюдений за объектами исследования составляла 12 месяцев.

Установлено, что с момента начала хранения в кучах измельченного древесного топлива происходит перераспределение влаги и образуется два слоя: внутренний и наружный (20–40 см). На изменение влажности наружного слоя (в отличие от внутреннего) в значительной степени оказывают влияние природно-климатические условия [3-А].

Как показали исследования наименьшей относительной влажностью ($W_{от}$) (а значит и большей теплотворной способностью), имеющей устойчивую тенденцию к снижению в процессе хранения, обладают сучья и ветви, у которых произошло снижение $W_{от}$ на 25%. Длительное же открытое кучевое хранение щепы из стволовой древесины, коры и опилок не привело к устойчивому снижению $W_{от}$. Данные виды биотоплива более целесообразно (с точки зрения подсушивания и роста теплотворной способности) хранить под навесом или на открытом воздухе закрытыми сверху водонепроницаемыми материалами.

Установлено, что потери древесного топлива при открытом способе хранения в течение года описываются логистической функцией [8-А (в соавторстве с М. И. Кулаком и А. С. Федоренчиком)]:

$$y(t) = \frac{Ay_0}{y_0 + (A - y_0)e^{-Abt}}, \quad (9)$$

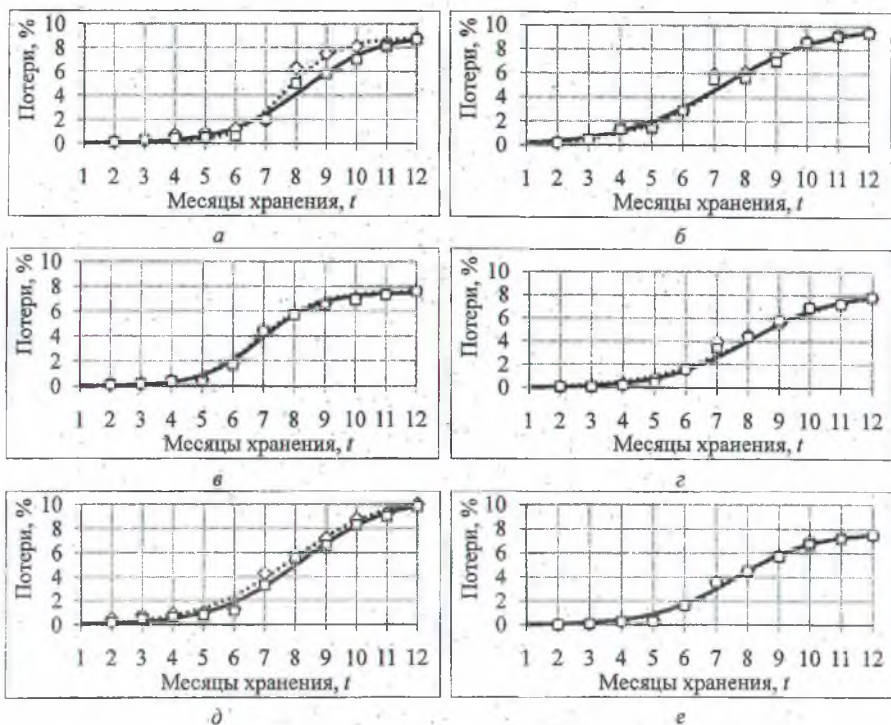
где A – асимптота логистической функции; y_0 – начальное значение функции y ; b – коэффициент, зависящий от вида древесной биомассы; t – продолжительность хранения древесного топлива в месяцах.

Результаты исследований показаны в таблице 1 и на рисунке 4.

Таблица 1 – Значения параметров логистической функции для потерь различных видов древесного топлива при открытом способе хранения

Вид древесного топлива	Слой при хранении	Значения параметров			Критерий F_p
		$A, \%$	$b, 1/\text{мес.}$	$y_0, \%$	
1	2	3	4	5	6
Щепа лиственных пород из отходов лесозаготовок	Наружный	9,841	0,069	0,070	1,039
	Внутренний	9,985	0,062	0,110	1,046
Щепа лиственных пород из дровяной древесины	Наружный	8,330	0,079	0,042	1,080
	Внутренний	8,198	0,090	0,022	1,071
Щепа хвойных пород из деловой древесины	Наружный	7,746	0,104	0,017	1,060
	Внутренний	7,736	0,102	0,020	1,048
Сучья и ветви	Наружный	8,829	0,134	0,011	1,044
	Внутренний	9,143	0,088	0,012	1,009
Опилки хвойные	Наружный	7,588	0,141	0,005	1,006
	Внутренний	7,499	0,141	0,005	1,000
Кора хвойная	Наружный	10,686	0,064	0,050	1,011
	Внутренний	10,529	0,067	0,033	1,003

В целом зависимости на рисунке 4 позволяют заключить, что процессы, приводящие к потерям топлива при хранении, проходят в 3 стадии. На первой стадии, продолжительностью 5–6 месяцев, топливо хранится стабильно, потеря массы не превышает 1%. На второй стадии происходит рост потерь с различной степенью интенсивности. На третьей стадии нарастание потерь, как правило, существенно замедляется.



Экспериментальные значения
 ◇ Наружный слой
 □ Внутренний слой

Теоретические значения
 Наружный слой
 — Внутренний слой

а – сучья и ветви; б – щепа лиственных пород из отходов лесозаготовок; в – опилки хвойные;
 г – щепа лиственных пород из дровяной древесины; д – кора хвойная;
 е – щепа хвойных пород из деловой древесины

Рисунок 4 – Динамика потерь древесного вещества различных видов древесной биомассы при длительном открытом способе хранения

Из рассмотренных видов древесного топлива кора наиболее подвержена процессам деструкции. Динамика потерь древесного вещества в наружных и внутренних слоях различных видов щепы и опилок совпадают. Потери древесного вещества биомассы в среднем составляют 0,8–1,5% в месяц. Для снижения расхода древесного топлива при выработке единицы энергии котельными или мини-ТЭЦ необходимо: в целях уменьшения потерь древесного вещества и лучшего подсушивания межсезонный запас топлива формировать преимущественно из не измельченной древесины [14-А (в соавторстве с А. С. Федоренчиком, Г. И. Завойских, А. В. Ледницким, П. А. Протасом)]; топливную щепу на складе хранить только в качестве страховых, межоперационных или неснижаемых запасов, которые периодически необходимо обновлять; минимизировать сроки хранения и обеспечивать первоочередное сжигание древесной коры.

Методика определения коэффициентов полндревесности отходов лесозаготовок включала их расчет по выходу топливной щепы. Они необходимы для оценки эффективности работы ПТМ, а также учета отходов лесозаготовок при хранении на ЛЭТ. В полевых условиях формировались валы отходов, типичные для условий процесса лесозаготовок. Каждый вал измерялся по основным габаритным размерам, на основании которых определялся складочный объем. Далее каждый из валов измельчался передвижной рубильной машиной Jenz-420D на топливную щепу с подачей ее в кузов автощеповоза. По внутренним размерам кузова автощеповоза и высоты слоя щепы в нем определялся ее насыпной объем. Значения коэффициентов полндревесности лесосечных отходов (таблица 2) определялись отношением объема измельченной древесины в плотных кубометрах к объему неизмельченной в складочных [2-А (в соавторстве с А. С. Федоренчиком и А. В. Ледницким)].

Таблица 2 – Коэффициенты полндревесности лесосечных отходов (фактические / рекомендуемые к использованию*)

Место укладки	Способ укладки / погрузки	Породные группы		
		Хвойные	Смешанные (хвойные и лиственные поровну)	Лиственные
1	2	3	4	5
Вдоль трелевочного волока	Уложенные свободно	<u>0,056</u>	<u>0,056</u>	<u>0,056</u>
		0,06	0,06	0,06
На промежуточном складе	Уложенные в разнокомелицу	<u>0,066</u>	<u>0,067</u>	<u>0,070</u>
		0,07	0,07	0,07
На промежуточном складе	Уложенные направленно, колами в одну сторону	<u>0,088</u>	<u>0,094</u>	<u>0,100</u>
		0,09	0,095	0,10
Произвольное	Погруженные с уплотнением	0,12	0,13	0,14
	Погруженные манипулятором	0,10–0,15	0,11–0,16	0,12–0,17

* Рекомендуемые к использованию значения коэффициентов полндревесности лесосечных отходов приняты к практическому использованию предприятиями лесного комплекса страны и вошли в «Рекомендации по переработке древесного сырья в лесу для энергетических целей», утвержденные Министром лесного хозяйства Республики Беларусь и внесенные в реестр технических нормативных правовых актов (№ 000175 от 07.07.2010 г.).

Имитационное моделирование ЛЭТ на ЭВМ с целью обоснования их оптимальной вместимости на основании полученных экспериментальных данных позволило определить вероятности отсутствия древесного сырья на ЛЭТ ($P_{отс}$) и его переполнения ($P_{пер}$) в зависимости от относительной вместимости терминала древесного топлива $W_{отн}$ (рисунок 5). Для получения результата с достоверностью 0,99 произведен расчет необходимого числа итераций. Число повторов для каждого значения составило 1200.

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

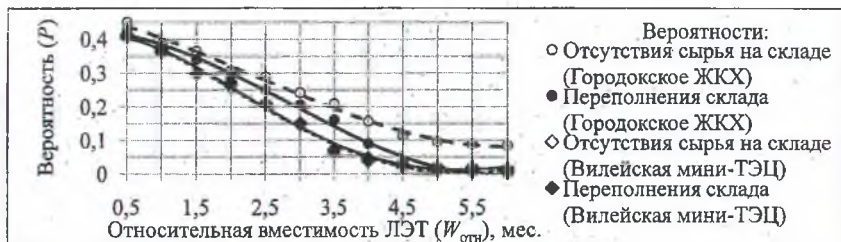
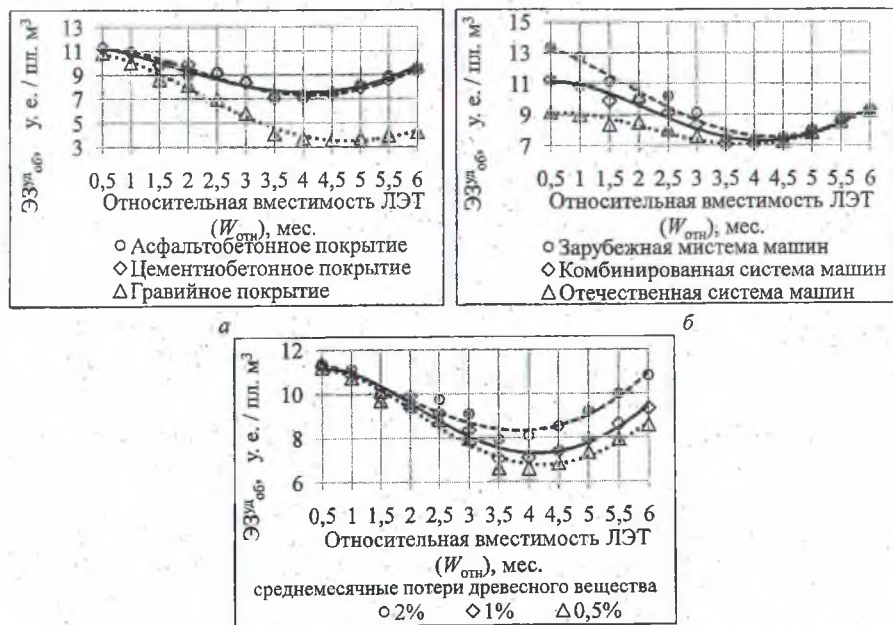


Рисунок 5 – Зависимости вероятностей отсутствия сырья на ЛЭТ и его переполнения от относительной вместимости терминала

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

На рисунке 6, как пример, применительно к Вилейской мини-ТЭЦ, представлены оптимальные значения относительной вместимости ЛЭТ в зависимости от типа покрытия площадки терминала (рисунок 6, а), применяемых систем машин (рисунок 6, б) и величины среднемесячных потерь древесного вещества (рисунок 6, в).



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

Рисунок 6 – Значение годовых удельных эксплуатационных затрат при организации ЛЭТ без промежуточных складов в условиях Вилейской мини-ТЭЦ

На практике крупные потребители древесного топлива в условиях перевода котлоагрегатов для работы на топливной щепе сталкиваются с проблемой отсутствия необходимых площадей под строительство ЛЭТ требуемой вместимости. Решением данной проблемы является организация ЛЭТ с промежуточными складами, расположенными у дорог круглогодочного действия (рисунок 1, а–б), которые имеют надежное транспортное сообщение с терминалом потребителя. При этом часть древесного топлива хранится на промежуточных складах, а часть – на автономном складе потребителя. Так, применительно к Вилейской мини-ТЭЦ нами определены оптимальные значения межсезонного запаса древесного топлива при различных соотношениях (в процентах) доли размещаемого сырья на составных частях ЛЭТ (промежуточный склад / автономный склад). Результаты приведены на рисунке 7.

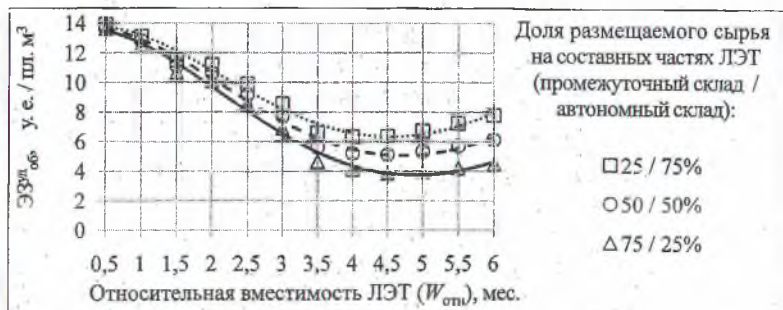


Рисунок 7– Значение годовых удельных эксплуатационных затрат при организации ЛЭТ с наличием промежуточных складов в условиях Вилейской мини-ТЭЦ

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

В пятой главе выполнена сравнительная оценка экономической эффективности производства и потребления древесного топлива на ЛЭТ с различной относительной вместимостью. Установлено, что при организации оптимального межсезонного запаса древесного топлива с применением промежуточных складов годовой удельный экономический эффект составит до 7,4 у. е./пл. м³. Разработанный метод загрузки ПТМ при подвозке отходов лесозаготовок к месту их складирования и измельчения в зависимости от среднего расстояния трелевки может обеспечить годовой удельный экономический эффект на данной операции до 6,1 у. е./пл. м³.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. На основе анализа работы предприятий, поставляющих возобновляемое древесное топливо потребителям, установлена необходимость устойчивого обеспечения сырьем энергетических объектов в течение года. В условиях сезонного характера производства и потребления энергетического сырья решение данного вопроса возможно при создании ЛЭТ [8-А (в соавторстве с М. И. Кулаком и А. С. Федоренчиком), 13-А (в соавторстве с А. С. Федоренчиком и А. В. Ледницким)].

2. Разработана математическая модель функционирования ЛЭТ, в основу которой положены методы вероятностного моделирования и стохастической имитации на ЭВМ. Данная модель позволяет решать задачи проектирования ЛЭТ без капитальных затрат на строительство, определять величину межсезонного запаса топливной древесины как на терминале потребителя, так и на промежуточных складах любых предприятий с учетом неравномерности поставок и потребления сырья в течение года, изменения влажности и потерь древесного вещества при длительном открытом кучевом хранении, типа покрытия площадки и применяемой системы машин [5-А].

3. В целях рационального использования грузоподъемности погрузочно-транспортных машин (базовой техники, участвующей в процессе совместной заготовки деловой и топливной древесины) на основе теории продольно-поперечной устойчивости доказана возможность загрузки отходов лесозаготовок с превышением грузового пространства ПТМ, которое ограничено высотой стоек коников, длиной грузовой платформы и рабочей зоной гидроманипулятора [4-А]. Оценка эффективности работы ПТМ, выполненная с учетом впервые предложенных метода и рекомендаций по их загрузке, при среднем расстоянии подвозки отходов лесозаготовок 500 м выявила:

- рост производительности труда ПТМ до 70%;
- удельный экономический эффект на операции подвозки лесосечных отходов до 6,1 у. е./пл. м³.

4. Полученные на основании разработанных методик (по определению закономерностей поставок и потребления древесного топлива, потерь древесного вещества и динамики изменения влажности основных видов древесной биомассы при хранении, коэффициентов полндревесности лесосечных отходов) и проведенных экспериментальных исследований результаты позволили установить:

– что потоки топливной древесины в условиях межсезонного склада в течение года с учетом его производственной мощности и месторасположения можно достоверно аппроксимировать нормальным законом (фаза поставки) и периодической (синусоидальной) зависимостью (фаза сжигания) [5-А];

– среднемесячные величины потерь древесного вещества исследованных видов древесного топлива (щепы, коры, опилок, сучьев и ветвей) находятся в диапазоне 0,8–1,5%, их можно достоверно аппроксимировать логистической функцией; устойчивая тенденция снижения их относительной влажности при открытом кучевом хранении отсутствует и носит сезонный характер [3-А, 8-А

(в соавторстве с М. И. Кулаком и А. С. Федоренчиком)];

- определенные значения коэффициентов полндревесности лесосечных отходов, являющихся сырьем для производства топливной щепы, в большей степени зависят от способа их укладки, практически не зависят от породных групп и находятся в диапазоне от 0,06 до 0,17 [2-А (в соавторстве с А. С. Федоренчиком и А. В. Ледницким)].

5. На основании результатов теоретических и экспериментальных исследований выполнено имитационное моделирование функционирования ЛЭТ (с наличием промежуточных складов и без них), которое позволило установить [5-А]:

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

- минимальное значение целевой функции удельных эксплуатационных затрат по ЛЭТ также достигается при наличии межсезонного запаса не менее 3,5 среднемесячных объемов производства;

- для мини-ТЭЦ, особенно расположенных на юге Беларуси, оптимальная относительная вместимость ЛЭТ меньше на 15–20%, чем для котельных отраслевых или региональных предприятий севера республики;

- при наличии возможности основную часть межсезонного запаса древесного топлива целесообразно размещать на промежуточных складах, что позволит до 2 раз снизить годовые затраты по его содержанию.

Рекомендации по практическому использованию результатов

Результаты исследований использованы при разработке отраслевых «Рекомендаций по переработке древесного сырья в лесу для энергетических целей» и «Рекомендаций по переработке древесного сырья для энергетических целей на лесных складах», утвержденных Министром лесного хозяйства РБ 07.07.2010 г. № 000174 и № 000175. Их значимость подтверждена созданием 41 производства топливной щепы на предприятиях Минлесхоза, что позволило получить фактический годовой экономический эффект 2686,6 млн. рублей в ценах 2011 г.; а также внедрением результатов исследований в концерне «Беллесбумпром», в РУП «Витебскэнерго» на филиале «Белорусская ГРЭС» (с фактическим годовым экономическим эффектом 122,25 млн. рублей в ценах 2008 г.).

Разработанные и запатентованные способ получения древесного топлива и способ его хранения, а также способ расширения просеки воздушной линии электропередачи, проложенной в лесном массиве, позволяют вовлечь в переработку дополнительные ресурсы биомассы и повысить эффективность производства из них топливной щепы [14-А, 15-А (в соавторстве с А. С. Федоренчиком, Г. И. Завойских, А. В. Ледницким, П. А. Протасом и А. И. Хотяновичем)].

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи в рецензируемых журналах, включенных в перечень ВАК

1-А. Федоренчик, А. С. Оценка влияния формы и размеров кониковых устройств погрузочно-транспортных машин на их грузоподъемность / А. С. Федоренчик, Е. А. Леонов // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообр. пром-сть. – 2007. – Вып. XV. – С. 47–51.

2-А. Леонов, Е. А. Определение коэффициентов полнодревесности отходов лесозаготовок / Е. А. Леонов, А. С. Федоренчик, А. В. Ледницкий // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообр. пром-сть. – 2008. – Вып. XVI. – С. 57–60.

3-А. Леонов, Е. А. Исследование хранения древесного топлива у потребителей / Е. А. Леонов // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообр. пром-сть. – 2009. – Вып. XVII. – С. 89–93.

4-А. Леонов, Е. А. Оценка влияния вида перевозимого груза на статическую загрузку погрузочно-транспортных машин / Е. А. Леонов // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообр. пром-сть. – 2010. – Вып. XVIII. – С. 108–112.

5-А. Леонов, Е. А. Модель склада древесного топлива / Е. А. Леонов // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообр. пром-сть. – 2011. – Вып. XIX. – С. 135–139.

Статьи в научных сборниках

6-А. Леонов, Е. А. Оптимизация вместимости склада межсезонного хранения древесного топлива / Е. А. Леонов, А. С. Федоренчик // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века : труды III Междунар. евразийского симпози. / под науч. ред. В. Г. Новоселова. – Екатеринбург, 2008. – С. 62–66.

7-А. Ледницкий, А. В. Обоснование системы машин и технологий для производства топливной щепы из древесно-кустарниковой возобновляемой растительности зоны отчуждения ЛЭП в РУП «Витебскэнерго» / А. В. Ледницкий, Г. И. Завойских, Е. А. Леонов // Труды БГТУ. Сер. VII, Экономика и управление. – 2008. – Вып. XVI. – С. 139–142.

8-А. Кулак, М. И. Прогнозирование хранения запасов топлива в условиях лесозенергетических терминалов / М. И. Кулак, А. С. Федоренчик, Е. А. Леонов // Наука и инновации. – 2012. – № 7(113). – С. 69–72.

Материалы научных конференций и тезисы докладов

9-А. Леонов, Е. А. Перспективы использования древесной биомассы в топливно-энергетическом балансе Республики Беларусь / Е. А. Леонов // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 24–25 января 2007 г. / Белорус.-Рос. ун-т; редкол.: И. С. Сазонов [и др.]. – Могилев, 2007. – С. 150.

10-А. Леонов, Е. А. Оптимизация работы склада древесного топлива / Е. А. Леонов // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 20–21 ноября 2008 г. / Белорус.-Рос. ун-т; редкол.: И. С. Сазонов [и др.]. – Могилев, 2008. – С. 186.

11-А. Леонов, Е. А. Хранение древесного топлива у потребителей / Е. А. Леонов // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 16–17 апреля 2009 г. / Белорус.-Рос. ун-т; редкол.: И. С. Сазонов [и др.]. – Могилев, 2009. Ч. 3. – С. 134–135.

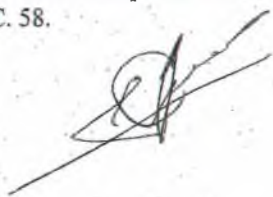
12-А. Леонов, Е. А. Оценка загруженности погрузочно-транспортных машин при транспортировке низкокачественной древесины и отходов лесозаготовок / Е. А. Леонов, А. С. Федоренчик // Ресурсосберегающие и экологически перспективные технологии и машины лесного комплекса будущего: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 55-летию лесотехн. фак. Воронеж. гос. лесотехн. акад., 17–19 сентября 2009 г. / под ред. проф. В. К. Курьянова; Федер. агентство по образованию, ГОУ ВПО «ВГЛТА». – Воронеж, 2009. – С. 314–318.

13-А. Федоренчик, А. С. Организация устойчивого обеспечения топливной щепой энергетических объектов / А. С. Федоренчик, Е. А. Леонов, А. В. Ледницкий // Биоэнергетика и биотехнологии – эффективное использование отходов лесозаготовок и деревообработки: тезисы докл. Междунар. науч.-практ. конф., 14–16 октября 2009 г. / Моск. гос. ун-т леса. – М., 2009. – С. 27.

Патенты

14-А. Способ получения древесного топлива и способ его хранения: пат. 12169 Респ. Беларусь, МПК В 27 L 11/00 / А. С. Федоренчик, Г. И. Завойских, Е. А. Леонов, А. В. Ледницкий, П. А. Протас; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. – № а 20061368; заявл. 29.12.2006; опубл. 30.08.2008 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2008. – № 4. – С. 90.

15-А. Способ расширения просеки воздушной линии электропередачи, проложенной в лесном массиве: пат. 15216 Респ. Беларусь, МПК А 01 G 23/00 / А. В. Ледницкий, А. С. Федоренчик, Г. И. Завойских, П. А. Протас, Е. А. Леонов, А. И. Хотянович; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. – № а 20090513; заявл. 10.04.2009; опубл. 30.12.2010 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. – № 6. – С. 58.



**Комплекснае выкарыстанне драўнянай сыравіны
для забеспячэння ўстойлівай працы гібкіх тэрміналаў**

Ключавыя словы: адходы, паліўная шчапа, вільготнасць, страты, нераўнамернасць, сістэма машын, мадэль тэрмінала, методыка, устойлівасць паставак, энергааб'ект.

Мэта работы: павышэнне комплекснага выкарыстання драўнянай сыравіны на лесапрамысловых прадпрыемствах шляхам стварэння гібкіх тэрміналаў і арганізацыі на іх вытворчасці паліўнай шчапы з нізкакаснай драўніны і адходаў лесанарыхтовак пры мінімальным выдатках для ўстойлівага забеспячэння ёю энергааб'ектаў.

Метады даследаванняў і апаратура: для правядзення эксперыментаў, выканання неабходных вымярэнняў выкарыстоўваліся: адабраныя пробы драўнянай біямасы (некалькіх відаў шчапы, апілак, кары, сукоў і галін), рубільная машына Jenz-420D, сертыфікаванае лабараторнае абсталяванне ЦЗЛ ААТ «Віцебскдрэў». Ужываліся метады тэорыі імавернасці і камп'ютарнага мадэлявання.

Навуковая навізна атрыманых вынікаў: устаноўлены заканамернасці функцыянавання патокаў паліўнай драўніны ва ўмовах гібкіх тэрміналаў на працягу года. Вызначаны характар змены вільготнасці і ўраўненні рэгрэсіі страт асноўных відаў драўнянага паліва пры іх адкрытым спосабе захоўвання на працягу года. Упершыню распрацавана матэматычная мадэль разліку ўмяшчальнасці ЛЭТ драўнянага паліва з улікам імавернаснага характару яго працы, ужываемых сістэм машын, тыпу пакрыцця пляцоўкі тэрмінала, велічыні страт драўнянага рэчыва. Вызначаны значэнні каэфіцыентаў поўнадраўнянасці адходаў лесанарыхтовак для розных спосабаў іх укладкі і пародных груп. Дадзены рэкамендацыі па эфектыўнаму выкарыстанню ПТМ пры зборы і падвозцы лесасечных адходаў.

Ступень выкарыстання: вынікі даследаванняў выкарыстаны пры распрацоўцы нарматыўных дакументаў і прайшлі апрабачку ў Міністэрстве лясной гаспадаркі Рэспублікі Беларусь, канцэрне «Беллеспаперапрам», РУП «Віцебскэнерга» і іх структурных падраздзяленнях, што дазволіла арганізаваць больш за 40 вытворчасцей, якія забяспечваюць нарыхтоўку, міжсезоннае захоўванне і ўстойлівую пастаўку паліўнай шчапы на энергааб'екты з мінімальнымі ўдзельнымі выдаткамі.

Вобласць выкарыстання: вынікі работы могуць быць выкарыстаны пры праектаванні тэрміналаў драўнянага паліва і для забеспячэння ўстойлівасці паставак на міні-ЦЭЦ і кацельні прадпрыемствамі Мінлясгаса, канцэрна «Беллеспаперапрам», Мінжылкамгаса і іншымі нарыхтоўшчыкамі паліўнай драўніны.

РЕЗЮМЕ

Леонов Евгений Анатольевич

Комплексное использование древесного сырья для обеспечения устойчивой работы гибких терминалов

Ключевые слова: отходы, топливная щепка, влажность, потери, неравномерность, система машин, модель терминала, методика, устойчивость поставок, энергообъект.

Цель работы: повышение комплексного использования древесного сырья на лесопромышленных предприятиях путем создания гибких терминалов и организацией на них производства топливной щепы из низкокачественной древесины и отходов лесозаготовок при минимальных затратах для устойчивого снабжения ею энергообъектов.

Методы исследования и аппаратура: для проведения экспериментов, выполнения необходимых измерений использовались: отобранные пробы древесной биомассы (нескольких видов щепы, опилок, коры, сучьев и ветвей), рубильная машина Jenz-420D, сертифицированное лабораторное оборудование ЦЗЛ ОАО «Витебскдрев». Применялись методы теории вероятности и компьютерного моделирования.

Научная новизна полученных результатов: установлены закономерности функционирования потоков топливной древесины в условиях гибких терминалов в течение года. Определены характер изменения влажности и уравнения регрессии потерь основных видов древесного топлива при их открытом способе хранения в течение года. Впервые разработана математическая модель расчета вместимости ЛЭТ древесного топлива с учетом вероятностного характера его работы, применяемых систем машин, типа покрытия площадки терминала, величины потерь древесного вещества. Определены значения коэффициентов полндревесности отходов лесозаготовок для различных способов их укладки и породных групп. Даны рекомендации по эффективному использованию ПТМ при сборе и подвозке лесосечных отходов.

Степень использования: результаты исследований использованы при разработке нормативных документов и прошли апробацию в Министерстве лесного хозяйства Республики Беларусь, концерне «Беллесбумпром», РУП «Витебскэнерго» и их структурных подразделениях, что позволило организовать более 40 производств, обеспечивающих заготовку, межсезонное хранение и устойчивую поставку топливной щепы на энергообъекты с минимальными удельными затратами.

Область применения: результаты работы могут быть использованы при проектировании терминалов древесного топлива и для обеспечения устойчивости поставок на мини-ТЭЦ и котельные предприятиями Минлесхоза, концерна «Беллесбумпром», Минжилкомхоза и другими заготовителями топливной древесины.

SUMMARY

Leonov Evgeny Anatolevich

Integrated use of raw wood to ensure stable operation of the flexible terminal

Keywords: residues, fuel chips, moisture, loss, irregularity, machine system, terminal model, method, stability of supply, energy facility.

Project goal: increase the integrated use of timber in forest industry enterprises through the establishment of flexible terminals and production of fuel chips from low quality wood and wood residues at minimal cost for sustainable supply of energy facilities.

Research methods and facilities: to conduct experiments, to perform the necessary measurements were used: samples of wood biomass (several species of chips, sawdust, bark, twigs and branches), chipper Jenz-420D, certified laboratory equipment CWL JSC «Vitebskdrev». Methods of probability theory and computer (simulation) modeling were used.

Scientific novelty of the obtained results: laws of governing the functioning of fuel wood flows in flexible terminals during the year were established. The nature of changes of moisture and loss of basic regression equation wood fuels during their storage in an open way during the year were identified. The mathematical model of calculating the capacity of the FET given the probabilistic nature of its work, applicable machine systems, type of coverage area of the terminal, the magnitude of losses of wood substance was first developed. The stacking factor of wood residues for different ways of laying and breed groups were identified. Recommendations on the efficient use of LTM in the collection and haulage of wood residues are listed.

Efficiency: the results of the studies used during the development of regulations and were approved by the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus, concern «Bellesbumprom», RUE «Vitebskenergo» and their structural units, that allowed to establish more than 40 industries, providing procurement, inter-seasonal storage and steady supply of fuel chips to power plants with minimum unit costs.

Application domain: the results can be used in the sphere of the wood terminals designing and to ensure the sustainability of supplies to the CHP and boiler businesses of the Ministry of Forestry, the concern «Bellesbumprom», the Ministry of Housing and communal services and other loggers of firewood.

Научное издание

Леонов Евгений Анатольевич

**КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОЙ РАБОТЫ
 ГИБКИХ ТЕРМИНАЛОВ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 05.21.01 – технология и машины лесозаготовок
и лесного хозяйства

Ответственный за выпуск Е. А. Леонов

Подписано в печать 20.08.2012. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 1,5. Уч.-изд. л. 1,5.
Тираж 60 экз. Заказ 317.

Издатель и полиграфическое оформление:
УО «Белорусский государственный технологический университет».
ЛПИ № 02330/0549423 от 08.04.2009.
ЛПИ № 02330/0150477 от 16.01.2009.
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.