

ФЕДОРЕНЧИК А. С., канд. техн. наук, профессор БГТУ
ЛЕОНОВ Е. А., канд. техн. наук, старший преподаватель БГТУ



ЛЕСОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ТЕРМИНАЛЫ: ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ

Топливная древесина, заготовленная традиционными системами машин, достаточно эффективно может быть переработана на топливную щепу с помощью рубильных систем машин на гибких лесозаготовительных терминалах (ЛЭТ).

Ограничением для построения таких моделей является недостаточная изученность (в том числе и на фундаментальном уровне) некоторых процессов, связанных с технологией работы ЛЭТ. Например, круглогодичная заготовка сырья и сезонность его потребления ведет к увеличению стоимости энергетического сырья.

В частности, заготовка топливной древесины ведется круглый год, а ее потребление имеет сезонный характер, поставщики древесного топлива вынуждены создавать его межсезонные запасы. При неправильном выборе параметров терминала это ведет к перебоям в поставках или завышению запасов топлива и, следовательно, к потерям древесного вещества при хранении.

Исторически сложилось так, что Беларусь зависит от импорта энергоресурсов. Масштабная программа по повышению энергоэффективности, которая сегодня реализуется в нашей стране, уже позволила существенно снизить энергоемкость экономики. Ряд программ по удовлетворению потребностей в тепловой и электрической энергии за счет потребления местных топливных ресурсов – основной движущий фактор развития сектора производства энергии из

древесного топлива в нашей стране. Предусматривается, что использование древесной биомассы будет играть важную роль в выполнении национальных плановых заданий и позволит довести долю собственных энергоресурсов в балансе котельно-печного топлива до 32% в 2020 году.

Гарантированные поставки сырья уже сегодня нужны целому ряду объектов, работающих на биотопливе. Это Вилейская мини-ТЭЦ (16,0 тыс. т у. т. или 60 тыс. пл. м³), котельная

«Осиповичи» (10,2 тыс. т у. т. или 38,7 тыс. пл. м³), Белорусская ГРЭС (8,25 тыс. т у. т. или 22,2 тыс. пл. м³), мини-ТЭЦ ОАО «Мостовдрев» (10 тыс. т у. т. или 38 тыс. пл. м³), Пинская ТЭЦ (23,1 тыс. т у. т. или 88 тыс. пл. м³), Пружанская мини-ТЭЦ (22,0 тыс. т у. т. или 83,4 тыс. пл. м³), Петриковская мини-ТЭЦ (7,0 тыс. т у. т. или 26,3 тыс. пл. м³), котельная «Россоны» (8,0 тыс. т у. т. или 30,3 тыс. пл. м³). Примерно с 2005 года началась активная установка энергоагре-

готов с автоматизированной загрузкой древесной щепы, что увеличило на нее спрос. С учетом этого в 47 хозяйствах системы Минлесхоза созданы мощности по производству топливной щепы с общим объемом производства около 800 тыс. пл. м³ в год. Планируется, что к 2015 году производственные мощности будут увеличены до 1500 тыс. пл. м³ в год.

Топливная древесина, заготовленная традиционными системами машин, достаточно эффективно может быть переработана на топливную щепу с помощью рубильных систем машин на гибких лесозаготовительных терминалах (ЛЭТ).

От традиционных складов ЛЭТ отличаются:

- применением мобильной системы специализированных машин;
- гибким технологическим процессом измельчения сырья, допускающим изменение мест и зон работы машин и хранения сырья и древесного топлива;
- переработкой древесного сырья в широком диапазоне размерно-качественных характеристик;
- возможностью выбора и изменения места расположения ЛЭТ в транспортно-технологической схеме освоения ресурсов сырья в зависимости от конкретных производственных условий;

- возможностью разделения ЛЭТ на несколько составных частей;

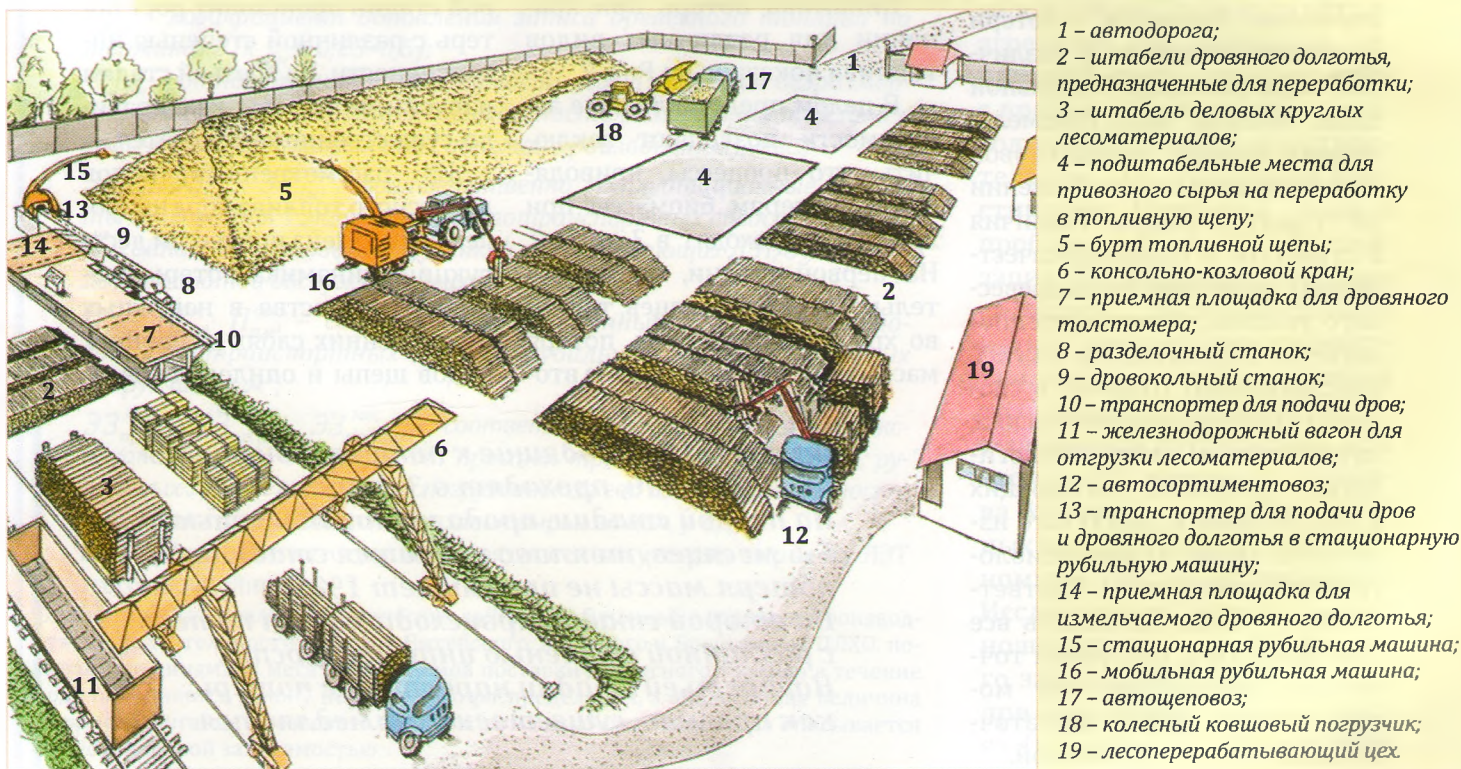
- возможностью функциональной и территориальной интеграции с другими структурными образованиями (лесными складами, биржами сырья, деревообрабатывающими производствами, энергообъектами и др.).

Пример лесозаготовительного терминала, интегрированного с лесным складом ГОЛХУ «Вилейский опытный лесхоз», представлен на Рис. 1. Необходимость строительства лесозаготовительного терминала возникла, когда на лесхоз возложили задачи по обеспечению топливной щепой Вилейской мини-ТЭЦ.

Техническая реализация концепции ЛЭТ стала возможна благодаря применению мобильной системы машин: автосортировщиков – 12, рубильных машин – 16, фронтальных погрузчиков – 18, автощеповозов – 17.

ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫЙ ТЕРМИНАЛ (ЛЭТ) – временное или постоянное техническое сооружение, предназначенное для складирования, измельчения древесной биомассы и бесперебойного снабжения энергообъектов древесным топливом.

Рис. 1. Технологическая схема функционирования ЛЭТ



Всвязи с тем что заготовка топливной древесины ведется круглый год, а ее потребление имеет сезонный характер, поставщики древесного топлива вынуждены создавать его межсезонные запасы. Это ведет к увеличению стоимости энергетического сырья, а при неправильном выборе параметров терминала – и к перебоям в поставках или завышению запасов топлива и, следовательно, потерям древесного вещества при хранении.

Учитывая многообразие факторов (объемы производства и вид топлива, динамику изменения его запаса с учетом производственной мощности энергообъекта, месторасположения, системы машин и др.), для организации и управление работой ЛЭТ требуется разработка математического описания его основных функциональных процессов. Ограничением для построения таких моделей является недостаточная изученность (в том числе и на фундаментальном уровне) некоторых процессов, связанных с технологией работы ЛЭТ.

Один из таких недостаточно изученных процессов – потери древесного вещества в различных видах биомассы (топливной щепе, опилках, коре, измельченных отходах лесозаготовок и пр.) при длительном хранении на открытом воздухе. Различия в структуре и размерно-качественных характеристиках древесного топлива, которое предполагается обрабатывать на ЛЭТ, обуславливают отличия в скорости и сочетаниях физических, химических и микробиологических процессов, приводящих к его потерям в результате изменения свойств, микробиологической деструкции. Соответственно, чтобы описывать все эти процессы с требуемой точностью, математическая модель должна быть в достаточной степени универсальной.

Для описания происходящих процессов авторы статьи предлагают использовать логистическую функцию [1]. Определяющим дифференциальным уравнением для логистической функции является уравнение Ферхюльста-Перла

$$\frac{dy}{dt} = by(A - y), \quad (1)$$

где:

y – значение анализируемого показателя, в рассматриваемой задаче это потери древесного топлива при его хранении в некоторый момент времени t ;

A – асимптота логистической функции;

b – параметр задачи.

Уравнение (1) интегрируется аналитически, его решение и есть искомая логистическая функция

$$y(t) = \frac{Ay_0}{y_0 + (A - y_0)e^{-Abt}}, \quad (2)$$

где: y_0 – начальное значение функции y .

Для определения потерь древесного вещества различных видов биомассы авторами был выполнен ряд промышленных и лабораторных исследований на существующих складах мини-ТЭЦ. Методика проведения исследований подробно описана в работе [2].

Результаты обработки экспериментальных данных и найденные с помощью метода наименьших квадратов (МНК) значения параметров логистической функции для потерь древесного топлива при хранении на складах мини-ТЭЦ позволили установить следующее: за период наблюдения равный 12 месяцам логистическая функция практически достигла асимптотического значения A . Поэтому A является характеристикой предельного значения потерь топлива. В большинстве случаев для наружных и внутренних слоев A отличается на 0,1%, что можно считать несущественным. Хотя в динамике процессов в наружных и внутренних слоях на разных стадиях цикла различия могут быть более заметными.

Динамика потерь при хранении для различных видов топлива показана на Рис. 2.

В целом представленные зависимости позволяют заключить, что процессы, приводящие к потерям биомассы при хранении, проходят в 3 стадии. На первой стадии, продолжительностью 5-6 месяцев, топливо хранится стабильно, потеря массы не превышает 1%. На вто-

рой стадии происходит рост потерь с различной степенью интенсивности. На третьей стадии нарастание потерь, как правило, существенно замедляется.

Из рассмотренных видов древесного топлива кора наиболее подвержена процессам деструкции. Динамика потерь древесного вещества в наружных и внутренних слоях различных видов щепы и опилок совпада-

Процессы, приводящие к потерям биомассы 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.

ют. Потери 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 форми-

ровать преимущественно из неизмельченной древесины;

- топливную щепу на складе хранить только в качестве страховых или неснижаемых запасов, которые периодически необходимо обновлять;

- минимизировать сроки хранения и обеспечивать первоочередное сжигание древесной коры.

Наиболее подвержена процессам деструкции кора

На основании установленных законов динамики поставки и потребления древесного топлива в течение года по месяцам на ЛЭТ, экспериментально определенных величин потерь древесного вещества различных видов топлива, с учетом целевой функции и многообразия природно-производственных условий, на ЭВМ было выполнено моделирование работы лесозаготовительского терминала.

На Рис. 3 применительно к Вилейской мини-ТЭЦ определены оптимальные значения относительной вместимости ЛЭТ в зависимости от типа покрытия площадки терминала (рис. 3, а), применяемых систем машин (рис. 3, б) и величины среднемесячных потерь древесного вещества (рис. 3, в).

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

Для оптимизации параметров ЛЭТ также разработана универсальная математическая модель его функционирования [3]. Критерием эффективности являлась целевая функция, заключающаяся в минимизации удельных эксплуатационных затрат по содержанию ЛЭТ, учитывающая затраты на строительство площадки терминала, потери (снижения качества) древесного сырья при открытом кучевом хранении и дополнительные затраты, вызванные ограниченностью вместимости ЛЭТ:

$$ЭЗ_{об}^{уд} = \left[\left(ЭЗ_{пл}^{мес} + 0,01 \cdot X_{пот} \cdot Ц_t^{уд} \cdot k_{обн} \right) \cdot W_{отн} + \left(\frac{ЭЗ_{тр}^{см}}{П_{тр}^{см}} + ЭЗ_{пр.тр}^{мес} \right) \cdot P_{пер} + \left(\frac{ЭЗ_{рм}^{см}}{П_{рм}^{см}} + \frac{ЭЗ_{пм}^{см}}{П_{пм}^{см}} + ЭЗ_{пр.рм}^{мес} + ЭЗ_{пр.пм}^{мес} \right) \cdot (P_{пер} + P_{отс}) \right] \rightarrow \min, (3)$$

где:

$ЭЗ_{пл}^{мес}$ – среднемесячные удельные эксплуатационные затраты (в денежных условных единицах) по содержанию доли площади ЛЭТ, необходимой для размещения на ней 1 плотно 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, %;

$Ц_t^{уд}$ – 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.;

$ЭЗ_{тр}^{см}$, $ЭЗ_{рм}^{см}$, $ЭЗ_{пм}^{см}$ – 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.;

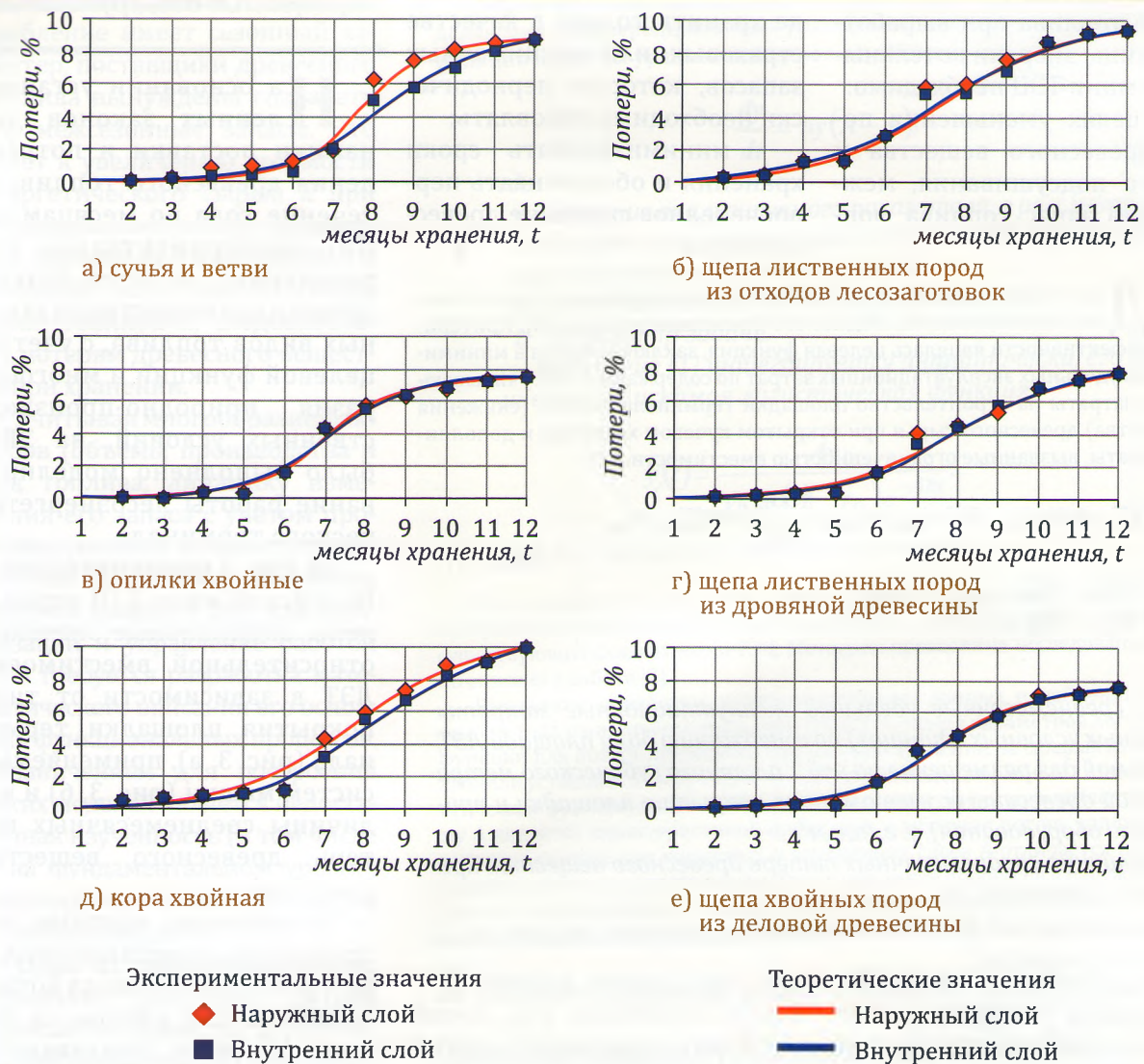
$П_{тр}^{см}$, $П_{рм}^{см}$, $П_{пм}^{см}$ – соответственно сменные производительности автотранспортных средств, рубильных машин и ковшовых погрузчиков, м³;

$ЭЗ_{пр.тр}^{мес}$, $ЭЗ_{пр.рм}^{мес}$, $ЭЗ_{пр.пм}^{мес}$ – 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.;

$P_{отс}$ и $P_{пер}$ – соответственно вероятности отсутствия сырья на ЛЭТ и его переполнения.

Статистический анализ эмпирических данных, полученных в условиях производственной деятельности лесхозов Витебского, Минского и Брестского ГПЛХО, показал, что динамика месячных объемов поставки древесного топлива в течение года подчиняется закону нормального распределения, а аналогичная величина объемов сжигания древесного топлива по месяцам в течение года описывается синусоидальной зависимостью.

Рис. 2. Динамика потерь древесного вещества различных видов древесной биомассы при длительном открытом способе хранения



щаемого сырья на составных частях ЛЭТ (промежуточный склад / автономный склад) приведены на Рис. 4.

В целом теоретические и экспериментальные исследования позволили установить, 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

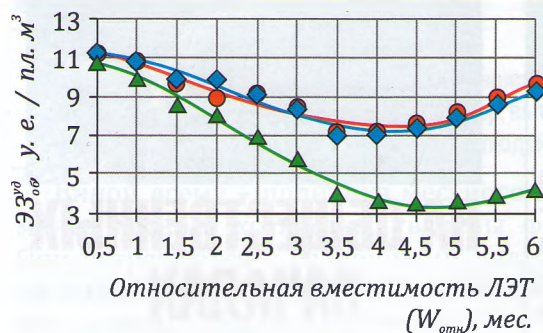
обеспечивается устойчивая и эффективная работа энергообъекта;

– 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;

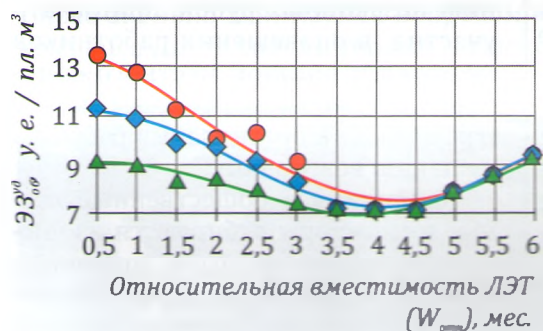
Устойчивая и эффективная работа энергообъекта обеспечивается, если относительная вместимость ЛЭТ составляет 3,5–4,5 среднемесячных объемов сырья

Рис. 3. Значение удельных эксплуатационных затрат при организации ЛЭТ без промежуточных складов в условиях Вилейской мини-ТЭЦ



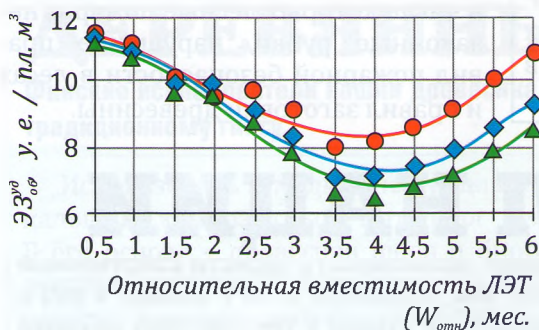
- Асфальтобетонное покрытие
- ◆ Цементнобетонное покрытие
- ▲ Гравийное покрытие

а) в зависимости от типа покрытия площадки терминала



- Зарубежная система машин
- ◆ Комбинированная система машин
- ▲ Отечественная система машин

б) применяемых систем машин

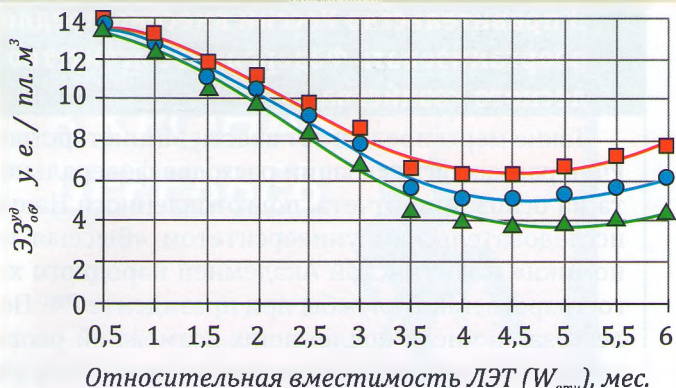


Среднемесячные потери древесного вещества

- 2%
- ◆ 1%
- ▲ 0,5%

в) величины среднемесячных потерь древесного вещества

Рис. 4. Значение удельных эксплуатационных затрат при организации ЛЭТ с наличием промежуточных складов



Доля размещаемого сырья на составных частях ЛЭТ (промежуточный склад /автономный склад):

- 25 / 75%
- 50 / 50%
- ▲ 75 / 25%

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.

ЛИТЕРАТУРА

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