

УДК 674.093.4

Е. А. Леонов, ассистент (БГТУ)

МОДЕЛЬ СКЛАДА ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА

В статье выявлены закономерности функционирования склада древесного топлива с учетом колебаний месячных объемов поставок топливной древесины потребителям и сезонного характера ее сжигания. Проведено компьютерное моделирование устойчивого функционирования склада древесного топлива. На основании предварительных исследований и результатов компьютерного моделирования сформулирован ряд практических выводов.

In article laws of functioning of a warehouse of wood fuel are revealed in view of fluctuations of monthly standard items of fuel wood to consumers and a seasonal nature of its burning. Computer modelling steady functioning of a warehouse of wood fuel is carried out. On the basis of preliminary researches and results of computer modelling a some of practical recommendations.

Введение. В последние годы в Республике Беларусь быстрыми темпами развивается энергетика на местных (возобновляемых) видах топлива. В результате чего увеличивается производство топливной щепы, в том числе из низкокачественной древесины, отходов лесозаготовок и деревообработки. При работе котельных или мини-ТЭЦ поставка древесного топлива и его последующее потребление осуществляется неравномерно (периодически). Так, в силу известных природно-производственных условий республики вывозка древесины наиболее интенсивно осуществляется в зимний и летний периоды, а пик потребления топлива наблюдается в зимний период.

Система поставок древесного топлива должна предусматривать меры, позволяющие устранять (минимизировать) предполагаемые и непредвиденные нарушения процесса поставки. С этой целью заготовленная и вывезенная в летний сезон древесина частично либо полностью укладывается в запас, который используется в период осенне-весенней распутицы, в выходные и праздничные дни и т. д. [1, 2]. В связи с этим важное значение приобретают вопросы, связанные с ее хранением и созданием запасов, необходимых для устойчивого снабжения потребителей (котельных и мини-ТЭЦ).

Традиционно предприятия лесного комплекса создают три вида запасов сырья или продукции: сезонные (межсезонные), межоперационные (резервные) и буферные [2, 3].

Двумя важнейшими показателями склада топливной древесины являются вместимость и запас. Вместимость характеризуется наибольшим количеством сырья, которое можно разместить на складе. Запас определяется объемом древесного топлива, который хранится на складе в данный момент времени. Этот показатель отличается своим непостоянством и является случайной величиной. В. Д. Никишов отмечает, что при недостаточной вместимости склада возможно его переполнение, из-за чего возникают простои и потери 25–30% рабочего вре-

мени. Чрезмерная вместимость потребует излишних и ненужных капитальных вложений на устройство склада [4].

Имеющиеся на сегодня рекомендации по запасам топливной древесины у фронта отгрузки и вместимости складов не учитывают в полной мере случайного фактора поступления и сезонности отгрузки продукции на котельную (мини-ТЭЦ). Проектирование складов топливной щепы часто осуществляется по результатам визуальных наблюдений, что зачастую приводит к завышению или занижению рекомендуемых запасов.

Вопрос о вместимости склада топливной древесины со случайным объемом поступления (в том числе выхода от рубильных установок) и ее последующей отгрузке на котельную (мини-ТЭЦ) в условиях сезонности потребления представляет значительный интерес. Имеется противоречие между обеспечением надежности бесперебойной поставки биотоплива транспортом (либо работы рубильных установок непосредственно на складе), внутри складского транспорта и экономией затрат на содержание склада и хранение готовой продукции. Так, для обеспечения устойчивого функционирования котельной (мини-ТЭЦ) с учетом неритмичности поставок сырья транспортом и недопущения «разморозки» системы отопления в зимний период необходимо безграничное увеличение вместительности склада. Но при этом необходимо учитывать затраты на содержание склада и хранение сырья (в том числе потери), включающие в себя эксплуатационные расходы по складу, которые определяют верхнюю границу его вместимости.

Вопросами оптимизации технологических процессов лесозаготовительного производства, рациональной загрузки машин и механизмов на складах, обоснования уровней запасов древесины на основе моделирования с учетом вероятностного выполнения операций занимались ученые МГУЛ, СПбГЛТА, БГТУ, ЦНИИМЭ и др. [1–4].

Использование в качестве основы большинства методик не представляется возможным, так как в указанных литературных источниках рассматривается склад технологической щепы либо склад круглых лесоматериалов. Отличительной особенностью данных работ является то, что вся древесина без сезонных спадов отгружается потребителям без учета продолжительности хранения древесного сырья различных видов (при котором изменяется их теплотворная способность), потеря древесного вещества при длительном открытом кучевом хранении, сезонности спроса и устойчивости поставок.

С учетом вышеизложенного методика исследований включала в себя следующие элементы:

- разработка метода выявления закономерностей функционирования склада древесного топлива с учетом внутригодовых колебаний месячных объемов поставок топливной древесины потребителям (котельными или мини-ТЭЦ); сезонного характера ее сжигания;

- натурные наблюдения за потерями массы и изменением влажности различных видов древесного топлива (неизмельченная древесина, щепа, кора, опилки) при хранении на открытом воздухе [5];

- компьютерное моделирование устойчивого функционирования склада древесного топлива.

1. Исследование неравномерности потоков топливной щепы на складах. В качестве исходной информации при выявлении закономерностей внутригодовых колебаний месячных объемов поставок топливной древесины потребителям и сезонного характера ее сжигания использовались статистические отчеты и другие материалы предприятий Брестской, Витебской, Минской и Могилевской областей, в которых

фиксируются месячные объемы поставок и сжигания сырья. Динамика состояний основных фаз (поставки и потребления) функционирования склада древесного топлива характеризовалась месячными коэффициентами неравномерности $K(t_i)$ и представлена на рис. 1–2.

В результате обработки статистических данных было установлено: среднемесячная интенсивность поставки древесного топлива изменяется в течение года по непериодическому закону и для каждого предприятия индивидуальна; потребление древесного топлива различными котельными и мини-ТЭЦ изменяется в течение года по периодическому закону и в зависимости от сезона года носит достаточно устойчивый характер.

Знание параметров, т. е. установление закона распределения потоков топливной древесины, позволяет определить и оптимизировать показатели функционирования склада древесного топлива.

С целью установления зависимостей $K^H = f(t_i)$ и $K^C = f(t_i)$ полученные экспериментальные данные обрабатывались методами статистики.

Анализ эмпирических законов распределения показал, что случайная величина коэффициента неравномерности поставки древесного топлива K^H может быть описана как распределенная по нормальному закону с параметрами K и σ^2 .

На примере нескольких предприятий (рис. 3) представлено распределение коэффициентов неравномерности поставки древесного топлива.

Плотность распределения величины K^H имеет вид

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-K)^2}{2\sigma^2}}. \quad (1)$$

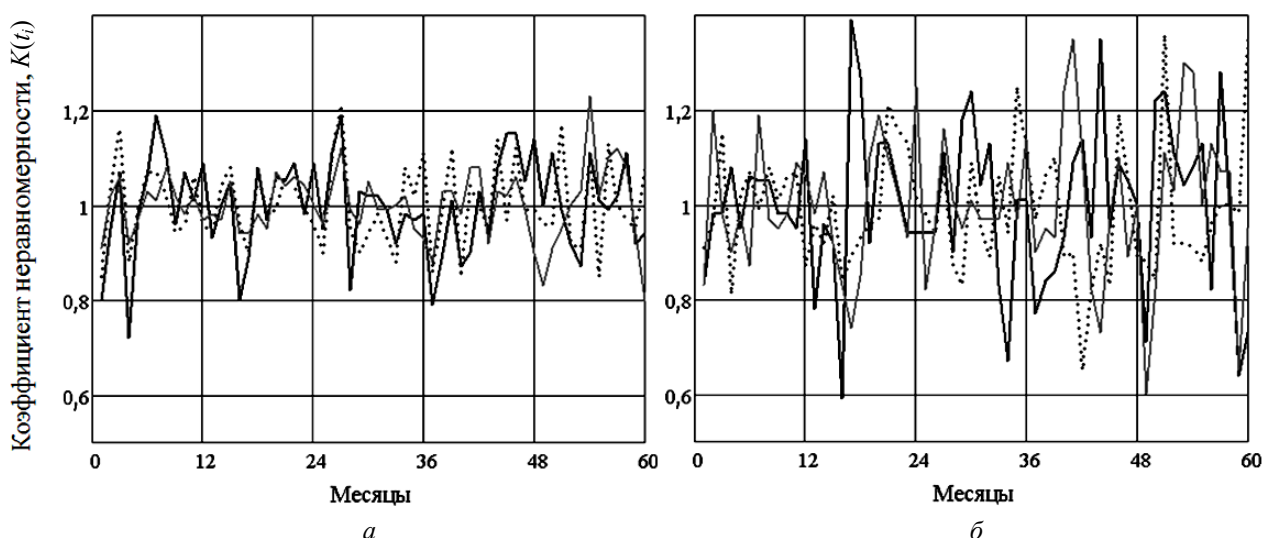


Рис. 1. Неравномерность поставки древесного топлива:
а – в производственных лесохозяйственных объединениях (ГПЛХО); б – в лесхозах (ГЛХУ)

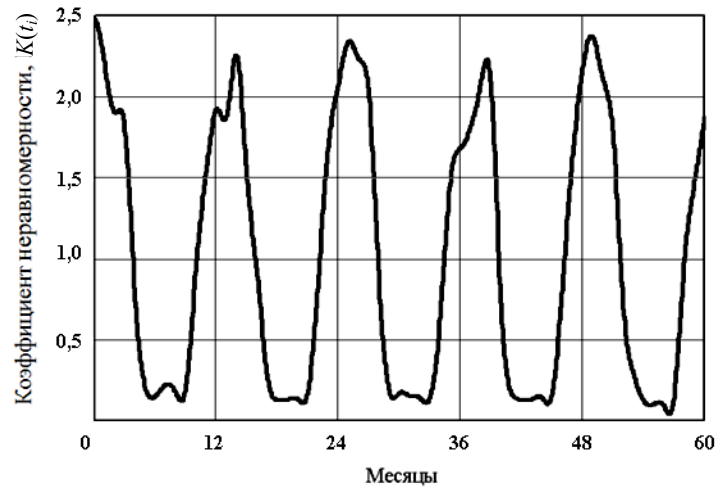


Рис. 2. Неравномерность сжигания древесного топлива

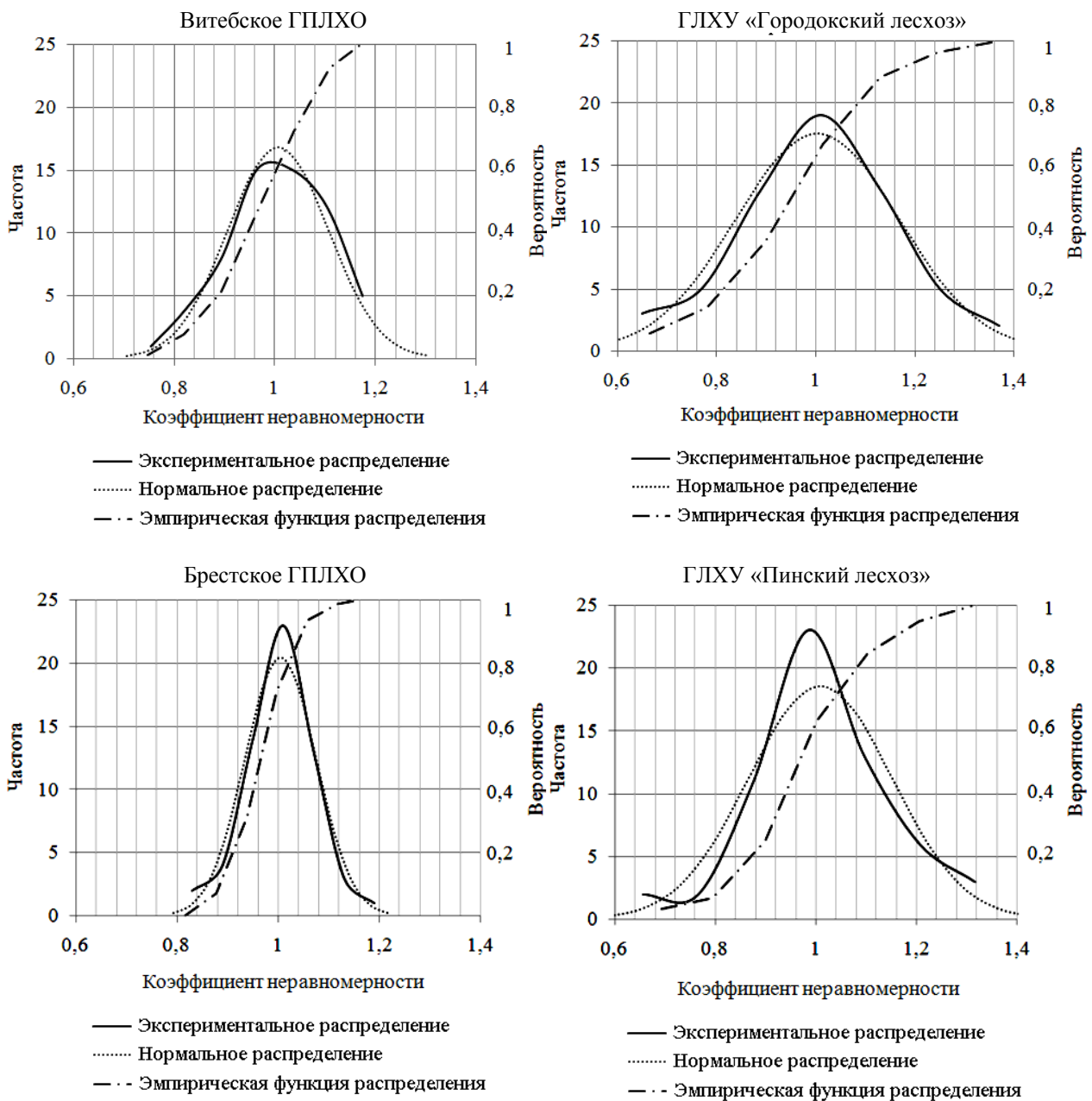


Рис. 3. Распределение коэффициентов неравномерности поставки древесного топлива

Функция распределения величины K^n

$$P(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-K)^2}{2\sigma^2}} dx \quad (2)$$

Оценка расхождения между статистическим (эмпирическим) распределением проверялась по критериям согласия. Расхождение эмпирических и теоретических распределений не менее чем в 95% случаев подтвердилось критериями Пирсона и Колмогорова.

Анализ неравномерности сжигания древесного топлива (рис. 2) показал функциональную зависимость величины коэффициента неравномерности от времени. Данная зависимость имеет вид

$$K^c(t_i) = a_1 + a_2 \cdot \sin(a_3 \cdot t_i + a_4). \quad (3)$$

2. Оптимизация вместимости склада древесного топлива. Склад рассматривается как система «поставщик (транспортное средство) – склад топлива – потребитель (котельная или мини-ТЭЦ)» с ограниченной вместимостью $W_{\text{скл}}$. Для такой системы входящим потоком является непрерывный поток древесного топлива, поступающего на склад с интенсивностью K^n в месяц, а выходящим потоком – непрерывный поток топлива, поступающий на мини-ТЭЦ (котельную) с интенсивностью K^c в месяц.

Объем древесного топлива на складе меняется случайно во времени в пределах от 0 до вместимости склада $W_{\text{скл}}$:

$$Z_{\text{скл}} = \sum_{i=1}^{\infty} (K_i^n - K_i^c), \quad (4)$$

где K_i^n и K_i^c – коэффициенты неравномерности соответственно поставки и сжигания древесного топлива в i -том месяце.

При помощи имитации лесоскладского процесса на ЭВМ (рис. 4) рассчитаны вероятности отсутствия древесного сырья на складе и его переполнения. При этом последовательно вычислялась разница между случайными значениями коэффициентов неравномерности поставки и потребления топливной древесины, генерируемые в соответствии с установленными законами распределения. Получаемые данные суммировались так, чтобы их сумма не переходила границы склада (от 0 до $W_{\text{скл}}$). Далее запоминалось количество случаев, когда запас древесины был равным этим предельным границам и условно мог их превзойти. Частное от деления этих случаев на общее число реализаций запоминалось программой и выводилось на экран. Это значение соответствовало вероятности отсутствия древесного топлива на складе или его переполнения. В качестве примера значение этих вероятностей (в условиях Витебского ГПЛХО) представлено графически на рис. 5.

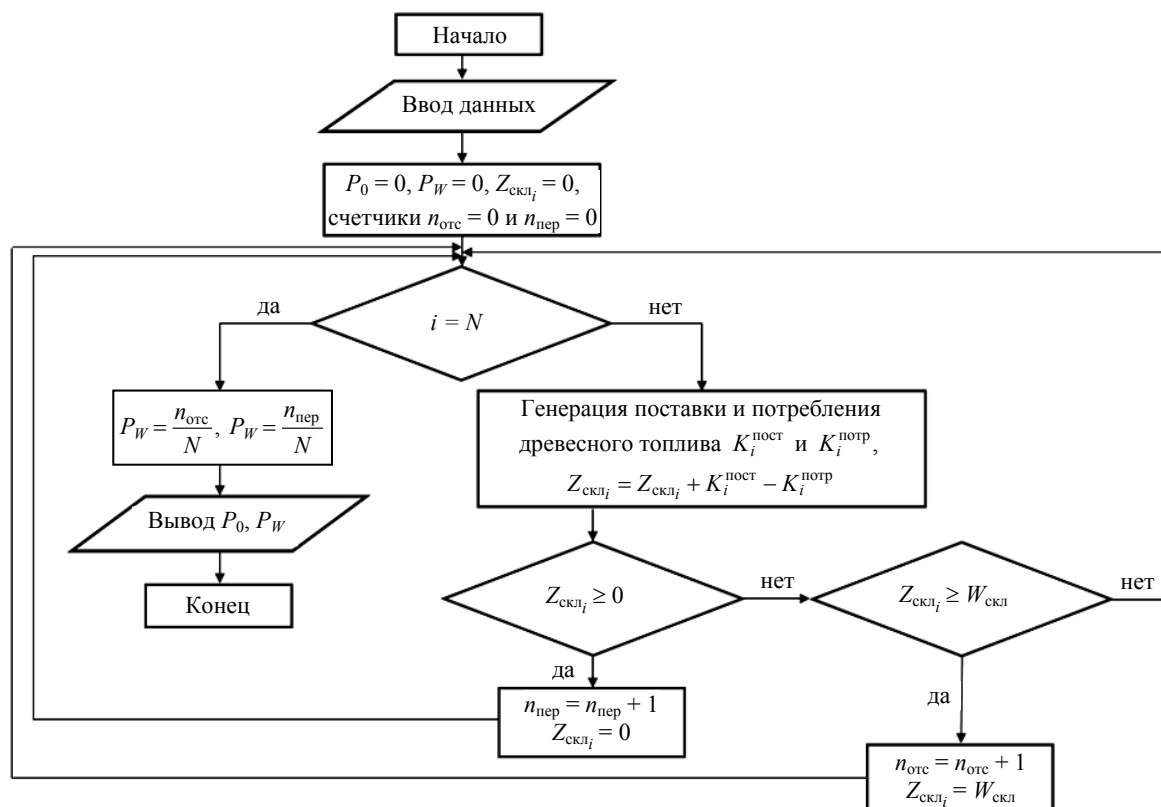


Рис. 4. Блок-схема алгоритма расчета вероятностей состояния склада древесного топлива

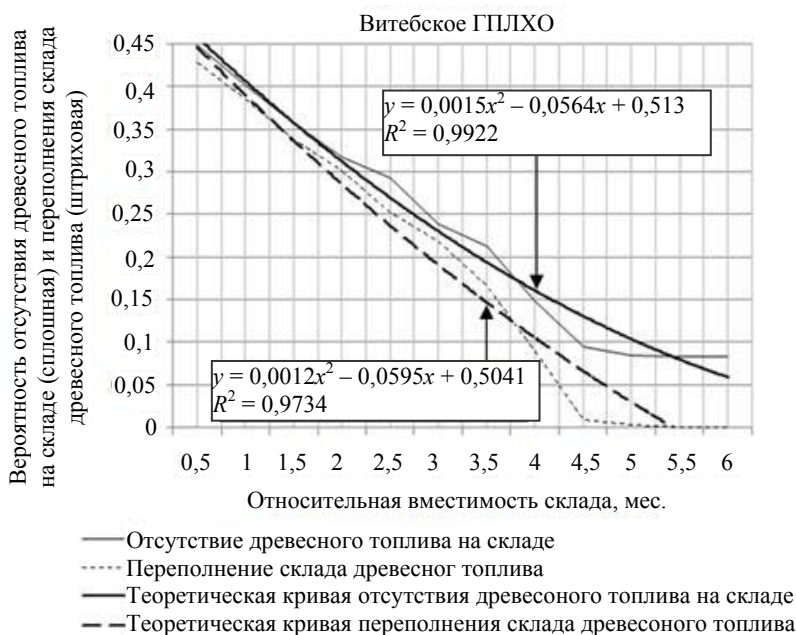


Рис. 5. Зависимости вероятностей отсутствия древесного топлива на складе и переполнения склада древесного топлива от относительной вместимости склада

Для получения результата с достоверностью 0,99 произведен расчет необходимого числа итераций. Число повторов для каждой рассчитанной точки графика составило 1200, что соответствовало 100 годам работы склада.

Как видно из графика (рис. 5), вероятности переполнения склада древесиной $P(Z_{\text{скл}} = W_{\text{скл}})$ и отсутствия ее на складе $P(Z_{\text{скл}} = 0)$ резко снижаются с ростом относительной вместимости склада до 4–4,5-месячного объема поступления на него сырья. Оптимальное значение вместимости склада будет соответствовать минимуму удельных приведенных затрат непосредственно по складу древесного топлива, смежным операциям, от потерь и т. д.

Заключение. С учетом вышеизложенного, можно сделать ряд выводов.

1. Неравномерность поставок и потребления древесного топлива приводит к снижению загрузки машин и оборудования, потерям рабочего времени, «разморозки» системы отопления в зимний период и т. д.

2. Характер протекания поставки и потребления древесного топлива внутри года индивидуален для каждого предприятия, поэтому требует знания численных параметров фазовых работ конкретных предприятий.

3. Показателем, совокупно учитывающим влияние основных факторов на величину месячных объемов поставки и потребления древесного топлива, может быть коэффициент неравномерности $K(t_i)$. Информация, имеющаяся на предприятиях, позволяет определить его численные значения.

4. При относительно постоянных условиях функционирования предприятий достоверные данные можно подучить на основании пяти последних лет работы.

5. Вероятности переполнения склада древесиной и отсутствия ее на складе резко снижаются с ростом относительной вместимости склада.

6. Оптимальное значение вместимости склада соответствует минимуму удельных приведенных затрат непосредственно по складу древесного топлива, смежным операциям, от потерь и т. д.

Литература

1. Головков, С. И. Энергетическое использование древесных отходов / С. И. Головков, И. Ф. Коперин, В. И. Найденов. – М.: Лесная пром-сть, 1987. – 224 с.
2. Редькин, А. К. Математическое моделирование и оптимизация технологий лесозаготовок: учеб. для вузов. / А. К. Редькин, С. Б. Якимович. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2005. – 504 с.
3. Залегаллер, Б. Г. Технология и оборудование лесных складов: учеб. для вузов. / Б. Г. Залегаллер, П. В. Ласточкин, С. П. Бойков. – 3-е изд., испр., доп. – М.: Лесная пром-сть, 1984. – 352 с.
4. Никишов, В. Д. Комплексное использование древесины / В. Д. Никишов. – М.: Лесная пром-сть, 1985. – 264 с.
5. 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.

Поступила 15.03.2011