

УДК 621.311

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОТОЧНОЙ ЛИНИИ ПРОИЗВОДСТВА ПИЛОПРОДУКЦИИ

© С.П. Агеев, д-р техн. наук, доц.

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,

наб. Северной Двины, 17, г. Архангельск, 163002; e-mail: doctor.mart11@mail.ru

Известно, что характер потребления электроэнергии производством в целом определяется характером ее потребления отдельными механизмами. Процесс получения пиломатериалов в лесопильном цехе осуществляется на отдельных поточных линиях, поэтому потребление энергии цехом в целом определяется как сумма расходов электроэнергии отдельными линиями. В целях снижения потребления и повышения эффективности использования электроэнергии прежде всего необходимо обеспечить работу поточных линий в энергетически эффективных режимах. Эта задача может быть решена с помощью анализа зависимости потребления энергии линией от различных факторов, изменяющихся в процессе получения пиломатериалов. Целью настоящей статьи явилось построение энергетических характеристик поточной линии пиломатериалов как энергетических характеристик группы механизмов, входящих в состав линии и связанных между собой единым технологическим процессом. Работа поточных линий связана с воздействием на них различных случайных факторов, поэтому энергетические характеристики имеют неоднозначный характер зависимости от технологических факторов и должны быть получены как корреляционные связи. Для их построения поточная линия представлена в виде многофазовой системы массового обслуживания, для которой использован метод имитационного моделирования протекания технологического и энергетического процессов. На основании исследований разработана имитационная модель технологического процесса лесопиления с учетом случайных факторов. Для технологического потока лесопиления получены энергетические характеристики как корреляционные связи, позволяющие оценить основные параметры энергопотребления в зависимости от производительности потока. Наличие энергетических характеристик позволит более качественно подходить к вопросу планирования удельных расходов энергии по каждому типоразмеру сортиментов и производству в целом. Установлено, что энергетические характеристики основных показателей электропотребления поточной линии носят нелинейный характер. Показано, что процесс моделирования и получения энергетических характеристик можно упростить, если учесть, что в общем энергопотреблении поточной линии более 92 % приходится на долю энергоемких механизмов: одного окорочного станка, двух лесопильных рам и двух обрезных станков. Поэтому анализ энергопотребления поточной линии, определение наиболее рациональных режимов ее работы со сравнительно высокой степенью точности удобно и целесообразно проводить по упрощенным энергетическим характеристикам, не искажая при этом реально существующие закономерности этого потребления, и по значительно меньшему числу исходных данных.

Ключевые слова: поточная линия производства пилопродукции, производительность, потребляемая мощность, удельный расход электроэнергии, система массового обслуживания, имитационная модель.

Вопросы рационального использования энергетических ресурсов приобретают в настоящее время все большее значение. Лесопиление является основным в механической обработке древесины и представляет собой сложный энергоемкий процесс. Иногда энергозатраты на производство пилопродукции необоснованно завышены и могут существенно отличаться от нормативных, что

во многом определяется несогласованностью энергетических свойств оборудования с технологическими операциями. Следует отметить, что большая часть (до 82...86 %) пиломатериалов вырабатывается с применением лесопильных рам, существенно меньшая – с использованием фрезерно-пильных агрегатов, круглопильных и ленточнопильных станков.

Проблема повышения энергоэффективности лесопильного производства может быть решена при комплексном рассмотрении и оптимизации технологической и энергетической составляющих процесса. Следует отметить, что такие исследования практически не выполнялись, поэтому целенаправленное научно обоснованное изучение этой проблемы является актуальным.

Как известно, характер потребления электроэнергии производством в целом определяется характером ее потребления отдельными механизмами. Так как получение пиломатериалов в лесопильном цехе осуществляется на отдельных поточных линиях, поэтому потребление энергии цехом в целом определяется как сумма расходов электроэнергии отдельными линиями. В связи с этим для снижения потребления и повышения эффективности использования электроэнергии прежде всего необходимо обеспечить работу поточных линий в энергетически эффективных режимах. Эта задача может быть решена на основе анализа зависимостей потребления энергии линией от различных факторов, изменяющихся в процессе получения пиломатериалов [8].

Основными зависимостями, необходимыми для выполнения указанного анализа, являются энергетические характеристики. К ним относятся зависимости потребляемой всеми механизмами поточной линии среднечасовой мощности P_0 , и удельного расхода энергии d_0 от производительности A_0 поточной линии по объему распиленного сырья. Так как работа поточных линий связана с воздействием на них различных случайных факторов, то указанные характеристики не могут носить однозначный характер и должны быть получены как корреляционные связи.

Научная новизна предлагаемой методики состоит в том, что для получения корреляционных связей поточная линия представляется как система массового обслуживания (СМО), для которой разработана имитационная модель процесса лесопиления с учетом случайных факторов.

Наиболее энергоемкими потребителями поточной линии являются лесопильные рамы (ЛР), поэтому именно они определяют характер энергопотребления. Ранее аналитическим путем были получены нормовые энергетические характеристики ЛР [6, 7]. Там же было показано, что их производительность A_0 подвергается изменениям как под влиянием колебаний нагрузки (переменный объем бревен), так и продолжительности вспомогательного времени.

Поточная линия, кроме ЛР, включает в себя и другие станки, производительность которых также меняется от цикла к циклу [2, 5]. Поэтому зависимость энергетических показателей линии от ее производительности не может носить однозначный характер и должна рассматриваться как стохастическая. В связи с этим нормовые энергетические характеристики $P_0(A_0)$ и $d_0(A_0)$ поточной линии должны выводиться как корреляционные связи.

Метод получения энергетических характеристик поточной линии пиломатериалов заключается в том, что они рассматриваются как энергетические характеристики группы механизмов, входящих в линию и связанных между собой единым технологическим процессом. Эти характеристики могут быть построены одним из следующих способов:

по экспериментальным данным, полученным в реальных условиях лесопильного производства;

с помощью имитационного моделирования режима электропотребления поточной линии.

В условиях лесопильного производства получение энергетических характеристик поточной линии представляет собой сравнительно длительный и трудоемкий процесс, поскольку для этого требуются экспериментальные данные о потребляемой энергии и времени холостых ходов отдельно по каждому из технологических механизмов линии. Для этого необходимы установка большого числа измерительных приборов, которые в условиях лесопильного производства обычно отсутствуют, соответствующий персонал и значительное время.

В настоящей работе принят второй способ. Это обусловлено следующими условиями. В лесопильном производстве изучаемые связи отдельных технологических процессов, а также процессов управления довольно сложны, носят стохастический характер, и выявить их при помощи обычных математических методов практически невозможно [12].

Рассмотрение технологической схемы лесопильного производства показывает, что оно по своей структуре может быть представлено как СМО [10]. На вход такой системы поступает поток пиловочного сырья, а на выходе образуется поток пиломатериалов. При этом отдельные технологические операции процесса образуют фазы СМО, что позволяет рассматривать лесопильное производство как многофазную СМО (рис. 1): первая фаза обслуживания – окорка бревен, входящий поток требований которой является потоком Эрланга; вторая фаза – распиловка бревен на лесопильных рамах 1-го ряда, входящий и выходящий потоки этой фазы также аппроксимируются потоками Эрланга; третья фаза – распиловка брусьев на лесопильных рамах 2-го ряда; четвертая фаза – обрезка досок.

Разработка имитационной модели функционирования технологического процесса лесопиления выполнена в несколько этапов [11]. Первым этапом



Рис. 1. Сетевая модель поточной линии производства пиломатериалов (λ_{1-5} – интенсивность входящего потока требований на соответствующих участках; m – допустимое количество требований, находящихся в очереди на обслуживании (обработке);

μ_{1-5} – интенсивность обработки требований)

является составление содержательного описания процесса, которое концентрирует сведения о физической природе и количественных характеристиках отдельных операций, о характере и

степени взаимодействия между ними, вторым – построение формализованной схемы функционирования процесса, третьим – преобразование формализованного описания технологического процесса в его имитационную модель.

Содержательное описание технологического процесса. Аналитическое описание работы поточной линии производства пиломатериалов как СМО сложной структуры представляется труднорешаемой задачей. В связи с этим весь процесс целесообразно моделировать, регистрируя прохождение каждого требования (бревно, брус, доска) на всех стадиях обработки.

В формализованной схеме описания технологического процесса отмечены характеристики процесса (УРЭ за эффективное и операционное время интервала выпуска продукции), установлены параметры режима работы основного энергоемкого оборудования (скорости подачи, коэффициенты энергоемкости), определены исходные данные (параметры и законы распределения случайных величин, постав распиловки). При этом последовательно регистрировалось прохождение во времени через поточную линию каждого требования, а также определялось энергопотребление на всех участках лесопильного потока. В условиях лесопильного производства на протекание операций технологического процесса оказывают влияние случайные факторы. Для их математического описания использованы следующие вероятностные схемы: случайные величины и случайные процессы [1, 3, 4, 9].

Имитационная модель представляет собой систему соотношений, определяющих зависимость характеристик процесса от его параметров и времени.

В качестве входных переменных приняты:

вектор-функция суммарных объемов обрабатываемого материала

$$\bar{Z} = (Z_{бр}; Z_{бс}; Z_{д}),$$

где $Z_{бр}$, $Z_{бс}$, $Z_{д}$ – соответственно суммарные объемы бревен, брусьев и досок, м^3 ;

вектор-функция скоростей подачи

$$\bar{u} = (u_1; u_2; u_3; u_4),$$

где u_1 , u_2 , u_3 , u_4 – соответственно скорости подачи окорочного станка, лесопильных рам 1- и 2-го рядов, обрезных станков, м/с;

вектор-функция суммарных продолжительностей межторцовых разрывов

$$\bar{T}_в = (T_{в1}; T_{в2}; T_{в3}; T_{в4});$$

среднечасовая производительность $A_o(t)$ поточной линии по объему распиленного сырья за суммарное операционное время T_o ;

общий объем электроэнергии $W_o(t)$ на технологические операции за время T_o .

Математическую модель технологического процесса лесопиления представим в виде соотношения

$$d_o(t) = f_1(t, \bar{Z}, \bar{u}, \bar{T}_в, A_o, W_o).$$

Получение модели такого вида, когда выходная характеристика технологического процесса является явной функцией его входных переменных и времени, оказывается трудоемким процессом, а модель весьма громоздкой. Поэтому для решения поставленной задачи

технологический процесс лесопиления разделен на ряд отдельных операций (окорка (ок), распиловка бревен (рас 1) и брусьев (рас 2), обрезка (обр) досок).

Характеристики и параметры операций связаны следующими соотношениями:

$$\begin{aligned} \tau_{\text{ок}} &= L/u_1; \tau_{\text{рас1}} = L/u_2; \tau_{\text{рас2}} = L/u_3; \tau_{\text{обр}} = L/u_4; \\ A_{\text{э1}} &= V_{\text{бр}}/\tau_{\text{ок}}; A_{\text{э2}} = V_{\text{бр}}/\tau_{\text{рас1}}; A_{\text{э3}} = V_{\text{бс}}/\tau_{\text{рас2}}; A_{\text{э4}} = V_{\text{д}}/\tau_{\text{обр}}; \\ P_{\text{э1}} &= c_{\text{д1}}\sqrt{A_{\text{э1}}} + P_{\text{д.пост1}}; P_{\text{э2}} = c_{\text{д2}}\sqrt{A_{\text{э2}}} + P_{\text{д.пост2}}; \\ P_{\text{э3}} &= c_{\text{д3}}\sqrt{A_{\text{э3}}} + P_{\text{д.пост3}}; P_{\text{э4}} = c_{\text{д4}}\sqrt{A_{\text{э4}}} + P_{\text{д.пост4}}; \end{aligned} \quad (1)$$

$$w_{\text{ок}} = P_{\text{э1}}\tau_{\text{ок}}; w_{\text{рас1}} = P_{\text{э2}}\tau_{\text{рас1}}; w_{\text{рас2}} = P_{\text{э3}}\tau_{\text{рас2}}; w_{\text{обр}} = P_{\text{э4}}\tau_{\text{обр}},$$

где $\tau_{\text{ок}}, \tau_{\text{рас1}}, \tau_{\text{рас2}}, \tau_{\text{обр}}$ – время обработки одного требования на данном станке, с;

L – длина бревна, м;

$V_{\text{бр}}, V_{\text{бс}}, V_{\text{д}}$ – объемы бревна, бруса и доски соответственно, м³;

$P_{\text{э1}}$ и др. – среднечасовая потребляемая мощность станками с 1-го по 4-й, кВт;

$P_{\text{д.пост1}}$ и др. – постоянная составляющая потребляемой мощности двигателя, кВт;

$c_{\text{д1}}$ и др. – коэффициент энергоемкости электропривода механизма, кДж/(м^{1,5}·ч^{0,5});

$w_{\text{ок}}, w_{\text{рас1}}, w_{\text{рас2}}, w_{\text{обр}}$ – потребляемая электроэнергия за время одного цикла, кВт·ч.

Суммарные характеристики технологического процесса связаны с характеристиками отдельных операций следующими соотношениями:

$$\begin{aligned} T_{\text{э1}} &= \sum_{i=1}^N \tau_{\text{ок}}^{(i)}; T_{\text{э2}} = \sum_{i=1}^N \tau_{\text{рас1}}^{(i)}; T_{\text{э3}} = \sum_{i=1}^N \tau_{\text{рас2}}^{(i)}; T_{\text{э4}} = \sum_{i=1}^M \tau_{\text{обр}}^{(i)}; \\ T_{\text{в1}} &= \sum_{i=1}^{N-1} \tau_{\text{в1}}^{(i)}; T_{\text{в2}} = \sum_{i=1}^{N-1} \tau_{\text{в2}}^{(i)}; T_{\text{в3}} = \sum_{i=1}^{N-1} \tau_{\text{в3}}^{(i)}; T_{\text{в4}} = \sum_{i=1}^{M-1} \tau_{\text{в4}}^{(i)}; \\ T_{\text{э}} &= T_{\text{э1}} + T_{\text{э2}} + T_{\text{э3}} + T_{\text{э4}}; T_{\text{в}} = T_{\text{в1}} + T_{\text{в2}} + T_{\text{в3}} + T_{\text{в4}}; \end{aligned} \quad (2)$$

$$W_{\text{э1}} = \sum_{i=1}^N w_{\text{ок}}^{(i)}; W_{\text{э2}} = \sum_{i=1}^N w_{\text{рас1}}^{(i)}; W_{\text{э3}} = \sum_{i=1}^N w_{\text{рас2}}^{(i)}; W_{\text{э4}} = \sum_{i=1}^M w_{\text{обр}}^{(i)};$$

$$W_{\text{в1}} = P_{\text{д.пост1}}T_{\text{в1}}; W_{\text{в2}} = P_{\text{д.пост2}}T_{\text{в2}}; W_{\text{в3}} = P_{\text{д.пост3}}T_{\text{в3}}; W_{\text{в4}} = P_{\text{д.пост4}}T_{\text{в4}};$$

$$W_{\text{э}} = W_{\text{э1}} + W_{\text{э2}} + W_{\text{э3}} + W_{\text{э4}}; W_{\text{в}} = W_{\text{в1}} + W_{\text{в2}} + W_{\text{в3}} + W_{\text{в4}},$$

где $T_{\text{э1}}$ и др. – эффективное суммарное время отработки требований, с;

$T_{\text{в1}}$ и др. – суммарное вспомогательное время, с;

$W_{\Sigma 1}$ и др. – суммарное количество электроэнергии, потребляемой за эффективное время, кВт·ч;

$W_{\Sigma 1}$ и др. – суммарное количество электроэнергии, потребляемой за вспомогательное время, кВт·ч.

Тогда характеристики процесса

$$d_o = \frac{W_o}{Z_{\text{ББ}}} = \frac{W_{\Sigma} + W_{\text{Б}}}{Z_{\text{ББ}}}; \quad A_o = \frac{Z_{\text{ББ}}}{T_o}. \quad (3)$$

Соотношения (1) – (3) представляют собой имитационную модель процесса лесопиления.

По итогам статистической обработки результатов моделирования получены энергетические характеристики $d_o(A_o)$ и $P_o(A_o)$ поточной линии пиломатериалов как корреляционные связи.

Процесс моделирования и получения энергетических характеристик можно упростить, если учесть, что в общем энергопотреблении поточной линии более 92 % приходится на долю энергоемких механизмов: одного окорочного станка, двух лесопильных рамы и двух обрезных станков. Поэтому анализ энергопотребления поточной линии, определение наиболее рациональных режимов ее работы со сравнительно высокой степенью точности удобно и целесообразно проводить по упрощенным энергетическим характеристикам $P_{\text{ос}}(A_o)$ и $d_{\text{ос}}(A_o)$, которые характеризуют потребление энергии поточной линией как суммарное энергопотребление только станками и лесопильными рамами (индекс «э» означает «энергоемкий»). Применение энергетических характеристик $P_{\text{ос}}(A_o)$ и $d_{\text{ос}}(A_o)$ позволяет проводить анализ энергопотребления поточной линии по значительно меньшему числу исходных данных, не искажая реально существующие закономерности этого потребления.

Для оценки параметров распределения отклика модели $d_{\text{ос}}$ было использовано неравенство Чебышева. При этом требовалось найти такой объем N выборки, при котором среднее выборочное значение $\bar{d}_{\text{ос}}$ удельного расхода энергии отличалось бы от математического ожидания $Md_{\text{ос}}$ не более чем на $\sigma_{d_{\text{ос}}}/4$ с доверительной вероятностью $p = 0,95$. Тогда неравенство Чебышева для выборочной средней

$$P\left\{|\bar{d}_{\text{ос}} - Md_{\text{ос}}| > \frac{\sigma_{d_{\text{ос}}}}{4}\right\} \leq 0,05 = \frac{\sigma_{\bar{d}_{\text{ос}}}^2 \cdot 16}{\sigma_{d_{\text{ос}}}^2} = \frac{\sigma_{d_{\text{ос}}}^2 \cdot 16}{N \sigma_{d_{\text{ос}}}^2} = \frac{16}{N},$$

откуда

$$N = 16 / 0,05 = 320.$$

Здесь $\sigma_{\bar{d}_{\text{ос}}}^2 = \frac{\sigma_{d_{\text{ос}}}^2}{N}$ – дисперсия выборочной средней.

Таблица 1

Случайная величина	Закон распределения	Числовые характеристики

		<i>M</i>	σ^2
Длина бревен, м	Логарифмически нормальный	5,15	0,22
Вершинный диаметр бревен, см	Равномерной плотности	19,95	0,30
Межторцовый разрыв, с, между бревнами при подаче: в окорочный станок	Эрланга 2-го порядка	8,00	32,00
в ЛР 1-го ряда	Показательный	0,50	0,25
Продолжительность перемещения, с, брусьев: от ЛР 1-го ряда до накопителя-брусоперекладчика	Равномерной плотности	10,00	0,08
от накопителя-брусоперекладчика до начала распиловки на ЛР 2-го ряда	Логарифмически нормальный	14,75	3,03
Продолжительность перемещения, с, необрезных досок : от ЛР 1-го ряда до стола перед обрезным станком №1	Равномерной плотности	30,00	3,41
от ЛР 2-го ряда, до стола перед обрезным станком № 2: а) доски движутся слева от разделительного коридора	»	26,50	4,25
б) доски движутся справа от разделительного коридора	»	14,25	0,41
Осмотр, поворот, установка и подача доски в обрезной станок, с	»	1,50	0,08

Таким образом, при объеме выборки $N = 320$ бревен вероятность того, что выборочное среднее удельного расхода энергии отклонится от своего математического ожидания более чем на $0,25\sigma_{d_{03}}$, не превышает 0,05.

Исходные данные для моделирования случайных величин и параметров оборудования представлены в табл. 1 и 2 соответственно.

Распиловка бревен нормативным диаметром 20 см и брусьев осуществляется по следующему поставу:

1-й проход 150/1–19/2;

2-й проход 25/2–25/2–25/2–19/2.

Таблица 2

Оборудование	Номинальная мощность двигателя, кВт	Скорость подачи, м/с	Постоянная состояния, кВт	Коэффициент энергоёмкости, кДж/(м ^{1,5} ·ч ^{0,5})
Окорочный станок ОК-63-1	30	0,370	23,14	0,62
Лесопильная рама:				
1-го ряда 2Р75-1	90	0,228	34,59	7,49
2-го ряда 2Р75-2	110	0,233	36,00	17,1
Обрезной станок ЦД-5А	40	1,330	18,40	1,01 (доски 19 мм) 0,81 (доски 25 мм)

На рис. 2 и 3 представлены диаграммы рассеяния и кривые регрессии, полученные с помощью надстройки Excel. Кривые регрессии построены по следующим уравнениям:

$$d_{03} = 16,452 + 0,074A_0^2 - 1,714A_0;$$

$$P_{03} = 24,01A_0^{0,4412}.$$

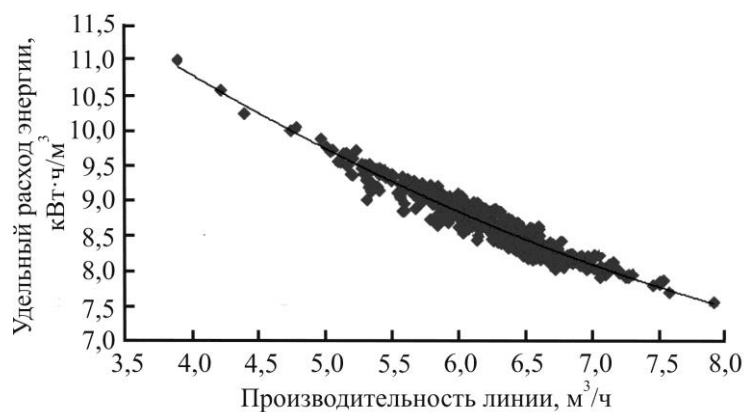
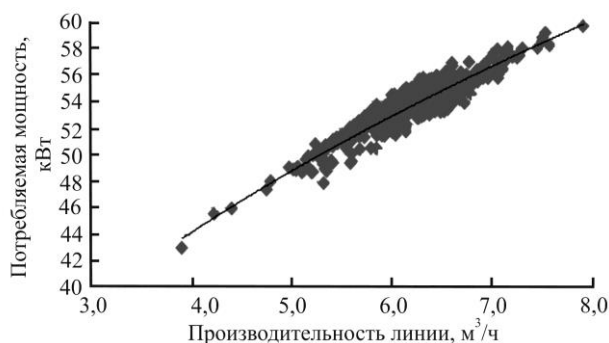


Рис. 2. Рассеяние (точки) и кривая регрессии $d_{03}(A_0)$

Рис. 3. Рассеяние (точки) и кривая регрессии $P_{00}(A_0)$

Для проверки адекватности функций регрессии исходным данным были вычислены следующие статистики: коэффициент парной детерминации R^2 , индекс корреляции R , критерий Фишера наблюдаемый $F_{\text{набл}}$ и критический $F_{\text{кр}}$ [13]. Результаты расчетов представлены в табл. 3.

Таблица 3

Энергетическая характеристика	R^2	R	$F_{\text{набл}}$	$F_{\text{кр}}$
Удельный расход	0,93	0,965	5395	3,86
Потребляемая мощность	0,91	0,956	4219	3,86

Так как в обоих случаях $F_{\text{набл}} > F_{\text{кр}}$, то можно сделать вывод, что при уровне значимости $\alpha = 0,01$ коэффициент детерминации существенно отличается от нуля, т. е. включенная в регрессию переменная достаточно хорошо объясняет зависимую переменную.

Выводы

Аналогичные энергетические характеристики могут быть получены и для других диаметров бревен и поставов распиловки. Наличие указанных характеристик позволит более качественно подойти к планированию удельных расходов энергии по каждому типоразмеру сортиментов и производству в целом. Предложенная имитационная модель технологического процесса лесопиления с учетом случайных факторов дает возможность определить технологические и энергетические показатели работы оборудования и технологического процесса в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агеев С.П. Вероятностные характеристики процессов электропотребления приемников лесопильного производства // Лесн. журн. 2004. №2. С. 92–100. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Агеев С.П. Энергетическая характеристика электропривода ленточного конвейера // Вестн. АГТУ. Сер. Энергетика. Вып. 63. 2006. С. 105–111.

3. *Агеев С.П.* Математическое моделирование процессов распиловки древесины // Изв. СПб ЛТА. Вып.179. 2007. С. 142–152.
4. *Агеев С.П.* Закономерности распределения длительности рабочих циклов лесопильных рам // Изв. СПб ЛТА. Вып.180. 2007. С. 203–208.
5. *Агеев С.П.* Энергетическая характеристика электропривода механизма окорки роторного окорочного станка // Лесн. журн. 2007. №3. С. 93–99. (Изв. высш. учеб. заведений).
6. *Агеев С.П.* Энергетическая характеристика механизма резания лесопильной рамы // Лесн. журн. 2009. №1. С. 95–100. (Изв. высш. учеб. заведений).
7. *Агеев С.П.* Энергетическая характеристика электропривода механизма резания лесопильной рамы // Лесн. журн. 2009. №2. С. 96–101. (Изв. высш. учеб. заведений).
8. *Агеев С.П.* Многофакторная модель электропотребления поточной линии производства пилопродукции // Лесн. журн. 2013. №1. С. 122–130. (Изв. высш. учеб. заведений).
9. *Агеев С.П., Мелехов В.И.* Математическая модель участка рамной распиловки древесины // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы междунар. науч.-техн. конф., 9–11 дек. 2008 г. Вологда, 2009. С. 56–58.
10. *Агеев С.П., Мелехов В.И.* Вероятностная модель производственного процесса лесопильного цеха // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы междунар. науч.-техн. конф., 9–11 дек. 2009 г. Вологда, 2010. С. 91–93.
11. *Бусленко Н.П.* Математическое моделирование производственных процессов. М.: Наука, 1964. 362 с.
12. *Фергин В.Р.* Методы оптимизации в лесопильно-деревообрабатывающем производстве. М.: Лесн. пром-сть, 1975. 216 с.
13. *Ферстер Э., Ренц Б.* Методы корреляционного и регрессионного анализа. М.: Финансы и статистика, 1983. 302 с.

Поступила 27.11.13