

УДК 621.311

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.194

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРОЦЕССА РАМНОЙ РАСПИЛОВКИ ДРЕВЕСИНЫ*С.П. Агеев, д-р техн. наук, проф.; ResearcherID: [AAB-1356-2019](#),**ORCID: [0000-0003-0362-6722](#)**Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ул. 2-я Красноармейская, д. 4, Санкт-Петербург, Россия, 190005; e-mail: doctor.mart11@mail.ru*

Составление и анализ электрических балансов промышленных объектов является одним из основных элементов комплекса работ, связанных с решением задач по экономии топлива и энергии. Электрический баланс – важная характеристика состояния электрического хозяйства предприятия, отражающая полное количественное соответствие между суммарной подведенной электроэнергией с одной стороны и суммарной полезной электроэнергией и ее потерями – с другой. Экспериментальные исследования, проведенные на ряде предприятий деревообрабатывающего комплекса, показали, что на этих производствах имеются значительные резервы экономии энергии. Их использование во многом зависит от правильной организации и технико-экономической обоснованности нормирования расходов электроэнергии. Нормированию подлежат все расходы электрической энергии на основные и вспомогательные производственно-эксплуатационные нужды, включая потери в электрических сетях. При нормировании расхода электроэнергии различают индивидуальные операционные и суммарные нормы удельного расхода. В настоящей статье предлагается подход к установлению операционной нормы удельного расхода электроэнергии при распиловке древесины на лесопильных рамах, учитывающий случайный характер размеров пиловочного сырья, а также потери электроэнергии в электрической сети. Для выполнения исследований использованы линейная модель графика потребляемой активной мощности двигателя механизма резания, а также методы теории вероятностей. В результате определены плотности распределения абсолютного и удельного расходов электроэнергии с учетом ее потерь в электрической сети, а также их числовые характеристики, установлены зависимости параметров линейной модели электропотребления от размеров пиловочного сырья и параметров работы лесопильных рам. Предложенные результаты могут быть использованы при составлении и анализе энергетических балансов в ходе решения задач нормирования электропотребления на деревообрабатывающих предприятиях. При анализе модели электропотребления было установлено, что ее показатели, являясь случайными величинами, имеют распределение, отличное от распределения Гаусса. Однако в целях упрощения дальнейшего анализа режима электропотребления плотность вероятностей была аппроксимирована нормальным законом распределения. Средняя ошибка аппроксимации не более 0,02 %. Также были получены формулы для расчета показателей электропотребления в зависимости от размеров пиловочного сырья.

Для цитирования: Агеев С.П. Математическое моделирование электропотребления процесса рамной распиловки древесины // Лесн. журн. 2019. № 6. С. 194–201. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.194

Ключевые слова: лесопильная рама, эффективное и операционное время рабочего цикла, потребляемая активная мощность, удельный расход электроэнергии, плотность распределения вероятностей, геометрические размеры пиловочного сырья.

Введение

Одной из важнейших задач развития топливно-энергетического комплекса страны в настоящее время является повышение эффективности

использования и экономии энергетических ресурсов. При этом лесопильное производство, относящееся к основным процессам механической обработки древесины, представляет собой довольно сложный энергоемкий процесс [3].

При составлении и анализе электрического баланса часто не учитываются технологические факторы, от которых зависит потребление электроэнергии. Кроме этого, технологический процесс распиловки древесины обладает свойствами вероятностных процессов – форма и размеры пиловочного сырья носят случайный характер, длительность технологических операций также подвержена случайным колебаниям и т. д. [1].

В этих условиях одним из возможных способов повышения качества составления и анализа электрических балансов является использование показателей графиков мощности энергоемких потребителей или их моделей [7–9]. Вопросам составления энергетических балансов различных производств посвящены работы российских ученых [6, 11–13, 16].

Объекты и методы исследования

Цель настоящего исследования – разработка подхода к установлению удельного расхода электроэнергии на распиловку древесины лесопильными рамами (ЛР) с учетом случайного характера показателей пиловочного сырья и потерь электроэнергии в сети.

Решению аналогичных задач посвящен ряд работ зарубежных ученых [17–20 и др.], в которых представлены различные подходы и методы.

В работе [2] нами была предложена математическая модель графика нагрузки лесопильной рамы за операционное время цикла τ_3 .

Показатели этой модели:

минимальное P_{\min} и максимальное P_{\max} значения активной мощности; мощность $P_{\text{в}}$, потребляемая во вспомогательном времени цикла; среднее значение мощности за эффективное время цикла

$$P_{\text{с.э}} = \frac{P_{\max} + P_{\min}}{2}; \quad (1)$$

среднеквадратическая мощность за эффективное время цикла

$$P_{\text{ск.э}}^2 = \frac{P_{\max}^2 + P_{\min}P_{\max} + P_{\max}^2}{3}. \quad (2)$$

Тогда количество электроэнергии, потребляемое за эффективное время цикла:

$$W_3(L) = P_{\text{с.э}}\tau_3 = \frac{P_{\min} + P_{\max}}{2} \frac{L}{u} = \frac{2P_{\min} + bL}{2u} L = \frac{P_{\min}}{u} L + \frac{b}{2u} L^2,$$

или

$$W_3(L) = a_w L^2 + b_w L,$$

где $b = 0,5c_d \sqrt{\pi u}$ – коэффициент, учитывающий прирост максимальной мощности при увеличении длины бревен L на 1 м; u – скорость подачи; c_d – коэффициент энергоемкости; c – средний сбег бревен; a_w, b_w – коэффициенты, характеризующие режим электропотребления ЛР: $a_w = b/2u$; $b_w = P_{\min}/u$.

Результаты исследования и их обсуждение

Потери электроэнергии на участке электрической сети рассчитываются по выражению [7]:

$$\Delta W_3 = 3I_{\text{ск.э}}^2 R \tau_3, \quad (3)$$

где $I_{\text{ск.э}}$ – среднеквадратическое значение тока за время τ_3 , определяется по следующей формуле [15]:

$$I_{\text{ск.э}}^2 = \frac{P_{\text{ск.э}}^2}{3(U_{\text{л}} \cos \varphi)^2}; \quad (4)$$

$U_{\text{л}}$ – линейное напряжение сети; $\cos \varphi$ – коэффициент мощности двигателя; R – активное сопротивление участка сети.

В этом случае потери электроэнергии в сети

$$\Delta W_3 = \frac{P_{\text{ск.э}}^2 R}{(U_{\text{л}} \cos \varphi)^2} \tau_3. \quad (5)$$

Для составления электрического баланса найдем формулу среднеквадратической мощности как функцию размеров распиливаемого сырья и параметров режима ЛР:

$$P_{\text{ск}}^2 = \frac{P_{\text{мин}}^2 + P_{\text{макс}} P_{\text{мин}} + P_{\text{макс}}^2}{3} = \frac{(P_{\text{мин}} + P_{\text{макс}})^2 - P_{\text{мин}} P_{\text{макс}}}{3}, \quad (6)$$

или

$$P_{\text{ск}}^2 = \frac{(P_{\text{мин}} + P_{\text{мин}} + bL)^2 - P_{\text{мин}}(P_{\text{мин}} + bL)}{3} = P_{\text{мин}}^2 + P_{\text{мин}} bL + \frac{b^2}{3} L^2.$$

Найдем выражение плотности распределения потерь электроэнергии в сети за эффективное время цикла. Тогда с учетом (6) имеем:

$$\begin{aligned} \Delta W_3(L) &= \left(P_{\text{мин}}^2 P_{\text{мин}} bL + \frac{b^2}{3} L^2 \right) \frac{R}{(U_{\text{л}} \cos \varphi)^2} \frac{L}{u} = \\ &= \frac{P_{\text{мин}}^2 R}{u(U_{\text{л}} \cos \varphi)^2} L + \frac{P_{\text{мин}} bR}{u(U_{\text{л}} \cos \varphi)^2} L^2 + \frac{b^2 R}{3u(U_{\text{л}} \cos \varphi)^2} L^3, \end{aligned}$$

или

$$\Delta W_3(L) = a_{\Delta w} L^3 + b_{\Delta w} L^2 + c_{\Delta w} L, \quad (7)$$

где $a_{\Delta w}$, $b_{\Delta w}$, $c_{\Delta w}$ – постоянные (при определенных условиях) коэффициенты, характеризующие потери электроэнергии в питающей сети.

Общее потребление электроэнергии с учетом потерь в питающей сети в зависимости от длины бревен определяется по формуле:

$$\begin{aligned} W_{\Sigma 3}(L) &= W_3(L) + \Delta W_3(L) = a_w L^2 + b_w L + a_{\Delta w} L^3 + b_{\Delta w} L^2 + c_{\Delta w} L = \\ &= a_{\Sigma} L^3 + (a_w + b_{\Delta w}) L^2 + (b_w + c_{\Delta w}) L = a_{\Sigma} L^3 + b_{\Sigma} L^2 + c_{\Sigma} L, \end{aligned} \quad (8)$$

где $a_{\Sigma} = a_{\Delta w}$, $b_{\Sigma} = a_w + b_{\Delta w}$, $c_{\Sigma} = b_w + c_{\Delta w}$ – постоянные (при определенных условиях) коэффициенты, характеризующие общее потребление электроэнергии.

Из (8) следует, что общий объем электроэнергии, включающий в себя потери электроэнергии в сети, является функцией случайной длины L бревен, а поэтому $W_{\Sigma 3} = f(L)$ также случайная величина.

Можно показать, что коэффициент a_{Σ} в (8) составляет от суммы двух других коэффициентов не более 0,00062 %. Если этим слагаемым пренебречь, то ошибка в определении $W_{\Sigma 3}(L)$ составит менее 0,028 %, что вполне допустимо при решении поставленной задачи.

Для нахождения плотности распределения функции $W_{\Sigma 3}(L)$ случайного аргумента L применим методику, изложенную в [5].

Тогда

$$g(W_{\Sigma_3}) = \frac{1}{\sigma_L \sqrt{2\pi(c_{\Sigma}^2 + 4b_{\Sigma}W_{\Sigma_3})}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\sqrt{c_{\Sigma}^2 + 4b_{\Sigma}W_{\Sigma_3} - c_{\Sigma} - 2b_{\Sigma}ML}}{2b_{\Sigma}\sigma_L} \right)^2 \right], \quad (9)$$

где σ_L – среднее квадратическое отклонение длины бревен.

Из выражения (9) следует, что потребление электроэнергии за эффективное время распределено не по нормальному закону Гаусса. Аппроксимируем плотность распределения (9) плотностью нормального распределения, сохраняя при этом вероятностные характеристики случайной величины W_{Σ_3} .

Используя свойства математического ожидания, найдем математическое ожидание общего потребления электроэнергии:

$$MW_{\Sigma_3} = M(b_{\Sigma}L^2 + c_{\Sigma}L) = b_{\Sigma}ML^2 + c_{\Sigma}ML,$$

или с учетом

$$ML^2 = DL + (ML)^2$$

окончательно будем иметь

$$MW_{\Sigma_3} = b_{\Sigma}DL + b_{\Sigma}(ML)^2 + c_{\Sigma}ML, \quad (10)$$

где D – дисперсия длины бревна.

Для определения дисперсии DW_{Σ_3} приравняем плотности распределения (9) и нормального закона:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\sigma_L \sqrt{2\pi(c_{\Sigma}^2 + 4b_{\Sigma}W_{\Sigma_3})}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\sqrt{c_{\Sigma}^2 + 4b_{\Sigma}W_{\Sigma_3} - c_{\Sigma} - 2b_{\Sigma}ML}}{2b_{\Sigma}\sigma_L} \right)^2 \right] = \\ = \frac{1}{\sigma_{W_{\Sigma_3}} \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(W_{\Sigma_3} - MW_{\Sigma_3})^2}{2D(W_{\Sigma_3})} \right]. \end{aligned} \quad (11)$$

Подставим в (11) $W_{\Sigma_3} = MW_{\Sigma_3}$:

$$\frac{1}{\sigma_L \sqrt{2\pi(c_{\Sigma}^2 + 4b_{\Sigma}MW_{\Sigma_3})}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\sqrt{c_{\Sigma}^2 + 4b_{\Sigma}MW_{\Sigma_3} - c_{\Sigma} - 2b_{\Sigma}ML}}{2b_{\Sigma}\sigma_L} \right)^2 \right] = \frac{1}{\sigma_{W_{\Sigma_3}} \sqrt{2\pi}},$$

откуда среднее квадратическое отклонение потребления электроэнергии

$$\sigma_{W_{\Sigma_3}} = \sigma_L \sqrt{c_{\Sigma}^2 + 4b_{\Sigma}MW_{\Sigma_3}} \exp \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\sqrt{c_{\Sigma}^2 + 4b_{\Sigma}MW_{\Sigma_3} - c_{\Sigma} - 2b_{\Sigma}ML}}{2b_{\Sigma}\sigma_L} \right)^2 \right]. \quad (12)$$

Можно показать, что при конкретных технических параметрах ЛР и геометрических характеристиках распиливаемого сырья в выражении (12) сомножитель

$$\exp \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\sqrt{c_{\Sigma}^2 + 4b_{\Sigma}MW_{\Sigma_3} - c_{\Sigma} - 2b_{\Sigma}ML}}{2b_{\Sigma}\sigma_L} \right)^2 \right] \approx 1. \quad (13)$$

В этом случае дисперсия общего потребления электроэнергии за эффективное время цикла может быть вычислена по формуле

$$DW_{\Sigma_3} = DL[c_{\Sigma}^2 + 4b_{\Sigma}MW_{\Sigma_3}]. \quad (14)$$

Аппроксимация реального закона распределения случайной величины W_{Σ_3} нормальным вносит ошибку в определение дисперсии менее 0,0001 %, что вполне допустимо для решения поставленной задачи.

Удельный расход электроэнергии по распилу сырья за эффективное время цикла

$$d_3 = \frac{W_{\Sigma_3}}{V} = \frac{4(b_{\Sigma}L^2 + c_{\Sigma}L)}{\pi D_{\text{cp}}^2 L} = \frac{4(b_{\Sigma}L + c_{\Sigma})}{\pi(d_b + 0,5cL)^2} = \frac{4c_{\Sigma} + 4b_{\Sigma}L}{\pi(d_b + 0,5cL)^2},$$

где V – объем бревна; D_{cp} – средний диаметр бревна, $D_{\text{cp}} = d_b + 0,5cL$; d_b – вершинный диаметр бревна [14].

Найдем плотность распределения удельного расхода электроэнергии (УРЭ), применив изложенную выше методику. В результате получим следующие характеристики:

математическое ожидание

$$Md_3 = \frac{4c_{\Sigma} + 4b_{\Sigma}ML}{\pi(d_b + 0,5cML)^2};$$

дисперсия

$$Dd_3 = DL \frac{\pi^2 c^4 [4b_{\Sigma}^2 + k](Md_3)^4}{4 \left[8b_{\Sigma}^2 + 4b_{\Sigma} \sqrt{4b_{\Sigma}^2 + k} + k \right]^2},$$

где k – постоянный (при определенных условиях) коэффициент,

$$k = (\pi c^2 c_{\Sigma} - 2\pi d_b c b_{\Sigma}) Md_3.$$

Найдем закон распределения общего потребления электроэнергии за операционное время цикла. Тогда с учетом (11)

$$W_o = W_{\Sigma_3} + W_b = a_{\Sigma}L^3 + b_{\Sigma}L^2 + c_{\Sigma}L + P_b \tau_b, \quad (15)$$

где W_b – электроэнергия, потребляемая за вспомогательное время цикла.

Из (15) следует, что общее электропотребление W_o является линейной функцией аргумента W_{Σ_3} , а потому также может быть аппроксимировано нормальным распределением со следующими характеристиками:

математическое ожидание

$$MW_o = MW_{\Sigma_3} + MW_b = b_{\Sigma}DL + b_{\Sigma}(ML)^2 + c_{\Sigma}ML + P_b \tau_b;$$

дисперсия

$$DW_o = DW_{\Sigma_3} = DL[c_{\Sigma}^2 + 4b_{\Sigma}(b_{\Sigma}DL + b_{\Sigma}(ML)^2 + c_{\Sigma}ML)].$$

Найдем плотность распределения и числовые характеристики удельного расхода электроэнергии d_o по распилу сырья за операционное время цикла. Тогда удельный расход электроэнергии (УРЭ) за операционное время цикла

$$d_o = \frac{W_o}{V} = \frac{W_{\Sigma_3} + W_b}{V} = \frac{W_{\Sigma_3}}{V} + \frac{W_b}{V} = d_3 + \frac{4W_b}{\pi D_{\text{cp}}^2 L}. \quad (16)$$

Из (16) следует, что чем больше длина бревен L (их объем V), тем меньше влияние межторцовых разрывов на УРЭ d_o и тем он меньше отличается от d_3 .

Как показывают расчеты, второе слагаемое в правой части (16) составляет не более 1,2 % от УРЭ d_3 , поэтому не оказывает существенного влияния на формирование закона распределения УРЭ d_o . На этом основании можно считать, что УРЭ d_o за операционное время цикла приближенно представляет собой нормально распределенную случайную величину.

Математическое ожидание и дисперсия УРЭ d_o могут быть определены по следующим формулам:

$$Md_o = Md_3 + \frac{4w_B}{\pi} M \left(\frac{1}{D_{cp}^2 L} \right) = Md_3 + \frac{w_B}{MV}; \quad (17)$$

$$Dd_o = Dd_3 + \frac{16w_B^2}{\pi^2} D \left(\frac{1}{D_{cp}^2 L} \right), \quad (18)$$

где MV – математическое ожидание объема бревен данного диаметра; Dd_o – дисперсия УРЭ.

Как показали расчеты, для наиболее часто встречающихся диаметров бревен второе слагаемое в (17) составляет не более 0,4 % от первого, и если им пренебречь, то можно считать, что

$$Dd_o = Dd_3. \quad (19)$$

Согласно закону нормального распределения любое значение УРЭ d_o и вероятность его превышения могут быть определены по выражению

$$d_o = Md_o + \beta \sigma_{d_o},$$

где β – статистический коэффициент, учитывающий вероятность превышения удельным расходом значения Md_o ; σ_{d_o} – среднее квадратическое отклонение УРЭ d_o .

Используя функцию Лапласа [4], находим значение УРЭ d_o , вероятность превышения которого составит 0,05. В этом случае значение статистического коэффициента β следует принять равным 1,65 [10].

Таким образом, можно утверждать, что 95 % всех значений УРЭ за операционное время цикла при распиловке бревен данного диаметра не выйдет за уровень

$$d_o = Md_o + 1,65\sigma_{d_o}.$$

Это выражение может быть использовано при определении нормы УРЭ за операционное время цикла при распиловке бревен данного диаметра.

Заключение

В результате применения теории вероятностей определены плотности распределения абсолютного и удельного расходов электроэнергии за время цикла распиловки древесины на лесопильных рамах, а также их числовые характеристики; установлены зависимости показателей модели электропотребления от размеров распиливаемого сырья и параметров режима лесопильных рам.

Полученные результаты могут быть использованы при решении вопросов составления и анализа электрических балансов в задачах нормирования и планирования электропотребления процессов лесопиления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Ageev S.P. Математическое моделирование процессов распиловки древесины // Изв. СПбЛТА. 2007. Вып. 179. С. 142–152. [Ageev S.P. The Mathematic Modeling of Sawing Processes. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotehnicoskoj akademii* [News of the Saint Petersburg State Forest Technical Academy], 2007, vol. 179, pp. 142–152].

2. Ageev S.P. Энергетическая характеристика механизма резания лесопильной рамы // Лесн. журн. 2009. № 1. С. 95–100. (Изв. высш. учеб. заведений). [Ageev S.P. Energetic Characteristic of Cutting Mechanism of Frame Saw. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2009, no. 1. pp. 95–100]. URL: <http://lesnozhurnal.ru/upload/iblock/00a/00a3265c1d65935c524a4da80178d48b.pdf>

3. Алексин М.В., Синева В.С., Пижурин П.А., Коперин И.Ф., Головкин С.И., Павлюк В.А. Экономия энергоресурсов в лесной и деревообрабатывающей промышленности. М.: Лесн. пром-ть, 1982. 216 с. [Aleksin M.V., Sinev V.S., Pizhurin P.A., Koperin I.F., Golovkin S.I., Pavlosyuk V.A. *Energy Saving in the Timber and Woodworking Industry*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1982. 216 p.]

4. Аркашов Н.С., Ковалевский А.П. Теория вероятностей и случайные процессы. Новосибирск: Новосиб. гос. техн. ун-т, 2014. 237 с. [Arkashov N.S., Kovalevskiy A.P. *Theory of Probability and Stochastic Processes*. Novosibirsk, NSTU Publ., 2014. 237 p.]

5. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. М.: Высш. шк., 2000. 480 с. [Venttsel' E.S., Ovcharov L.A. *Theory of Probability and Its Engineering Applications*. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2000. 480 p.]

6. Воскобойников Д.М. Экономическое стимулирование рационального использования электроэнергии в промышленности. М.: Энергоатомиздат, 1988. 80 с. [Voskoboynikov D.M. *Economic Incentives for Efficient Electric Energy Use in Industry*. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1988. 80 p.]

7. Гордеев В.И. Регулирование максимума нагрузки промышленных электрических сетей. М.: Энергоатомиздат, 1986. 184 с. [Gordeyev V.I. *Peak Demand Regulation of Industrial Electrical Grids*. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1986. 184 p.]

8. Гордеев В.И., Демуря А.В. Оперативная оценка погрешности регулирования максимума электропотребления // Энергетика. 1983. № 10. С. 47–50. (Изв. высш. учеб. заведений). [Gordeyev V.I., Demura A.V. Rapid Assessment of Regulation Error of Peak Electric Energy Consumption. *Energetika*, 1983, no. 10, pp. 47–50.]

9. Гордеев В.И., Демуря А.В. Учет информации об электрических нагрузках при расчете потерь электроэнергии // Электричество. 1984. № 7. С. 61–63. [Gordeyev V.I., Demura A.V. Records of Electric Demand when Calculating Energy Losses. *Elektrichestvo*, 1984, no. 7, pp. 61–63.]

10. Гусак А.А. Высшая математика в 2 т. М.: Тетра Системс, 2000. Т. 1. – 544 с., т. 2. – 448 с. [Gusak A.A. *Advanced Mathematics*. In 2 vol. Moscow, Tetra Systems Publ., 2000. Vol. 1 – 544 p. Vol. 2 – 448 p.]

11. Кониюхова Е.А. Электроснабжение объектов. М.: Мастерство, 2001. 320 с. [Konyukhova E.A. *Electricity Supply of Facilities*. Moscow, Masterstvo Publ., 2001. 320 p.]

12. Михайлов В.В. Тарифы и режимы электропотребления. М.: Энергоатомиздат, 1986. 216 с. [Mikhaylov V.V. *Tariffs and Electrical Energy Consumption Modes*. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1986. 216 p.]

13. Михайлов В.В., Гудков Л.В., Терещенко А.В. Рациональное использование топлива и энергии в промышленности. М.: Энергия, 1978. 224 с. [Mikhaylov V.V., Gudkov L.V., Tereshchenko A.V. *Sustainable Use of Fuel and Energy in Industry*. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1978. 224 p.]

14. Рыкунин С.Н., Пятков В.Е. Методы составления и расчета поставок. М.: МГУЛ, 2005. 69 с. [Rykunin S.N., Pyatkov V.E. *Methods of Compilation and Computation of Postings*. Moscow, MGUL Publ., 2005. 69 p.]

15. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю., Яшков В.А. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. М.: Высш. шк., 2001. 336 с. [Sibikin Yu.D., Sibikin M.Yu., Yashkov V.A. *Electric Power Supply of Industrial Enterprises and Installations*. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2001. 336 p.]

16. Энергосберегающая технология электроснабжения народного хозяйства: в 5 кн. / под ред. В.А. Веникова. Кн. 5: Экономия электроэнергии на промышленных предприятиях / Т.В. Анчарова, С.И. Гамазин, В.В. Шевченко. М.: Высш. шк., 1990. 143 с. [Ancharova T.V., Gamazin S.I., Shevchenko V.V. *Energy Savings at Industrial Enterprises*. Book 5. *Energy-Efficient Technology of Electric Power Supply of the National Economy*: In 5 Books. Ed. by V.A. Venikov. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1990. 143 p.]

17. Kreisel K., Jochem E. Druckluft rationell erzeugen und nutzen. *Energie effizient nutzen – Schwerpunkt Strom. Modellvorhaben und Fachartikel*. Baden-Württemberg, Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, 1999, S. 70–78.

18. Leber J.F., Matthews M.B. Neurale Netzerke: eine Uebersicht. *Bulletin SEV/VSE*, 1989, B. 80.
19. Rumelhart D.E., Hinton G.E., Williams R.J. Learning Representations by Back-Propagating Errors. *Nature*, 1986, vol. 323, pp. 533–536. DOI: [10.1038/323533a0](https://doi.org/10.1038/323533a0)
20. Tönsing E. Stromsparende Beleuchtungssysteme – mehr Licht für weniger Kosten. *Energie effizient nutzen – Schwerpunkt Strom. Modellvorhaben und Fachartikel*. Baden-Wurttemberg, Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, 1999, S. 79–92.

MATHEMATICAL MODELING OF ELECTRIC ENERGY CONSUMPTION OF FRAME SAWING

S.P. Ageev, Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: [AAB-1356-2019](https://orcid.org/0000-0003-0362-6722),
ORCID: [0000-0003-0362-6722](https://orcid.org/0000-0003-0362-6722)

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, ul. 2-ya Krasnoarmeyskaya, 4, Saint Petersburg, 190005, Russian Federation; e-mail: doctor.mart11@mail.ru

Drafting and analysis of electrical balances of industrial facilities is among the crucial components of a set of works driven by problem solution related to fuel and energy savings. Electrical balance is an important characteristic of the state of electric economy of an enterprise and reflects the total quantitative correlation between total delivered electrical energy, on the one hand, and total useful electrical energy and its losses, on the other. Experimental research carried out at a number of woodworking enterprises showed that these companies have considerable reserves of energy savings. Their use depends to a great extent on a proper management and engineering and economic feasibility of electric energy consumption rating. Total consumption of electric energy for basic and auxiliary production and operating needs, including electric line power losses, is a subject of regulation. Individual operation and total rates of specific consumption are distinguished in rating electric energy consumption. This article provides an approach to the setting of an operating rate of specific electric energy consumption for wood sawing with log frames, taking into account the random nature of sizes of sawing raw materials, as well as electric line power losses. In order to carry out the research, a linear model of the consumed active power curve of the cutting mechanism engine was used, as well as the probability theory methods. As a result, the distribution densities of the absolute and specific electric energy consumption are determined taking into account electric line power losses, as well as their numerical characteristics; the dependences of the linear model parameters of electric energy consumption on the sizes of sawing raw materials and the operation parameters of log frames are found. The proposed results can be used in drafting and analysis of energy balances in the course of solving the problems of rating electric energy consumption at woodworking enterprises. In the analysis of electric energy consumption model, it was found that its parameters, as the random variables, have a distribution that is different from normal distribution. However, in an attempt to simplify the further analysis of electric energy consumption mode, density of probabilities was approximated by the normal law of distribution. Average error of approximation was not more than 0.02 %. Also, calculation formulas for electric energy consumption parameters depending on the size of sawing raw materials were obtained.

For citation: Ageev S.P. Mathematical Modeling of Electric Energy Consumption of Frame Sawing. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2019, no. 6, pp. 194–201. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.194

Keywords: log frame, effective and operation time of a working cycle, consumable active power, specific electric energy consumption, density of probability distribution, dimensions of sawing raw materials.

Поступила 20.06.19 / Received on June 20, 2019