

УДК 674.093:658.26

**С.П. Агеев**

Агеев Сергей Петрович родился в 1957 г., окончил в 1979 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники Архангельского государственного технического университета. Имеет более 40 научных работ в области электроснабжения промышленных предприятий.



### **РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ НАГРУЗКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ЛЕСОПИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

На основе применения методов математической теории массового обслуживания рассмотрены принципы формирования групповых графиков нагрузки электрических сетей лесопильного производства, а также определение величины, длительности и частоты появления расчетного максимума этих графиков.

мощность, электрическая сеть, лесопильная рама, система массового обслуживания, вероятность состояния системы обслуживания.

Как известно [5], характер и форма индивидуального графика мощности электроприемника определяется особенностями технологических операций, выполняемых механизмом, который обслуживается этим приемником. Групповой график представляет собой результат суммирования (наложения) графиков мощности отдельных приемников, входящих в данную группу. Однако даже при одинаковых мощностях электроприемников их групповой график может принимать различные очертания в зависимости от ряда факторов. К основным относятся: неполная загрузка некоторых электроприемников; неодновременность, или сдвиг во времени, их работы; случайные моменты включения и отключения и др. Из этого следует, что процесс электропотребления группой электроприемников не является детерминированным, а носит случайный характер. Учет всех технологических факторов, а также оценка их влияния на величину расчетного максимума группового графика возможны на основе применения методов теории вероятностей.

Одним из разделов прикладной математики, использующих методы теории вероятностей и случайных процессов, является математическая теория массового обслуживания [7]. Эта теория позволяет достаточно хорошо представить взаимное наложение индивидуальных графиков потребляемой мощности отдельных приемников.

В настоящей статье рассмотрены принципы формирования групповых графиков  $P(t)$  активной мощности электродвигателей лесопильных рам, с помощью которых можно решать следующие задачи:

определение величины, длительности и частоты расчетного максимума группового графика активной мощности;

оценка вероятности, длительности и частоты выбросов и провалов нагрузки относительно заданного уровня.

Полученные данные необходимы для расчета электрической сети лесопильного цеха по условиям нагрева, потерь и колебаний напряжения.

#### *Постановка и решение задачи №1*

В работе [1] показано, что графики  $p(t)$  активной мощности независимо работающих электродвигателей представляют собой случайную последовательность прямоугольных импульсов различной длительности и высоты, отвечающих периодам распиловки и холостого хода лесопильных рам.

Суммирование  $n$  таких графиков приводит к ступенчатому групповому графику мощности  $P(t)$ , каждая ступень которого значением  $P_m$  отвечает некоторому количеству  $m$  наложившихся рабочих участков индивидуальных графиков ( $0 \leq m \leq n$ ). При этом для любого индивидуального графика характерна однозначная связь между последовательными его состояниями: каждому периоду холостого хода лесопильной рамы соответствует рабочий период распиловки бревна (бруса) и наоборот. Для группового графика подобная связь становится менее определенной: за уменьшением ординаты графика, вызванного холостым ходом какой-либо лесопильной рамы, не обязательно следует ее увеличение, так как до окончания периода холостого хода этой лесопильной рамы может возникнуть холостой ход и на другой раме, что вызовет дальнейшее уменьшение ординаты группового графика и т. д. При достаточно большом количестве суммируемых графиков (практически уже при  $n \geq 4$ ) указанная связь исчезает. Это обстоятельство подтверждает случайный характер формирования значений ординат группового графика  $P(t)$  и их длительности.

В этом случае задача расчета параметров электрических нагрузок заключается в определении характеристик случайного процесса  $P(t)$ -совпадения рабочих периодов  $m$  лесопильных рам из общего их числа  $n$  с последующим определением характеристик случайной величины  $P_m$ , отвечающей этому совпадению. При этом будут определены вероятности, длительности и частоты совпадения периодов работы  $m$  из  $n$  лесопильных рам.

Для решения поставленной задачи рассмотрим один из возможных подходов, основанный на применении математической теории массового обслуживания. В качестве модели, описывающей процесс формирования группового графика  $P(t)$  активной мощности электродвигателей лесопильных рам, воспользуемся схемой процесса «гибели и размножения» [4]. В этом случае электрическую сеть можно рассматривать как своеобразную систему массового обслуживания (СМО), способную находиться в различных, с точки зрения потребления электроэнергии, состояниях. Структура СМО такова, что имеется всего  $n$  источников заявок на электроэнергию, в качестве которых рассматриваются двигатели лесопильных рам. В этом случае интенсивность потока заявок на обслуживание (потребление электроэнергии) зависит от состояния СМО. Если двигатель данной лесопильной рамы находится на обслуживании (лесопильная рама в процессе распи-

ловки очередного бревна), то он перестает подавать заявки, а после окончания распиловки снова становится источником заявки.

Отсюда следует, что если в данный момент времени распиловка осуществляется на  $m$  лесопильных рамах, то электродвигатели остальных  $n-m$  лесопильных рам работают в режиме холостого хода и как источники нагрузки на электрическую сеть находятся в числе поступающих. Таким образом, общая интенсивность потока заявок в этом состоянии СМО равна  $\lambda(m-n)$ , где  $\lambda$  – среднее значение параметра потока включений электродвигателей лесопильных рам.

На лесопильные рамы, находящиеся в процессе распиловки, также действует «поток освобождений» [1]. Если в данный момент времени работает  $m$  лесопильных рам, то общая интенсивность «потока освобождений», который стремится перевести лесопильные рамы в режим холостого хода, в этом состоянии СМО равна  $m\mu$ , где  $\mu$  – среднее значение параметра «потока освобождений», численно равное технологической производительности лесопильной рамы [1]. Состояние «лесопильная рама работает» означает, что в данный момент времени она занята распиловкой бревна (бруса), а ее электродвигатель находится в состоянии обслуживания со стороны СМО (электрическая сеть). При этом будем считать, что СМО находится в состоянии  $P_m$  (по электрической сети передается активная мощность значением  $P_m$ ), если в данный момент времени работает ровно  $m$  лесопильных рам, т. е. произошло совмещение  $m$  рабочих периодов индивидуальных графиков электродвигателей рам. Переход системы из состояния  $P_m$  в состояние  $P_{m+1}$  означает увеличение («рождение») числа работающих лесопильных рам на единицу, а переход из состояния  $P_m$  в  $P_{m-1}$  – их уменьшение («гибель»).

Таким образом, процесс электропотребления группой двигателей лесопильных рам можно рассматривать как случайный процесс «гибели и размножения» с дискретными состояниями  $P_0, P_1, \dots, P_n$  и непрерывным временем. При этом переход из состояния в состояние осуществляется в случайные, а не в фиксированные моменты времени, определяемые началом и окончанием распиловки бревен на лесопильных рамах.

С учетом изложенного, граф возможных состояний такой СМО будет иметь вид, изображенный на рис. 1.

Интенсивности переходов из состояния в состояние задаются следующим образом:

$$\begin{aligned} \lambda_m &= \lambda(m-n); & 0 \leq m \leq n-1; \\ \mu_m &= m\mu; & 1 \leq m \leq n. \end{aligned} \quad (1)$$

Для определения вероятности  $E_m$  совмещения любых  $m$  рабочих участков индивидуальных графиков мощности (независимо от длительности одного такого совмещения) могут быть использованы формулы, полученные Эрлангом для стационарного режима СМО подобного типа.

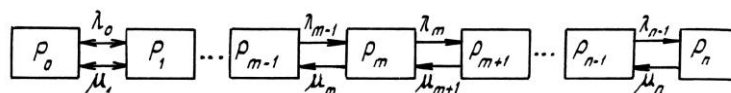


Рис. 1. Граф состояний СМО

Тогда

$$E_m = E_0 \prod_{i=0}^{m-1} \frac{\lambda_i}{\mu_{i+1}}; \quad 0 \leq m \leq n, \quad (2)$$

где  $E_0$  – вероятность совмещения холостых ходов всех  $n$  лесопильных рам.

Подставив (1) в (2), получим

$$E_m = E_0 \prod_{i=0}^{m-1} \frac{\lambda(n-i)}{(i+1)\mu} = E_0 \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^m C_n^m, \quad (3)$$

где  $C_n$  – биномиальные коэффициенты, определяемые по известным формулам:

$$C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!}.$$

Определяя вероятность  $E_0$  из нормировочного условия

$$\sum_{i=0}^n E_i = 1,$$

будем иметь

$$E_0 = \left[ \sum_{m=0}^n \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^m C_n^m \right]^{-1}.$$

или

$$E_0 = (1 + \lambda / \mu)^{-n}.$$

Таким образом,

$$E_m = \frac{(\lambda / \mu)^m C_n^m}{(1 + \lambda / \mu)^n}. \quad (4)$$

В [1] показано, что отношение  $\lambda/\mu$  можно трактовать как коэффициент включения  $k_B$ , характеризующий среднее относительное время нахождения лесопильной рамы в процессе распиловки в течение индивидуального цикла.

Учитывая это, получаем

$$E_m = C_n^m k_B^m (1 + k_B^m)^{-n}; \quad 0 \leq m \leq n.$$

Нагрев элемента электрической сети (линия, трансформатор) зависит не только от величины нагрузки, но и от длительности её протекания. Для нахождения закона распределения длительности  $T_m$  совмещения  $m$  рабочих периодов лесопильных рам (нагрузки значением  $P_m$ ) используем следующий прием [4]: рассмотрим некоторую подсистему, состояния которой изображены на рис. 2:

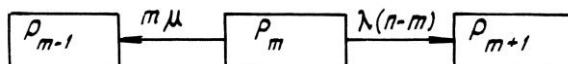


Рис. 2. Граф подсистемы с двумя поглощающими состояниями

Эта подсистема имеет, кроме исследуемого состояния  $P_m$ , еще два смежных с ним состояния, в которые она может только уходить, но из которых она не может возвращаться (по терминологии [4] – это «поглощающие» состояния). Этой подсистеме соответствует следующая система дифференциальных уравнений [4]:

$$\begin{aligned}\frac{dE_{m-1}(t)}{dt} &= m\mu E_m(t); \\ \frac{dE_m(t)}{dt} &= -(m\mu + \lambda(n-m))E_m(t); \\ \frac{dE_{m+1}(t)}{dt} &= \lambda(n-m)E_m(t).\end{aligned}\quad (5)$$

Так как в начальный момент времени  $t = 0$  подсистема находилась в состоянии  $P_m$ , то интегрировать уравнения (5) необходимо при начальных условиях

$$E_m(0) = 1; E_{m-1}(0) = E_{m+1}(0) = 0. \quad (6)$$

Найдем функцию распределения  $F_m(t)$  случайной величины  $T_m$ . Она равна вероятности того, что это время будет меньше  $t$ , т. е. к моменту времени  $t$  произойдет совмещение  $(m + 1)$  или  $(m - 1)$  рабочих периодов лесопильных рам.

Следовательно,

$$F_m(t) = E(T_m < t) = E_{m-1}(t) + E_{m+1}(t); \quad t > 0.$$

Так как производная  $F'_m(t)$  существует, то плотность распределения непрерывной случайной величины  $T_m$

$$f_m(t) = F'_m(t) = \frac{dE_{m-1}(t)}{dt} + \frac{dE_{m+1}(t)}{dt}.$$

Воспользовавшись системой уравнений (5), получим

$$f_m(t) = [m\mu + \lambda(n-m)] E_m(t).$$

Для нахождения вероятности  $E_m(t)$  того, что к моменту времени  $t$  система будет находиться в состоянии  $P_m$ , воспользуемся вторым уравнением из (5), решение которого может быть найдено любым методом. Тогда, с учетом начальных условий (6), будем иметь

$$E_m(t) = e^{-[m\mu + \lambda(n-m)]t}.$$

Таким образом, случайная величина  $T_m$  имеет показательное распределение

$$f_m(t) = [m\mu + \lambda(n-m)] e^{-[m\mu + \lambda(n-m)]t}.$$

Зная плотность распределения случайной величины  $T_m$ , можно определить ее числовые характеристики:

математическое ожидание

$$MT_m = \frac{1}{m\mu + \lambda(n-m)} = \frac{k_B}{\lambda[\mu + k_B(n-m)]}; \quad (7)$$

дисперсию

$$DT_m = \frac{k_B^2}{\lambda^2[\mu + k_B(n-m)]^2}.$$

Определим интервал  $T_{B\max}$  (время возвращения в максимум) времени между двумя последовательными наступлениями максимумов  $P_n$  на групповом графике  $P(t)$ . Он равен длине промежутка времени, протекающего от момента перехода СМО из состояния  $P_n$  в состояние  $P_{n-1}$  до следующего момента возвращения системы в состояние  $P_n$ . Для этого состояние  $P_n$  необходимо рассматривать как поглощающее, т. е. положить  $\mu_n = 0$ . При этом, как показано в [4], возвращение в состояние  $P_n$  из любого другого состояния происходит с вероятностью единица. Систему дифференциальных уравнений в этом случае необходимо решать при начальных условиях

$$E_{n-1}(0) = 1; \quad E_i(0) = 0; \quad i \neq n-1.$$

Функция распределения времени  $T_{B\max}$  определяется из равенства

$$F_B(t) = E(T_{B\max} < t) = E_n(t),$$

где вероятность  $E_n(t)$  находят из решения системы дифференциальных уравнений, соответствующей условию  $\mu_n = 0$ . Тогда плотность распределения времени между последовательными наступлениями максимумов на графике нагрузки  $P(t)$

$$f_B(t) = F'_B(t) = \frac{d}{dt} E_n(t) = \lambda E_{n-1}(t).$$

Среднее время  $\bar{T}_{B\max}$  между двумя последовательными наступлениями максимумов находим на основании эргодического свойства: вероятность  $E_n$  наступления максимума  $P_n$  равна отношению средней длительности  $\bar{T}_n$  максимума к сумме средних длительностей максимума  $\bar{T}_n$  и интервала  $T_{B\max}$  между наступлениями максимумов, т. е.

$$E_n = \frac{\bar{T}_n}{\bar{T}_n + \bar{T}_{B\max}};$$

Откуда

$$\bar{T}_{B\max} = \bar{T}_n \frac{1 - E_n}{E_n} = \frac{1}{n\mu} \left( \frac{1}{E_n} - 1 \right).$$

#### Постановка и решение задачи № 2

Выбросом нагрузки  $P(t)$  за уровень  $P_y$  называется превышение нагрузки этого уровня; соответственно нахождение нагрузки  $P(t)$  ниже этого уровня – провалом нагрузки. Поставим следующую задачу: оценить вероятность, длительность и частоту выбросов и провалов графика  $P(t)$  относительно заданного уровня  $P_y$ .

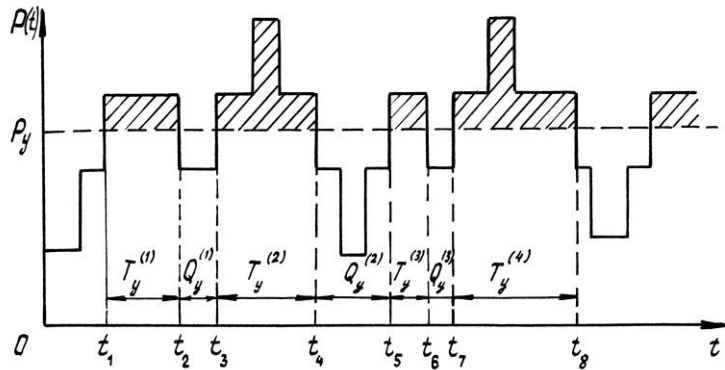


Рис. 3. График суммарной активной мощности двигателей лесопильных рам

На рис. 3 изображена одна из возможных реализаций суммарного графика  $P(t)$  активной мощности.

В случайный момент времени  $t_1$  произошло первое пересечение графиком  $P(t)$  уровня  $P_y$  снизу вверх – выброс. График  $P(t)$  превышал уровень  $P_y$  в течение случайного времени  $T_y^{(1)}$ , после чего в случайный момент времени  $t_2$  он пересек уровень  $P_y$  сверху вниз – провал. Далее график не превышал уровня  $P_y$  в течении случайного времени  $Q_y^{(1)}$ , после чего в случайный момент времени  $t_3$  он вновь пересек уровень  $P_y$  снизу вверх и находился выше этого уровня в течении случайного времени  $T_y^{(2)}$  и т. д. Очевидно, что в установившемся режиме поточных линий случайные величины  $T_y^{(1)}, T_y^{(2)}, T_y^{(3)}, \dots$  будут независимы и распределены одинаково.

Для нахождения распределения случайной величины  $T_y$  воспользуемся приемом, изложенным в [4]. При этом закон распределения времени  $T_{ум}$ , в течение которого график  $P(t)$  превышал уровень  $P_m$  (т.е. СМО находилась в состояниях  $P_{m+1}, P_{m+2}, \dots, P_n$ , не зависит от того, какой конкретный вид имеет граф состояний этой СМО слева от состояния  $P_m$  (см. рис. 1)). Поэтому нахождение закона распределения времени  $T_{ум}$  эквивалентно отысканию закона распределения времени блуждания системы по состояниям  $P_{m+1}, P_{m+2}, \dots, P_n$  до первого выхода в состояние  $P_m$ , если в начальный момент времени СМО была в состоянии  $P_{m+1}$ . Для отыскания этого закона сделаем состояние  $P_m$  поглощающим, в которое СМО может только уходить, но из которого она не может возвращаться. Этому условию будет соответствовать граф состояний, показанный на рис. 4.

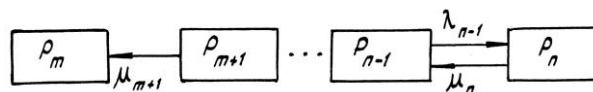


Рис. 4. Граф состояний СМО с одним поглощающим состоянием

Плотность распределения случайной величины  $T_{ym}$  определяется по формуле

$$f_{ym}(t) = (m + 1) \mu E_{m+1}(t),$$

в которой вероятность  $E_{m+1}(t)$  находят в результате решения системы дифференциальных уравнений, соответствующих графу состояний (рис. 4), интегрируемых при начальных условиях

$$E_{m+1}(0)=1; \quad E_j(0) = 0 \quad \text{при } j \neq m+1.$$

Учитывая, что в установившемся режиме работы поточных линий интенсивности  $\lambda$  и  $\mu$  неизменны, то для нахождения математического ожидания случайной величины  $T_{ym}$  нет необходимости решать систему дифференциальных уравнений, а можно воспользоваться только определением вероятности  $E_m$  нахождения СМО в состоянии  $P_m$ . Для этого рассмотрим граф состояний СМО, изображенный на рис. 5.



Рис. 5. Граф состояний СМО для нахождения математического ожидания времени пребывания графика  $P(t)$  выше уровня  $P_m$

Вероятности состояний СМО с таким графом в установившемся режиме имеют вид

$$E_k = E_m \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^{k-m} \frac{C_{n-m}^{k-m}}{C_k^m}; \quad k = m, m + 1, \dots, n, \tag{9}$$

где

$$E_m = 1 / \sum_{k=m}^n \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^{k-m} \frac{C_{n-m}^{k-m}}{C_k^m}. \tag{10}$$

Для СМО с графом, приведенным на рис. 5, математическое ожидание времени пребывания в состоянии  $P_m$

$$\bar{T}_m = \frac{1}{\lambda_m} = \frac{1}{\lambda(n-m)},$$

так как в этом случае величина  $T_m$  имеет показательное распределение с параметром  $\lambda(n - m)$ . Тогда на основании эргодического свойства процесса электропотребления получим

$$E_m = \frac{\bar{T}_m}{\bar{T}_m + \bar{T}_{ym}},$$



откуда математическое ожидание случайной величины  $T_{ym}$

$$\bar{T}_{ym} = \bar{T}_m \frac{1 - E_m}{E_m}.$$

Вероятность выброса графика  $P(t)$  за уровень  $P_m$  равна вероятности попадания СМО в состояние  $P_{m+1}$ , если до этого она находилась в состоянии  $P_m$ , т. е.

$$E_{m+1} = E_m \frac{\lambda C_{n-m}^{m+1}}{\mu C_k^m}.$$

#### Пример расчета

Для определения потерь и колебаний напряжения в питающей сети требуется найти величину, длительность и частоту пика нагрузки от восьми лесопильных рам модели 2Р100-Г четырех поточных линий лесопильного цеха. Поточные линии осуществляют распиловку сырья с брусковкой: через рамы первого ряда пропускаются бревна, через рамы второго ряда – брусья, полученные из бревен на лесопильных рамах первого ряда.

Для каждой лесопильной рамы известны показатели, характеризующие режим ее работы:

номинальная активная мощность  $P_{ном}$  электродвигателя главного привода;

коэффициенты загрузки этих двигателей в процессе распиловки бревен (брусьев);

средняя длительность распиловки одного бревна (бруса);

длительность холостого хода (межторцевого разрыва);

средняя длина распиливаемых бревен (брусьев).

Длительность распиловки бревна (бруса) определяют из выражения

$$\bar{t}_p = \frac{60\,000L}{\Delta_p n k_x},$$

где  $L$  – средняя длина распиливаемых бревен (брусьев), м;

$\Delta_p$  – расчетная посылка на лесопильных рамах, мм;

$n$  – частота вращения коленчатого вала лесопильной рамы, об/мин;

$k_x$  – коэффициент хода пильной рамки  $k_x = H/600$ ;

$H$  – ход пильной рамки, мм.

Величину посылки определяют по специальным таблицам [6]. Длительность межторцевого разрыва для двухэтажных рам  $t_x = 1,9$  с.

Рассматривая электрическую сеть как систему массового обслуживания, а электродвигатели лесопильных рам как источники заявок на обслуживание, необходимо определить значения параметров  $\lambda$  и  $\mu$ , которые характеризуют в совокупности потоки обслуживания и освобождений, действующие на лесопильные рамы. Тогда, согласно [1], получим

$$\lambda = \frac{1}{\bar{t}_p + \bar{t}_x}; \quad \mu = \frac{1}{\bar{t}_p},$$

где  $\bar{t}_p$  – среднее время обслуживания каждого из восьми двигателей лесопильных рам в режиме нагрузки, равное среднему времени распиловки одного бревна (бруса), с.

В течение времени  $T_{см}$  рабочей смены лесопильные рамы не только выпускают продукцию, но и периодически простаивают [2]. Ввиду чередования периодов включения и явных простоев, имеющих разную длительность и частоту повторяемости, лесопильная рама находится во включенном состоянии в общей сложности лишь время  $T_{вкл}$ , а остальное время  $T_{в.п}$  – простаивает (внецикловые потери времени). Тогда

$$T_{см} = T_{вкл} + T_{в.п}.$$

Однако и во включенном состоянии лесопильная рама лишь часть времени, равную  $T_p$ , тратит на совершение полезной работы:

$$T_p = t_{p1} + t_{p2} + \dots + t_{pi} + \dots,$$

где  $t_{pi}$  – время распиловки  $i$ -го бревна (бруса).

Остальная часть времени теряется на скрытые простои (цикловые потери времени  $T_{ц.п}$ ), т. е.

$$T_{вкл} = T_p + T_{ц.п}.$$

Соотношение указанных интервалов времени показано на рис. 6.

Тогда средняя для всех лесопильных рам длительность распиловки одного бревна (бруса) определяется по выражению

$$\bar{t}_p = \frac{\sum_{i=0}^n T_{pi}}{\sum_{i=0}^n z_i}, \quad (11)$$

где  $T_{pi}$  – суммарное время полезной работы  $i$ -й лесопильной рамы в течение ее машинного времени  $T_{вкл}$ ;

$z_i$  – количество бревен (брусьев), распиленных на  $i$ -й лесопильной раме, в течение времени  $T_{pi}$ .

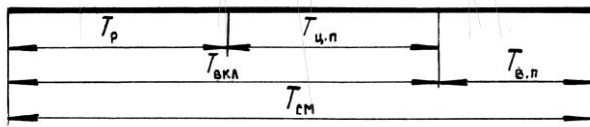


Рис. 6. Интервалы времени, характеризующие работу лесопильной рамы в течение рабочей смены

Учитывая, что

$$z_i = \lambda_i T_{\text{вкл}i};$$

$$T_{pi} = \sum_{j=1}^{z_i} t_{pij},$$

получаем

$$\bar{t}_p = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i T_{\text{вкл}i} \sum_{j=1}^{z_i} t_{pij}}{\sum_{i=1}^n \lambda_i T_{\text{вкл}i}}, \quad (12)$$

где  $t_{pij}$  – длительность распиловки  $i$ -го бревна (бруса) на  $j$ -й лесопильной раме.

Анализируя режим работы нагрузки электрической сети с точки зрения наибольших нагрева и потери напряжения в ней, можно рассматривать работу лесопильных рам не на протяжении всей рабочей смены, а лишь на интервале времени  $T_{\text{вкл}} = 3T_0$  (где  $T_0$  – постоянная времени нагрева проводника питающей сети, мин) и при условии, что на этом промежутке времени все лесопильные рамы будут находиться во включенном состоянии. В этом случае формула (12) приобретает вид

$$\bar{t}_p = \frac{\sum_{i=1}^n k_{Bj} \sum_{i=1}^n \lambda_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}$$

или

$$\bar{t}_p = \sum_{i=0}^n \frac{\bar{t}_{pi}}{\bar{t}_{pi} + \bar{t}_{xi}} / \sum_{i=1}^n \frac{1}{\bar{t}_{pi} + \bar{t}_{xi}},$$

где  $k_{Bi}$  – коэффициент включения в работу электродвигателя  $i$ -й лесопильной рамы.

Результаты вычислений по формуле (11) средних длительностей распиловки бревен (для лесопильных рам первого ряда) и брусьев (для рам второго ряда) приведены в табл. 1.

Таблица 1

Номер технологического потока	Средняя длина распиливаемого сырья, м	Средняя длительность распиловки сырья, с, на лесопильной раме	
		1-го ряда	2-го ряда
1	4	27,40	21,08
2	5	34,27	26,35
3	6	41,10	31,62
4	7	47,95	36,86

Примечание. Длительность межторцевого разрыва составила 1,9 с.

Таблица 2

Число совмещенных рабочих периодов	Суммарная потребляемая мощность, кВт	Вероятность совмещения	Средняя длительность совмещения, с
0	128	0,005	4,18
1	224	0,037	4,15
2	320	0,123	4,12
3	416	0,231	4,08
4	512	0,273	4,05
5	608	0,205	4,02
6	704	0,097	3,99
7	800	0,026	3,97
8	896	0,003	3,94

В этом случае искомые параметры  $\mu = 3,17 \cdot 10^{-2} \text{с}^{-1}$ ;  $\lambda = 3,00 \cdot 10^{-2} \text{с}^{-1}$ .

Близость значений этих параметров объясняется тем, что в данном расчете длительность межторцевого разрыва составляет около 6 % от средней длительности распиловки одного бревна (бруса).

Определим средние значения потребляемой двигателем активной мощности в режиме распиловки  $P_p$  и холостого хода  $P_x$ :

$$P_p = k_{з,р} P_{\text{ном}}; \quad P_x = k_{з,х} P_{\text{ном}},$$

где  $P_p, P_x$  – средняя активная мощность, потребляемая двигателем главного привода лесопильной рамы в режиме распиловки и холостого хода, кВт;

$k_{з,р}, k_{з,х}$  – коэффициент загрузки двигателя в режиме распиловки и холостого хода;

$P_{\text{ном}}$  – номинальная мощность двигателя, кВт.

Как показали экспериментальные исследования, проведенные на одном из лесопильно-деревообрабатывающих предприятий г. Архангельска, средние значения коэффициентов загрузки двигателей в режиме распиловки и холостого хода соответственно составляют 0,7 и 0,1. Тогда в нашем примере активные мощности, потребляемые двигателем, составят

$$P_p = 0,7 \cdot 160 = 112 \text{ кВт}; \quad P_x = 0,1 \cdot 160 = 16 \text{ кВт}.$$

Вычислим по (4) вероятности совмещения рабочих периодов всех восьми лесопильных рам, а также потребляемую при этом суммарную активную мощность. Результаты расчета приведены в табл. 2, где указаны также средние значения длительностей протекания этих мощностей.

Среднее время  $\bar{T}_{\text{Вmax}}$  между наступлениями двух смежных максимумов ( $P_{\text{max}} = 896 \text{ кВт}$ ) на графике  $P(t)$ , вычисленное по формуле (8), составит 1310 с. Тогда частота наступления максимумов

$$\nu_8 = \frac{1}{\bar{T}_{\text{Вmax}} + T_8} = 7,61 \cdot 10^{-4} \text{ с},$$

т.е. расчетный пик нагрузки будет иметь место в среднем один раз в 22 мин.

*Выводы*

1. Показано, что процесс формирования графика суммарной мощности электродвигателей лесопильных рам носит случайный характер и может быть математически описан как случайный процесс «гибели и размножения» с дискретными значениями и непрерывным временем.

2. Применение математической теории массового обслуживания позволило определить вероятности и длительности всех ступеней суммарного графика, а также частоту появления расчетного максимума нагрузки.

3. Получены расчетные формулы, позволяющие оценить вероятность, длительность и частоту выбросов и провалов графика мощности относительно заданного уровня.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Агеев С.П.* К анализу электропотребления рамных лесопильных потоков // Повышение эффективности энергетических систем и оборудования: Сб. науч. тр. / АГТУ. – 2001. – С 17–23.

2. *Калитеевский Р.Е.* Автоматизация производственных процессов в лесопилении. – М.: Лесн. пром-сть, 1979. – 336 с.

3. *Клейнрок Л.* Теория массового обслуживания. – М.: Машиностроение, 1979. – 432 с.

4. *Овчаров Л.А.* Прикладные задачи теории массового обслуживания. – М.: Машиностроение, 1969. – 342 с.

5. Основы построения промышленных электрических сетей / Г.М. Каялов, А.Э. Каждан, И.Н. Ковалев, Э. Г. Куренный. – М.: Энергия, 1978. – 352 с.

6. Справочник по лесопилению / Под ред. А.М. Копейкина. – М.: Экология, 1991. – 496 с.

7. *Хинчин А.Я.* Работы по математической теории массового обслуживания. – М.: Физматгиз, 1963. – 236 с.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 16.05.01

*S.P. Ageev*

**Calculation of the Electric Networks Load for Sawmill Production**

Based on applying the methods of mathematical theory of mass service the principles of forming group diagrams of the electric network load for sawmill production are analyzed, as well as determining the values duration and frequency of designed maximum of these diagrams.

---