

*С.П. Агеев*

Филиал «Севмашвтуз» С.-Петербургского государственного морского технического университета

Агеев Сергей Петрович родился в 1957 г., окончил в 1979 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизированных систем технической подготовки производства филиала «Севмашвтуз» СПбГМТУ. Имеет более 60 научных работ в области электроснабжения промышленных предприятий.  
Тел.: (8184) 20-03-57



### **ПОКАЗАТЕЛИ ЭНЕРГОИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЕСОПИЛЬНЫХ РАМ**

9\* иены построение и анализ графиков текущей производительности и удельно-ода электроэнергии лесопильных рам; определены факторы, влияющие на показатели электропотребления лесопильных рам.

*Ключевые слова:* лесопильная рама, производительность, потребляемая мощность, удельный расход электроэнергии, потери мощности, цикл распиловки бревен.

Первичным звеном в производстве и электропотреблении предприятия является технологическая операция, осуществляемая на отдельном агрегате – приемнике электроэнергии. Без изучения энергетических балансов отдельных агрегатов в связи с физико-техническими особенностями соответствующих операций и процессов и техническими свойствами самих агрегатов невозможно осуществление нормирования и планирования электропотребления отдельных производств и предприятия в целом.

Одним из наиболее энергоемких цехов лесопильно-деревообрабатывающего комбината является лесопильное производство. При этом лесопильная рама (ЛР) со сравнительно небольшой околостаночной механизацией составляет отдельный участок и, как наиболее мощный электроприемник, в значительной степени определяет характер его электропотребления. От производительности лесопильных рам зависят не только производительность труда и себестоимость пилопродукции, но и удельные расходы электроэнергии на единицу продукции.

В настоящей работе проанализированы производительность и удельное электропотребление лесопильных рам в зависимости от степени их загрузки и режима работы в течение рабочей смены.

#### *Показатели производительности лесопильных рам*

Для характеристики производительности с целью нормирования и планирования электропотребления используют две группы показателей [5]. Показатели первой группы характеризуют суммарный объем распиленного сырья за целые календарные отрезки времени (смена, сутки, месяц), второй – текущую (или среднюю) загрузку лесопильных рам и соответствующий объем сырья, отнесенный к элементарному отрезку времени, например 1 ч. Часовую производительность можно определять либо как текущую величину, отнесенную к определенному моменту времени эффективной работы,

либо как среднюю величину за операционное или календарное время использования лесопильной рамы. Основные понятия, необходимые для целей нормирования процессов электропотребления приемников деревообрабатывающего производства, приведены в [2].

Для анализа единовременной загрузки и текущей производительности ЛР будем рассматривать бревно как усеченный конус, имеющий диаметр  $d_b$  в вершинном конце. Тогда текущее значение диаметра распиливаемого бревна

$$d(t) = d_b + cl(t), \quad (1)$$

где  $c$  – сбеги бревен, принимаемый по специальным таблицам в зависимости от  $d_b$ , м/м;

$l(t)$  – длина распиленной части бревна (м) в момент времени  $t$ ,  $l(t) = ut$ ;

$u$  – скорость подачи бревна, м/с.

Используя формулу объема усеченного конуса [4], определим текущий объем распиленной части бревна:

$$V(t) = \frac{\pi}{12} l(t) [d_b^2 + d_b d(t) + d^2(t)]$$

или с учетом (1)

$$V(t) = \frac{\pi}{12} [3d_b^2 ut + 3d_b cu^2 t^2 + c^2 u^3 t^3].$$

Тогда текущая производительность ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ) лесопильной рамы

$$A(t) = \frac{dV}{dt} = \frac{3600\pi}{12} (3d_b^2 u + 6d_b cu^2 t + 3c^2 u^3 t^2) = 900\pi (d_b^2 u + 2d_b cu^2 t + c^2 u^3 t^2).$$

График текущей производительности ЛР за время  $t_0$  операционного цикла распиловки бревна показан на рис. 1, а.

Таким образом, загрузка ЛР в течение времени  $t_0$  является переменной величиной. На этом графике отрезок  $t_3$  характеризует время эффективной работы ЛР, в течение которого происходит распиловка бревна (полезная работа), отрезок  $t_b$  – вспомогательное время (цикловые потери времени), присутствующее в рабочих циклах ЛР, когда непосредственную распиловку бревен не производят [6].

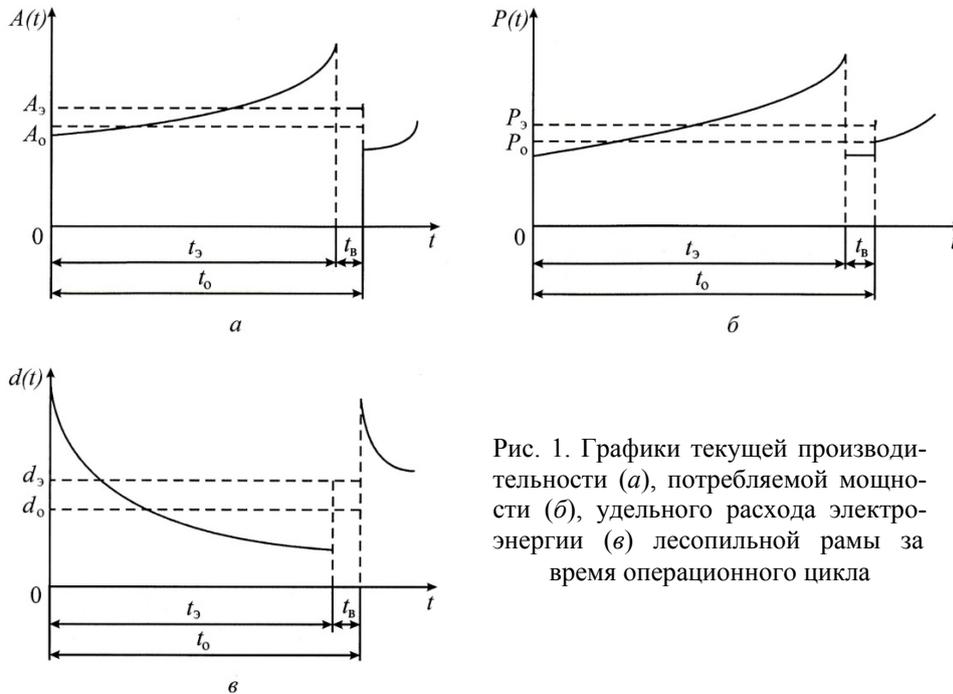


Рис. 1. Графики текущей производительности (а), потребляемой мощности (б), удельного расхода электроэнергии (в) лесопильной рамы за время операционного цикла

Часовая производительность ЛР всегда относится к конечным отрезкам времени, равным продолжительности одного или ряда полных операционных циклов. Но поскольку в цикл распиловки входит, помимо эффективного времени, еще и вспомогательное время, то часовая производительность, отнесенная к эффективному времени, является фиктивной величиной [6]. Она показывает объем распиленного сырья в единицу времени, который можно было бы теоретически получить при отсутствии перерывов  $t_B$  в эффективной работе. Учитывая переменный характер нагрузки ЛР в течение цикла, определим фиктивную производительность как среднюю величину  $A_3$  за эффективное время:

$$A_3 = \frac{3600}{t_3} \int_0^{t_3} A(t) dt = \frac{3600V}{t_3}, \quad (2)$$

где  $V$  – объем распиленного бревна за время  $t_3$ ,  $m^3$ .

Например, к бревнам с нормативными диаметрами 14 и 16 см относятся лесоматериалы с фактическими размерами по толщине соответственно 13,5...14,9 и 15,0...16,9 см [7]. Принимая стандартные длину распиливаемых бревен 6 м и сбеги 1 см/м, находим, что фактический объем бревен указанных диаметров будет изменяться в пределах 0,129...0,188  $m^3$ .

Экспериментальные исследования [1] на одном из ЛДК г. Архангельска позволили определить фактическое время распиловки на ЛР первого ряда бревен с вершинным диаметром 14 и 16 см длиной 6 м. Среднее время распиловки составило 18 с, диапазон изменения среднечасовой производительности  $A_3$  за эффективное время – 25,8...37,6  $m^3/ч$ .

При оптимальных технологических параметрах работы и наилучшей загрузке (наибольший диаметр бревен) среднечасовая производительность ЛР, отнесенная к эффективному времени, достигает максимального значения  $A_{\text{э max}}$ .

Работа ЛР может быть охарактеризована рядом коэффициентов, учитывающих их относительную загрузку: технологический коэффициент загрузки

$$k_{\text{т}} = \frac{A_{\text{э}}}{A_{\text{э max}}}; \quad (3)$$

энергетический коэффициент загрузки

$$\lambda_{\text{э}} = \frac{P_{\text{э}}}{P_{\text{э max}}},$$

где  $P_{\text{э}}$  – средняя потребляемая мощность за время эффективной работы в операционном цикле;

$P_{\text{э max}}$  – то же при максимальной производительности  $A_{\text{э max}}$ .

Определим часовую производительность ЛР, отнесенную к операционному времени, за время одного полного цикла:

$$A_0 = \frac{3600V}{t_{\text{э}} + t_{\text{в}}} = \frac{3600V}{t_0}. \quad (4)$$

Выразив из (2) объем  $V$  бревна и подставив в (4), получим

$$A_0 = \frac{t_{\text{э}}}{t_0} A_{\text{э}} = k_0 A_{\text{э}},$$

где  $k_0$  – коэффициент использования ЛР в операционном времени.

Из (3) следует, что  $A_{\text{э}} = k_{\text{т}} A_{\text{э max}}$ , тогда

$$A_0 = k_0 k_{\text{т}} A_{\text{э max}}.$$

Таким образом, часовая производительность  $A_0$  лесопильной рамы зависит не только от факторов, определяющих их фиктивную производительность  $A_{\text{э}}$ , но и от вспомогательного времени  $t_{\text{в}}$  операционного цикла.

#### *Показатели электропотребления лесопильных рам*

Для характеристики электропотребления применяют показатели, к которым относятся: расход электроэнергии; мощность, потребляемая из сети.

Определим связь между текущими значениями удельного расхода энергии и производительности за эффективное время работы ЛР в операционном цикле. Полный расход электроэнергии за бесконечно малый промежуток времени  $dt$

$$dW = dW_{\text{пол}} + d(\Delta W_{\text{пер}}) + d(\Delta W_{\text{пост}}),$$

где  $dW_{\text{пол}}$  – полезно затраченная энергия;

$d(\Delta W_{\text{пер}})$  – переменные потери энергии, зависящие от нагрузки;

$d(\Delta W_{\text{пост}})$  – постоянные потери энергии, не зависящие от нагрузки.

Для дальнейшего анализа полный расход энергии удобно представить как сумму двух составляющих:

$$dW = dW_{\text{пер}} + dW_{\text{пост}} \quad (5)$$

где  $dW_{\text{пер}}$  – переменная составляющая, зависящая от нагрузки,

$$dW_{\text{пер}} = dW_{\text{пол}} + d(\Delta W_{\text{пер}});$$

$dW_{\text{пост}}$  – постоянная составляющая, не зависящая от нагрузки,

$$dW_{\text{пост}} = d(\Delta W_{\text{пост}}).$$

Разделив (5) на элементарный объем  $dV$ , получим текущий удельный расход энергии:

$$d(t) = \frac{dW}{dV} = \frac{dW_{\text{пер}}}{dV} + \frac{dW_{\text{пост}}}{dV}$$

или

$$d(t) = \delta(t) + \frac{dW_{\text{пост}}}{dV}.$$

Слагаемое  $\delta(t)$  представляет собой удельную переменную составляющую полного расхода энергии на единицу объема сырья, или переменный удельный расход энергии. Покажем, что  $\delta(t)$  зависит от текущей производительности  $A(t)$ . Поделив (5) на  $dt$ , получим уравнение баланса мощностей

$$P(t) = P_{\text{пер}}(t) + P_{\text{пост}} \quad (6)$$

где  $P(t)$  – потребляемая мощность;

$P_{\text{пер}}(t)$  – переменная составляющая потребляемой мощности,

$$P_{\text{пер}}(t) = P_{\text{пол}}(t) + \Delta P_{\text{пер}}(t);$$

$P_{\text{пол}}(t)$  – полезная мощность;

$\Delta P_{\text{пер}}(t)$  – мощность переменных потерь энергии;

$P_{\text{пост}}$  – мощность постоянных потерь энергии.

Запишем уравнение энергетической характеристики электропривода механизма резания ЛР [3]:

$$P(t) = c_3 \sqrt{A(t)} + P_{\text{пост}} \quad (7)$$

где  $c_3$  – коэффициент энергоемкости лесопильной рамы, кВт·ч<sup>0,5</sup>/м<sup>1,5</sup>.

График потребляемой мощности  $P(t)$ , построенный с учетом (7) за время операционного цикла, показан на рис. 1, б.

Как видно из (6) и (7),

$$P_{\text{пер}}(t) = c_3 \sqrt{A(t)}$$

или

$$dW_{\text{пер}}(t) = c_3 \sqrt{A(t)} dt.$$

Отсюда

$$\delta(t) = \frac{dW_{\text{пер}}}{dV} = \frac{c_3 \sqrt{A(t)} dt}{dV} = \frac{c_3}{\sqrt{A(t)}}. \quad (8)$$

Таким образом, переменный удельный расход электроэнергии обратно пропорционален текущей производительности лесопильной рамы. Полный удельный расход энергии

$$d(t) = \frac{dW}{dV} \frac{dt}{dt} = \frac{P(t)}{A(t)}.$$

С учетом (7) и (8) имеем

$$d(t) = \frac{P_{\text{пер}}(t)}{A(t)} + \frac{P_{\text{пост}}}{A(t)} = \frac{c_{\text{э}}}{\sqrt{A(t)}} + \frac{P_{\text{пост}}}{A(t)} = \delta(t) + \frac{P_{\text{пост}}}{A(t)}. \quad (9)$$

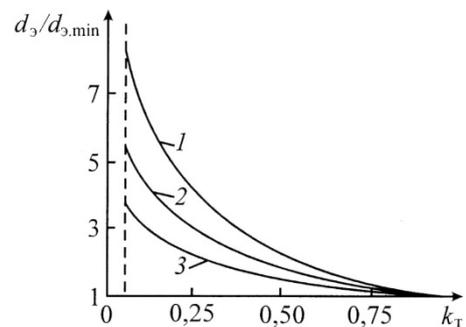
График удельного расхода энергии, построенный по (9) за время операционного цикла, показан на рис. 1, в.

Покажем, как будет изменяться среднее значение удельного расхода энергии за эффективное время при изменении среднечасовой производительности  $A_{\text{э}}$ . Обозначим  $P_{\text{пост}} = aP_{\text{э, max}}$  (где  $a$  – доля, которую составляет мощность постоянных потерь энергии от максимально потребляемой мощности  $P_{\text{э, max}}$ ). Из (8) следует, что

$$\delta_{\text{э}} = \frac{c_{\text{э}}}{\sqrt{A_{\text{э}}}} = \frac{c_{\text{э}}}{\sqrt{k_m A_{\text{э, max}}}} = \frac{\delta_{\text{э, min}}}{\sqrt{k_T}},$$

где  $\delta_{\text{э, min}}$  – переменный удельный расход при максимальной производительности  $A_{\text{э, max}}$ .

Рис. 2. Зависимость относительного изменения удельного расхода электроэнергии от технологического коэффициента загрузки: 1 –  $a = 1,0$ ; 2 –  $0,6$ ; 3 –  $0,4$



Тогда

$$d_{\text{э}} = \delta_{\text{э}} + \frac{P_{\text{пост}}}{A_{\text{э}}} = \frac{\delta_{\text{э, min}}}{\sqrt{k_T}} + \frac{aP_{\text{э, max}}}{k_T A_{\text{э, max}}} = \frac{\delta_{\text{э, min}}}{\sqrt{k_T}} + \frac{a}{k_T} d_{\text{э, min}}, \quad (10)$$

где  $d_{\text{э, min}}$  – удельный расход при максимальной производительности.

С другой стороны (при  $k_T = 1$ )

$$d_{\text{э, min}} = \delta_{\text{э, min}} + a d_{\text{э, min}},$$

откуда

$$\delta_{\text{э, min}} = d_{\text{э, min}} (1 - a). \quad (11)$$

Подставив (11) в (10), получим

$$d_{\text{э}} = d_{\text{э min}} \left( \frac{1-a}{\sqrt{k_{\text{T}}}} + \frac{a}{k_{\text{T}}} \right).$$

Относительное изменение удельного расхода в зависимости от технологического коэффициента загрузки лесопильной рамы:

$$\frac{d_{\text{э}}}{d_{\text{э min}}} = \frac{a + (1-a)\sqrt{k_{\text{T}}}}{k_{\text{T}}}. \quad (12)$$

Полученная зависимость показана на рис. 2.

Величину  $a$  в этом уравнении можно назвать коэффициентом формы кривой удельного расхода энергии. В [3] показано, что величина  $P_{\text{пост}}$  зависит от мощности холостого хода ЛР, мощности постоянных потерь в механизме резания и электроприводе. После анализа зависимости (12) установлено, что чем относительно больше постоянная составляющая потребляемой мощности, тем, при прочих равных условиях, с большим перерасходом энергии связана работа ЛР со сниженной производительностью.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агеев, С.П. Математическое моделирование процессов распиловки древесины [Текст] / С.П. Агеев // Изв. СПб. гос. лесотехн. акад. – 2007. – Вып. 179. – С. 142–152.
2. Агеев, С.П. Режимы электропотребления окорочных станков [Текст] / С.П. Агеев // Лесн. журн. – 2007. – № 4. – (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Агеев, С.П. Энергетическая характеристика электропривода механизма резания лесопильной рамы [Текст] / С.П. Агеев // Лесн. журн. – 2009. – № 2. – (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Выгодский, М.Я. Справочник по элементарной математике [Текст] / М.Я. Выгодский. – М.: Наука, 1986. – 320 с.
5. Гофман, И.В. Нормирование потребления энергии и энергетические балансы промышленных предприятий [Текст] / И.В. Гофман. – М.; Л.: Энергия, 1966. – 320 с.
6. Калитеевский, Р.Е. Автоматизация производственных процессов в лесопилении [Текст] / Р.Е. Калитеевский. – М.: Лесн. пром-сть, 1979. – 336 с.
7. Справочник по лесопилению [Текст] / Под ред. А.М. Копейкина. – М.: Экология, 1991. – 496 с.

Поступила 15.04.08

*S.P. Ageev*

Branch «Sevmashvtuz» of Saint-Petersburg State Marine Technical University

---

---

### **Power Use Factors of Frame Saws**

Construction and analysis of diagrams is carried out for the current productivity and specific power consumption of frame saws; the factors affecting energy consumption of frame saws are determined.

Keywords: frame saw, productivity, power consumption, specific consumption of electric power, power loss, log sawing cycle.

---

---