

УДК 621.311

**С.П. Агеев**

Агеев Сергей Петрович родился в 1957 г., окончил в 1979 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизированных систем технической подготовки производства Севмашвуза. Имеет более 50 научных работ в области электроснабжения промышленных предприятий.



## **ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ ОКОРОЧНЫХ СТАНКОВ**

Проанализированы режимы электропотребления окорочных станков в зависимости от их загрузки и графика работы.

*Ключевые слова:* потребляемая мощность, электроэнергия, удельный расход электроэнергии, среднечасовая производительность, график электропотребления.

К числу задач, решаемых при установлении режимов работы производственных агрегатов, относят выбор наиболее целесообразного режима нагрузки агрегатов и определение наиболее выгодного графика использования его во времени.

Выбор наилучшего режима работы оборудования зависит от многих технологических и экономических факторов, в том числе от электроэнергии. От правильного решения этой задачи во многом зависит как выполнение плана выработки продукции, так и производительность труда, себестоимость продукции, ритмичность работы и величина удельного расхода электроэнергии. При этом нормализация режимов работы оборудования неотделима от решения задачи нормирования электропотребления. В процессе установления норм удельных расходов электроэнергии необходимо не только знать заданный объем выработки продукции и энергетические характеристики агрегат-операций, но и учитывать установленный нормализованный режим работы соответствующих агрегатов.

В целях обеспечения максимальной экономии электроэнергии по каждой технологической операции можно установить такой режим работы оборудования, который при заданном объеме выработки продукции и нормализованных параметрах работы обеспечит наименьший средний удельный расход электроэнергии за календарный период времени. Такой режим работы называют энергетически наивыгоднейшим [2]. Однако стремление максимально приблизиться к таким условиям часто ограничено следующими производственными условиями:

диспропорция производственных мощностей оборудования участка (цеха, предприятия), вызывающая неполную загрузку отдельных агрегатов;

отсутствие промежуточных хранилищ (накопителей), не допускающее образования даже небольших запасов полуфабрикатов на отдельных

операциях технологического процесса, что в условиях диспропорции мощностей оборудования приводит к вынужденной непрерывной работе отдельных агрегатов со сниженной часовой производительностью;

недопустимость перерывов или ограничение длительности допустимых перерывов между операциями по технологическим условиям;

ограничение длительности возможных перерывов в движении продуктов обработки между операциями по условиям поточности и заданного ритма производства.

Выбор энергетически выгодного режима работы оборудования сводится, в основном, к установлению графика использования агрегатов в календарный период времени и во многом зависит от формы его энергетической характеристики.

В настоящей статье рассмотрены энергетические режимы работы окорочных станков, используемых в лесопильном производстве деревообрабатывающих комбинатов. Ранее нами [1] было получено уравнение энергетической характеристики окорочного станка:

$$P = \Delta P_{\text{пост}} + c\sqrt{A}, \quad (1)$$

где  $P$  – потребляемая мощность, кВт;

$\Delta P_{\text{пост}}$  – мощность постоянных потерь электроэнергии, кВт;

$c$  – параметр, характеризующий энергоемкость процесса окорки;

$A$  – производительность станка, м<sup>3</sup>/ч.

При нормировании и анализе удельных расходов электроэнергии по агрегат-операциям используют ряд показателей и характеристик, относящихся к продолжительности, производительности и количеству потребляемой производственным оборудованием электроэнергии. Рассмотрим только те, которые необходимы для анализа режимов электропотребления окорочных станков.

*Эффективное время*  $T_э$  – время, в течение которого на станке выполняют окорку древесины, т.е. когда имеет место полезное потребление электроэнергии.

*Вспомогательное время*  $T_в$  – время, в течение которого происходят операционные холостые ходы, т.е. когда имеет место бесполезное потребление электроэнергии.

*Операционное время*  $T_о$  – время, в течение которого на станке выполняют заданную операцию (непрерывно или циклично).

В циклических процессах операционное время формируют согласно следующему выражению:

$$T_о = \sum_{i=1}^n \tau_{oi} = \sum_{i=1}^n (\tau_{эi} + \tau_{вi}) = T_э + T_в,$$

где  $T_э$  – эффективное время,  $T_э = \sum_{i=1}^n \tau_{эi}$ ;

$T_в$  – вспомогательное время,  $T_в = \sum_{i=1}^n \tau_{вi}$ ;

$\tau_0$  – время одного полного операционного цикла окорки древесины;  
 $\tau_B$  – вспомогательное время одного операционного цикла;  
 $\tau_э$  – эффективное время одного операционного цикла;  
 $n$  – число полных операционных циклов окорки древесины на данном отрезке календарного периода;

*Внеоперационное время*  $T_H$  – время, характеризующее перерывы, выходящие за пределы  $T_0$ , но находящиеся в пределах рабочей смены; при этом оборудование останавливают.

*Календарное время агрегата*  $T_K$  – период, в течение которого станок используют для работы на данном отрезке времени (смена, сутки, месяц); при этом

$$T_K = T_0 + T_H = T_э + (T_B + T_H).$$

*Полный коэффициент использования станка во времени* учитывает общее влияние перерывов  $T_B + T_H$  в окорке древесины за календарное время (смена):

$$K = \frac{T_э}{T_K} = \frac{T_K - (T_B + T_H)}{T_K}.$$

*Коэффициент использования в операционном времени* отражает влияние операционных перерывов  $T_B$  в эффективной работе станка:

$$K_0 = \frac{T_э}{T_0} = \frac{T_0 - T_B}{T_0}.$$

*Коэффициент использования в календарном времени* характеризует влияние внеоперационных перерывов  $T_H$  в работе станка:

$$K_H = \frac{T_0}{T_K} = \frac{T_K - T_H}{T_K}.$$

Между рассматриваемыми коэффициентами существует следующая связь:

$$K = \frac{T_э}{T_K} = \frac{T_э}{T_0} \frac{T_0}{T_K} = K_0 K_H.$$

Рассмотрим характерные режимы работы окорочных станков и показатели, характеризующие эти режимы.

1. Непрерывная работа с максимальной производительностью  $A_{\max}$ .

В этом режиме станок окоривает бревна без межторцевых разрывов в течение всего календарного времени  $T_K$  (рабочая смена). Тогда потребление электроэнергии  $W_K$  выразим уравнением

$$W_K = \Delta P_{\text{пост}} T_K + \delta_{\max} A_{\max} T_K,$$

где  $\delta_{\max}$  – переменный удельный расход электроэнергии, соответствующий максимальной производительности, кВт·ч/м<sup>3</sup>.

В случае криволинейной энергетической характеристики переменный удельный расход является функцией производительности оборудования. Для окорочных станков, энергетическую характеристику которых опи-

сывает уравнение (1), переменный расход электроэнергии определяем по выражению

$$\delta(A) = \frac{c\sqrt{A}}{A} = \frac{c}{\sqrt{A}}.$$

Этот расход совокупно учитывает изменение потребляемой мощности при изменении производительности станка за счет переменных (нагрузочных) потерь мощности  $\Delta P_{\text{пер}}$  и полезной мощности  $P_2$ . График изменения переменного удельного расхода электроэнергии приведен на рис. 1.

Среднее значение потребляемой мощности за время  $T_k$ :

$$P_k = \frac{W_k}{T_k} = \Delta P_{\text{пост}} + \delta_{\text{max}} A_{\text{max}} = \Delta P_{\text{пост}} + c\sqrt{A_{\text{max}}}.$$

Рис. 1. График переменного удельного расхода электроэнергии

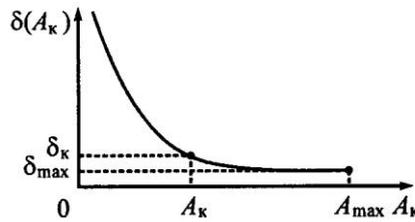
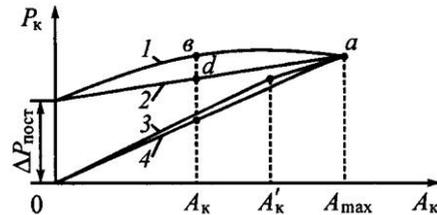


Рис. 2. Графики энергетических характеристик мощности окорочных станков



Графики зависимости мощности  $P_k$  от среднесменной производительности  $A_k$  показаны на рис. 2. Этому режиму соответствует точка  $a$ .

Средний удельный расход электроэнергии

$$d_k = \frac{P_k}{A_k} = \frac{\Delta P_{\text{пост}}}{A_k} + \frac{c}{\sqrt{A_k}} = \frac{\Delta P_{\text{пост}}}{A_{\text{max}}} + \frac{c}{\sqrt{A_{\text{max}}}} = \frac{\Delta P_{\text{пост}}}{A_{\text{max}}} + \delta_{\text{max}} = d_{\text{min}},$$

т.е. принимает минимальное значение.

Графики зависимости удельного расхода электроэнергии от среднесменной производительности приведены на рис. 3. Этому режиму соответствует точка  $a$ .

2. Непрерывная работа при  $A_k < A_{\text{max}}$ .

Этому режиму соответствуют

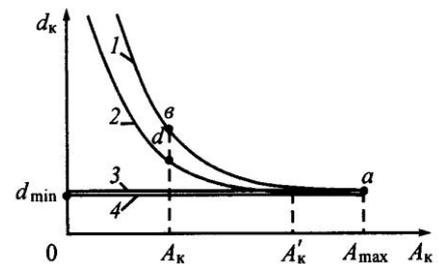


Рис. 3. Графики удельного расхода электроэнергии окорочного станка

кривые 1 на рис. 2, 3. Потребление электроэнергии выражают уравнением

$$W_k = \Delta P_{\text{пост}} T_k + \delta_k A_k T_k,$$

среднее значение потребляемой мощности:

$$P_k = \Delta P_{\text{пост}} + \delta_k A_k = \Delta P_{\text{пост}} + c \sqrt{A_k}. \quad (2)$$

Среднее значение удельного расхода электроэнергии

$$d = \frac{\Delta P_{\text{пост}}}{A_k} + \delta_k = \frac{\Delta P_{\text{пост}}}{A_k} + \frac{c}{\sqrt{A_k}}. \quad (3)$$

Этот режим является наименее выгодным при любых условиях нагрузки, так как ему при заданной производительности  $A_k < A_{\text{max}}$  соответствуют наибольшие значения средних потребляемой мощности  $P_k$  (точка *в*, рис. 2) и удельного расхода  $d_k$  (точка *в*, рис. 3).

3. Непрерывная работа при  $A_k < A_{\text{max}}$  и с холостыми ходами.

Этому режиму соответствуют линии 2 на рис. 2, 3. График потребляемой мощности  $P(t)$  приведен на рис. 4, *а*, а на рис. 4, *б* представлена его упорядоченная диаграмма на интервале времени  $T_k$ .

Холостой ход окорочных станков ( $A = 0$ ) вызван межторцевыми разрывами между бревнами, поступающими на окорку. Расход электроэнергии за время  $T_k$  определяют по выражению

$$W_k = \Delta P_{\text{пост}} T_k + \delta_{\text{max}} Q,$$

где  $Q = A_{\text{max}} T_s$  – объем окоренных бревен,  $\text{м}^3$ .

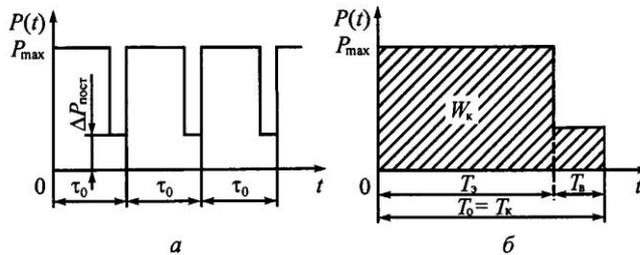


Рис. 4. График потребляемой мощности (*а*) и его упорядоченная диаграмма (*б*) при режиме работы 3

Средняя за смену потребляемая мощность

$$P_k = \Delta P_{\text{пост}} + \delta_{\text{max}} \frac{Q}{T_k} = \Delta P_{\text{пост}} + \delta_{\text{max}} A_k, \quad (4)$$

где  $A_k = K_o A_{\text{max}}$  – среднечасовая производительность станка за смену.

Средний удельный расход электроэнергии

$$d_k = \frac{\Delta P_{\text{пост}}}{A_k} + \delta_{\text{max}} = \frac{\Delta P_{\text{пост}}}{A_k} + \frac{c}{\sqrt{A_{\text{max}}}}. \quad (5)$$

При сравнении выражений (2) и (4), а также (3) и (5) установлено, что при одинаковой среднечасовой производительности  $A_k$  средние значе-

ния потребляемой мощности  $P_k$  (см. рис. 2, точки  $b$  и  $d$ ) и удельного расхода  $d_k$  (рис. 3, точки  $b$  и  $d$ ) в этом режиме меньше, чем в предыдущем. В условиях непрерывной работы станков при любой заданной среднесменной производительности  $A_k < A_{max}$  этот режим экономически выгоднее непрерывного режима без межторцевых разрывов между бревнами.

4. Прерывистый режим работы с максимальной производительностью  $A_{max}$ .

В этом режиме периоды работы окорочного станка при максимальной часовой производительности чередуются с перерывами, сопровождающимися полным остановом станка. График потребляемой мощности  $P(t)$  и его упорядоченная диаграмма приведены на рис. 5. Останов станков может быть вызван технологическими причинами.

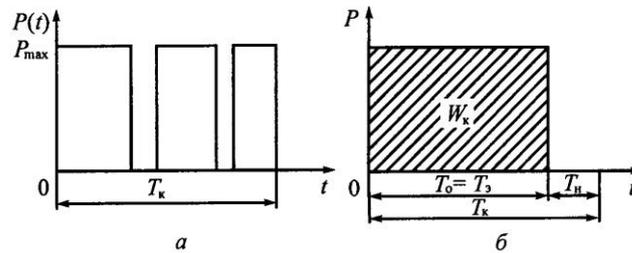


Рис. 5. График потребляемой мощности (а) и его упорядоченная диаграмма (б) при режиме работы 4

Расход электроэнергии в этом режиме определяют по выражению

$$W_k = \Delta P_{\text{пост}} T_2 + \delta_{\text{max}} Q,$$

где  $Q = A_{\text{max}} T_2$  – объем окоренных бревен, м<sup>3</sup>.

Средняя за смену потребляемая мощность

$$P_k = \Delta P_{\text{пост}} \frac{T_2}{T_k} + \delta_{\text{max}} \frac{Q}{T_k} = \Delta P_{\text{пост}} K_n + \delta_{\text{max}} A_k, \quad (6)$$

где  $A_k = K_n A_{\text{max}}$  – среднечасовая производительность станка за смену.

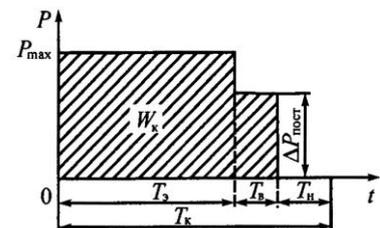
Уравнению (6) соответствует прямая линия 4 (см. рис. 2). В этом режиме среднечасовая производительность станка зависит от коэффициента его использования в календарный период времени.

Среднее значение удельного расхода электроэнергии

$$d_k = K_n \frac{\Delta P_{\text{пост}}}{A_k} + \delta_{\text{max}} = \frac{\Delta P_{\text{пост}}}{A_{\text{max}}} + \delta_{\text{max}} = d_{\text{min}}.$$

На диаграмме удельному расходу энергии (рис. 3) соответствует прямая линия 4 наименьшего значения удельного расхода  $d_{\text{min}}$ . Этот режим экономически наиболее выгоден при любой заданной производительности  $A_k < A_{\text{max}}$ , так как ему соответствуют наименьшие средние потребляемая мощность и удельный расход электроэнергии.

5. Прерывистый режим работы с максимальной производительностью  $A_{\text{max}}$  и холо-



стыми ходами.

Упорядоченная диаграмма графика потребляемой мощности, соответствующего этому режиму, показана на рис. 6.

Расход электроэнергии в этом режиме определяют по выражению

$$W_k = \Delta P_{\text{пост}} T_o + \delta_{\text{max}} Q,$$

где  $Q = A_{\text{max}} T_o$  – объем окоренных бревен, м<sup>3</sup>.

Среднее значение потребляемой мощности

$$P_k = \Delta P_{\text{пост}} \frac{T_o}{T_k} + \delta_{\text{max}} \frac{Q}{T_k} = \Delta P_{\text{пост}} K_n + \delta_{\text{max}} A_k,$$

где  $A_k = K_n K_o A_{\text{max}}$  – среднечасовая производительность станка.

Таким образом, среднечасовая производительность зависит как от коэффициента  $K_o$ , так и от коэффициента  $K_n$ . На графиках энергетических характеристик (см. рис. 2) потребляемой мощности этому режиму соответствует ломаная линия 3. Здесь  $A'_k = K_o A_{\text{max}}$  – среднечасовая производительность станка, которая имела бы место при отсутствии явных простоев ( $K_n = 1$ ), но при наличии холостых ходов ( $K_o < 1$ ). При построении этой линии принято, что на участке 0 –  $A'_k$  среднечасовая производительность возрастает за счет уменьшения внеоперационных простоев (увеличение коэффициента  $K_n$ ), а далее – за счет уменьшения операционных перерывов (увеличение  $K_o$ ).

Среднее значение удельного расхода электроэнергии при заданной производительности  $A_k \leq A'_k$

$$d_k = \frac{P_k}{A_k} = K_n \frac{\Delta P_{\text{пост}}}{A_k} + \delta_{\text{max}} = \frac{\Delta P_{\text{пост}}}{A_{\text{max}} K_o} + \delta_{\text{max}} > d_{\text{min}}.$$

Дальнейшее снижение удельного расхода происходит за счет уменьшения операционных перерывов в работе станка. На диаграмме удельного расхода энергии (рис. 3) рассматриваемому режиму соответствует линия 3.

### Выводы

1. С точки зрения экономии электроэнергии непрерывная работа в постоянном режиме выгодна только тогда, когда производственная программа позволяет загрузить станок по его максимальной производительности  $A_k = A_{\text{max}}$  в течение всего данного периода времени  $T_k$ .

2. Если условиями производства обусловлена непрерывная работа и задана среднекалендарная производительность  $A_k < A_{\text{max}}$ , то станок выгоднее эксплуатировать в режиме, при котором периоды работы с максимальной часовой производительностью перемежаются холостыми ходами.

3. Если условие неполной загрузки станка сохраняют, но допустима прерывистая работа, то выгоднее переходить на прерывистый режим, при

Рис. 6. Упорядоченная диаграмма графика потребляемой мощности

---

котором периоды работы с максимальной часовой производительностью и с отключением станка чередуют.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Агеев, С.П.* Энергетическая характеристика окорочного станка [Текст] / С.П. Агеев // Лесн. журн. – 2007. – № 3. – С. 93 – 99. – (Изв. высш. учеб. заведений).
2. *Гофман, И.В.* Нормирование потребления энергии и энергетические балансы промышленных предприятий [Текст] / И.В. Гофман. – М.; Л.: Энергия, 1966. – 315 с.

Поступила 29.03.05

Севмашвтуз

*S.P. Ageev*

**Energy Operating Mode of Debarking Machines**

The power consumption mode of debarking machines is analyzed depending on their load and operating schedule.

---