

УДК 621.311

Агеев С.П.

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.: 8 (8184) 20-03-57



ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЛЕСОПИЛЬНЫХ РАМ

Проанализированы режимы электропотребления вертикальных лесопильных рам в зависимости от их загрузки и графика работы.

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

Одним из наиболее энергоемких деревообрабатывающих производств является лесопильное. При этом лесопильная рама (ЛР) со сравнительно небольшой околостаночной механизацией составляет отдельный участок и, как наиболее мощный электроприемник, в значительной степени определяет его характер электропотребления.

Для нахождения энергетически целесообразных режимов работы ЛР, при которых обеспечивается наименьшее значение среднего удельного расхода энергии, рассмотрим ее работу на различных интервалах рабочего времени.

Эффективное время цикла

Ранее [1] было показано, что если рассматривать бревно как усеченный конус, то текущую производительность ЛР (A , м³/ч) за эффективное время можно определить из выражения

$$A(t) = 900\pi \left(\frac{d_b^2}{4} u + 2d_b u^2 ct + c^2 u^3 t^2 \right)$$

где d_b – вершинный диаметр бревна, м;
 u – скорость подачи бревна, м/с;
 c – сбег бревна, м/м.

График изменения текущей производительности $A(t)$ показан на рис. 1.

Учитывая переменный характер нагрузки в течение рабочего цикла, производительность ЛР можно опре-

делить как среднюю (A_3 , м³/ч) за эффективное время:

$$A_3 = \frac{3600}{t_3} \int_0^{t_3} A(t) dt = \frac{3600V}{t_3}, \quad (1)$$

где t_3 – эффективное время, с;

V – объем распиленного бревна за время t_3 , м³.

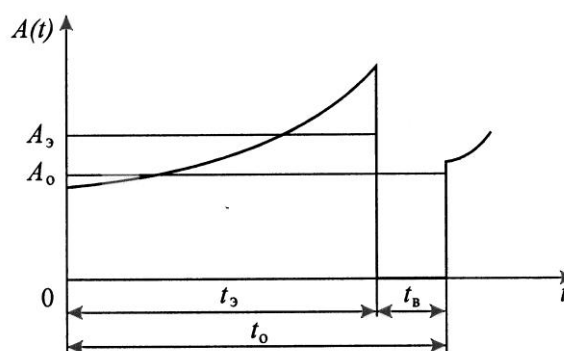


Рис. 1. График текущей производительности лесопильной рамы

При оптимальных технологических параметрах работы и наилучшей загрузке (наибольший объем бревен V_{\max}) среднечасовая производительность ЛР, отнесенная к эффективному времени, достигает максимального значения $A_{3,\max}$.

Величина, характеризующая загрузку ЛР в течение времени t_3 ,

$$k_T = \frac{A_3}{A_{3,\max}} = \frac{V}{V_{\max}}, \quad (2)$$

называется технологическим коэффициентом загрузки.

В [3] было получено уравнение энергетической характеристики электропривода механизма резания ЛР:

$$P(t) = c_d \sqrt{A(t)} + P_{\text{д.пост}}, \quad (3)$$

где $P(t)$ – мощность, потребляемая из сети, кВт;

c_d – постоянный (при определенных условиях) коэффициент, характеризующий энергоемкость ЛР, кДж/(м^{1,5}·с^{0,5});

$P_{\text{д.пост}}$ – постоянная составляющая потребляемой мощности, характеризующая непроизводительный расход электроэнергии, кВт.

Коэффициент c_d определяется по выражению

$$c_d = (1 + b_d)(1 + b_{\text{м.п}}) 2K_T B_{\text{пр}} Z_{\text{п}} \frac{a_{\text{п}} a_{\rho} a_1 \sqrt{u}}{\sqrt{\pi}},$$

$$P_3 = \frac{1}{t_3} \int_0^{t_3} P(t) dt = c_d \sqrt{A_3} + P_{\text{д.пост}} = c_d \sqrt{k_T A_{3,\text{max}}} + P_{\text{д.пост}}. \quad (4)$$

Разделив обе части (4) на среднюю часовую производительность A_3 ,

$$d_3 = \frac{P_3}{A_3} = \frac{c_d}{\sqrt{A_3}} + \frac{P_{\text{д.пост}}}{A_3} = \frac{c_d}{\sqrt{k_T A_{3,\text{max}}}} + \frac{P_{\text{д.пост}}}{k_T A_{3,\text{max}}}. \quad (5)$$

Из (5) следует, что энергетически целесообразный режим работы ЛР в течение эффективного времени цикла возможен при максимальном значении коэффициента k_T , что обеспечивается надлежащей сортировкой бревен.

Операционное время цикла

Для ЛР, как станков периодического действия, часовая производительность (A_0 , м³/ч), отнесенная к операционному времени t_0 , за время одного полного цикла

$$A_0 = \frac{3600 V}{t_3 + t_b} = \frac{3600 V}{t_0}, \quad (6)$$

где $b_d, b_{\text{м.п}}$ – коэффициенты переменных потерь энергии соответственно в двигателе механизма резания и клиноремненной передаче;

K_T – удельная работа рамного пиления при нормированных условиях резания, кДж/м³;

$B_{\text{пр}}$ – ширина пропила, м;

$Z_{\text{п}}$ – количество пил в поставе;

$a_{\text{п}}, a_{\rho}, a_1$ – поправочные коэффициенты, учитывающие соответственно плотность древесины, степень затупления резцов, вид постава;

u – скорость подачи бревна, м/с.

Среднее значение потребляемой мощности (P_3 , кВт) за время t_3

получим уравнение для определения среднего удельного расхода:

где t_b – вспомогательное время, обусловленное межторцевыми разрывами между бревнами (цикловые потери), с.

Выразив из (1) объем V бревна и подставив его в (6), получим

$$A_0 = \frac{t_3}{t_0} A_3 = k_0 A_3,$$

где $k_0 = \frac{t_3}{t_0}$ – коэффициент использования ЛР в операционное время.

Из (2) следует, что $A_3 = k_T A_{3,\text{max}}$, тогда $A_0 = k_0 k_T A_{3,\text{max}}$.

Средняя потребляемая мощность $P_0 = c_d \sqrt{A_0} + P_{\text{д.пост}} = c_d \sqrt{k_0 k_T A_{3,\text{max}}} + P_{\text{д.пост}}. \quad (7)$

Рассмотрим случай, когда при постоянных режимных параметрах работы ЛР переменной величиной является t_B . Тогда в (6) переменными становятся A_0 или k_0 . Уравнению (7) соответствуют энергетические характеристики, приведенные на рис. 2.

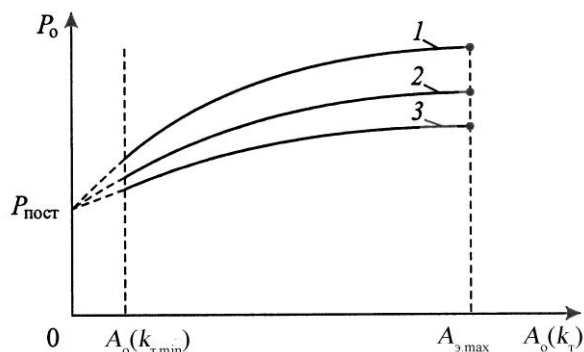


Рис. 2. Энергетические характеристики средней потребляемой мощности ЛР: 1 – $k_0 = 1,0$; 2 – $0,9$; 3 – $0,8$

Уравнение среднего удельного расхода d_0 за операционное время

$$d_0 = \frac{P_0}{A_0} = \frac{c_d}{\sqrt{A_0}} + \frac{P_{д.пост}}{A_0} = \frac{c_d}{\sqrt{k_0 k_T A_{э, max}}} + \frac{P_{д.пост}}{k_0 k_T A_{э, max}} \quad (8)$$

Из (8) следует, что увеличение производительности A_0 в результате изменения коэффициентов $k_T = f(V)$ и $k_0 = f(t_B)$ одинаково влияет на снижение удельного расхода энергии (рис. 3).

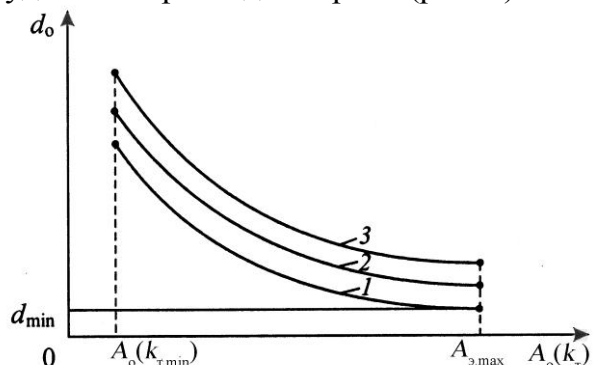


Рис. 3. Энергетические характеристики среднего удельного расхода электроэнергии ЛР за время t_0 (см. обозначения на рис. 2)

Календарное время

Среднечасовая производительность A_0 только тогда может служить

показателем производительности ЛР за календарное время T_k (рабочая смена), если в течение смены отсутствуют внеоперационные простои (внецикловые потери). На самом же деле в течение смены ЛР не только выпускают продукцию, но и периодически простаивают [4].

В этом случае среднесменная часовая производительность ЛР

$$A_k = \frac{Z}{T_k} = \frac{Z}{T_0 + T_H},$$

где Z – объем распиленного за смену сырья, m^3 ;

T_H – внеоперационное время, характеризующее перерывы, выходящие за пределы операционного времени T_0 , но находящиеся в пределах рабочей смены; при этом ЛР останавливаются.

Так как $T_k = T_0 / K_H$ [2], то

$$A_k = \frac{Z}{T_0} K_H = A_0 K_H = K_0 K_T K_H A_{э, max},$$

где T_0 – суммарное операционное время, ч;

$K_H = T_0 / T_k$ – коэффициент использования ЛР за календарное время;

$K_0 = T_3 / T_0$ – коэффициент использования ЛР за операционное время в течение смены;

T_3 – суммарное эффективное время, ч;

$K_T = Z / Z_{max}$ – среднее значение коэффициента загрузки ЛР за эффективное время T_3 в течение смены;

Z_{max} – максимальный объем распиленного за смену сырья, возможный при отсутствии каких-либо потерь в работе ЛР, m^3 .

Выбор энергетически целесообразного режима работы оборудования во многом зависит от формы энергетической характеристики их потребляемой мощности. Выбор режима использова-

$$W_k = W_o = W_э + W_в = P_э T_э + T_в P_{д.пост} = (c_d \sqrt{A_э} + P_{д.пост}) T_э + P_{д.пост} T_в = c_d \sqrt{A_э} T_э + P_{д.пост} T_o = c_d \sqrt{K_T A_{э, \max}} T_э + P_{д.пост} T_o, \quad (9)$$

где $T_в$ – суммарное вспомогательное время, ч.

$$P_k = \frac{W_k}{T_k} = K_H P_{д.пост} + K_o K_H c_d \sqrt{K_T A_{э, \max}} = K_H P_{д.пост} + c_d \sqrt{K_o K_H A_k} \quad (10)$$

и удельного расхода энергии

$$d_k = \frac{c_d}{\sqrt{K_T A_{э, \max}}} + \frac{P_{д.пост}}{K_o K_T A_{э, \max}}. \quad (11)$$

Изменяя в (10) и (11) значения коэффициентов K_o , K_H , K_T , анализируем различные режимы нагрузки ЛР в течение рабочей смены.

Режим 1. $K_o = K_T = 1,0$; $K_H = 0,9$; $A_k = A_{к, \max} = 0,9 A_{э, \max}$.

В этом режиме ЛР работает непрерывно в течение всего отведенного времени ($K_H = 0,9$) с максимальной часовой производительностью $A_{к, \max}$, не допуская межторцовых разрывов ($K_o = 1,0$). Среднесменная потребляемая мощность в этом случае достигает максимального значения

$$P_k = c_d \sqrt{A_{э, \max}} + P_{д.пост} = P_{к, \max},$$

а средний удельный расход энергии – минимального:

$$d_k = \frac{P_k}{A_k} = \frac{P_{к, \max}}{A_{э, \max}} = \frac{c_d}{\sqrt{A_{э, \max}}} + \frac{P_{д.пост}}{A_{э, \max}} = d_{к, \min}.$$

Этому режиму на рис. 4 и 5 соответствует т. 1.

Режим 2. $K_o = 1,0$; $K_H = 0,9$; $K_T < 1,0$; $A_k = 0,9 K_T A_{э, \max}$.

ЛР работает непрерывно в течение всего отведенного времени со средней производительностью $A_k < A_{к, \max}$ без межторцовых разрывов. Средняя потребляемая мощность

$$P_k = 0,9 c_d \sqrt{K_T A_{э, \max}} + 0,9 P_{д.пост}.$$

ЛР за календарное время T_k практически относится к рабочей смене.

Потребление электроэнергии за время T_k выражается уравнением

Средние значения потребляемой мощности

Этому режиму отвечает линия 2 на рис. 4 и 5. При любых условиях этот режим является наименее выгодным, так как ему при любой заданной среднесменной производительности $A_k < A_{к, \max}$ соответствует наибольшее значение потребляемой мощности P_k .

Среднее значение удельного расхода энергии

$$d_k = \frac{P_k}{A_k} = \frac{c_d}{\sqrt{K_T A_{э, \max}}} + \frac{P_{д.пост}}{K_T A_{э, \max}}.$$

Режим 3. $K_H = 0,9$; $K_T = 1,0$; $K_o < 1,0$; $A_k = 0,9 K_o A_{э, \max}$.



Рис. 4. Энергетические диаграммы средней потребляемой мощности ЛР за время T_k : 1 – режим 1; 2 – 2; 3 – 3; 4 – 4

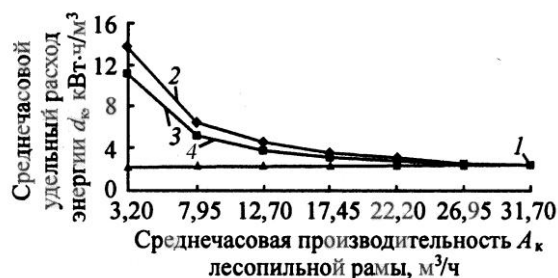


Рис. 5. Энергетические диаграммы среднего удельного расхода ЛР за время T_k (см. обозначения на рис. 4)

ЛР работает непрерывно в течение всего отведенного времени с полной загрузкой, допуская межторцовые разрывы. Средняя потребляемая мощность

$$P_k = K_o c_d \sqrt{A_{э.маx}} + P_{д.пост.}$$

Этому режиму соответствует линия 3 на рис. 4 и 5. В условиях непрерывной работы при заданной производительности $A_k < A_{к.маx}$ этот режим энергетически выгоднее режима с постоянной нагрузкой при той же часовой производительности, так как ему соответствует наименьшая средняя мощность P_k , достижимая в условиях непрерывной работы.

Среднее значение удельного расхода энергии

$$d_k = \frac{P_k}{A_k} = \frac{c_d}{\sqrt{A_{э.маx}}} + \frac{P_{д.пост.}}{K_o A_{э.маx}}$$

Режим 4. $K_T = K_o = 1,0$; $K_H < 0,9$; $A_k = K_H A_{э.маx}$.

ЛР работает со среднесменной производительностью $A_k < A_{к.маx}$ при полной нагрузке без межторцовых разрывов, когда имеет место полный останов ЛР по незапланированным причинам.

Средняя потребляемая мощность

$$P_k = K_H \left(c_d \sqrt{A_{э.маx}} + P_{д.пост.} \right)$$

Этому режиму соответствует линия 4 на рис. 4. При любой заданной среднесменной производительности $A_k < A_{к.маx}$ этот режим экономически наиболее выгоден, так как ему соответствует наименьшая средняя потребляемая мощность.

Среднее значение удельного расхода энергии

$$d_k = \frac{P_k}{A_k} = \frac{c_d}{\sqrt{A_{э.маx}}} + \frac{P_{д.пост.}}{A_{э.маx}}$$

На диаграмме удельного расхода энергии (рис. 5) рассматриваемому режиму соответствует линия 4 ($d_k = d_{к.мин}$).

Выводы

В результате анализа режимов энергопотребления головного лесопильного оборудования на различных интервалах рабочего времени установлено, что непрерывная работа ($K_H = 0,9$) в постоянном режиме энергетически эффективна при условии, когда производственная программа обеспечивает загрузку оборудования по наибольшей производительности ($K_T = 1,0$). При плановых остановках ($K_H < 0,9$) и неритмичной загрузке ($K_T < 1,0$) энергетически эффективен дискретный режим энергопотребления. Влияние межторцовых разрывов ($K_o < 1,0$) и плановых остановок на энергоэффективность процесса незначительно (0,1...0,6 %).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агеев С.П. Показатели энергоиспользования лесопильных рам // Лесн. журн. 2009. № 3. С. 134–138. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Агеев С.П. Энергетические режимы работы окорочных станков // Лесн. журн. 2007. № 4. С. 104–111. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Агеев С.П. Энергетическая характеристика электропривода механизма резания лесопильной рамы // Лесн. журн. 2009. № 2. С. 96–101. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Калитеевский Р.Е. Автоматизация производственных процессов в лесопилении. М.: Лесн. пром-сть, 1979. 336 с.

Поступила 23.12.10

S.P. Ageev

“Sevmashvtuz” Branch of Saint-Petersburg State Marine Technical University

Energy Operation Conditions of Frame Sawmills

The power consumption modes of vertical frame sawmills are analyzed depending on their workload and operating schedule.

Keywords: consumed power, electric power, specific power consumption, average hourly productivity.