

УДК 621.311

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 50 научных работ в области электроснабжения промышленных предприятий. Тел.: 20-03-57



ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕХАНИЗМА РЕЗАНИЯ ЛЕСОПИЛЬНОЙ РАМЫ

Выполнены построение и анализ энергетической характеристики механизма резания вертикальной лесопильной рамы, а также определены технические факторы, влияющие на ее параметры.

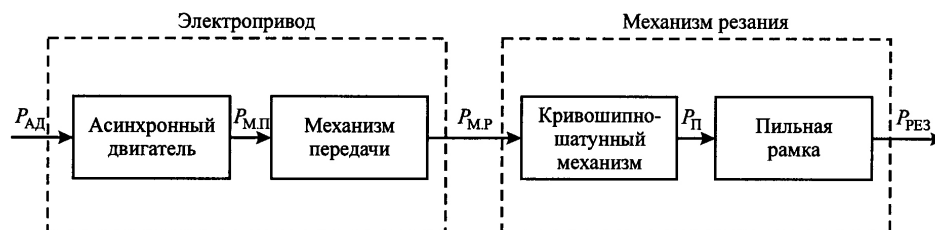
Ключевые слова: потребляемая мощность, потери энергии, лесопильная рама, производительность, сила резания, коэффициенты потерь.

Для энергетической оценки экономичности работы оборудования при различной производительности применяют энергетические характеристики [2].

Цель работы – составление энергетического баланса и построение энергетической характеристики механизма резания вертикальных лесопильных рам, которые являются наиболее энергоемкими потребителями лесопильного производства.

Получение энергетических характеристик основано на разделении всех элементов энергобаланса механизма на постоянные (не зависящие от производительности рамы) и переменные (зависящие от производительности) и установлении функциональных зависимостей переменных элементов баланса от производительности лесопильной рамы.

На рисунке показана структурная схема передачи мощности в механизме резания вертикальной лесопильной рамы, приводимом в движение асинхронным двигателем с фазовым ротором.



Потребляемая пильной рамой мощность $P_{\text{п}}$ содержит две составляющие:

переменную (полезную) мощность резания $P_{\text{рез}}$;

постоянную мощность $\Delta P_{\text{п.пост}}$ потерь, вызванных силами трения в направляющих.

Таким образом,

$$P_{\text{п}} = P_{\text{рез}} + \Delta P_{\text{п.пост}} = c_{\text{п}} A^m + \Delta P_{\text{п.пост}}, \quad (1)$$

где $c_{\text{п}}$ – постоянный (при определенных условиях) параметр, характеризующий энергоёмкость процесса резания, Дж / м^{3m} · с^{1-m};

A – производительность лесопильной рамы, м³/с;

m – показатель степени.

При номинальной производительности $A_{\text{ном}}$ лесопильной рамы мощность, подводимая к пильной рамке, имеет номинальное значение:

$$P_{\text{п.ном}} = c_{\text{п}} A_{\text{ном}}^m + \Delta P_{\text{п.пост}}. \quad (2)$$

Отношение потребляемой мощности $P_{\text{п}}$ к ее номинальному значению $P_{\text{п.ном}}$ представляет собой технологический коэффициент нагрузки лесопильной рамы:

$$\gamma_{\text{п}} = \frac{P_{\text{п}}}{P_{\text{п.ном}}} = \frac{A}{A_{\text{ном}}}.$$

Потери мощности в кривошипно-шатунном механизме (две пары подшипников качения) делят на две составляющие: переменную (пропорциональную передаваемой мощности) и постоянную (мощность постоянных потерь), полагая при этом, что другие показатели работы механизма, кроме нагрузки, неизменны. Изменение нагрузки не связано с переменной скорости или связано с таким ее изменением, что практически не нарушается пропорциональность между потребляемой мощностью и переменными потерями, а постоянные потери можно считать неизменными.

Потери мощности в кривошипно-шатунном механизме учитывают при помощи коэффициентов потерь, т.е. в долях от мощности, потребляемой пильной рамкой.

Мощность постоянных потерь $\Delta P_{\text{ш.пост}}$ выразим в долях от $P_{\text{п.ном}}$ через соответствующий коэффициент потерь $a_{\text{ш}}$:

$$\Delta P_{\text{ш.пост}} = a_{\text{ш}} P_{\text{п.ном}}, \quad (3)$$

мощность переменных потерь $\Delta P_{\text{ш.пер}}$ – через мощность пильной рамки $P_{\text{п}}$ и коэффициент переменных потерь $b_{\text{ш}}$:

$$\Delta P_{\text{ш.пер}} = b_{\text{ш}} P_{\text{п}} = b_{\text{ш}} \gamma_{\text{п}} P_{\text{п.ном}}.$$

Тогда общая мощность, потребляемая механизмом резания,

$$\begin{aligned} P_{\text{м.п}} &= P_{\text{п}} + \Delta P_{\text{ш.пер}} + \Delta P_{\text{ш.пост}} = \gamma_{\text{п}} P_{\text{п.ном}} + b_{\text{ш}} \gamma_{\text{п}} P_{\text{п.ном}} + a_{\text{ш}} P_{\text{п.ном}} = \\ &= P_{\text{п.ном}} [\gamma_{\text{п}} (1 + b_{\text{ш}}) + a_{\text{ш}}] = P_{\text{п}} (1 + b_{\text{ш}}) + a_{\text{ш}} P_{\text{п.ном}}. \end{aligned} \quad (4)$$

Коэффициенты потерь можно определить по номинальному КПД $\eta_{\text{ш.ном}}$ кривошипно-шатунного механизма и отношению потерь:

$$\chi_{\text{ш}} = \frac{\Delta P_{\text{ш.пост}}}{\Delta P_{\text{ш.пер.ном}}} = \frac{a_{\text{ш}}}{b_{\text{ш}}}.$$

Для простых кинематических цепей обычно принимают $\chi_{\text{ш}} = 1$, т.е. полагают $b_{\text{ш}} = a_{\text{ш}}$. При этом номинальный КПД можно рассчитать как отношение отдаваемой номинальной мощности $P_{\text{п.ном}}$ к потребляемой $P_{\text{мр.ном}}$:

$$\eta_{\text{ш.ном}} = \frac{P_{\text{п.ном}}}{P_{\text{мр.ном}}} = \frac{P_{\text{п.ном}}}{P_{\text{п.ном}} (1 + a_{\text{ш}} + b_{\text{ш}})} = \frac{1}{1 + a_{\text{ш}} + b_{\text{ш}}}. \quad (5)$$

Откуда

$$a_{\text{ш}} + b_{\text{ш}} = \frac{1 - \eta_{\text{ш.ном}}}{\eta_{\text{ш.ном}}}.$$

Возвращаясь к (4) и учитывая (1), составим уравнение энергетической характеристики $P_{\text{м.р}} = f(A)$ механизма резания:

$$\begin{aligned} P_{\text{м.р}} &= (c_{\text{п}} A^m + \Delta P_{\text{п.пост}}) (1 + b_{\text{ш}}) + a_{\text{ш}} P_{\text{п.ном}} = c_{\text{п}} (1 + b_{\text{ш}}) A^m + (1 + b_{\text{ш}}) \Delta P_{\text{п.пост}} + \\ &+ a_{\text{ш}} P_{\text{п.ном}} = c_{\text{м.р}} A^m + \Delta P_{\text{м.р.пост}}. \end{aligned} \quad (6)$$

Здесь слагаемое $\Delta P_{\text{м.р.пост}}$ – мощность постоянных потерь в механизме резания,

$$\Delta P_{\text{м.р.пост}} = (1 + b_{\text{ш}}) \Delta P_{\text{п.пост}} + a_{\text{ш}} P_{\text{п.ном}} = P_{\text{п.ном}} [a_{\text{п}} (1 + b_{\text{ш}}) + a_{\text{ш}}], \quad (7)$$

где $a_{\text{п}} = \frac{\Delta P_{\text{п.пост}}}{P_{\text{п.ном}}}$ – коэффициент постоянных потерь в пильной рамке.

В рассматриваемом случае $\Delta P_{\text{ш.пост}}$ удобно представлять в долях не от номинальной мощности пильной рамки $P_{\text{п.ном}}$ (см. (3)), а от постоянной составляющей $\Delta P_{\text{п.пост}}$ этой мощности:

$$\Delta P_{\text{ш.пост}} = c_{\text{ш}} P_{\text{ш.пост}} = c_{\text{ш}} a_{\text{п}} P_{\text{п.ном}} = a_{\text{ш}} P_{\text{п.ном}}. \quad (8)$$

Отсюда

$$\begin{aligned} c_{\text{ш}} &= a_{\text{ш}} \frac{P_{\text{п.ном}}}{\Delta P_{\text{п.пост}}} = \frac{a_{\text{ш}}}{a_{\text{п}}}; \\ a_{\text{ш}} &= c_{\text{ш}} \frac{\Delta P_{\text{п.пост}}}{P_{\text{п.ном}}}. \end{aligned} \quad (9)$$

Подставляя (9) в (7), получаем

$$\Delta P_{\text{м.р.пост}} = P_{\text{п.ном}} \left[\frac{\Delta P_{\text{п.пост}}}{P_{\text{п.ном}}} (1 + b_{\text{ш}}) + c_{\text{ш}} \frac{\Delta P_{\text{п.пост}}}{P_{\text{п.ном}}} \right] = \Delta P_{\text{п.пост}} (1 + b_{\text{ш}} + c_{\text{ш}}). \quad (10)$$

Таким образом мощность, потребляемая механизмом резания,

$$P_{\text{м.р}} = (1 + b_{\text{ш}}) c_{\text{п}} A^m + \Delta P_{\text{п.пост}} (1 + b_{\text{ш}} + c_{\text{ш}}) = c_{\text{м.р}} A^m + \Delta P_{\text{м.р.пост}}. \quad (11)$$

Определим слагаемые, входящие в (11), используя при этом одну из методик расчета мощности резания, изложенную в [1].

Введем следующие обозначения:

V_1 – объем древесины, превращаемый в опилки за 1 с, м³/с;

K – удельная работа рамного пиления для расчетных условий резания, Дж/м³;

$B_{\text{пр}}$ – ширина пропила, м;

H_{Σ} – суммарная высота пропила, м;

u – скорость подачи бревна, м/с.

В этом случае мощность резания $P_{\text{рез}}$ (Вт) может быть вычислена по «объемной» формуле

$$P_{\text{рез}} = KV_1 = KB_{\text{пр}} H_{\Sigma} u. \quad (12)$$

Удельную работу K найдем как произведение удельной работы при нормированных (табличных) условиях K_T на общий поправочный коэффициент $a_{\text{попр}}$, учитывающий отличие расчетных условий резания от нормированных:

$$K = K_T a_{\text{попр}}. \quad (13)$$

В случае рамного пиления обычно принимают

$$a_{\text{попр}} = a_{\text{пр}} a_{\text{р}}, \quad (14)$$

где $a_{\text{пр}}$ – коэффициент, учитывающий плотность древесины различных пород;

$a_{\text{р}}$ – коэффициент, учитывающий затупление резцов и зависящий от длительности работы пил после заточки.

Числовые значения поправочных коэффициентов, найденные по результатам экспериментов, приведены в таблицах [3].

Определим сумму высот всех пропилов:

$$H_{\Sigma} = H_{\text{ср}} Z_{\text{п}} = a_1 D_{\text{ср}} Z_{\text{п}}, \quad (15)$$

где $H_{\text{ср}}$ – средняя высота пропила $H_{\text{ср}} = a_1 D_{\text{ср}}$, м;

a_1 – коэффициент постова, принимаемый в зависимости от вида распиловки [4];

$D_{\text{ср}}$ – средний диаметр бревна или высота бруса, м;

$Z_{\text{п}}$ – число пил в поставе.

Средний диаметр бревна

$$D_{\text{ср}} = D_{\text{в}} + \frac{sL}{2},$$

где $D_{\text{в}}$ – диаметр бревна в вершинном отрезке, м ;

s – средний сбег на 1 м длины, принимаемый в зависимости от $D_{\text{в}}$;

L – длина бревна, м.

Производительность лесопильной рамы

$$A = \frac{uV_{\text{б}}}{L},$$

где $V_{\text{б}}$ – объем бревна, м³.

Полагая, что приближенно бревно представляет собой прямой круговой цилиндр диаметром $D_{\text{ср}}$, его объем определяют по формуле

$$V_{\text{б}} = \frac{\pi D_{\text{ср}}^2}{4} L.$$

Тогда производительность лесопильной рамы

$$A = \frac{\pi u D_{\text{ср}}^2}{4},$$

откуда

$$D_{\text{ср}} = 2 \sqrt{\frac{A}{\pi u}}. \quad (16)$$

Подставляя (13) – (16) в (12), найдем выражение для мощности силы резания:

$$P_{\text{рез}} = 2K_{\text{т}} B_{\text{пр}} Z_{\text{п}} \frac{a_{\text{пр}} a_{\text{р}} a_1 \sqrt{u}}{\sqrt{\pi}} \sqrt{A} = c_{\text{п}} \sqrt{A}.$$

где $c_{\text{п}}$ – постоянный параметр, Дж/м^{1,5} · с^{0,5}.

Тогда, согласно (11), энергетическая характеристика механизма резания

$$P_{\text{м.р}} = 2(1 + b_{\text{ш}}) K_{\text{т}} B_{\text{пр}} Z_{\text{п}} \frac{a_{\text{пр}} a_{\text{р}} a_1 \sqrt{u}}{\sqrt{\pi}} \sqrt{A} + \Delta P_{\text{п.пост}} (1 + b_{\text{ш}} + c_{\text{ш}})$$

или

$$P_{\text{м.р}} = c_{\text{м.р}} \sqrt{A} + \Delta P_{\text{м.р.пост}}.$$

Анализ полученной зависимости показывает, что коэффициенты энергоемкости $c_{\text{п}}$ и $c_{\text{м.р}}$ в значительной степени зависят от фактических условий резания древесины (толщины срезаемого слоя, степени затупления резцов, плотности древесины), а также скорости подачи бревен.

Вывод

Полученная энергетическая характеристика позволяет выполнить анализ энергоемкости процесса распиловки древесины и установить влия-

ние технологических параметров процесса электропотребления лесопильных рам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Амалицкий, В.В.* Станки и инструменты лесопильного и деревообрабатывающего производства [Текст]: учеб. для техникумов – М.: Лесопильн. пром-сть, 1985. – 288 с.
2. *Гофман, И.В.* Нормирование потребления энергии и энергетических балансов промышленных предприятий [Текст] / И.В. Гофман. – М.; Л.: Энергия, 1966. – 315 с.
3. *Любченко, В.И.* Резание древесины и древесных материалов [Текст] / В.И. Любченко. – М.: Лесопильн. пром-сть, 1986. – 294 с.
4. *Песоцкий, А.Н.* Лесопильное производство [Текст] / А.Н. Песоцкий. – Л.: Лесн. пром-сть, 1973. – 325 с.

Поступила 08.06.06

S.P. Ageev

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

Energetic Characteristic of Cutting Mechanism of Frame Saw

Construction and analysis of energetic characteristic of cutting mechanism of the vertical frame saw are carried out; technical factors influencing its parameters are determined.

Keywords: power consumption, energy loss, frame saw, productivity, cutting force, loss coefficients.
