

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



ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНИЗМА РЕЗАНИЯ ЛЕСОПИЛЬНОЙ РАМЫ*

Построена и проанализирована энергетическая характеристика электропривода лесопильной рамы, определены технические факторы, влияющие на ее параметры.

Ключевые слова: потребляемая мощность, потери энергии, лесопильная рама, производительность, коэффициенты полезного действия и потерь.

Для того, чтобы найти функциональную зависимость между мощностью, потребляемой приводным двигателем из сети, и производительностью лесопильной рамы, необходимо учесть потери мощности в электроприводе, т.е. в передаточном механизме и электродвигателе. Привод механизма резания осуществляется от асинхронного двигателя (АД) с фазовым ротором через клиноременную передачу.

Коэффициенты потерь в механизме передачи (МП) можно определить по номинальному коэффициенту полезного действия (КПД) $\eta_{\text{мп.ном}}$ аналогично уравнению (5) в [1]:

$$\eta_{\text{мп.ном}} = \frac{1}{1 + a_{\text{мп}} + b_{\text{мп}}},$$

откуда

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

Зная соотношение между коэффициентами потерь в механизме передачи

$$\lambda_{\text{мп}} = \frac{a_{\text{мп}}}{b_{\text{мп}}},$$

можно найти значение каждого из них. Для простых кинематических схем принимают $\lambda_{\text{мп}} = 1$, поэтому

$$a_{\text{мп}} = b_{\text{мп}} = \frac{1 - \eta_{\text{мп.ном}}}{2\eta_{\text{мп.ном}}}.$$

* Настоящая статья является продолжением [1].

Для определения коэффициентов потерь в АД также необходимо знать его $\eta_{д.ном}$ и соотношение потерь:

$$\lambda_{д} = \frac{\Delta P_{д.пост}}{\Delta P_{д.пер.ном}} = \frac{a_{д}}{b_{д}},$$

где $\Delta P_{д.пост}$ – постоянные потери мощности в двигателе;

$\Delta P_{д.пер.ном}$ – переменные потери мощности при номинальной нагрузке.

Значения $\lambda_{д}$ для АД лежат в пределах 0,5...2,0, их определяют по специальным кривым [3]. Тогда

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

Коэффициенты суммарных потерь в электроприводе определяют из выражения

$$\begin{aligned} 7 \quad \frac{1}{\eta_{д.ном} \eta_{мп.ном}} &= (1 + b_{д} + a_{д})(1 + b_{мп} + a_{мп}) = \\ &= (1 + b_{д})(1 + b_{мп}) + (1 + b_{д})a_{мп} + (1 + b_{мп} + a_{мп})a_{д} = 1 + b_{пр} + a_{пр}, \end{aligned}$$

где $b_{пр}$ – коэффициент переменных потерь в электроприводе, $b_{пр} = (1 + b_{д})(1 + b_{мп})$;

$a_{пр}$ – коэффициент постоянных потерь в электроприводе,

$$a_{пр} = (1 + b_{д})a_{мп} + (1 + b_{мп} + a_{мп})a_{д}.$$

При этом следует учесть, что номинальной нагрузкой для МП будет сумма номинальной мощности механизма резания $P_{мр.ном}$ и мощности холостого хода $P_{хх}$. Для определения мощности холостого хода воспользуемся приближенной формулой

$$P_{хх} = G_{п} v_{рез},$$

где $G_{п}$ – вес пильной рамки в сборе, Н;

$v_{рез}$ – средняя скорость резания, м/с.

Тогда

$$P_{мр.ном} + \alpha P_{хх} = P_{п.ном} (1 + b_{ш} + a_{ш}) + \alpha P_{хх},$$

где α – коэффициент, учитывающий возрастание мощности холостого хода при нагрузке [2], $\alpha = 1,1$;

$P_{п.ном}$ – мощность, подводимая к пильной рамке при номинальной нагрузке.

Номинальная мощность на валу двигателя

$$P_{мп.ном} = \frac{P_{мр.ном} + \alpha P_{хх}}{\eta_{мп.ном}} = (P_{мр.ном} + \alpha P_{хх})(1 + b_{мп} + a_{мп}).$$

Определим мощность, потребляемую двигателем из сети при номинальной нагрузке ($A = A_{ном}$):

$$P_{д.ном} = \frac{P_{мп.ном}}{\eta_{д.ном}} = \frac{P_{мр.ном} + \alpha P_{хх}}{\eta_{д.ном} \eta_{мп.ном}} = (P_{мр.ном} + \alpha P_{хх})(1 + b_{пр} + a_{пр}).$$

При произвольной нагрузке, предполагая, что переменные потери мощности в АД изменяются пропорционально первой степени нагрузки, получим

$$P_d = P_{\text{мр.ном}} [\gamma_{\text{мр}} (1 + b_{\text{пр}}) + a_{\text{пр}}] + \alpha P_{\text{хх}} (1 + b_{\text{пр}} + a_{\text{пр}}), \quad (1)$$

где $\gamma_{\text{мр}}$ – технологический коэффициент нагрузки механизма резания,

$$\gamma_{\text{мр}} = \frac{P_{\text{мр}}}{P_{\text{мр.ном}}}.$$

Из уравнения (1) можно получить зависимость мощности, потребляемой АД из сети, от производительности лесопильной рамы, т.е. уравнение энергетической характеристики $P_d = f(A)$ электропривода механизма резания лесопильной рамы:

$$\begin{aligned} P_d &= \gamma_{\text{мр}} P_{\text{мр.ном}} (1 + b_{\text{пр}}) + a_{\text{пр}} P_{\text{мр.ном}} + \alpha P_{\text{хх}} (1 + b_{\text{пр}} + a_{\text{пр}}) = \\ &= P_{\text{мр}} (1 + b_{\text{пр}}) + a_{\text{пр}} P_{\text{мр.ном}} + \alpha P_{\text{хх}} (1 + b_{\text{пр}} + a_{\text{пр}}). \end{aligned}$$

С учетом энергетической характеристики механизма резания [1]:

$$\begin{aligned} P_d &= (1 + b_{\text{пр}})(c_{\text{мр}} \sqrt{A} + \Delta P_{\text{мр.пост}}) + a_{\text{пр}} P_{\text{мр.ном}} + \alpha P_{\text{хх}} (1 + b_{\text{пр}} + a_{\text{пр}}) = \\ &= (1 + b_{\text{пр}})c_{\text{мр}} \sqrt{A} + (1 + b_{\text{пр}})\Delta P_{\text{мр.пост}} + a_{\text{пр}} P_{\text{мр.ном}} + \alpha P_{\text{хх}} (1 + b_{\text{пр}} + a_{\text{пр}}) \end{aligned}$$

или окончательно

$$P_d = c\sqrt{A} + P_{\text{пост}}, \quad (2)$$

где c – коэффициент, характеризующий энергоемкость лесопильной рамы, Дж/м^{1,5}с^{0,5};

A – производительность лесопильной рамы, м³/с;

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

Подставляя в (2) выражения для всех выведенных ранее показателей потерь энергии в узлах трения механизма резания и в элементах электропривода, получим

$$\begin{aligned} P_d &= (1 + b_{\text{мп}})(1 + b_d)(1 + b_{\text{ш}})c_{\text{п}} \sqrt{A} + (1 + b_{\text{мп}})(1 + b_d)P_{\text{п.ном}} [a_{\text{п}}(1 + b_{\text{ш}}) + a_{\text{ш}}] + \\ &+ P_{\text{мр.ном}} [(1 + b_d)a_{\text{мп}} + (1 + b_{\text{мп}} + a_{\text{мп}})a_d] + \alpha P_{\text{хх}} (1 + b_{\text{мп}} + a_{\text{мп}})(1 + b_d + a_d). \quad (3) \end{aligned}$$

Учитывая, что фактически переменные потери мощности в электродвигателе пропорциональны квадрату изменения нагрузки, определим погрешности, получаемые при расчете электропотребления из-за принятого выше допущения о пропорциональности этих потерь первой степени нагрузки. Мощность, потребляемая двигателем из сети при номинальной нагрузке и в предположении пропорциональности переменных потерь первой степени нагрузки,

$$P_{\text{д.ном}} = \frac{P_{\text{мп.ном}}}{\eta_{\text{д.ном}}} = P_{\text{мп.ном}} (1 + b_d + a_d),$$

а при произвольной нагрузке можно определить по формуле:

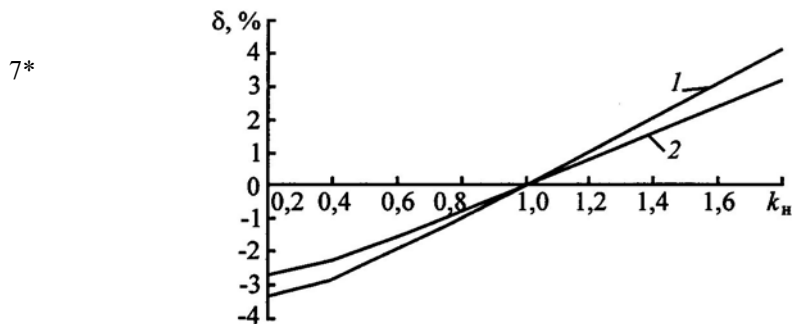
$$P_d = P_{\text{мп.ном}} [k_n (1 + b_d) + a_d] = P_{\text{мп.ном}} k_n + k_n b_d P_{\text{мп.ном}} + a_d P_{\text{мп.ном}} = \\ = P_{\text{мп}} + \Delta P_{\text{д.пер}} + \Delta P_{\text{д.пост}}, \quad (4)$$

где k_n – коэффициент нагрузки двигателя, $k_n = \frac{P_{\text{мп}}}{P_{\text{мп.ном}}}$;

$P_{\text{мп}}$ – фактическая мощность на валу двигателя.

При переменных потерях в двигателе, пропорциональных квадрату изменения нагрузки, выражение (4) запишем в следующем виде:

(5)



$$P'_d = P_{\text{мп}} + \Delta P'_{\text{д.пер}} + \Delta P_{\text{д.пост}} = k_n P_{\text{мп.ном}} + k_n^2 b_d P_{\text{мп.ном}} + a_d P_{\text{мп.ном}} = \\ = P_{\text{мп.ном}} [k_n (1 + k_n b_d) + a_d].$$

Относительная погрешность для мощности, потребляемой из сети, в зависимости от коэффициента нагрузки двигателя: 1 – $a_{д1} = b_{д1} = 0,056$ (мощность двигателя 90 кВт); 2 – $a_{д2} = b_{д2} = 0,043$ (мощность 110 кВт)

Определим погрешность приближенной зависимости (4) по сравнению с формулой (5):

$$\delta = \frac{P'_d - P_d}{P_d} 100 = \frac{k_n (1 + k_n b_d) - k_n (1 + b_d)}{k_n (1 + b_d) a_d} 100. \quad (6)$$

Пример. Определим относительную погрешность δ для двигателей, осуществляющих привод механизма резания двухэтажных лесопильных рам 2P75-1 и 2P75-2. Оба двигателя серии ВАОК – асинхронные с контактными кольцами, их номинальные мощности и КПД соответственно равны 90 кВт и 0,90; 110 кВт и 0,92. Лесопильная рама 2P75-1 первого ряда предназначена для распиловки (с брусковкой) бревен на двухкантные брусья, необрезные доски и горбыли, а также бревен вразвал. Лесопильная рама 2P75-2 второго ряда предназначена для распиловки брусьев толщиной до 400 мм на доски.

Из приведенных на рисунке кривых зависимости $\delta = f(k_n)$ видно, что чем меньше номинальный КПД двигателя (имеется ввиду соблюдение условия $a_d = b_d$), тем больше по абсолютному значению предельная величина относительной погрешности δ . Погрешность в достаточно широком диапазоне изменения коэффициента нагрузки двигателя k_n лежит в пределах $\pm (2,5 \dots 3,1) \%$, т.е. упрощение, принятое при выводе формулы (4) для энергетической характеристики электропривода механизма резания, незначительно влияет на точность расчета потребляемой мощности. Наименьшая погрешность получена при нагрузках порядка 0,8...1,0 от номинальной, т.е. при чаще всего встречающейся на практике нагрузке двигателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агеев, С.П. Энергетическая характеристика механизма резания лесопильной рамы [Текст] / С.П. Агеев // Лесн. журн. – 2009. – № 1. – С. 95–100. – (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Кучеров, И.К. Станки и инструменты лесопильно-деревообрабатывающего производства [Текст] / И.К. Кучеров, В.К. Пашков. – М.: Лесн. пром-сть, 1970. – 560 с.
3. Экономия энергоресурсов в лесной и деревообрабатывающей промышленности [Текст] / М.В. Алексин В [и др.] – М.: Лесн. пром-сть, 1970. – 560 с.

Поступила 08.06.06

S.P. Ageev

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

Energy Characteristic of Electric Drive for Cutting Mechanism of Saw Frame

Energy characteristic of saw frame electric drive is built and analyzed. Technical factors influencing on its parameters are determined.

Keywords: power consumption, energy losses, saw frame, productivity, coefficients of efficiency and losses.