

<http://dx.doi.org/10.15589/jnn20150108>

УДК 621.313

Л 73

## ON GAPS IN THE REFERENCE LITERATURE ON ELECTRICAL MACHINES

### О БЕЛЫХ ПЯТНАХ В СПРАВОЧНОЙ ЛИТЕРАТУРЕ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ МАШИНАМ

Valentyn I. Lokariev

[valentyn.lokariev@nuos.edu.ua](mailto:valentyn.lokariev@nuos.edu.ua)

ORCID: 0000-0003-0460-1324

Dmytro V. Poprotskyi

[poprotskyi@mksat.net](mailto:poprotskyi@mksat.net)

ORCID: 0000-0002-0789-6052

В. И. Локарев,

д-р техн. наук, проф.;

Д. В. Попроцкий,

студ.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев

**Abstract.** The possibilities of reducing the complexity of energy calculations in the electric motor drive by using the data on the coefficient of efficiency and  $\cos \varphi$  in the partial modes of the motor drive have been studied. This information is rarely considered in the literature. For example, it is featured in only one source among five sources looked through. There is no information on the possibilities that can be achieved using the data for the calculation of the motor characteristics or the solving of the energy and resource saving problems. It is illustrated with certain examples that the use of the indicated data allows developing electromechanical and energy characteristics of the motor, assessing the level of its energy consuming in various load modes, solving specific problems of the energy and resource saving at the stage of the motor selection. It is noted that it is possible to reduce the loss not only in the motor, but in the line

if it is proportional to the value  $\frac{1}{\cos^2 \varphi}$ . The favorable option considered is available only with respect to the drives

operating in the nominal mode for a long time, which is quite not common. Along with the reduction of the energy consumption and money costs, it is possible to achieve the effect of the resource saving. Due to the partial load mode throughout the year, the motor wear is reduced and its operation life is extended.

**Keywords:** electric motor drive; energy characteristics; energy indicators; energy and resource saving.

**Аннотация.** Исследованы возможности сокращения трудоемкости энергетических расчетов в электроприводе при использовании информации о КПД и  $\cos \varphi$  в частичных режимах электродвигателя. Показано на конкретных примерах, что использование указанной информации позволяет построить электромеханические и энергетические характеристики электродвигателя, оценить количественно уровень его энергопотребления в различных нагрузочных режимах, решать отдельные задачи энергоресурсосбережения на стадии выбора двигателя.

**Ключевые слова:** электропривод; энергетические характеристики; энергетические показатели; энергоресурсосбережение.

**Анотація.** Досліджено можливість скорочення трудомісткості енергетичних розрахунків в електроприводі при використанні інформації щодо ККД та  $\cos \varphi$  у часткових режимах електродвигуна. Показано на конкретних прикладах, що з допомогою даної інформації можливо побудувати електромеханічні та енергетичні характеристики електродвигуна, оцінити кількісно рівень його енергоспоживання при різних навантаженнях, вирішувати окремі завдання енергоресурсозбереження на стадії вибору двигуна.

**Ключові слова:** електропривод; енергетичні характеристики; енергетичні показники; енергоресурсозбереження.

## REFERENCES

- [1] Kravchek A.E., Shlaf M.M., Afonin V.I., Sobolenskaya Ye.V. *Asinkhronnye dvigateli serii 4A* [Asynchronous motors of the 4A series]. Moscow, Energoizdat Publ., 1982. 504 p.
- [2] Bogoslovskiy A.P., Pevzner Ye.M., Freydzon I.R. *Sudovye elektroprirody* [Ship electric motor drives]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1983. 384 p.

- [3] Lokarev V.I. *Energoberezhenie v elektroprivode* [Energy saving in the electric motor drive]. Nikolaev, NUK Publ., 2009. 196 p.
- [4] *Tekhnicheskie kharakteristiki. Elektrodvigateli.* – Specifications. Electric motors. Vladimirskiy elektromekhanicheskiy zavod Publ., 2011. 8 p.
- [5] *Elektromekhanika SSSR. Asinkhronnye dvigateli serii 4A* [Electromechanics of the USSR. Asynchronous motors of the 4A series]. Moscow, 1983.

**ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ**

В условиях обострившегося энергетического кризиса энергоресурсосбережения в электроприводе становится жизненно важной проблемой, требующей концентрирования усилий и средств по всем возможным направлениям. При этом возрастает роль энергетических расчетов, которые усложняются и становятся более трудоемкими.

Возникает задача поиска новых путей экономии энергии, средств и способов энергоресурсосбережения в электроприводе, а также совершенствования энергетических расчетов.

**АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ**

В [1] наряду с другими данными асинхронных двигателей приводятся энергетические показатели КПД и  $\cos \phi$  для частичных нагрузок. Однако сведения о возможностях, которые могут быть достигнуты при использовании этой информации для расчета характеристик двигателя или решения задач энергоресурсосбережения, отсутствуют.

**ЦЕЛЬ СТАТЬИ** – исследование и поиск возможностей более полного использования исходного информационного материала справочных изданий для повышения эффективности энергетических расчетов, снижения их трудоемкости, решения задач энергоресурсосбережения электропривода.

**ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА**

При проектировании электромеханизмов обычно обращаются к каталогам, где находят необходимую информацию и откуда выбирают электродвигатель и другие элементы электропривода. Заканчивают расчет, убедившись, что выдержаны требования по производительности, что электродвигатель в предусмотренном для него режиме не будет перегружен, что заложенные в него возможности по скорости и моменту используются полностью, а электропривод сполна отработывает своей ресурс.

Справочники не всегда удовлетворяют потребностям пользователей привода. Например, при более-менее сложных расчетах в электроприводе не обойтись без построения механической  $v(m)$  и электромеханической  $i(m)$  характеристик. Механическую характеристику можно построить по четырем рабочим точкам, которые задаются в справочнике: свободный

ход ( $v = v_c, m = 0$ ), номинальный режим ( $v = 1, m = 1$ ), критический ( $v = v_k, m = m_k$ ) и пусковой режимы ( $v = 0, m = m_n$ ).

Для электромеханической характеристики в справочниках обычно обозначены только две точки – номинальный режим ( $i = 1, m = 1$ ) и пусковой ( $i = i_{пуск}, m = m_{пуск}$ ). По двум точкам кривой тока не построить. Могут заметить: нетрудно рассчитать. Да, нетрудно. Например, критическое скольжение можно определить по формуле  $S_k = S_n \cdot (m_k + \sqrt{m_k^2 - 1})$ , для двигателя 4A132S6 ( $S_n = 0,033, m_k = 2,5$ ) результат расчета  $S_k = 0,16$ . А значение этой же величины по каталогу – 0,36, т. е. более чем в два раза превышает расчетное. Как можно верить такому расчету?

Такая же ситуация и с током свободного хода  $i_0$ . Для его определения существует простая формула

$i_0 = \sin \phi_n - \frac{S_n}{S} \cos \phi_n$ . Но как проверить надежность результата расчета, если ни в одном справочнике нет его действительного значения.

Все это, так сказать, «белые точки» в справочных изданиях. А существуют и «белые пятна», когда отсутствует информация о целых режимах. Издатели справочников словно не знают, что кроме двигательного существуют еще и тормозные режимы, которые, например, для грузоподъемных механизмов являются такими же «основными», как и двигательный, что кроме номинального режима работы существуют режимы частичных нагрузок и в них двигатели работают чаще, чем в номинальном. Данные о режиме частичных нагрузок появляются довольно редко, например, в данном списке литературы из пяти источников она приведена только в одном – [1].

Ниже на конкретных примерах показано, какие задачи могут быть решены без трудоемких вычислений, если известны значения КПД и  $\cos \phi$  при частичных нагрузках, т. е. когда одно из «белых пятен» известно.

Но сначала несколько вводных замечаний.

1. Излишне надеяться на высокую точность расчетов. Причины этого разные, но основные – две:

– классическая теория электрических машин базируется на ряде упрощающих допущений;

– параметры электрических машин, приводимые в каталогах, допускают значительные отклонения от номинальных значений [2]. Например: КПД –  $\pm 10...15 \%$ , скольжения  $+20 \%$ , пусковых моментов

и токов – 15 %, максимального момента – 10 %, сопротивления обмоток  $\pm 8$  %.

Это, конечно, не значит, что расчеты с помощью каталожных данных – рискованное дело. Точность, необходимая для инженерных расчетов, должна обеспечиваться в любых случаях.

2. Все используемые величины выражаются в относительных единицах (не в процентах!) и обозначаются малыми латинскими буквами. Базовыми величинами при приведении к относительным являются номинальные значения этих величин. Абсолютные значения величин обозначаются теми же большими латинскими буквами. Напомним, что для получения абсолютной величины следует относительную умножить на номинальное значение абсолютной величины.

3. До минимума сводится использование несистемных величин (частота вращения, об/мин; скольжение, о.е.). Коллегой электрика на выходном валу электропривода является механик, эксплуатирующий рабочий механизм, а ему должны быть переданы параметры, не специфичные для асинхронных двигателей, а общеупотребляемые в технике, – вращающий момент  $M$  и угловая скорость  $\omega$ .

На основании данных каталога для выбранного двигателя строятся рабочие характеристики – механическая  $v(m)$  и электромеханическая  $i(m)$ , необходимые при расчете рабочего процесса электромеханизма.

При построении механической характеристики может использоваться зависимость

$$v = v_c - (v_c - v_k) \cdot \left( \frac{m_k}{m} - \sqrt{\left( \frac{m_k}{m} \right)^2 - 1} \right) \text{ о.е.}, \quad (1)$$

где  $v_c, v_k, v$  – относительные скорости – синхронная, критическая, текущая;  $m_k, m$  – относительные моменты нагрузки – критический, текущий.

Контрольными точками характеристики  $v(m)$ , гарантированными каталогом, являются следующие: свободный ход:  $v = v_c, m = 0$ ; номинальный режим:  $v = 1, m = 1$ ; критический режим:  $v = v_k, m = m_k$ ; пусковой режим:  $v = 0, m = m_n$ .

Синхронную скорость можно определить по номинальному скольжению:

$$v_c = \frac{1}{1 - S_n},$$

а критическую скорость – с помощью выражения

$$v_k = v_c - (v_c - 1) \cdot (m_k - \sqrt{m_k^2 - 1}) \text{ о.е.}$$

Формула (1) адекватно описывает механическую характеристику на рабочем ее участке в интервале  $v_c \dots v_k$  и с коррекцией [5] – на неустойчивом участке между точками  $(v_k - m_k)$  и  $(0 - m_n)$ .

Если в качестве примера принять электродвигатель 4A180M8 и ориентироваться только на данные каталога ( $S_n = 0,023$ ;  $S_k = 0,13$ ;  $m_n = 1,2$ ;  $m_k = 2$ ), то для

построения механической характеристики имеются четыре точки (в пересчете на относительные скорости):  $v_c = 1,024 - m = 0, v_n = 1 - m_n = 1; v_k = 0,89 - m_k = 2$  и  $v = 0 - m_n = 1,2$ . Если не стремиться к высокой точности, то кривую  $v(m)$  можно построить по этим точкам (рис. 1).

Получить любое количество точек для построения механической характеристики можно только с помощью формулы (1), что и сделано в данном примере (см. первые две строки табл. 1).

На рис. 1 изображена механическая характеристика, построенная по четырем характерным точкам. О точности построения можно говорить только по отношению к линейному рабочему участку в диапазоне нагрузок от  $m = 0$  до  $m = 1$ . И им можно пользоваться, если нагрузка изменяется в этом пределе и условие пуска и его характер не вызывают интереса.

Что касается остальной части механической характеристики, особенно неустойчивой части, то о точности речи и быть не может, поскольку она проведена практически произвольно.

Так, характеристика на рис. 1 может удовлетворять только в случае, если при изменении нагрузка на выходе рабочего участка и характер и условия пуска не имеют значения. При пользовании характеристикой рис. 1 ввиду ее пологости (что затрудняет сигнал правильности значения угла  $\nu$ ) рабочий участок рис. 1, б выделен и представлен в более крупном масштабе, в результате чего крутизна этой части характеристики значительно выросла.

Для построения электромеханической характеристики  $i(m)$  с помощью КПД и  $\cos \varphi$  для частичных нагрузок можно использовать простую формулу относительной мощности  $n$ , для получения которой разделим текущую мощность на валу асинхронного двигателя на номинальную:

$$n = \frac{N}{N_n} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot I \cdot \eta \cdot \cos \varphi}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_n \cdot \eta_n \cdot \cos \varphi_n} \text{ о.е.}, \quad (2)$$

где  $i = \frac{I}{I_n}$  – относительный ток.

Решив выражение (2) относительно тока  $i$ , получим

$$i = n \frac{\alpha_n}{\alpha}, \quad (3)$$

где  $\alpha_n = \eta_n \cdot \cos \varphi_n, \alpha = \eta \cdot \cos \varphi$ .

Выражение (3) представляет собой зависимость тока от мощности на валу электродвигателя  $n$ , тогда как электромеханическая характеристика представляет собой зависимость тока от момента  $m$ . Но относительная мощность  $n$  и момент  $m$  мало различаются между собой (во втором знаке после запятой). Поэтому примем  $m \approx n$  и выражение (3) будем считать электромеханической характеристикой  $i(n)$ .

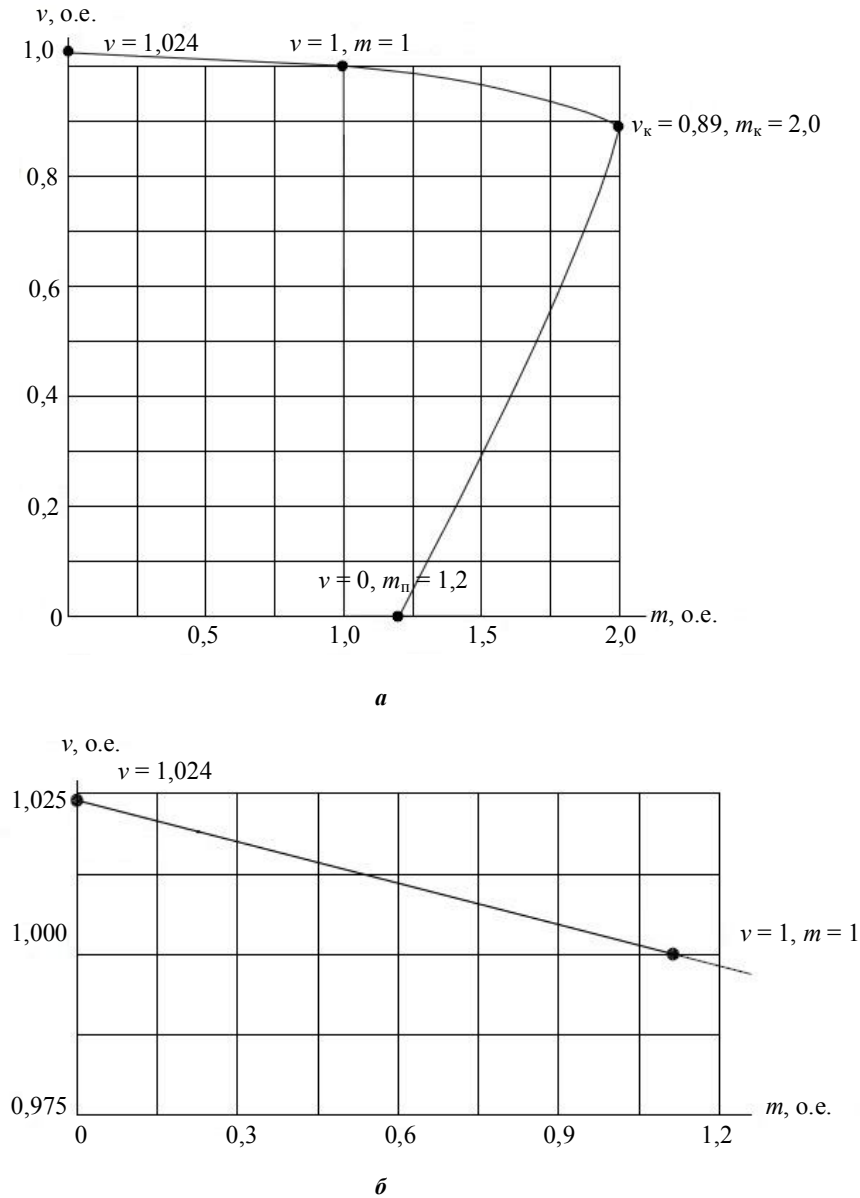


Рис. 1. Механическая характеристика электродвигателя 4A180M8: а – общий вид; б – рабочий участок характеристики в увеличенном масштабе

Выполняя расчет характеристики  $i(n)$  двигателя 4A180M8 по формуле (3) для разных  $n$ , вносим в табл. 1 соответствующие им каталожные значения  $\eta$  и  $\cos \varphi$  (3-я и 4-я строки), перемножаем их (5-я строка табл. 1). Завершается расчет  $i(n)$  с помощью формулы (3) (6-я строка).

Таблица 1. К построению электромеханической характеристики ЭД 4A180M8

1	$m \approx n$	0,25	0,5	0,75	1,00	1,25
2	$v$	1,021	1,014	1,007	1,00	0,992
3	$\eta$	0,825	0,875	0,88	0,87	0,845
4	$\cos \varphi$	0,45	0,68	0,78	0,82	0,83
5	$\alpha = \eta \cos \varphi$	0,371	0,595	0,684	0,713	0,701
6	$i(n)$	0,48	0,6	0,78	1,00	1,27

Если в справочнике показатели  $\eta$  и  $\cos \varphi$  для частичных нагрузок отсутствуют, электромеханическую характеристику  $i(m)$  можно построить с помощью зависимости

$$i^2 = \sqrt{i_0^2 + \frac{1-i_0^2}{v_c-1} \cdot m(v_c-v)} \text{ о.е.}, \quad (4)$$

где  $i_0$  – относительный ток холостого хода, определяемый с помощью формулы

$$i_0 = \sin \varphi_n - \frac{S_n}{S_k} \cdot \cos \varphi_n.$$

Второй способ построения электромеханической характеристики более трудоемок и менее точен, требует при каждом шаге расчета обращаться к механической характеристике. Расчет выглядит так. Задавшись величиной момента  $m$ , по механической

характеристики  $v(m)$  определяют соответствующее ему значение скорости  $v$ . Подставив  $m$  и  $v$  в (4), определяют величину  $i$ . Подобным образом получают значение тока для следующего момента – и так до выполнения расчета для всего нагрузочного диапазона двигателя – от нуля до  $m = m_k$ .

Располагая характеристикой (3), основанной на гарантированных заводом-изготовителем данных, можно проверить точность приближенных формул аналогичного назначения, например формулы Шубенко (4) или формулы частной методики [3]

$$i^2 = i_0^2 + (1 - i_0^2) \cdot m^2. \quad (5)$$

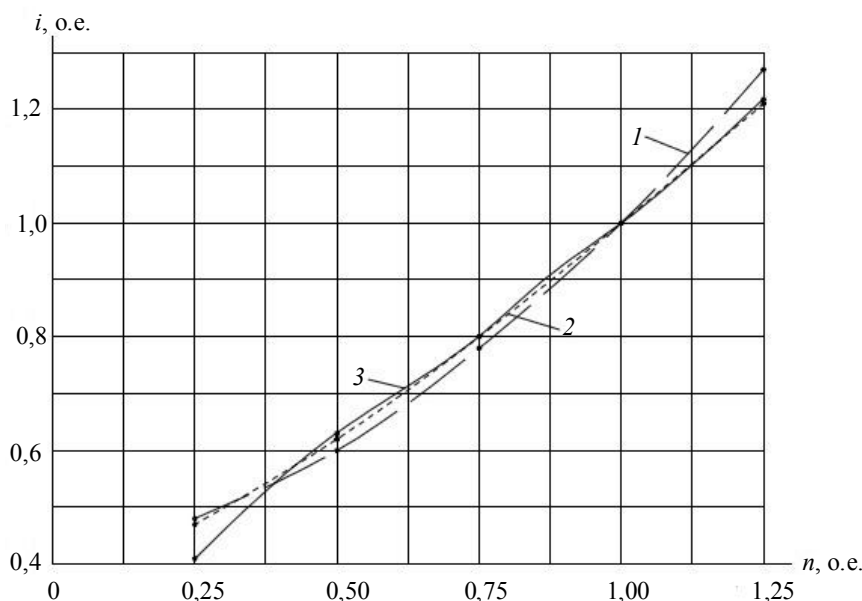


Рис. 2. Электромеханические характеристики

Наличие в каталоге энергетических показателей двигателя при частичных мощностях позволяет построить энергетические характеристики двигателя:

– мощность потерь  $\Delta n(n)$  – с помощью выражения

$$\Delta n = n \cdot \left( \frac{1}{\eta} - 1 \right);$$

– потребляемую мощность  $n_{\text{потр}}(n)$  – с помощью выражения

$$n_{\text{потр}} = \frac{n}{\eta};$$

– полную мощность  $n_{\text{полн}}(n)$  – с помощью выражения

$$n_{\text{полн}} = \frac{n}{\alpha}.$$

Зависимости коэффициента полезного действия  $\eta(n)$  и коэффициента мощности  $\cos \varphi(n)$  определять не нужно – они непосредственно из данных каталога.

Энергетические характеристики, полученные по каталожным данным для электродвигателя 4A180M8, сведены в табл. 3, их графики показаны на рис. 3.

Результаты расчета зависимостей  $i(m)$ , выполненных по формулам (3), (4) и (5), приведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты расчета по формулам (3), (4) и (5)

Формула	$m \approx n$	0,25	0,50	0,75	1,0	1,25
По (3)	$i$	0,48	0,60	0,78	1,0	1,27
По (4)	$i$	0,41	0,63	0,80	1,0	1,22
По (5)	$I$	0,47	0,62	0,80	1,0	1,21

Кривые зависимостей  $i(m)$ , построенные по разным формулам, приведены на рис. 2. Все кривые близки между собой. Заметные расхождения имеют место по краям диапазона моментов  $m = 0,25 \dots 1,25$ , слева и справа.

Таблица 3. К построению энергетических характеристик ЭД 4A180M8

$n$	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25
$\Delta n(n)$	0,053	0,071	0,102	0,149	0,229
$n_{\text{потр}}(n)$	0,303	0,571	0,852	1,149	1,479
$n_{\text{полн}}(n)$	0,674	0,840	1,096	1,403	1,783
$\eta(n)$	0,825	0,875	0,880	0,870	0,845
$\cos \varphi(n)$	0,450	0,680	0,780	0,820	0,830

По данным каталога могут быть определены также показатели энергопотребления электропривода. Для транспортных тепловых двигателей известен такой показатель – расход топлива на 100 км пути. Аналогичный показатель, например расход электрической энергии на 100 ч работы, можно получить и для электродвигателя.

Мощность, потребляемая двигателем в номинальном режиме:

$$N_{\text{потр.н}} = \frac{N_n}{\eta_n} \text{ кВт}. \quad (6)$$

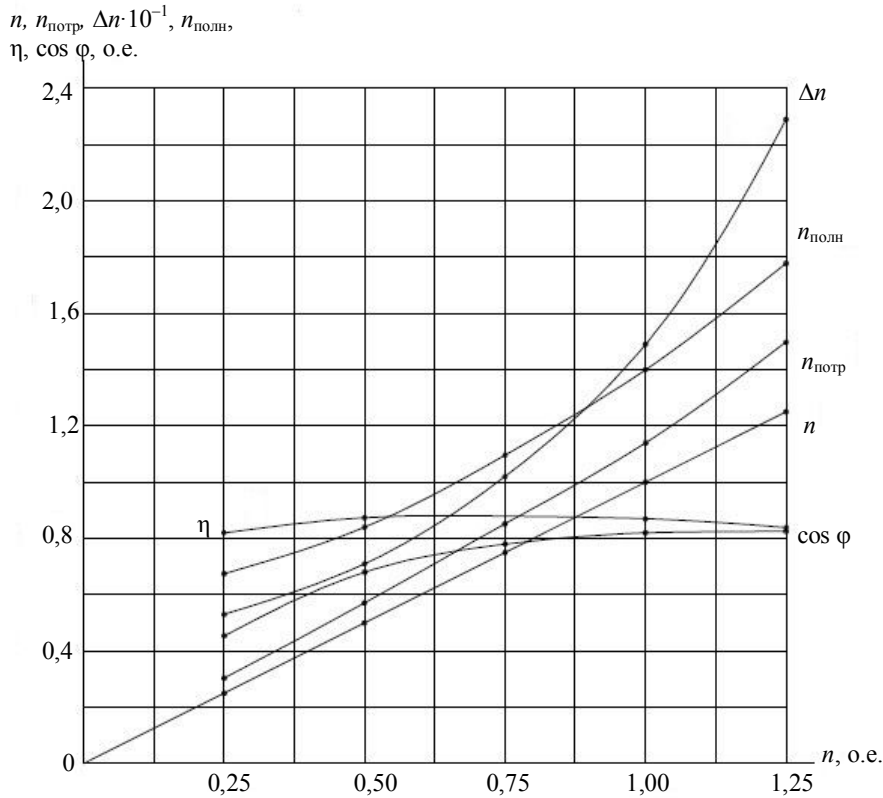


Рис. 3. Энергетические характеристики электродвигателя 4А180М8

Умножив обе части выражения (6) на 100 ч, получим расход энергии за это условное время:

$$N_{\text{потр.н}} \cdot 100 = \frac{N_{\text{н}}}{\eta_{\text{н}}} \cdot 100 = W_{\text{расх.ус.н}} \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Если имеются данные по частичным нагрузкам электродвигателя, расход энергии за условное время можно получить для каждого промежуточного нагрузочного режима:

$$W_{\text{расх.усл.}} = \frac{N}{\eta} \cdot 100 \text{ кВт}\cdot\text{ч.} \quad (7)$$

Расход электроэнергии в номинальном и промежуточных режимах электродвигателя 4А180М8 за условное время 100 ч, вычисленное с помощью (6) и (7), приведены в табл. 4.

График зависимости  $W_{\text{расх.усл.}}(m)$  изображен на рис. 4.

Таблица 4. К расчету энергопотребления электродвигателем 4А180М8

<i>n</i> , о.е.	0,250	0,50	0,75	1,0	1,250
<i>N</i> , кВт	3,750	7,50	11,25	15,00	18,75
$\eta$	0,825	0,875	0,88	0,870	0,845
$W_{\text{расх.усл.}}$ , кВт·ч	454,5	875,1	1278	1724	2218,9

Рассмотрим вопрос выбора экономичного электродвигателя. Пусть для привода рабочего механизма, работающего в длительном режиме (режим S1) с суммарным рабочим временем 1400 часов в году, получены номинальные расчетная мощность  $N_{\text{н.р}} = 200$  кВт и угловая скорость  $\omega_{\text{н.р}} = 155 \text{ с}^{-1}$ .

Стандартное решение – выбор электродвигателя 4АН315S4 [4], каталожные значения  $N_{\text{н}}$  и  $\omega_{\text{н}}$  которого совпадают с расчетными, а номинальные КПД и коэффициент мощности равны  $\eta_{\text{н}} = 0,94$  и  $\cos \phi_{\text{н}} = 0,91$ .

Расход электрической энергии двигателем на протяжении одного года:

$$W_{\text{расх.г}} = \frac{N_{\text{н}}}{\eta_{\text{н}}} \cdot 1400 = \frac{200}{0,94} \cdot 1400 = 297872 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Стоимость расходуемой за год энергии при тарифе 0,4 грн/(кВт·ч):

$$G_3 = 0,4 \cdot W_{\text{расх.г}} = 0,4 \cdot 297872 = 1191149 \text{ грн.}$$

Цена электродвигателя 4АН315S4 – 10000 грн. При сроке службы двигателя 20 лет его стоимость, отнесенная к одному году, составит

$$G_5 = \frac{10000}{20} = 500 \text{ грн/год.}$$

Суммарная стоимость энергии и двигателя при эксплуатации в течение одного года

$$G_{\Sigma} = 500 + 119149 = 119649 \text{ грн.}$$

В порядке поиска более экономичного варианта рассмотрим выбор двигателя следующего соседнего номинала 4АН315M4 с номинальной мощностью  $N_{\text{н.р}} = 250$  кВт и скоростью  $\omega_{\text{н.р}} = 155 \text{ с}^{-1}$ . При каталожной мощности 250 кВт нового двигателя и прежней нагрузке 200 кВт его относительная мощность будет

$$n = \frac{200}{250} = 0,8.$$

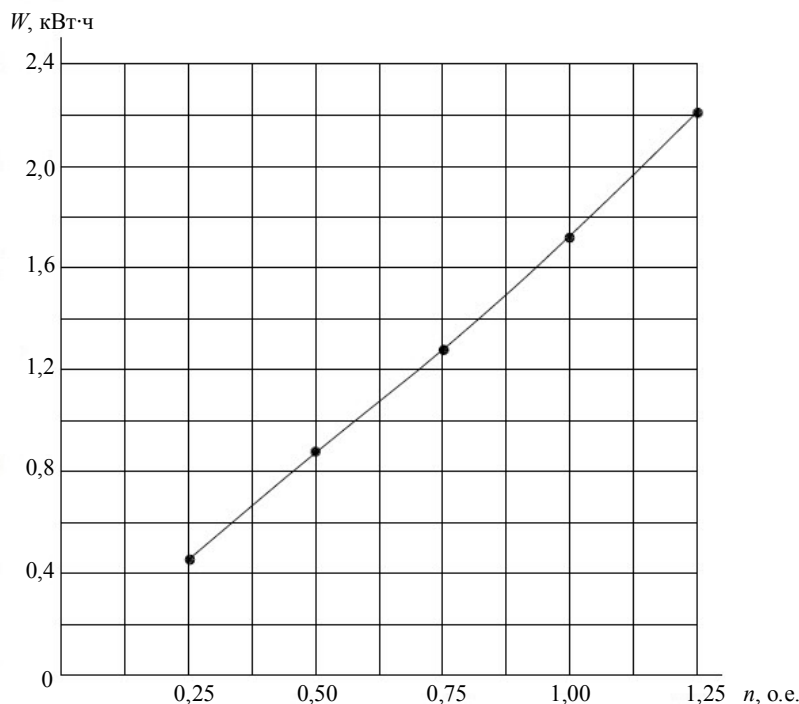


Рис. 4. Зависимость энергопотребления электродвигателя от нагрузки

Енергетические показатели двигателя в промежуточных режимах согласно каталогу при  $n = 0,75$ :  $\eta = 0,945$ ,  $\cos \varphi = 0,92$ ; при  $n = 1,0$  –  $\eta = 0,94$ ,  $\cos \varphi = 0,91$ .

При условии равномерности кривых  $\eta(n)$  и  $\cos \varphi(n)$  относительной мощности  $n = 0,8$  будут соответствовать значения:  $\eta_{0,8} = 0,944$ ,  $\cos \varphi_{0,8} = 0,918$ .

Расход энергии на протяжении года двигателем 4АН315М4:

$$W_3 = \frac{200}{0,944} \cdot 1400 = 296610 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Стоимость годового расхода электроэнергии

$$G_3 = 0,4 \cdot 296610 = 118644 \text{ грн.}$$

Цена электродвигателя 4АН315М4 – 11000 грн, а его стоимость, отнесенная к одному году, 550 грн.

Суммарная стоимость энергии и двигателя при эксплуатации в течение одного года

$$G_{\Sigma} = 550 + 118644 = 119194 \text{ грн.}$$

Сокращение расхода энергии при выборе двигателя 4АН315М4 составит-

$$\Delta W_3 = 297872 - 296610 = 1262 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Сокращение стоимости энергии и двигателя за год:

$$\Delta G_3 = 119649 - 119191 = 455 \text{ грн.}$$

Как следует из расчета, при втором варианте достигается снижение расхода электрической энергии на 1262 кВт·ч и суммарных годовых денежных затрат на 455 грн.

Но и это еще не все. В связи с увеличением  $\cos \varphi$  с 0,91 до 0,918 существенно уменьшатся потери в линии и пропорциональные величины  $\frac{1}{\cos^2 \varphi}$ , ... Рассмотренный благоприятный вариант возможен не всегда, а только по отношению к ЭП, длительно (постоянно) работающему в номинальном режиме, что не всегда можно удовлетворить. Наряду со снижением расхода энергии и денежных затрат достигается также эффект ресурсосбережения. Поскольку нагрузка на протяжении всего года щадящей (ниже на 20 %) уменьшается износ электродвигателя и продлевается его срок службы.

### ВЫВОД

Информация об энергетических показателях для частичных нагрузок, приводимая в отдельных справочниках по асинхронным электродвигателям, позволяет:

- построить кроме механической характеристики электромеханическую;
- проверить по каталожным данным, гарантированным заводом-изготовителем электрических машин, точность для выбранного двигателя некоторых приближенных формул, в частности формулы Шубенко;
- получить в рабочем диапазоне нагрузок семейство энергетических характеристик электродвигателя;
- оценить уровень энергопотребления двигателем в его разных нагрузочных режимах;
- решить задачи энергоресурсосбережения на стадии выбора электродвигателя.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

- [1] Асинхронные двигатели серии 4А [Текст] : справочник / А. Э. Кравчек, М. М. Шлаф, В. И. Афонин, Е. В. Соболенская. – М. : Энергоиздат, 1982. – 504 с.
- [2] **Богословский, А. П.** Судовые электроприводы [Текст] : справочник : в 2 т. / А. П. Богословский, Е. М. Певзнер, И. Р. Фрейдзон. – Л. : Судостроение, 1983. – Т. 1. – 384 с.
- [3] **Локарев, В. И.** Энергосбережение в электроприводе [Текст] / В. И. Локарев. – Николаев : НУК, 2009. – 196 с.
- [4] Технические характеристики. Электродвигатели [Текст]. – Владимир : Владимирский электромеханический завод, 2011. – 8 с.
- [5] Электромеханика СССР. Асинхронные двигатели серии 4А [Текст] : проспект. – М., 1983.

---

© В. І. Локарев, Д. В. Попроцький

Надійшла до редколегії 14.11.2014

Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК  
д-р техн. наук, проф. *А. А. Ставинський*