Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

УДК 621.313.333

Применение уточненной методики расчета энергетических показателей работы асинхронного двигателя

Шабаев Е.А., Каспарян А.Г.

Азово-Черноморский инженерный институт (филиал Донского ГАУ в г. Зернограде)

Аннотация

Большинство электроприводов сельскохозяйственного назначения имеют в своем составе асинхронный двигатель. При расчете и выборе электродвигателя необходимо учитывать условия его эксплуатации. Используемые типовые методики расчета имеют невысокую точность, не позволяют оценить температуру нагрева статорных обмоток асинхронного двигателя с учетом температуры окружающей среды. Данная задача может быть решена с помощью компьютерного моделирования, для проведения которого необходимо наличие точной математической модели электродвигателя. Функциональные зависимости коэффициента полезного действия и коэффициента мощности от коэффициента загрузки для асинхронного двигателя являются выраженными нелинейными функциями. Предложена уточненная методика расчета энергетических показателей работы асинхронного двигателя, позволяющая на основе его паспортных данных с высокой точностью определить КПД, коэффициент мощности и потери мощности в электродвигателе при различной загрузке. В статье приведен пример применения данной методики для электродвигателя 4А132М4 мощностью 11 кВт. Расчеты для 122 асинхронных двигателей серии 4А основного исполнения подтверждают высокую точность, близкую к 99%, разработанной методики. Данная методика является несложной, для облегчения расчетов рекомендуется использовать программу Microsoft Excel.

Ключевые слова: ЭЛЕКТРОПРИВОД, ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ, АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ, РАСЧЕТ КПД, КОЭФФИЦИЕНТ МОЩНОСТИ, ПОТЕРИ МОЩНОСТИ

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

Введение

Большинство электроприводов сельскохозяйственного назначения имеют в своем составе асинхронный двигатель. Эксплуатационные условия его работы могут существенно изменяться. Расчет и выбор асинхронного двигателя обусловливаются температурным режимом его работы: электродвигатель при заданной нагрузке в определенных условиях эксплуатации не должен быть подвержен перегреву. Применяемые при этом расчетные методики [1, 2] имеют невысокую точность, не позволяют оценить температуру нагрева статорных обмоток асинхронного двигателя и не учитывают температуру окружающей среды.

Используя современный подход, основанный на компьютерном моделировании [3], можно получать графики изменения во времени температуры нагрева асинхронного двигателя. В результате анализа данных графиков можно сделать вывод о целесообразности выбора электродвигателя. При компьютерном моделирования необходимо наличие математической модели электродвигателя, для разработки которой требуется точная методика расчета энергетических показателей работы асинхронного двигателя.

Функциональные зависимости коэффициента полезного действия и коэффициента мощности от коэффициента загрузки для асинхронного двигателя являются выраженными нелинейными функциями [1, 2]. Разработана уточненная методика их расчета [4] на основе справочных данных электродвигателя [5]. Рассмотрим ее применение на примере электродвигателя 4А132М4, имеющего номинальную мощность 11 кВт.

Методика исследований

Исходные данные зависимостей коэффициента полезного действия и коэффициента мощности электродвигателя от его загрузки представлены в таблице 1 [5].

Таблица 1. Изменение КПД и коэффициента мощности от загрузки электродвигателя 4А132М

$k_З$	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25
$\eta_З$	0,800	0,870	0,880	0,880	0,870
$cos\varphi_З$	0,650	0,820	0,870	0,900	0,900

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

Кратность $\chi_З$ тока асинхронного двигателя при заданной загрузке определяется следующим соотношением:

$$\chi_З = \frac{I_З}{I_Н} = k_З \frac{\eta_Н cos\varphi_Н}{\eta_З cos\varphi_З}, \quad (1)$$

где: $I_Н$ – номинальная сила тока электродвигателя, А;

$I_З$ – ток электродвигателя при заданной загрузке, А;

$k_З$ – коэффициент загрузки;

$\eta_Н$, $cos\varphi_Н$ – номинальные значения КПД и коэффициента мощности;

$\eta_З$, $cos\varphi_З$ – КПД и коэффициент мощности для соответствующего коэффициента загрузки $k_З$.

Потери $P_{П\,З}$ (Вт) в асинхронном двигателе при заданной загрузке определяются выражением:

$$P_{П\,З} = k_З P_{2Н} \frac{1-\eta_З}{\eta_З}, \quad (2)$$

где $P_{2\,Н}$ – номинальная мощность электродвигателя, Вт.

По уравнениям (1) и (2) рассчитываем кратности тока загрузки и потерь в электродвигателе для значений КПД и коэффициента мощности, приведенных в табл. 1. На основании данных расчетов в программе Microsoft Excel [6] строим графики зависимостей $\chi_З = f(k_З)$ и $P_{П\,З} = f(\chi_З^2)$ (рис. 1 и 2). Полученные кривые аппроксимируем следующими моделями:

$$\chi_З = a_{13}k_З^2 + a_{12}k_З + a_{11}; \quad (3)$$

$$P_{П\,З} = a_{22}\chi_З^2 + a_{21}, \quad (4)$$

где a_{ij} – коэффициенты математических моделей.

С помощью программы Microsoft Excel, добавив линии тренда, определяем коэффициенты моделей (3) и (4). Для этого в программе также можно воспользоваться функцией "ЛИНЕЙН" [6].

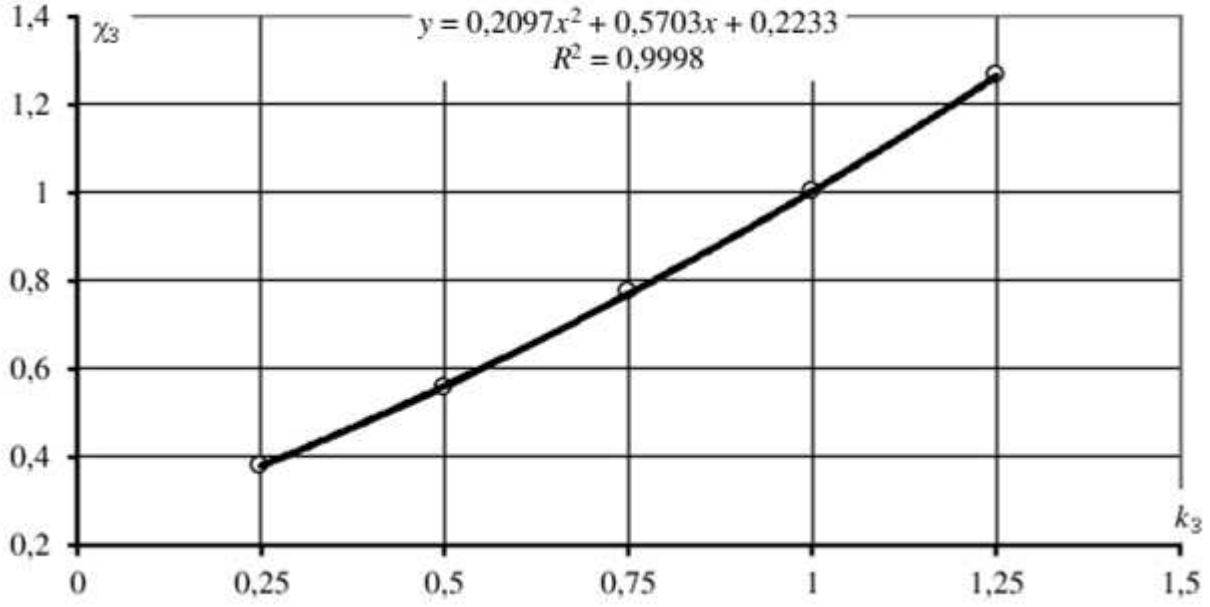


Рис. 1. График зависимости $\chi_3 = f(k_3)$

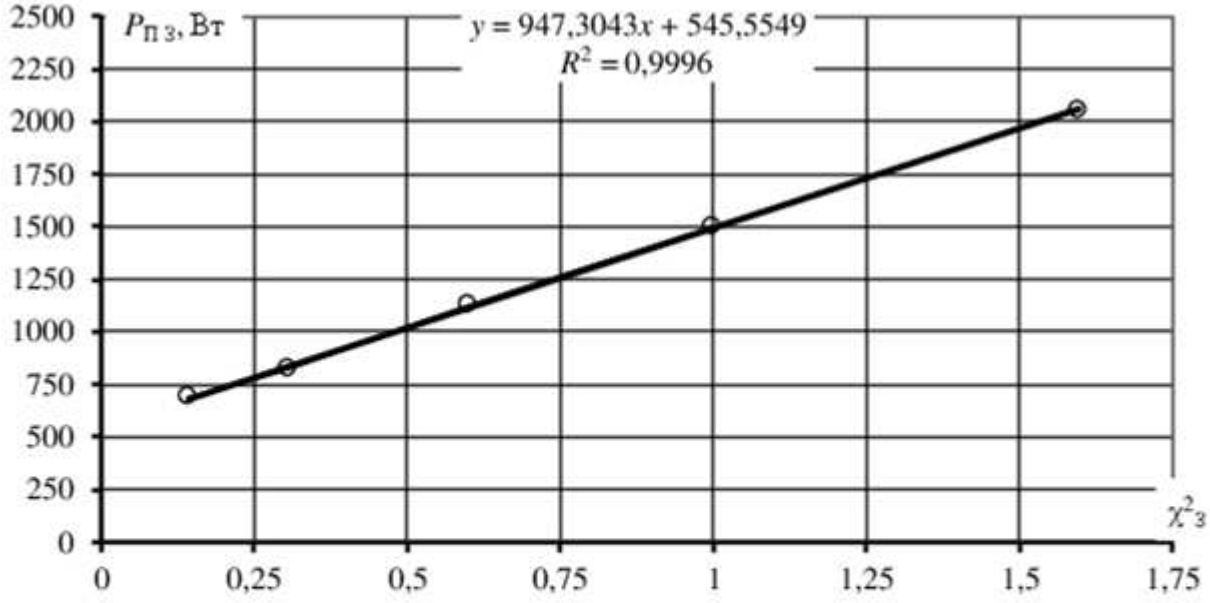


Рис. 2. График зависимости $P_{\text{п}\,3} = f\left(\chi_3^2\right)$

Потери мощности в электродвигателе состоят из постоянных $P_{\text{п}\,C}$ и переменных $P_{\text{п}\,V}$ потерь:

$$P_{\text{п}\,3} = P_{\text{п}\,\text{м}\,C} + P_{\text{п}\,\text{м}\,V}\chi_3^2, \qquad (5)$$

где $P_{\text{п}\,\text{м}\,C} = a_{21}$, $P_{\text{п}\,\text{м}\,V} = a_{22}$ – потери в электродвигателе для номинальной загрузки,

полученные из математической модели (4), Вт.

Тогда выражение для определения потерь в электродвигателе с учетом (3) и (4) будет иметь следующий вид:

$$P_{\text{П}\,3} = a_{21} + a_{22}\left(a_{13}k_3^2 + a_{12}k_3 + a_{11}\right)^2. \quad (6)$$

Для определения КПД воспользуемся следующей формулой:

$$\eta_3 = \frac{k_3 P_{2\text{Н}}}{k_3 P_{2\text{Н}} + P_{\text{П}\,3}}. \quad (7)$$

С учетом уравнения (6), запишем выражение для определения КПД электродвигателя при заданной загрузке:

$$\eta_3 = \frac{k_3 P_{2\text{Н}}}{k_3 P_{2\text{Н}} + a_{21} + a_{22}\left(a_{13}k_3^2 + a_{12}k_3 + a_{11}\right)^2}. \quad (8)$$

Активная мощность $P_{1\,3}$ (Вт), потребляемая асинхронным двигателем:

$$P_{1\,3} = \frac{k_3 P_{2\text{Н}}}{\eta_3}. \quad (9)$$

Номинальное значение потребляемой полной мощности $S_{1\,\text{Н}}$ (В·А):

$$S_{1\text{Н}} = \frac{P_{2\text{Н}}}{\eta_{\text{Н}} cos\varphi_{\text{Н}}}. \quad (10)$$

Полная мощность $S_{1\,3}$ (В·А) при заданной загрузке электродвигателя с учетом уравнения (10) и модели (3):

$$S_{1\,3} = \chi_3 S_{1\text{Н}} = \left(a_{13}k_3^2 + a_{12}k_3 + a_{11}\right)\frac{P_{2\text{Н}}}{\eta_{\text{Н}} cos\varphi_{\text{Н}}}. \quad (11)$$

Реактивная мощность $Q_{1\,3}$ (В·АР), потребляемая ДА из сети:

$$Q_{1\,3} = \sqrt{S_{1\,3}^2 - P_{1\,3}^2}. \quad (12)$$

Коэффициент мощности при заданной загрузке ДА:

$$cos\varphi_3 = \frac{P_{1\,3}}{S_{1\,3}} = \frac{k_3 P_{2\text{Н}}}{S_{1\,3}\eta_3}. \quad (13)$$

Результаты исследований

Для электродвигателя 4А132М4 графики зависимостей $P_{1\,3}$, $Q_{1\,3}$, $S_{1\,3}$, η_3 и $cos\varphi_3$ от загрузки $k_3 = 0{,}2\ldots1{,}5$ приведены на рис. 3–5.

По модели (6) несложным является точное определение потерь мощности в асинхронном двигателе, за счет которых электродвигатель нагревается. График зависимостей потерь для электродвигателя 4А132М4 приведен на рис. 6.

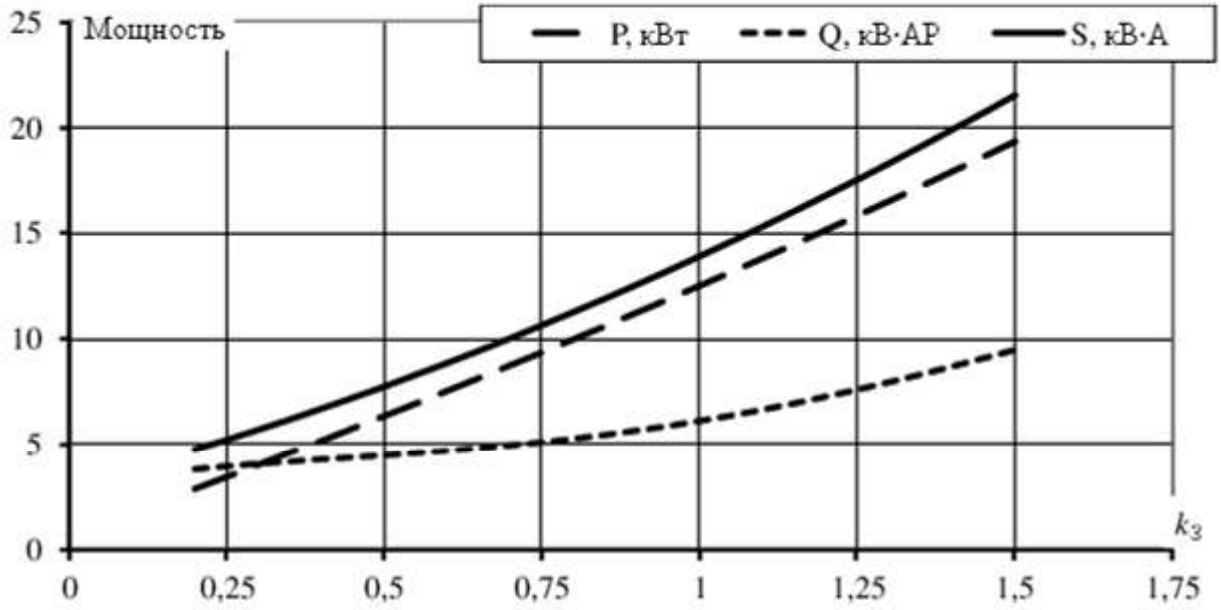


Рис. 3. Активная, реактивная и полная мощности, потребляемые электродвигателем из сети, при различной его загрузке

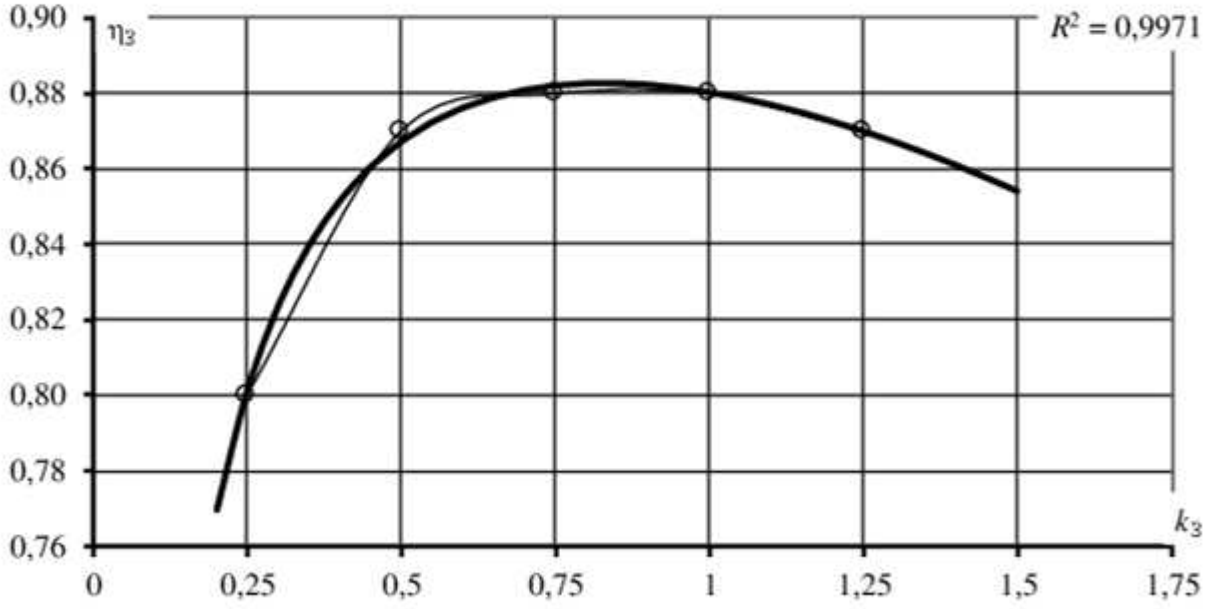


Рис. 4. Зависимость КПД от загрузки электродвигателя

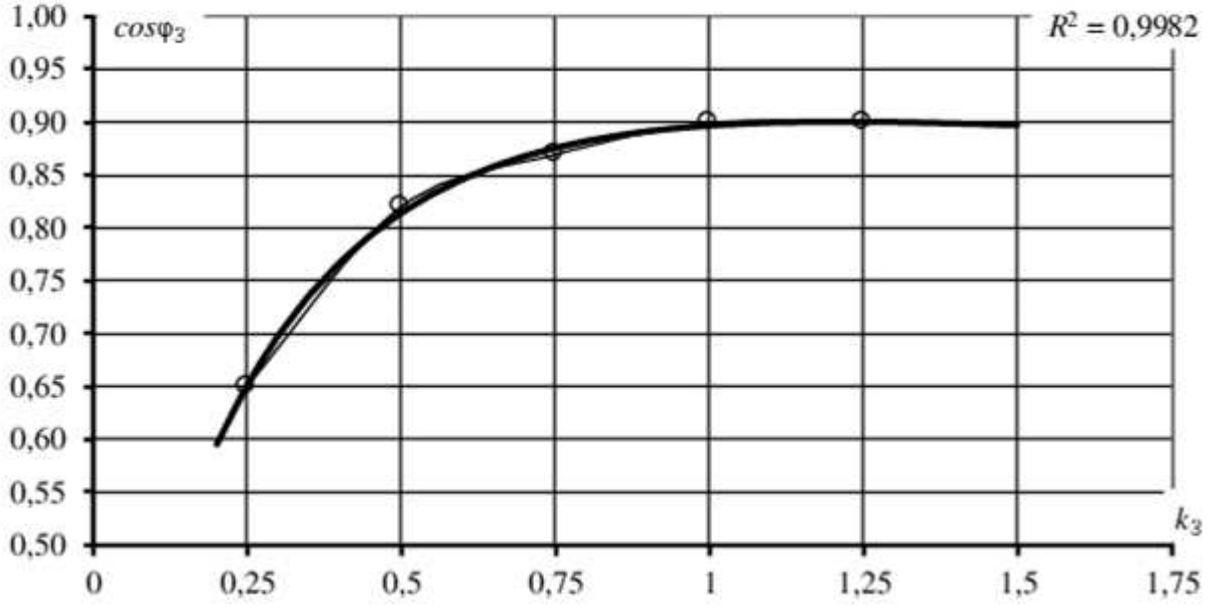


Рис. 5. Зависимость коэффициента мощности от загрузки электродвигателя

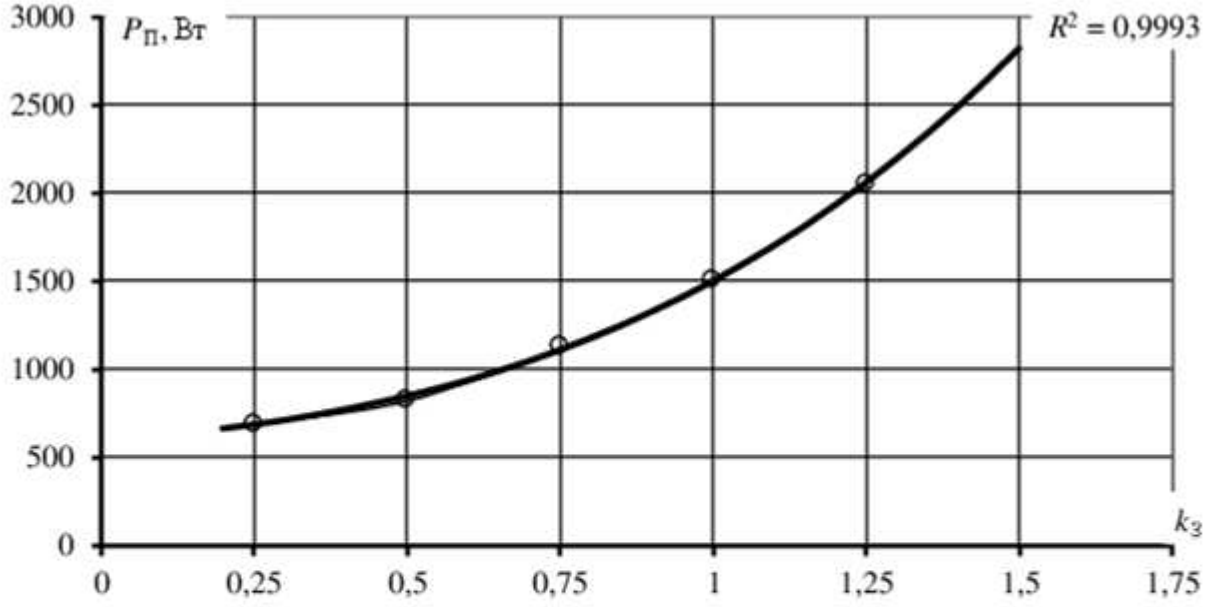


Рис. 6. Зависимость потерь мощности электродвигателя от его загрузки

Выводы

На рис. 4 и 5 также приведены графики $\eta_3 = f(k_3)$ и $\cos\varphi_3 = f(k_3)$ по исходным данным из таблицы 1. При их сравнении с расчетными графиками видно, что рассматриваемая методика [4] обладает высокой точностью, что подтверждают значения коэффициентов детерминации для кривых КПД и коэффициента мощности: $R^2 = 0{,}9971$ и

$R^2 = 0{,}9982$.

Кривая $P_{\text{п}3} = f(k_з)$ (рис. 6), полученная по уравнению (6), практически полностью совпадает с расчетными значениями, определенными на основании исходных данных таблицы 1.

Применение уточненной методики расчета для 122 асинхронных двигателей серии 4А основного исполнения позволило подтвердить высокую точность определения коэффициента полезного действия и коэффициента мощности, которая близка к 99%.

В результате уточненная методика расчета может быть использована для разработки несложной математической модели асинхронного двигателя, позволяющей проводить компьютерное моделирование с целью определения зависимостей температуры его нагрева во времени. Полученные данные позволят решать задачи по расчету и выбору асинхронного двигателя для привода рабочей машины с учетом условий эксплуатации электродвигателя.

Список использованных источников

1. Епифанов А.П., Малайчук Л.М., Гущинский А.Г. Электропривод [Электронный ресурс]. – СПб.: Лань. – 2012. – 400 с. – Режим доступа: http://e.lanbook.com/book/3813.
2. Шабаев Е.А., Пономарева Н.Е., Таранов Д.М., Бабенко А.А. Электропривод: Практикум. – Зерноград: ФГБОУ ВПО АЧГАА. – 2013. – 94 с.
3. Карташов Б.А., Шабаев Е.А., Козлов О.С., Щекатуров А.М. Среда динамического моделирования технических систем SimInTech: Практикум по моделированию систем автоматического регулирования. – М.: ДМК Пресс. – 2017. – 424 с.
4. Шабаев Е.А., Матвиенко Е.Ю. Уточненная методика расчета энергетических показателей работы асинхронного двигателя // Вестник магистратуры. – 2017, № 4-1 (67). – С. 16–20.
5. Кравчик А.Э., Шлаф М.М., Афонин В.И., Соболенская Е.А. Асинхронные двигатели серии 4А: справочник. – М.: Энергоиздат. – 1982. – 504 с.
6. Уокенбах Дж. Microsoft Excel 2013. Библия пользователя. – М.: ООО "И.Д. Вильямс". – 2015. – 928 с.

Цитирование:

Шабаев Е.А., Каспарян А.Г. Применение уточненной методики расчета энергетических показателей работы асинхронного двигателя // АгроЭкоИнфо. – 2019, №3. – http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2019/3/st_344.doc.