

УДК 621.313

Квашнин В. О., Хрипливый О. С. Подлипаев С. П.

МОДЕРНИЗАЦИЯ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ СТЕНДА СТАТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕЕ ПАРАМЕТРОВ

При построении частотных приводов необходимо знание параметров и характеристик асинхронных электродвигателей, которых очень часто нет в каталожных данных и в паспортах на электрические машины [1–4]. С этой целью возникает необходимость в наработке различных методик, призванных компенсировать отсутствие необходимых данных [5–8]. Для решения подобных задач был разработан стенд статических нагрузок, общий вид которого приведен на рис. 1. В ходе его эксплуатации было установлена его функциональная ограниченность, потребовавшая модернизации его кинематической схемы.

Таким образом, объектом исследования настоящей работы являлся стенд статических нагрузок на основе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором типа АИР56АУЗ на предмет определения его параметров и статических характеристик, с целью установления зависимости тока, развиваемой скорости электродвигателя при различных режимах его работы (пуске, работы на холостом ходу, работе под нагрузкой).

Для достижения поставленной цели были определены и решены следующие задачи:

- модернизация кинематической схемы стенда статических нагрузок;
- определение параметров однофазной эквивалентной схемы замещения двигателя методом последовательных итераций и их анализ;
- разработка схемы подключения периферийных устройств (датчика тока типа ACS712 и энкодера типа E40S6-1000-3-T-24) с L-Card;
- проведение испытаний электропривода стенда при пуске, работе в «холостую» и под нагрузкой;
- обработка полученных данных и их анализ;

Для повышения надежности стенда были спроектированы и изготовлены отдельные элементы кинематической схемы (барaban, направляющие шкивы, ролики), которые приведены на рис. 2–4. После внесения конструктивных изменений стенда стал иметь вид, представленный на рис. 5.

Для проведения испытаний, предварительно были проведены расчеты по возможностям стенда, в частности было определено время выхода на установившуюся скорость на холостом ходу и путь, проходимый подъемным устройством до замыкания троса и подхвата нагрузки при прямом включении двигателя в сеть. Оценена так же возможность работы под нагрузкой при наложении ограничений на имеющуюся высоту стенда.

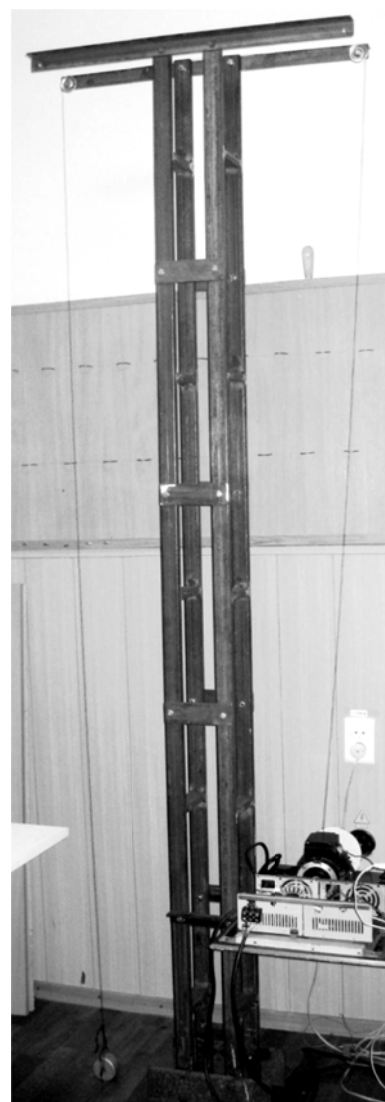


Рис. 1. стенд статических нагрузок

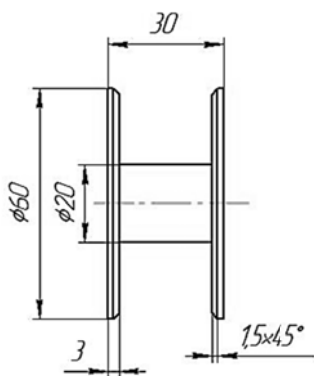


Рис. 2. Барабан

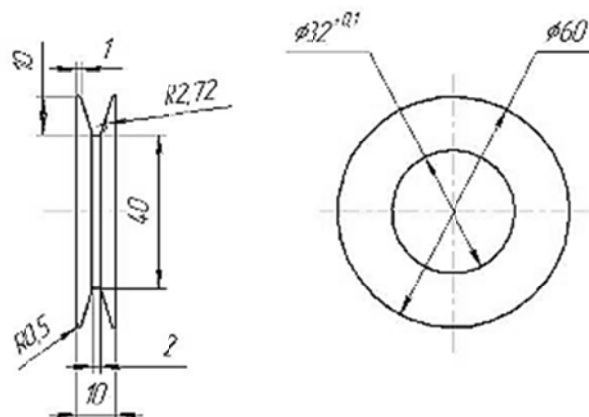


Рис. 3. Ролик

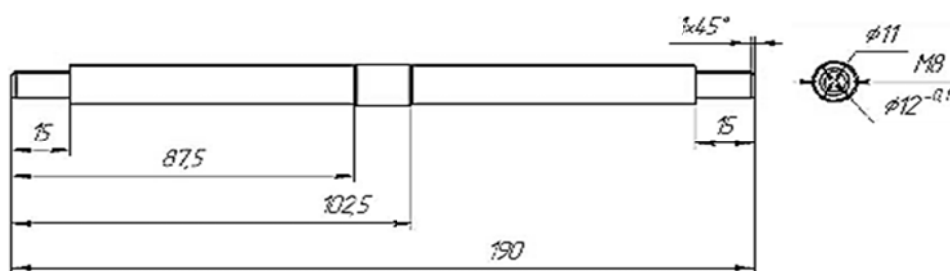


Рис. 4. Направляющий шкив

Для определения времени разгона и значения установившейся скорости на холостом ходу был проведен экспериментальный пуск с замером тока и скорости.

Для осуществления необходимых испытаний была разработана схема сопряжения измерительного устройства, предназначенного для сбора и обработки информации на ЭВМ, с периферийными датчиками тока и скорости, которая приведена на рис. 9. В качестве измерительных устройств использовались: датчик тока типа ACS712, общий вид которого приведен на рис. 6, технические характеристики в табл. 1 и энкодер типа E40S6-1000-3-T-24, общий вид которого приведен на рис. 7, а его технические характеристики в табл. 2. В качестве устройства для сбора и обработки данных на ЭВМ использовался модуль АЦП L-card общий вид, которого приведен на рисунке 8 и тех характеристики в табл. 3.

Результаты измерений и обработки соответствующих текущих значений тока и скорости при различных режимах работы представлены на рис. 10 – окна программы обработки измеренных текущих значений тока и скорости для различных режимов работы. В частности для тока получена зависимость при пуске, работе двигателя на холостом ходу и под нагрузкой. А в правом нижнем углу представлена тахограмма скорости при пуске, на холостом ходу, под нагрузкой и при торможении на самовыбеге.

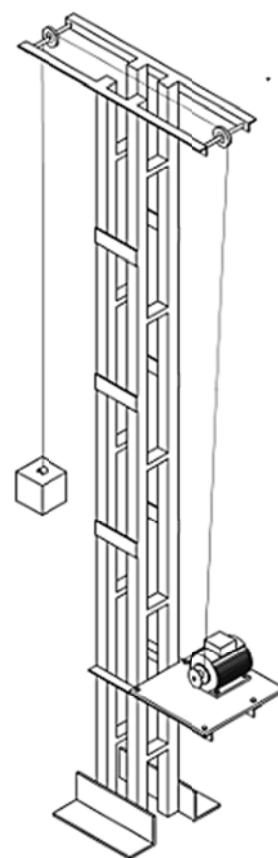


Рис. 5. Стенд статических нагрузок

Таблица 1

Технические характеристики датчика тока

Тип	Чувствительность датчиков	Температурный диапазон	Ток потребления	Сопротивление внутреннего шунта
ACS712	185 мВ/А	от -40 до 85 г С	11 мА	1,2 мОм

Таблица 2

Технические характеристики датчика скорости

Тип	Напряжение питания	Число импульсов на оборот	Число информационных выводов
E40S6-1000-3-T-24	24 В	1 000	2+1стробирующий

Таблица 3

Технические характеристики L-Card E14-400

АЦП:	Входных каналов:	Процессор	Цифровые входы/выходы	Кол-во каналов ЦАП
14 бит / 400 кГц	16 дифференциальных или 32 с общей землей	Цифровой сигнальный процессор	16/16	2 канала



Рис. 6. Датчик тока



Рис. 7. Датчик скорости



Рис. 8. Внешний вид L-Card E14-400

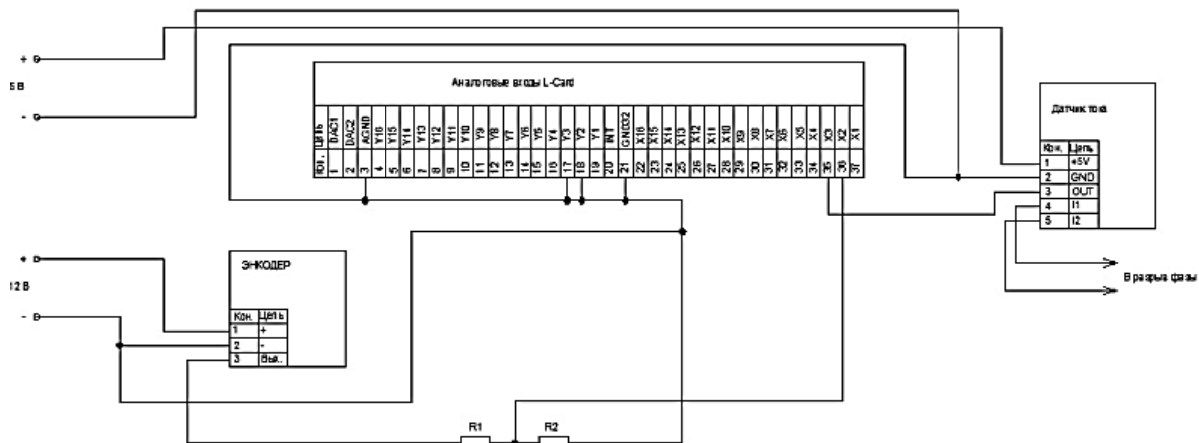


Рис. 9. Схема сопряжения периферийных измерительных устройств с измерительным устройством

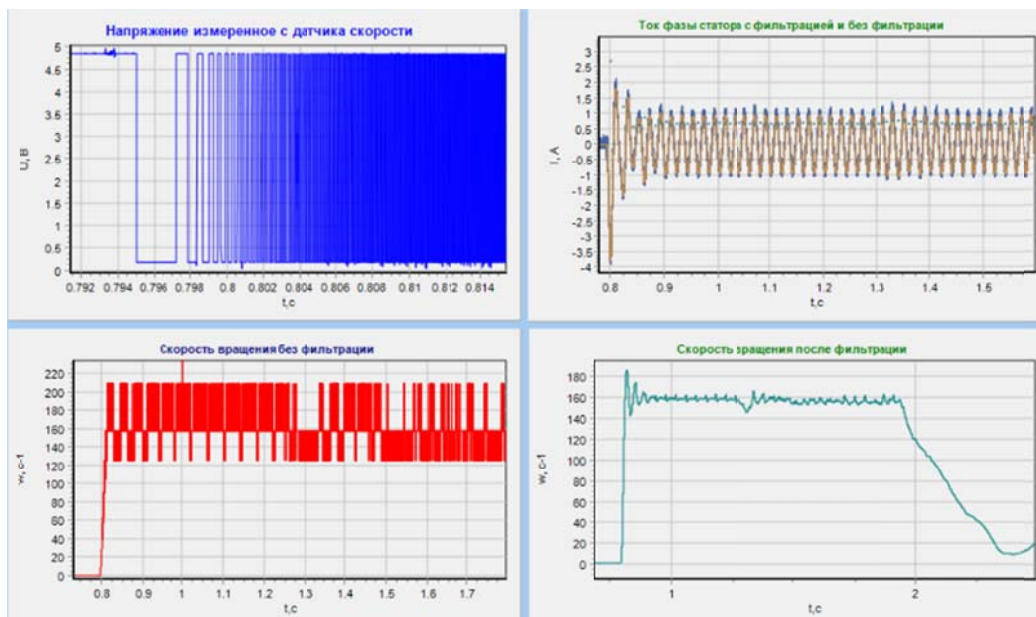


Рис. 10. Окно программы для обработки данных

По режиму пуска (рис. 11) на холостом ходу были определены: время разгона $t_{разгона} = 0.9 - 0,79 = 0,11$ с и скорость холостого хода $\omega_{хх} = 156,7$ рад/с.



Рис. 11. График переходного процесса скорости асинхронного двигателя при пуске, набросе нагрузки и торможении на самовыбеге

Для определения пути, проходимого двигателем за время разгона и поднимаемой статической нагрузки при установившейся скорости движения, используют следующие расчетные соотношения: среднюю скорость двигателя за время разгона можно найти как среднее арифметическое между начальной и конечной скоростью установившейся на холостом ходу:

$$\omega_{ср.пуск} = \frac{\omega_{хх} + \omega_{нач}}{2} = \frac{156,7}{2} = 78,8 \text{ рад/с.} \quad (1)$$

Для определения числа оборотов двигателя до выхода на установившуюся скорость за время разгона $t_{пуск}$ можно воспользоваться следующим расчетным соотношением:

$$N_{пуск} = n_{ср.пуск} * t_{пуск}, \quad (2)$$

где $n_{ср.пуск} = \frac{\omega_{ср.пуск} * 30}{3,14} = \frac{78,8 * 30}{3,14} = 752,86$ об/мин.

Т. к. средняя скорость выражается в оборотах в минуту то и время разгона необходимо перевести в минуты:

$$t_{\text{пуск}} = \frac{t_{\text{пуск}}}{60} = 0,00184 \text{ мин}; \quad (3)$$

$$N_{\text{пуск}} = 752,86 * 0,00184 = 1,38 \text{ об.} \quad (4)$$

Зная число оборотов за время пуска можно определить путь S , проходимый тросом.

$$S_{\text{пуск}} = 2 * \pi * R_{\text{б}} * N = 3,14 * 0,02 * 1,38 = 0,0628 \text{ м.} \quad (5)$$

После разгона двигатель выходит на установившуюся скорость $\omega_{\text{хх}} = 156,7 \text{ рад/с}$.

Принятое время работы двигателя на холостом ходу $t_{\text{хх}} = 0,5 \text{ с}$. Количество оборотов барабана за время работы двигателя на холостом ходу составит:

$$N_{\text{хх}} = n_{\text{хх}} \cdot t_{\text{хх}} = 1497 \cdot 0,017 = 12,45 \approx 13 \text{ оборотов,} \quad (6)$$

$$\text{где } n_{\text{хх}} = \frac{\omega_{\text{хх}} \cdot 30}{\pi} = \frac{156,7 \cdot 30}{3,14} = 1497 \text{ об/мин.}$$

Зная число оборотов двигателя за время работы на холостом ходу, диаметр барабана, можно определить путь, проходимый тросом следующим образом:

$$S_{\text{хх}} = D_{\text{б}} \cdot \pi \cdot N_{\text{хх}} = 0,22 \cdot 3,14 \cdot 13 = 0,82 \text{ м.} \quad (7)$$

Т. к. высота стэнда статических нагрузок $h = 2,5 \text{ м}$, то допустимый путь проходимый грузом под нагрузкой может быть не более $S_{\text{наг}} = 2 \text{ м}$.

Зная диаметр барабана, можно определить число оборотов барабана:

$$N_{\text{раб.нагр.}} = \frac{S_{\text{наг}}}{D_{\text{б}} \cdot \pi} = \frac{2}{0,02 \cdot 3,14} = 31,84 \approx 32 \text{ оборота} \quad (8)$$

Из найденного числа оборотов барабана при работе двигателя под нагрузкой, определить время работы двигателя:

$$t_{\text{раб.нагр.}} = \frac{N_{\text{раб.нагр.}}}{n_{\text{раб.нагр.}}} = \frac{32}{1483,8} \approx 1,96 \text{ с.} \quad (9)$$

где

$$n_{\text{раб.нагр.}} = \frac{\omega_{\text{раб.нагр.}} \cdot 30}{\pi} = \frac{155,3 \cdot 30}{\pi} = 1483,8 \text{ об/мин.} \quad (10)$$

где $\omega_{\text{раб.нагр.}}$ определяется из рис. 10.

По режиму торможения (рис. 11) на самовыбеге было определены время торможения $t_{\text{тормож.}} = 2,23 - 1,96 = 0,27 \text{ с}$. Скорость в начальный момент торможения $\omega = \omega_{\text{раб.нагр.}} = 155,3 \text{ рад/с}$, а скорость в конечный момент времени $\omega_{\text{конеч.}} = 0$.

Среднюю скорость двигателя за время разгона можно найти как среднее арифметическое между начальной и конечной скоростью установившейся на холостом ходу:

$$\omega_{\text{ср.торм.}} = \frac{\omega_{\text{раб.нагр.}} + \omega_{\text{конеч.}}}{2} = \frac{155,3}{2} = 77,7 \text{ рад/с.} \quad (11)$$

Для определения числа оборотов двигателя до выхода на установившуюся скорость за время разгона $t_{\text{пуск}}$ можно воспользоваться следующим расчетным соотношением:

$$N_{\text{торм.}} = n_{\text{ср.том}} * t_{\text{торм.}} \quad (12)$$

где $n_{ср.пуск} = \frac{\omega_{ср.торм} \cdot 30}{3,14} = \frac{77,7 \cdot 30}{3,14} = 741,87$ об/мин.

Т. к. средняя скорость выражается в оборотах в минуту то и время разгона необходимо перевести в минуты:

$$t_{торм} = \frac{t_{торм}}{60} = 0,0045 \text{ мин.} \tag{13}$$

$$N_{торм} = 741,87 \cdot 0,0045 = 3,34 \text{ об.}$$

Для АД серии АИР 56АУЗ с помощью метода последовательных итераций [7] были определены параметры однофазной эквивалентной схемы замещения, на основе которых выполнены расчеты и построение в Mathcad (рис. 12) статических механических характеристик по формуле Клосса, по уравнению механической характеристики с использованием параметров схемы замещения, а так же по уточненной формуле Клосса.

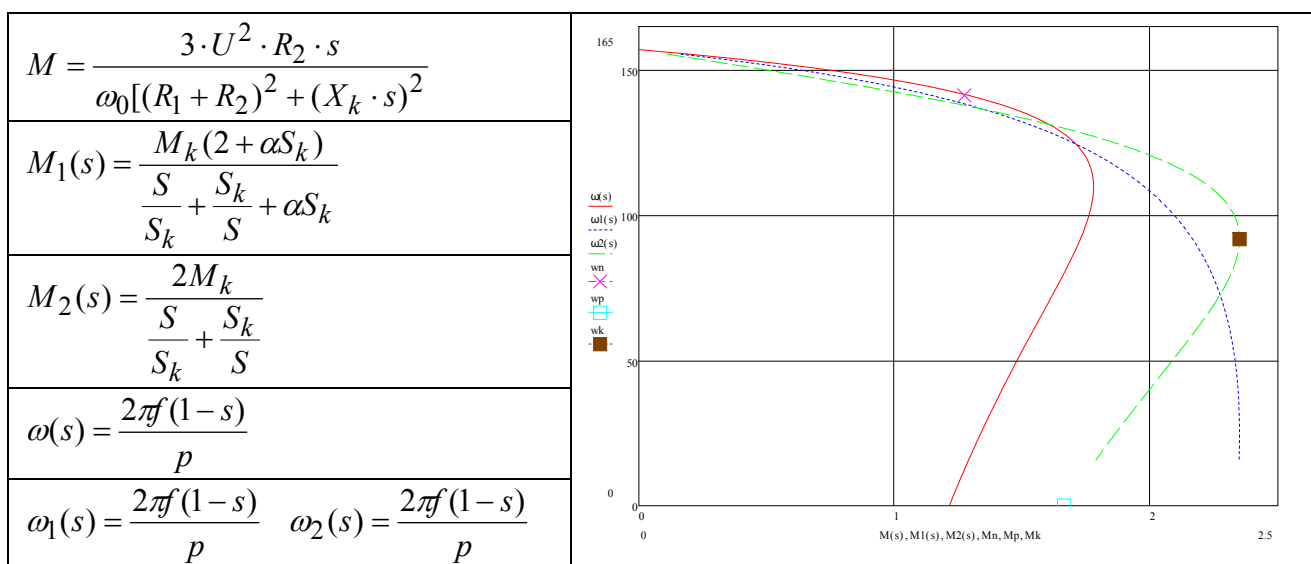


Рис. 11. Статические механические характеристики

На рис. 12 приведены графики статических механических характеристик с нанесенными на них характерными точками. Проведя перпендикуляр к оси моментов из точки скорости реального холостого хода (рис. 12, а) можно определить момент холостого хода асинхронного двигателя. Аналогичным образом находится момент результирующей нагрузки из рис. 12, б.

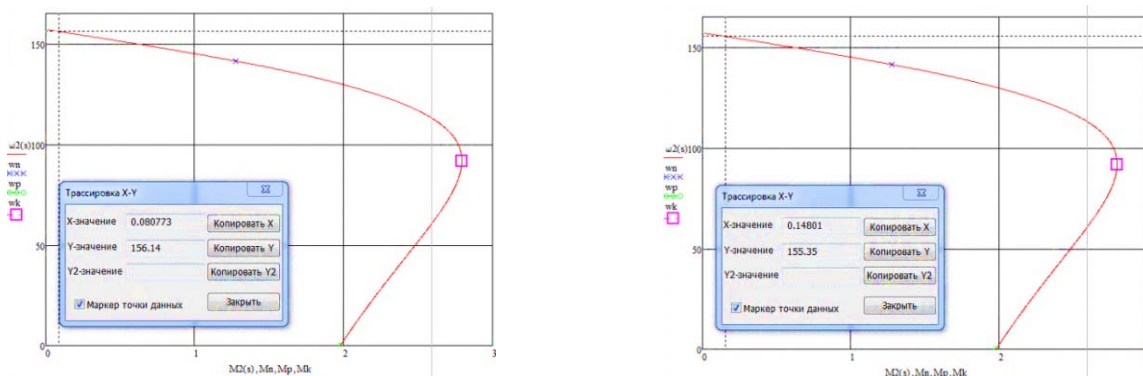


Рис. 12. Определение нагрузки двигателя при различных режимах работы с помощью статической механической характеристики

Из графиков видно, что момент реального холостого хода:

$$M_{xx} = M_{c1} = 0,080773 \text{ Нм (рис. 12, а), а } M_{нагр} = M_{c2} = 0,14801 \text{ Нм (рис. 12, б).}$$

Таким образом момент реальной прикладываемой нагрузки $M_{p,n}$ составит:

$$M_{p,n} = M_{нагр} - M_{xx} = 0,14801 - 0,080773 = 0,06723 \text{ Нм}$$

Зная радиус барабана $R_b = 0,01 \text{ м}$ можно определить массу поднимаемого груза $m_{груза} = M_{p,n} / (R_b g) = 0,006723 / (0,01 * 9,8) = 0,686 \text{ кг.}$

С помощью полученной диаграммы (рис. 10) были определены значения фазных токов статора на холостом ходу (13) и под нагрузкой (14):

$$I_{xx} = \frac{I_{\max xx}}{\sqrt{2}} = \frac{0,7}{\sqrt{2}} = 0,4949 \text{ А;} \quad (13)$$

$$I_{пож.нагр.} = \frac{I_{\max n}}{\sqrt{2}} = \frac{0,73}{\sqrt{2}} = 0,5161 \text{ А.} \quad (14)$$

ВЫВОДЫ

Таким образом, в результате выполненной модернизации стенда были аналитически определены параметры однофазной эквивалентной схемы замещения двигателя и построены статические механические характеристики с помощью которых и проведением ряда экспериментов были для стенда определены:

- время разгона привода на холостом ходу $t_{разгона} = 0,11 \text{ с;}$
- установившееся значение скоростей работы привода на холостом ходу и под нагрузкой $\omega_{xx} = 156,7 \text{ рад/с, } \omega_{нагр} = 155,3 \text{ рад/с;}$
- моменты сопротивления работы привода на холостом ходу и под нагрузкой $M_{c1} = 0,080773 \text{ Нм, } M_{c2} = 0,14801 \text{ Нм;}$
- путь, проходимый двигателем $S = 2 \text{ м;}$
- длина провисания троса до его замыкания и подхвата нагрузки $= 0,0628 \text{ м.}$

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борцов Ю. А. Автоматизированный электропривод с упругими связями / Ю. А. Борцов, Г. Г. Соколовский – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб. : Энергоатомиздат. Санкт-Петербург, отд-ние, 1992. – 288 с.; ил.
2. Загирняк М. В. Электрические машины Ч. 3. Асинхронные машины: учебное пособие / М. В. Загирняк, Б. И. Невзлин. – К ИСДО. :1996. – 196с.
3. Колб А. А. Теорія електроприводу: Навчальний посібник / А. А. Колб – Д., Національний гірничий університет, 2006. – 511 с.
4. Кравчик А. Э. Асинхронные двигатели серии 4А. Справочник / А. Э. Кравчик, М. М. Шлаф, В. И. Афонин, Е. А. Соболевская – М. : Энергоатомиздат, 1982. – 380 с.
5. Квашинин В. О. Методика аналитического определения характеристик асинхронного двигателя / В. О. Квашинин // Проблемы создания новых машин и технологий – Сборник научных трудов: Кременчугский госуниверситетный политехнический университет : КПИИ-2000. – Вып. 1. – № 8. – С. 143–145.
6. Квашинин В. О. Разработка методов и средств технической диагностики сложных электромеханических систем / В. О. Квашинин // Праці Луганськ. Від. Міжн. академії інформ. : Науков. журнал. – № 2. – 2005. – С. 53–58.
7. Квашинин В. О. Анализ влияния различных методик определения параметров однофазных схем замещения асинхронного двигателя на точность его статических характеристик / В. О. Квашинин, А. В. Бабаиш // Научное издание Электротехнические и компьютерные системы, Научно-технический журнал. – Киев Техника 2014. – С.484. ISSN 2221–3805.
8. Мощинский Ю. А. Определение параметров схемы замещения асинхронной машины по каталожным данным / Ю. А. Мощинский, В. Я. Беспалов, А. А. Кириякин // Электричество. – 1998. – № 4. – С. 39–42.
9. Квашинин В. О. Разработка методики программного расчета и исследования статических механических характеристик асинхронного двигателя (в среде BORLAND DELPHI) / В. О. Квашинин, А. В. Бабаиш // Вестник ДГТУ, Сборник научных трудов, Днепродзержинск ДГТУ, 2009.
10. Герман-Галкин С. Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0. : учебн. пособие / С. Г. Герман-Галкин – СПб. : Корона Принт, 2001. – 320 с., ил.

Статья поступила в редакцию 12.05.2015 г.