

УДК 656.25: 621.318

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.154.2015.65942>

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ПАРАМЕТРОВ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ СТРЕЛОЧНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ**

Д-р техн. наук М.М. Бабаев, д-р техн. наук В.С. Блиндюк, асист. Ю.И. Богатырь

**ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЧАСОВИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ПАРАМЕТРІВ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ СТРІЛОЧНИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ**

Д-р техн. наук М.М. Бабаєв, д-р техн. наук В.С. Блиндюк, асист. Ю.І. Богатир

**IMITATING MODELLING OF TEMPORARY DEPENDENCES OF PARAMETERS OF THE STRELOCHNYKH ASYNCHRONOUS ENGINES OF ELECTRIC DRIVES**

Doct. of techn. Sciences M.M. Babaev, doct. of techn. Sciences V.S. Blinduk., assistant Y.I. Bogatir

*Існуючі в цей час пристрої технічного діагностування й контролю ефективності експлуатації стрілочних електроприводів систем залізничної автоматики не повною мірою дозволяють у реальному масштабі часу відслідковувати тенденцію змін контрольованих параметрів. Тому в роботі розглядається один з можливих шляхів розв'язку завдання подальшого вдосконалення методів контролю й керування виконавчими пристроями систем централізації стрілок і сигналів, а саме імітаційне моделювання тимчасових залежностей параметрів асинхронних двигунів стрілочних електроприводів. Розроблена імітаційна модель стрілочного привода з асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором, на якій були проведені дослідження різних режимів його роботи. Розглянуті пускові й робочі характеристики двигуна: при зміні величини живильного напруги, обриві однієї з фаз, ушкодженні стрижнів ротора. Установлений характер зміни тимчасових залежностей параметрів асинхронних двигунів при виникненні несправностей у процесі їх роботи. Показане, що вимірюючи швидкість обертання ротора, струми у фазах статора, електромагнітний момент і порівнюючи їх з номінальними, можна оцінювати робочий стан двигуна безупинно, що дає можливість перейти від планово-запобіжного обслуговування стрілочних електроприводів до обслуговування по стану.*

**Ключові слова:** стрілочний електропривод, асинхронний двигун, електромагнітний момент, статор, ротор, імітаційна модель, часові залежності.

Существующие в настоящее время устройства технического диагностирования и контроля эффективности эксплуатации стрелочных электроприводов систем железнодорожной автоматики не в полной мере позволяют в реальном масштабе времени отслеживать тенденцию изменений контролируемых параметров. Поэтому в работе рассматривается один из возможных путей решения задачи дальнейшего усовершенствования методов контроля и управление исполнительными устройствами систем централизации стрелок и сигналов, а именно имитационное моделирование временных зависимостей параметров асинхронных двигателей стрелочных электроприводов. Разработана имитационная модель стрелочного привода с асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором, на которой были проведены исследования различных режимов его работы. Рассмотрены пусковые и рабочие характеристики двигателя: при изменении величины питающего напряжения, обрыве одной из фаз, повреждении стержней ротора. Установлен характер изменения временных зависимостей параметров асинхронных двигателей при возникновении неисправностей в процессе их работы. Показано, что измеряя скорость вращения ротора, токи в фазах статора, электромагнитный момент и сравнивая их с номинальными, можно оценивать рабочее состояние двигателя непрерывно, что дает возможность перейти от планово-предупредительного обслуживания стрелочных электроприводов к обслуживанию по состоянию.

**Ключевые слова:** стрелочный электропривод, асинхронный двигатель, электромагнитный момент, статор, ротор, имитационная модель, временные зависимости.

*The devices of technical diagnosing and control of efficiency of operation of strelochny electric drives of systems of railway automatic equipment existing now not fully allow to monitor a trend of changes of controlled parameters in real time. Therefore in work one of possible solutions of a task further improvement of control methods and control of actuation mechanisms of systems of centralization of arrows and signals, namely imitating modeling of temporary dependences of parameters of asynchronous engines of strelochny electric drives is considered. The imitating model of the strelochny drive with the asynchronous engine with a short-circuited rotor on which researches of various modes of its work were conducted is developed. Starting and performance data of the engine are considered: at change of size of the feeding npryazheniye, break of one of phases, damage of cores of a rotor. Nature of change of temporary dependences of parameters of asynchronous engines at emergence of malfunctions in the course of their work is established. It is shown that measuring the speed of rotation of a rotor, currents in stator phases, the electromagnetic moment and comparing them with nominal, it is possible to estimate a working condition of the engine continuously that gives the chance to pass from scheduled preventive service of strelochny electric drives to service on a state.*

**Keywords:** pointer electric drive, asynchronous engine, electromagnetic moment, stator, rotor, simulation model, temporary dependences.

**Введение.** Анализ основных этапов развития современных систем железнодорожной автоматики показал, что внедрение микропроцессорной элементной базы позволяет существенно расширить функциональные возможности устройств управления стрелками и сигналами. Существующие стрелочные электроприводы (СП) должны гарантированно обеспечивать показатели безопасности движения поездов и быть высоконадежными, что может быть реализовано путём внедрения автоматизированных систем технического диагностирования и контроля эффективности их эксплуатации.

**Постановка задачи.** В настоящее время для повсеместного использования

рекомендованы компьютерные системы АСДК и АПК – ДК, которые обнаруживают и устанавливают причину неисправности устройств железнодорожной автоматики [1]. Однако они не позволяют в реальном масштабе времени отслеживать тенденцию изменений контролируемых параметров. Поэтому актуальной является задача дальнейшего усовершенствования методов контроля и управление исполнительными устройствами систем централизации стрелок и сигналов.

**Анализ исследований.** В процессе эксплуатации в СП возникают повреждения, которые могут привести к аварийным ситуациям на железной дороге. Задержки в поездной работе, связанные с неисправностью

СП, составляют значительное время. Самый большой процент отказов СП связан с неисправностями в электрическом двигателе. В СП с асинхронным двигателем (АД) наиболее распространенными электрическими неисправностями являются: перегрузка или перегрев статора; межвитковое замыкание; повреждение подшипников; повреждение обмотки статора или изоляции; работа двигателя на двух фазах; обрыв или ослабление крепления стержней в беличьей клетке; ослабление крепления обмоток статора. Важность диагностирования и контроля двигателя определяется тем, что при неисправности СП часть системы электрической централизации выходит из строя [2]. Поэтому выявление предотказных состояний контролируемых устройств является одной из важнейших характеристик современных систем АСДК. Определение предотказного состояния заключается в фиксации достижения диагностическим параметром некоторого заранее известного значения, например,  $\pm 10\%$  от нормативного [3]. Для выявления предотказного состояния СП используются следующие диагностические параметры: время перевода стрелки, напряжение источника питания рабочей цепи [4]. По состоянию тока протекающего в

рабочей цепи двигателя переменного тока и изменению его амплитудных и частотных составляющих можно судить о состоянии двигателя в данный момент, то есть в момент перевода [5].

**Основной материал.** При изменении нагрузки на валу двигателя автоматически меняется частота вращения ротора, токи в обмотках ротора и статора и потребляемый из сети ток [6]. В результате взаимодействия магнитного поля с токами в роторе создается вращающийся электромагнитный момент, стремящийся уровнять скорость вращения магнитного поля статора и ротора. Разность скоростей вращения магнитных потоков характеризуется величиной скольжения:

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

где  $n_1$  – синхронная скорость вращения магнитного поля;

$n_2$  – скорость вращения ротора асинхронного двигателя.

Имитационная модель для исследования работы стрелочного привода с АД представлена на рис.1.

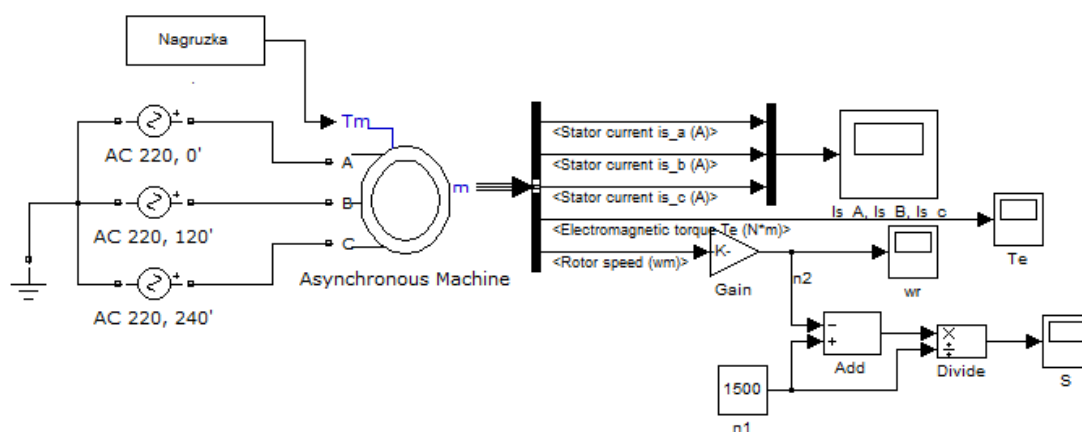


Рис. 1. Имитационная модель стрелочного привода с асинхронным двигателем

Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором (Asynchronous Machine) подключен к трехфазному источнику напряжения (AC 220, 0°; AC 220, 120°; AC 220, 240°) с линейным напряжением 380 В. Блок

Asynchronous Machine моделирует асинхронный электрический двигатель. Порты модели A, B и C являются выводами статорной обмотки, порт Tm предназначен для подачи момента сопротивления движению, к которому

подключен блок, имитирующий нагрузку. На выходном порту  $m$  формируется векторный сигнал, состоящий из пяти элементов. Через блок Gain переводим рад/с в об/мин.. Осциллограф  $Is\_A$ ,  $Is\_B$ ,  $Is\_C$  снимает временные зависимости тока трех фаз статора, осциллограф  $Te$  – временную зависимость электромагнитного момента, осциллограф  $\omega r$  – временную зависимость скорости вращения ротора. Осциллограф  $S$  показывает временную зависимость скольжения двигателя, которое получаем путем вычитания (блок Add)

скорости вращения ротора из синхронной скорости вращения магнитного поля ( $n_1$ ) и деления (блок Divide) на нее же.

При исправной работе АД токи во всех фазах статора одинаковые (рис. 2).

В случае снижения напряжения питания сети ниже номинального ток цепи в цепи статора увеличивается, что может вызвать перегрев двигателя, электромагнитный момент при пуске уменьшается, ротор двигателя при пониженном напряжении сети не развивает номинальную скорость (рис. 3).

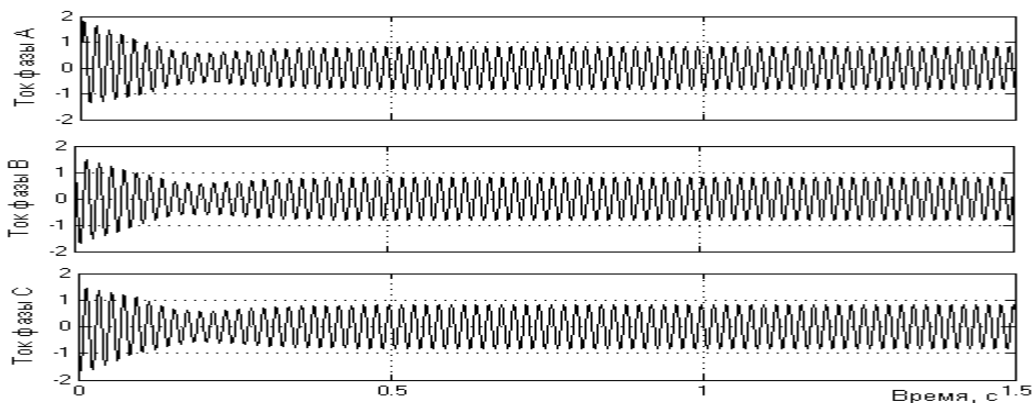


Рис. 2. Токи статора асинхронного двигателя при номинальном режиме работы

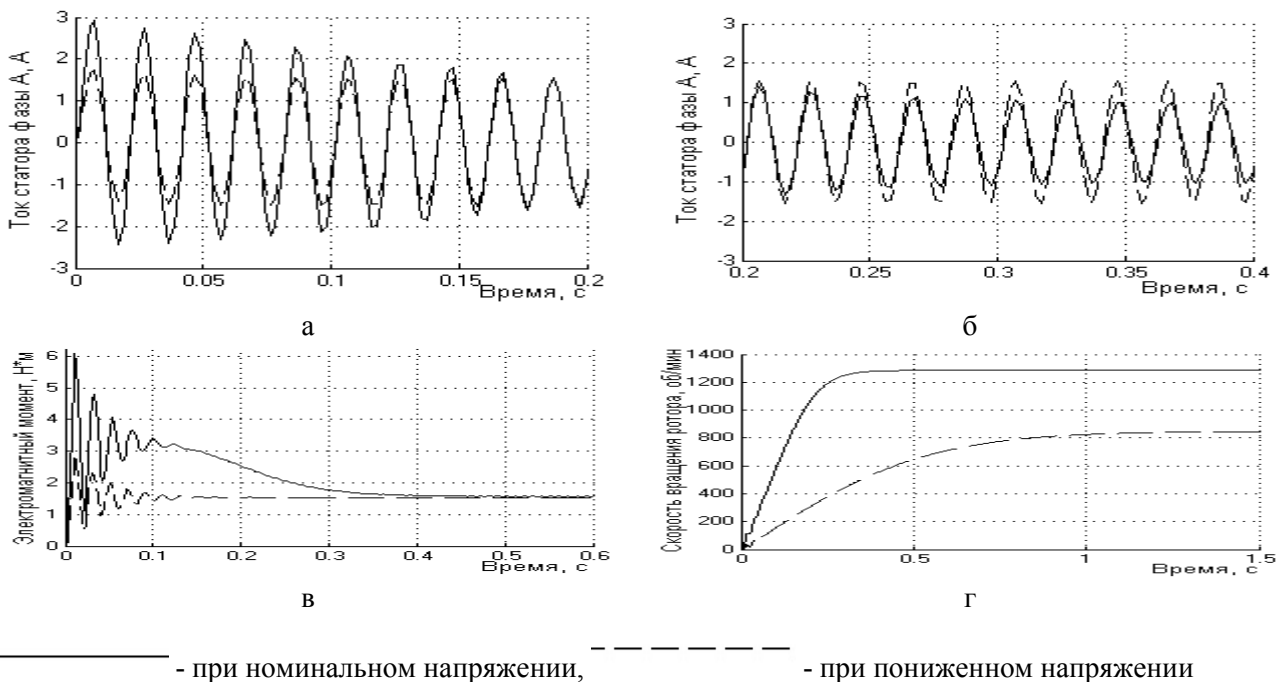


Рис. 3. Временные зависимости тока статора при пуске двигателя (а) и в установившемся режиме (б), электромагнитного момента (в), скорость вращения ротора (г) асинхронного двигателя

К аварийному режиму работы асинхронного двигателя стрелочного привода так же может привести обрыв фазы статора. При этом возникают токи, напряжения и потокоцепления прямой и обратной полярности [7]. В сигнале электромагнитного момента возникают колебания с частотой, равной удвоенной частоте напряжения питания. Так же уменьшается критический момент

двигателя, а вместе с ним и максимальная мощность, передаваемая на вал [8].

При обрыве одной фазы статора ток в ней отсутствует, а в остальных двух увеличивается по амплитуде и фазовый сдвиг в них становится  $180^\circ$ , электромагнитный момент обретает синусоидальную форму и период его колебаний вдвое меньше периода колебаний питающего напряжения (рис. 4).

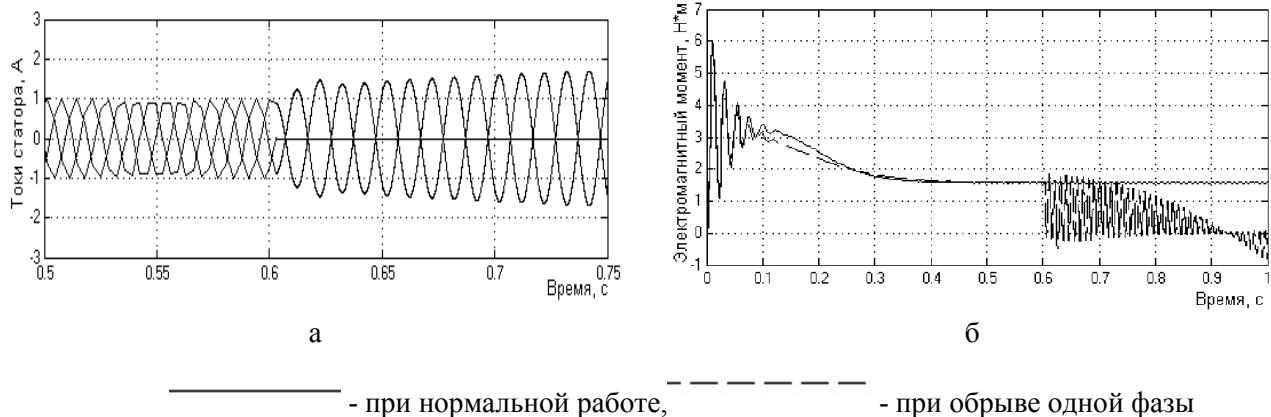


Рис. 4. Временная зависимость токов фаз статора (а) и электромагнитного момента (б) асинхронного двигателя при обрыве одной фазы

Частота вращения ротора двигателя, работающего под нагрузкой, при обрыве одной фазы статора резко снижается.

Повреждение стержней ротора вызывает потери мощности, приводит к перегреву и выходу из строя двигателя. На начальной стадии обрыв стержней ротора незначительно сказывается на эксплуатационных характеристиках электродвигателя. При обрыве одного стержня нагрузка распределяется на целостные проводники и происходит перераспределение тока по стержням. Основная нагрузка ложится на соседние с оборванным, тем самым создавая ненормированные условия их эксплуатации. Таким образом, обрыв одного стержня в конечном итоге чаще всего приводит к повреждению и других стержней.

При частичном или полном обрыве стержня ротора происходит увеличение его сопротивлений, что приводит к появлению асимметрии токов в обмотках статора [9].

При работе двигателя с поврежденными стержнями обмотки ротора частота его вращения будет меньше, чем при отсутствии неисправности (рис. 5, а). У него возрастает время разгона, скольжение и добавочные потери, уменьшается коэффициент мощности. При значительном количестве поврежденных стержней ротор двигателя, работающего под нагрузкой останавливается. Двигатель с поврежденными стержнями, работающий под нагрузкой, потребляет из сети увеличенный ток (рис. 5, б) и перегревается больше исправного.

Снижение частоты вращения ротора приводит к увеличению скольжения (рис. 6).

Из приведенного анализа следует, что при возникновении неисправностей в асинхронном двигателе возникает асимметрия токов в обмотках статора, временные зависимости электромагнитного момента и скорости вращения ротора отличаются от номинальных.

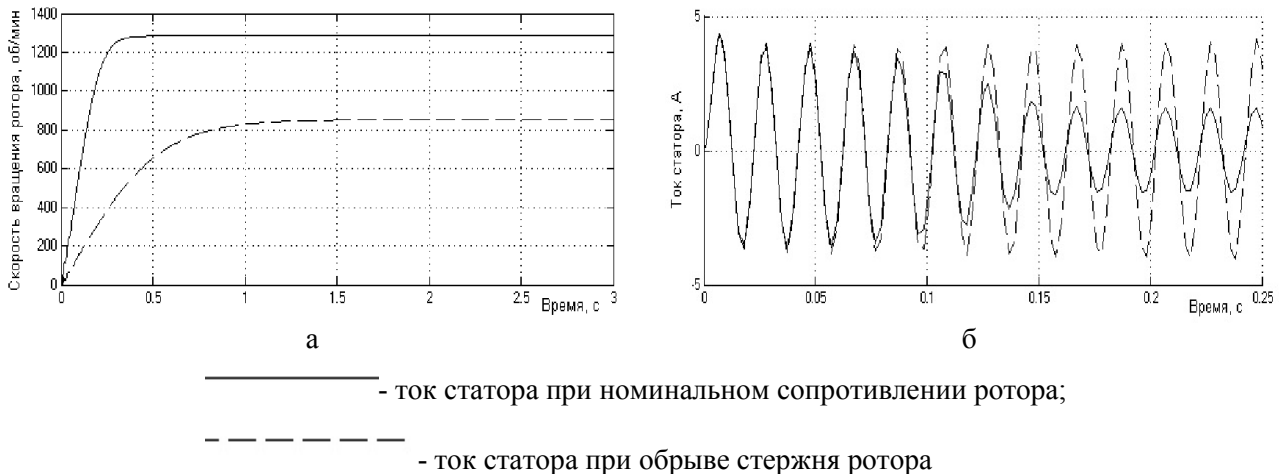


Рис. 5. Временная зависимость скорости вращения ротора (а) и при поврежденных стержнях обмотки асинхронного двигателя стрелочного привода

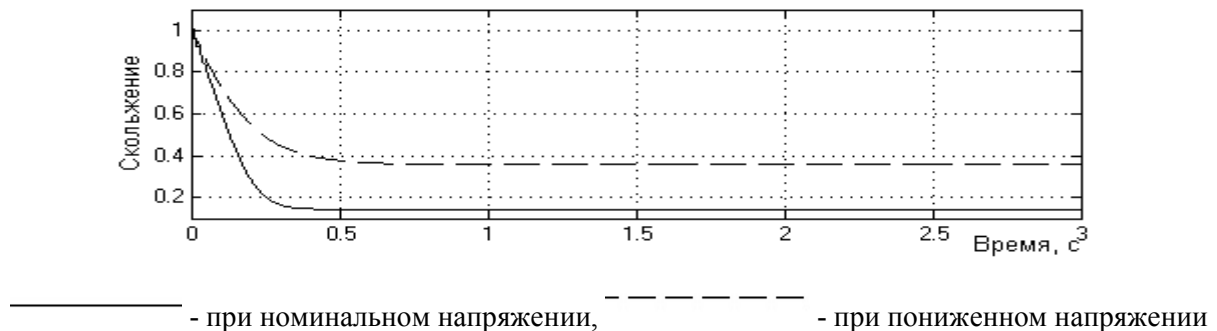


Рис. 6. Временная зависимость скольжения асинхронного двигателя

**Выводы.** Измеряя скорость вращения ротора, токи в фазах статора и электромагнитный момент и сравнивая их с номинальными, можно оценивать рабочее

состояние двигателя непрерывно, что дает возможность перейти от планово-предупредительного обслуживания СП к обслуживанию по состоянию.

#### Список использованных источников

1. Федорчук, А.Е. Новые информационные технологии: автоматизация технического диагностирования и мониторинга устройств ЖАТ (система АДК-СЦБ) [Текст]: учебник для вузов железнодорожного транспорта / А.Е. Федорчук, А.А. Сепетый, В.Н. Иванченко. – Ростов н/Д: Рост. гос. ун-т путей сообщения, 2008. – 443 с.
2. Маловічко, В.В. Підвищення експлуатаційної надійності колійних пристроїв електричної централізації [Текст] / В.В. Маловічко, В.І Гаврилюк // Вісник Дніпропетровського національного університету імені академіка В. Лазаряна. – Дніпропетровськ: ДНУ, 2007. – Вип. 15. – С. 11-15.
3. Ефанов, Д.В. Непрерывное диагностирование устройств СЦБ [Текст] / Д.В. Ефанов, П.А. Плеханов // Автоматика, связь, информатика. – 2012. – Вип. 7. – С. 18-20.
4. Измерительно-вычислительные средства в автоматизации диагностирования и контроля устройств СЦБ: учеб. для вузов жд транспорта [Текст] / А.А. Сепетый, А.Е. Федорчук, В.Н. Иванченко [и др.]. – Ростов н/Д: Рост. гос. ун-т путей сообщения, 2009. – 416 с.
5. Буряк, С.Ю. Исследование диагностических признаков стрелочных электроприводов переменного тока [Текст] / С.Ю. Буряк, В.И. Гаврилюк, О.А. Гололобова, А.М. Безнартный //

Вісник Дніпропетровського національного університету імені академіка В. Лазаряна. – Дніпропетровськ: ДПТ, 2014. – Вип. 4. – С. 7-22.

6. Бабаев, М.М. Компьютерное моделирование двигателей стрелочных электроприводов [Текст] / М.М. Бабаев, Ю.И. Богатырь // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 124. – С. 164-172.

7. Толочко, О.И. Моделирование асинхронного двигателя при обрыве фазы статора [Текст] / О.И. Толочко, П.И. Розкаряка, И.О. Журов // Электротехнические и компьютерные системы. – 2014. – №15(91). – С. 262-266.

8. Копылов, И.П. Математическое моделирование электрических машин [Текст]: учеб. для вузов / И. П. Копылов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2001. – 327 с.

9. Сивокобыленко, В.Ф. Математическое моделирование асинхронных двигателей при повреждениях стержней короткозамкнутого ротора [Текст] / В.Ф. Сивокобыленко, В.А. Павлюков, Р.П. Сердюк [и др.] // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – 2009. – №9(158). – С. 222-226.

---

Бабаев Михайло Михайлович, д-р техн. наук, професор кафедри електротехніки та електричних машин Українського державного університету залізничного транспорту, Харків, Україна. Тел.: (057) 730-19-96.  
Блиндюк Василь Степанович, д-р техн. наук, професор кафедри електротехніки та електричних машин Українського державного університету залізничного транспорту, Харків, Україна. Тел.: (057) 730-10-03.  
Богатир Юлія Іванівна, асистент кафедри електротехніки та електричних машин Українського державного університету залізничного транспорту, Харків, Україна. Тел.: (057) 730-19-96.

Mikhail Babaev., Doktor of Engineering, professor department of electrical engineering and electrical machines Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. Tel.: (057) 730-19-96.

Vasiliy Blinduk., Doktor of Engineering, professor department of electrical engineering and electrical machines Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. Tel.: (057) 730-10-03.

Yuliya Bogatir., assistant Department of electrical engineering and electrical machines Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine.. Tel.: (057) 730-19-96.

Наукова праця здана до друку 22.06.2015 року