

**С.В. Ефименко, Д.Е. Татаринов,  
А.А. Клавдиев, В.Е. Трушников**

## **ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ОЦЕНКИ АДЕКВАТНОСТИ МОДЕЛЕЙ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ С ВЕКТОРНОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ**

Исследована математическая модель асинхронного электропривода с векторной системой управления. Модель оценивает электро-механические процессы в электроприводе в процессе его работе. Приведены результаты моделирования механических и электрических переходных процессов. Выполнено сравнение переходных процессов частоты вращения и тока статора в электроприводе, полученных экспериментально при помощи испытательного стенда и имитационной модели в программной среде Matlab Simulink. Произведена оценка адекватности математической модели асинхронного электропривода реальному объекту методом статистического исследования влияния предикторов на критериальные переменные.

Ключевые слова: асинхронный электропривод, автономный инвертор напряжения, векторная система управления, адекватность математической модели.

### **Введение**

**В** настоящее время разработано множество методов идентификации электромагнитных и электромеханических параметров асинхронного двигателя (АД), основанных на различных принципах их проведения. Однако до сих пор не существует универсального метода идентификации. Возникает необходимость в определении текущих значений параметров электродвигателей в процессе работы электропривода, что возможно лишь путем проведения текущей идентификации и сравнения данных состояния, множества параметров электродвигателя. Рассмотрим основные методы идентификации параметров АД.

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 2. С. 62–74.  
© 2017. С.В. Ефименко, Д.Е. Татаринов, А.А. Клавдиев, В.Е. Трушников.

### **Методы идентификации параметров АД на основе анализа частотных характеристик**

Одним из способов идентификации электромагнитных параметров асинхронных двигателей является анализ частотных характеристик. Метод позволяет определить значение индуктивного сопротивления ротора асинхронной машины. Данные для вычисления параметров берутся из данных холостого хода и скорости ротора, при этом ротор нагружают посторонним двигателем. Оценки индуктивных сопротивлений ротора получаются устойчивыми, с погрешностью не более 7%. Основными недостатками метода являются: получение только одного электромагнитного параметра и необходимость останова двигателя для проведения процедуры идентификации.

### **Методы идентификации параметров АД по каталожным данным**

Данная методика используется в инженерской практике, поскольку это довольно простой способ идентификации электромагнитных параметров электродвигателей. Основой данного способа считается определение электромагнитных параметров асинхронного двигателя по приближенным формулам, полученным из уравнений равновесия, которые в свою очередь описывают схему замещения электродвигателя. Основными недостатками метода являются низкая точность идентификации и определение параметров только серийных двигателей. Оценки параметров схемы замещения имеют погрешность не более 15%, что допустимо для инженерской практики, однако абсолютно не подходит для построения систем диагностики и управления.

### **Методы идентификации параметров АД на основе измерения активной и реактивной мощностей**

Данный способ идентификации параметров асинхронных электродвигателей основывается на сборе информации с датчиков тока, напряжения, активной и реактивной мощностей, скорости вращения. Метод определения всех электромагнитных параметров асинхронного двигателя в этом случае является довольно простым в реализации и основывается на записи необходимых данных с датчиков активной и реактивной мощностей, токов и напряжений статора, а также дальнейшей работе с ними.

Основным недостатком этого способа является необходимость процедуры предварительного измерения сопротивления статорной обмотки при подаче на нее постоянного тока. Про-

чие недостатки данной группы основываются на сборе информации с датчиков, это:

1) использование большого количества датчиков, таких как датчики тока, напряжения, активной и реактивной мощности, скорости, что усложняет и повышает стоимость системы в целом, а также понижает ее отказоустойчивость;

2) применение к некоторым видам приводов невозможно, в связи со сложностью установки всех необходимых датчиков;

3) невозможность учета изменения всех параметров электродвигателя, в прямой зависимости от температуры и режимов работы АД.

### **Методы идентификации параметров АД на основе нейронных сетей**

В настоящее время получило распространение системы оценки параметров асинхронных машин на основе искусственных нейронных сетей. В данной методике производится построение системы диагностики потокосцепления с частичной идентификацией параметров двигателя. Здесь диагностическая система строится на методе обучения нейронных сетей. Погрешность оценивания потокосцепления составляет не более 8%.

Однако при использовании этого метода необходимо точно знать значения электромеханических параметров статора и снимать данные с датчика момента. Недостатками систем идентификации на основе нейронных систем являются:

1) невозможность получения оценок параметров асинхронного электродвигателя в реальном времени в связи с необходимостью предварительной записи информации, необходимой для диагностики;

2) возможность нивелировки недостатков п. 1 за счет построения систем предсказания, что слишком усложняет систему и повышает ее стоимость в целом, к тому же понижает ее отказоустойчивость;

3) необходимость и сложность процедуры правильного обучения нейронных сетей.

### **Методы идентификации параметров АД на основе алгебраических методов**

Одна из таких разработок [1] позволяет определить сопротивление и индуктивность статора, постоянную времени ротора на основе информации, получаемой с датчиков тока, напряжения и угла поворота, дальнейшей их обработки, создания си-

стемы уравнений и ее решения методом наименьших квадратов (МНК). Идентификационная модель, описываемая в работе [1], основана на том же принципе. Однако из-за представления математического описания двигателя в другом конечном виде, отличном от предложенного в [1, 2], данная модель определяет значения активных сопротивлений и индуктивностей статора и ротора. Погрешность вычислений составляет около 7%, однако недостатком является определение лишь небольшой части электрических параметров.

### **Способы управления электроприводами**

Существуют два основных способа управления электроприводами переменного тока, использующих в качестве преобразователей энергии полупроводниковые преобразователи частоты: частотный и векторный. Область применения таких систем разнообразна: асинхронный электропривод, к которому не предъявляется повышенных статических и динамических требований к механизмам (вентиляторы, насосы и прочее). При векторном управлении управление осуществляется по мгновенным значениям переменных.

Векторное управление существенно увеличивает диапазон управления, точность его регулирования, повышает общее быстродействие электропривода. В цифровых векторных системах может выполняться управление по эквивалентным (усредненным на интервале дискретности управления) переменным. Вращающий момент определяется током статора, который создает возбуждающее магнитное поле. При непосредственном управлении моментом необходимо изменять, кроме амплитуды, также и фазу статорного тока, то есть вектор тока. Этим обусловлен термин «векторное управление».

Питание АД и СД в режиме векторного управления осуществляется от инвертора, который может обеспечить в любой момент времени требуемые амплитуду и угловое положение вектора напряжения (или тока) статора. Наименее дорогим является частотно-регулируемый электропривод с векторным управлением, однако при этом от преобразователя частоты требуется высокая скорость и большой объем вычислений.

### **Цель исследования и формальное описание модели управления АД**

Эксплуатация асинхронных двигателей в широком диапазоне регулирования частоты вращения — обычная практика при

создании асинхронных электроприводов с векторным управлением. Выбор уравнения для построения системы управления играет большую роль, т.к. многие величины, (в особенности у короткозамкнутых АД), не могут быть измерены. Кроме того, этот выбор существенно влияет на сложность передаточных функций системы, иногда в несколько раз увеличивая порядок уравнений. При этом вопросы корректности классической математической модели асинхронного двигателя в процессе расчетов зачастую выходят на первый план. Ввиду сложности механической части, которая в каждом конкретном случае имеет свои особенности, производители преобразователей частоты для асинхронных электроприводов зачастую не используют в математической модели двигателя уравнения механики и описание двигателя сводится к классическим уравнениям [3].

Представленная ниже модель описывает асинхронный электродвигатель в статических и динамических режимах работы. Запишем уравнения асинхронного двигателя в системе координат  $dq$ , ориентированной по потокосцеплению ротора [3, 4]:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{sd} = \frac{d\Psi_{sd}}{dt} + I_{sd}R_s - \omega_k \Psi_{sq}; \\ U_{sq} = \frac{d\Psi_{sq}}{dt} + I_{sq}R_s + \omega_k \Psi_{sd}; \\ 0 = \frac{d\Psi_{rd}}{dt} + I_{rd}R_r - (\omega_k - \omega_r)\Psi_{rq}; \\ 0 = \frac{d\Psi_{rq}}{dt} + I_{rq}R_r + (\omega_k - \omega_r)\Psi_{rd}; \\ M_{эм} = 1,5p(\Psi_{sd}I_{sq} - \Psi_{sq}I_{sd}); \\ \Psi_{s(dq)} = L_s I_{s(dq)} + L_m I_{r(dq)}; \\ \Psi_{r(dq)} = L_r I_{r(dq)} + L_m I_{s(dq)}; \\ L_s = L_{\sigma s} + L_m; \\ L_r = L_{\sigma r} + L_m. \end{array} \right.$$

где  $U_{sd}, U_{sq}$  – напряжения статора;  $I_{sd}, I_{sq}$  – токи статора;  $I_{rd}, I_{rq}$  – токи ротора;  $\Psi_{sd}, \Psi_{sq}$  – потокосцепления статора;  $\Psi_{rd}, \Psi_{rq}$  – потокосцепления ротора;  $\omega_k$  – скорость вращения системы координат;  $\omega_r$  – скорость вращения ротора;  $M_{эм}$  – электромагнитный момент;  $R_s, R_r$  – сопротивления статора и ротора;  $L_s, L_r, L_m$  – индуктивности статора и ротора, взаимная индуктив-

ность;  $L_{\sigma\sigma}$ ,  $L_{\sigma r}$  – индуктивности рассеяния статора и ротора;  $p$  – число пар полюсов.

Целью проведенных исследований является сравнение экспериментальных данных, полученных на испытательном стенде, и результатов моделирования асинхронного электропривода, обеспечивающего широкий диапазон регулирования скорости, а также оценка адекватности математической модели электропривода реальному объекту.

Предполагается, что погрешность между результатом моделирования и экспериментальными данными возникает из-за неточности задания в модели паспортных параметров электродвигателя  $R_s$ ,  $R_r$ ,  $L_s$ ,  $L_r$ , которые представлены для номинального режима работы.

### **Общий принцип векторного управления АД**

Общий принцип построения системы управления АД основан на использовании системы координат, которая постоянно ориентирована по направлению какого-либо вектора, определяющего электромагнитный момент. Выбор уравнения для построения системы управления очень важен, т.к. многие значения переменных не могут быть измерены. Кроме этого, от такого выбора в сильной степени зависит сложность (иногда в несколько раз) передаточных функций системы, при этом значительно увеличивая порядок уравнений.

### **Схема, модель и параметры асинхронного электропривода**

Функциональная схема векторной системы управления асинхронным электроприводом, представлена на рис. 1.

Предложенная функциональная схема содержит регулятор скорости (ПИ-РС), задающий необходимый электромагнитный момент двигателя ( $M^*$ ), изменение которого осуществляется векторным регулятором статорного тока, работающего во вращающейся системе координат  $dq$ , состоящего из двух скалярных регуляторов  $d$  и  $q$  (ПИ-РТ<sub>d</sub> и ПИ-РТ<sub>q</sub>) и использующего в качестве обратной связи измеренный и преобразованный в систему  $dq$  реальный вектор статорного тока. Регулятор тока формирует в системе  $dq$  вектор напряжения статора, характеризующийся двумя составляющими:  $u_{sd}$  и  $u_{sq}$ , которые переводятся в неподвижную систему координат  $\alpha\beta$ , связанную со статором, затем преобразуются векторным модулятором в сигналы управления драйверами транзисторных модулей АИН, а он

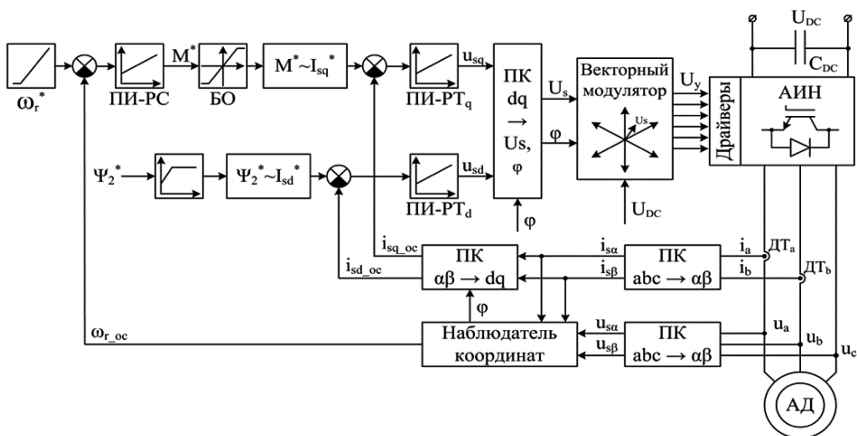


Рис. 1. Функциональная схема системы векторного управления АИН в осях  $dq$

в свою очередь формирует питающее двигатель напряжение. Модель векторного управления для рассматриваемой функциональной схемы векторной системы управления асинхронным электродвигателем АД в среде MatLab Simulink позволяет отслеживать электромагнитные процессы, происходящие в асинхронном двигателе в момент его работы. MatLab Simulink представлена на рис. 2.

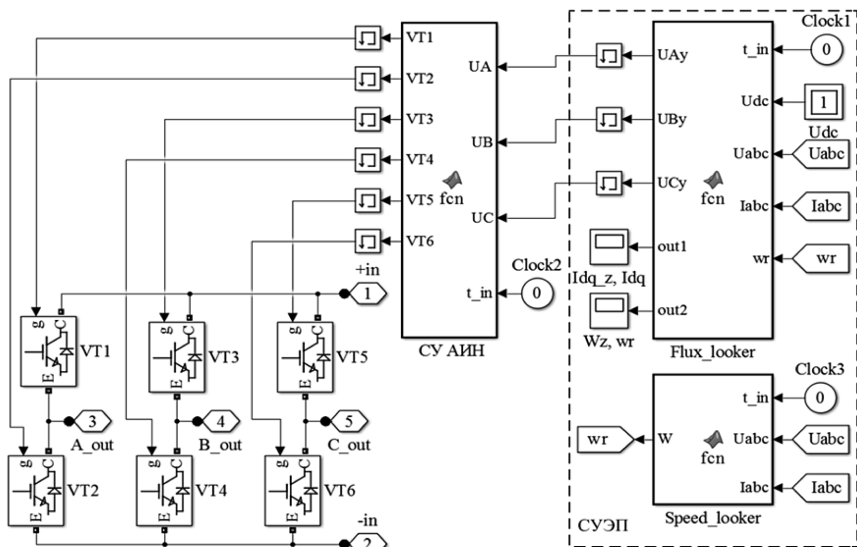


Рис. 2. Схема блока АИН

Изменение параметров Т-образной схемы замещения в компьютерной модели АД не учитывается. Сопротивления обмоток приняты для нагретого состояния двигателя. Модель электропривода содержит: источник питания, представленный звеном постоянного тока (ЗПТ), автономный инвертор напряжения (АИН), содержащий трехфазный транзисторный мост по схеме Ларионова, систему управления инвертором (СУ АИН), формирующую импульсы управления транзисторами (VT1...VT6), систему управления электроприводом (СУ-ЭП), состоящую из наблюдателя потока (Flux\_looker), и наблюдателя скорости (Speed\_looker), формирующую управляющие напряжения  $U_{Au}$ ,  $U_{Bu}$ ,  $U_{Cu} = \sqrt{3}U_{\phi}/U_{dc}$  (о.е) и реализующую векторный поле ориентированный закон управления; асинхронный двигатель (АД); датчики напряжения и тока (ДН\_abc, ДТ\_abc); блок реализации линейной нагрузки (ЛН), на вход которого поступает сигнал частоты вращения ( $\omega$ , рад/с), а на выходе рассчитывается задание момента сопротивления ( $T_m$ , Н·м). Для упрощения расчетов, в связи с отсутствием влияния входного преобразователя на выходной, первичный преобразователь не рассматривается и представлен звеном постоянного тока.

### Результаты эксперимента и расчет переходных процессов в системе с АИН

На компьютерной модели привода исследован процесс пуска асинхронного двигателя. В качестве предикторов в двигателе использовались мгновенные значения фазных токов и линейные напряжения, а также скорость вращения, оцененная наблюдателем. Данные с датчиков напряжения и тока оцифровывались аналогово-цифровым преобразователем системы управления электроприводом.

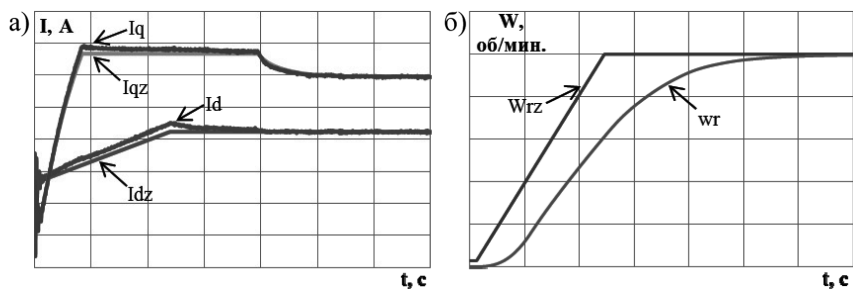


Рис. 3. Переходные процессы при пуске двигателя, полученные при помощи математической модели: по току (а); по скорости (б)



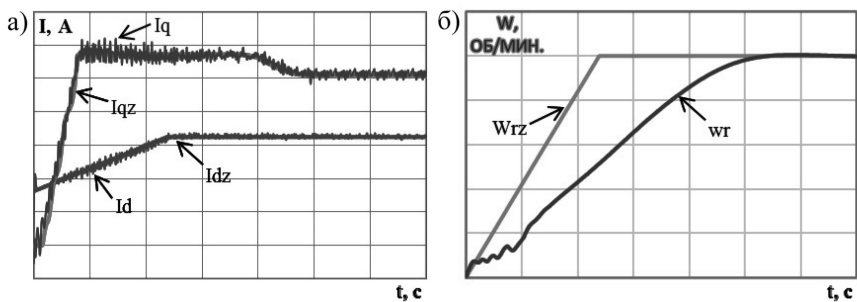


Рис. 4. Переходные процессы при пуске двигателя, полученные экспериментально: по току (а); по скорости (б)

Как можно видеть на графиках, при векторном управлении механическая характеристика асинхронного двигателя приобретает жесткость, вследствие чего расширяется перегрузочный диапазон. Значения характеристик во всем диапазоне расходятся незначительно, следовательно, полученная математическая модель адекватно отражает работу реального двигателя и ее можно использовать для проведения экспериментов в инженерной практике.

### Обоснование метода оценки адекватности моделей

В общем случае под адекватностью понимается соответствие модели реальному объекту, для описания которого она строится. Создаваемая модель ориентирована на исследование определенного подмножества свойств этого объекта, поэтому адекватность модели определяется степенью ее соответствия не столько реальному объекту, сколько целям исследования. Это утвержде-

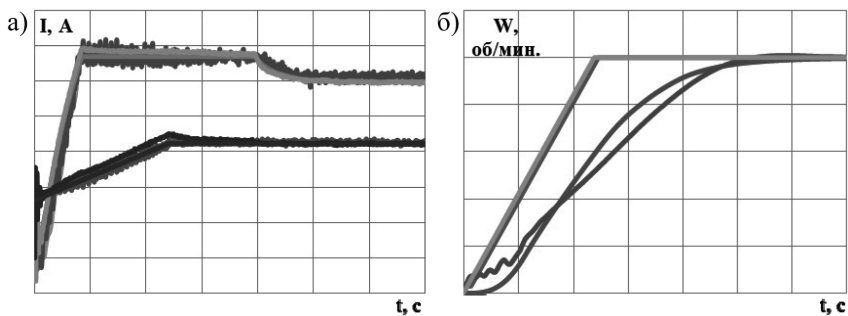


Рис. 5. Сравнение переходных процессов при пуске двигателя, полученных экспериментально и на математической модели: по току (а); по скорости (б)

ние справедливо для моделей проектируемых систем (т.е. если реальная система физически не существует).

Во многих случаях необходимо иметь формальное обоснование адекватности созданной модели. Один из наиболее удобных способов такого обоснования — использование методов математической статистики. Сущность этих методов заключается в проверке выдвинутой гипотезы (в данном случае — адекватности модели) на основании некоторых статистических критериев. При проверке гипотез методами математической статистики необходимо иметь в виду, что статистические критерии не могут доказать ни одной гипотезы — их основное предназначение — указать на отсутствие опровержения.

Процедура оценки адекватности моделей основана на сравнении измерений на реальной системе и результатов экспериментов на моделях, она может проводиться различными способами. Наиболее значимые из них:

- по средним значениям данных откликов модели и системы;
- по дисперсиям отклонений данных откликов модели от среднего значения данных откликов системы;
- по максимальному значению относительных отклонений откликов модели от откликов системы.

Названные способы оценки достаточно похожи, поэтому ограничимся рассмотрением метода сравнения по средним значениям данных откликов модели и системы. При этом способе проверяется гипотеза о близости среднего значения наблюдаемой переменной среднему значению отклика реальной системы.

В результате экспериментов на модели получают множество значений наблюдаемой переменной (предиктора), затем из числа опытов на реальной системе выбирают множество значений (выборку). Вычисляются оценки математического ожидания и дисперсии откликов модели и системы, после чего выдвигается гипотеза о близости средних значений величин (в статистическом смысле). Базой для проверки гипотезы является  $t$ -статистика (распределение Стьюдента). Ее значение, вычисленное по результатам испытаний, сравнивается с критическим значением, взятым из справочной таблицы.

Стоит отметить, что подобные методы применимы лишь в том случае, когда оценивается адекватность модели физической существующей системе. На проектируемой системе провести натурные измерения, естественно, не всегда представляется возможным. Единственный способ провести хоть какие-либо измерения заключается в том, чтобы принять в качестве эта-

лонного объекта концептуальную модель проектируемой системы. Тогда оценка адекватности программно-реализованной модели заключается в проверке ее корректности отражения концептуальной модели, и в этом случае гипотеза принимается. Необходимо еще раз подчеркнуть, что статистические методы применимы только в том случае, если оценивается адекватность модели существующей системе.

### **Оценка адекватности математической модели**

Оценка адекватности математической модели асинхронного электропривода реальному объекту проводится методом статистического исследования влияния предикторов на критериальные переменные.

Рассмотрен процесс формирования математической модели асинхронного двигателя в составе электроприводов опасных производственных объектов.

Обеспечение отказоустойчивого управления со свойством живучести асинхронного электропривода предполагает разработку алгоритмов восстановления работоспособности с полным или частичным восстановлением работоспособности с круговым вращающимся полем.

Расчет модели проводился в среде Matlab Simulink. Адекватность предложенной математической модели была оценена путем сравнения расчетных и экспериментальных данных, полученных при помощи автоматизированного испытательного стенда. Расхождение расчетных данных и данных натуральных испытаний составляет 2–4%, что заметно выше результатов, получаемых другими существующими методами идентификации параметров.

### **Заключение**

Применение векторного управления позволяет посредством изменения амплитуды и фазы питающего напряжения напрямую управлять электромагнитным моментом электродвигателя. Для векторного управления асинхронным двигателем следует сначала привести его к упрощенной двухполюсной машине, которая имеет две обмотки на статоре и роторе, в соответствии с этим имеются системы координат, связанные со статором, ротором и полем.

Векторное управление подразумевает наличие в звене управления математической модели регулируемого электродвигателя. Механические характеристики, полученные при натуральных

испытаниях и расчетные механические характеристики, полученные при работе описанной математической модели, подтверждают теоретические сведения о векторном управлении. Модель адекватна и может применяться для дальнейших экспериментов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Боловин Е. В.* Критический экспертный анализ методов идентификации параметров асинхронных двигателей // Научный вестник НГТУ. – 2015. – т. 58. – № 1. – С. 7–27.
2. *Виноградов А. Б.* Векторное управление электроприводами переменного тока. – Иваново, 2008. – 297 с.
3. *Копылов И. П.* Электрические машины. – М.: Высшая школа. – 242 с.
4. *Козярук А. Е., Рудаков Р. В.* Современное и перспективное алгоритмическое обеспечение частотно-регулируемых электроприводов / Под общ. ред. А. Г. Народицкий. – СПб.: Санкт-Петербургская Электротехническая компания, 2002. – 88 с.
5. *Усолицев А. А.* Частотное управление асинхронными двигателями. Учебное пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. – 94 с. **ГИАБ**

#### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Ефименко Сергей Владимирович*<sup>1</sup> – ассистент, e-mail: falcon.servey@yandex.ru,  
*Татарин Денис Евгеньевич*<sup>1</sup> – ассистент, e-mail: tde90@yandex.ru,  
*Клавдиев Александр Александрович*<sup>1</sup> – кандидат технических наук, доцент, e-mail: kssl1959@mail.ru,  
*Трушников Вячеслав Евстафьевич*<sup>1</sup> – доктор технических наук, профессор, e-mail: tvye@yandex.ru,  
<sup>1</sup> Санкт-Петербургский горный университет.

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 2, pp. 62–74.

UDC  
621.313.333:  
519.718

#### **S.V. Efimenko, D.E. Tatarinov, A.A. Klavdiev, V.E. Trushnikov REASONS FOR THE VALUATION METHOD OF ADEQUACY OF MODELS OPERATION MODES OF ASYNCHRONOUS ELECTROMOTORS WITH VECTORIAL MANAGEMENT SYSTEM**

The mathematical model of the asynchronous electric drive with vectorial management system is probed. The model allows to estimate electromechanical processes in the electric drive by its operation. Results of simulation of mechanical and electrical transient phenomena are given. Comparing of transient phenomena of rotating speed and the current of the stator in the electric drive received experimentally by means of the test bench and a simulation model in a software environment of Matlab Simulink is executed. Assessment of adequacy of a mathematical model of the asynchronous electric drive to a real object is made by method.

Key words: asynchronous electric drive, independent inverter of tension, vectorial management system, adequacy of a mathematical model.

## AUTHORS

*Efimenko S.V.*<sup>1</sup>, Assistant, e-mail: falcon.sergey@yandex.ru,  
*Tatarinov D.E.*<sup>1</sup>, Assistant, e-mail: tde90@yandex.ru,  
*Klavdiev A.A.*<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences,  
Assistant Professor, e-mail: kss1959@mail.ru,  
*Trushnikov V.E.*<sup>1</sup>, Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: tyve@yandex.ru,  
<sup>1</sup> Saint-Petersburg Mining University, 199106, Saint-Petersburg, Russia.

## REFERENCES

1. Bolovin E. V. *Nauchnyy vestnik NGTU*. 2015, vol. 58, no 1, pp. 7–27.
2. Vinogradov A. B. *Vektornoe upravlenie elektroprivodami peremennogo toka* (Vector control of AC drives), Ivanovo, 2008, 297 p.
3. Kopylov I. P. *Elektricheskie mashiny* (Electrical machines), Moscow, Vysshaya shkola, 242 p.
4. Kozyaruk A. E., Rudakov R. V. *Sovremennoe i perspektivnoe algoritmicheskoe obezpechenie chastotno-reguliruemyykh elektroprivodov*. Pod red. A. G. Naroditskiy (Current and advanced algorithmic support of variable frequency drives, A. G. Naroditskaya (Ed.)), Saint-Petersburg, Sankt-Peterburgskaya Elektrotehnicheskaya kompaniya, 2002, 88 p.
5. Usol'tsev A. A. *Chastotnoe upravlenie asinkhronnymi dvigatelyami*. Uchebnoe posobie (Variable-frequency control over asynchronous motor drives. Educational aid), Saint-Petersburg, SPbGU ITMO, 2006, 94 p.



## ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

### БЕЗОПАСНОСТЬ И УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ В ГОРНОМ ДЕЛЕ

*Баловцев С.В., Воробьева О.В., Монастырев Н.Н., Кривошеева С.И., Копылова А.В., Кравцова Е.А.*

Освещены вопросы управления промышленной безопасностью при строительстве подземных сооружений и горных предприятий и добыче полезных ископаемых открытым и подземным способом. Рассмотрены актуальные вопросы информационно-аналитического обеспечения анализа и оценки рисков. Представлены проблемы эффективного управления рисками при строительстве подземных сооружений мегаполисов в условиях экономического кризиса. Приведен комплекс мероприятий, направленный на снижение травматизма и профессиональных заболеваний на горнодобывающих предприятиях. Представлена оценка эффективности средств пылеподавления.

Ключевые слова: промышленная безопасность, строительство подземных сооружений, управление рисками, строительный риск, экономический риск, производственный риск, управленческие решения, источники информации, горнодобывающее предприятие, карьер, травматизм, профессиональные заболевания, средства пылеподавления, гидро-снежно-ледяная забойка.

### SAFETY AND RISK MANAGEMENT IN MINING

*Balovnev S.V., Vorob'eva O.V., Monastirev N.N., Krivosheeva S.I., Kopylov A.V., Kravtsova E.A.*

The issues of industrial safety management in construction of underground structures and mining enterprises and mining of minerals open and underground method. They discussed topical issues of information and analytical support of analysis and risk assessment. Presents challenges to effective risk management in the construction of underground structures of cities in terms of economic crisis. The complex of measures aimed at reducing accidents and occupational diseases in mining. The estimation of efficiency of means of dust suppression.

Key words: industrial safety, construction of underground facilities, risk management, construction risk, economic risk, operational risk, management decisions, sources of information, mining company, quarry, injuries, occupational diseases, means of dust suppression, hydro-ice-and-snow stopper.