

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ МАШИН И ТЕХНОЛОГИЙ С АСИНХРОННЫМИ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

А.Е. Козярук, Б.Ю. Васильев

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», г. Санкт-Петербург

Рассмотрены методы и структуры асинхронного электропривода, обеспечивающие повышение энергоэффективности машин и механизмов, использующих электроприводы. Проанализированы следующие методы и средства повышения энергоэффективности асинхронный электроприводов: рациональный выбор электрооборудования электроприводов; уменьшение потерь в приводных электродвигателях; уменьшение потерь в питающих сетях; переход от нерегулируемого электропривода к регулируемому. Показано, что вопрос обеспечения высокого уровня электромагнитной и энергетической совместности является определяющим при разработке методов и средств повышения энергоэффективности машин и технологий с асинхронными электроприводами. Первый аспект заключается в минимизации высокочастотных гармоник в сети электроснабжения, источником которых является преобразователь частоты. Второй аспект заключается в обеспечении работы асинхронного электропривода с единичным коэффициентом мощности. Приведен пример использования рассмотренных методов и средств при реализации многодвигательного регулируемого электропривода главных механизмов экскаватора.

Ключевые слова: электропривод, асинхронный двигатель, активный выпрямитель, энергоэффективность.

Введение. Опыт создания и эксплуатации электроприводов для различных машин и технологий показал, что за прошедшие 180 лет с момента создания первого двигателя (двигатель постоянного тока – двигатель Якоби Б.С.), асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором надежнее и дешевле всех электрических двигателей, практически не требуют ухода, и электроприводы на их основе (при решении задач эффективного регулирования с обеспечением высокого коэффициента мощности) являются наиболее эффективным для машин, механизмов и технологий с тяжелыми условиями эксплуатации.

Выбор методов и средств повышения энергоэффективности машин и технологий с асинхронным электроприводом является актуальнейшей задачей и ему посвящено множество публикаций в учебной и научно-технической литературе [1–5].

Перечислим и рассмотрим более подробно основные принципы экономии энергии в электроприводе и средствами электропривода.

Разделим возможные ситуации на две большие группы:

- регулирование скорости не используется;
- нерегулируемый электропривод заменяется регулируемым.

В первой группе основная возможность влиять на энергетические процессы – правильный выбор основного оборудования, в первую очередь, электродвигателя и редуктора, если он используется, а также применение некоторых мероприятий, снижающих потери.

Выбор электрооборудования. Важным резервом энергосбережения служит правильный выбор основного электрооборудования в простейшем

самом массовом и энергоемком нерегулируемом электроприводе.

Европейские эксперты считают, что средний коэффициент использования двигателей (отношение средней мощности за цикл к номинальной) составляет 0,6.

Создан пакет программ для массового электропривода переменного тока, позволяющих решать задачи выбора и проверки асинхронных двигателей, оценивать их характеристики при отклонении напряжения от нормы, определять срок службы в различных условиях их работы и т. д.

Уменьшение потерь в двигателях. В мировой практике с середины 1970-х годов активно пропагандируется использование энергосберегающих двигателей (*Energy Efficient Motors – EEM*).

Идея очень проста: в асинхронный двигатель закладывается на 25...30 % больше активных материалов (железа, меди, алюминия), за счет чего на 30 % снижаются потери, и возрастает КПД – на 5 % в небольших двигателях (единицы кВт) и на 1 % в двигателях 70...100 кВт. Цена двигателя обычно увеличивается на 20...30 %, срок окупаемости по данным европейских экспертов составляет около двух лет.

Существует множество восторженных публикаций, относящихся к ЕЕМ. Особенно широкой размахом кампания по продвижению ЕЕМ на рынок приобрела в 1990-е годы в США. Десятки фирм – производителей ЕЕМ – используют развитую прикладную компьютерную программу Motor Master+, облегчающую пользователям выбор нужных энергосберегающих двигателей для замены установленных. Широко рекламируется достигаемый эффект – экономия около 5 % электроэнергии, в этом

процессе участвует Министерство энергетики США, организован ряд специальных программ и т. д. Однако это направление содержит ряд спорных обстоятельств.

Во-первых, речь идет о нерегулируемом электроприводе, т. е. сэкономив несколько процентов на потерях в двигателе, в самых массовых и энергоемких применениях (насосы, вентиляторы и т. д.) можно продолжать терять в десятки раз больше в агрегатах, обслуживаемых электроприводом.

Во-вторых, расчетная экономия будет достигаться лишь при мало меняющейся и близкой к номинальной нагрузке. При резко переменной нагрузке, например, при значительной доле холостого хода в цикле, экономия будет существенно меньше расчетной.

В-третьих, экономия может быть заметной (рекламируемые 4...5 %), если все элементы силового канала правильно выбраны и настроены.

Уменьшение потерь в питающих сетях.

Проблема потерь мощности возникает за счет низкого, особенно при малых нагрузках, коэффициента мощности, в силу чего ток, протекающий в питающих линиях, трансформаторах, выше тока, связанного с активной мощностью, следовательно, выше и потери в линиях.

Проблема компенсации реактивной мощности традиционно пользуется большим вниманием в отечественной практике. Найдены и применяются различные технические решения (переключаемые конденсаторные батареи, синхронные компенсаторы, фильтрокомпенсирующие устройства и т. д.).

Однако большинство этих приемов ориентированы на нерегулируемый, а иногда и сильно недогруженный электропривод с асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором. Достигаемый эффект может оказаться несопоставимо меньше убытков от использования нерегулируемого электропривода.

К другим способам энергосбережения в нерегулируемом электроприводе можно отнести: снижение времени холостого хода; переключение обмоток по схемам Δ - Y на время холостого хода или малых нагрузок; изменение типа торможения в электроприводах с частыми пусками и торможениями.

Переход от нерегулируемого электропривода к регулируемому. Этот переход является генеральным направлением энергосбережения, принятым во всем мире и дающим наибольший эффект как в части экономии электроэнергии, так и в других показателях технологического процесса.

Для этого в силовой канал включается дополнительный элемент – преобразователь электрической энергии, подающий к асинхронному двигателю напряжение с регулируемой амплитудой и частотой. В результате обеспечивается подача ко-

нечному потребителю необходимой мощности $P_{\text{вых}}$ и исключаются большие потери в задвижке.

Следует подчеркнуть, что в рассматриваемом случае наряду с главным эффектом – существенным снижением потерь в технологической машине, обслуживаемой электроприводом, и в других элементах силового канала достигается ряд дополнительных, часто не менее важных эффектов: рационализируется весь технологический процесс, экономятся другие ресурсы, увеличивается срок службы основного оборудования, снижается шум и т. д.

Здесь особенно существенен выбор рационального с технической и экономической точек зрения способа управления величиной (величинами), образующей мощность, потребляемую технологической машиной.

Сейчас ситуация радикально изменилась: на рынке появились совершенные и доступные электронные преобразователи частоты. Они выпускаются десятками зарубежных и отечественных фирм, имеют практически одинаковую структуру (выпрямитель – фильтр – автономный широтно-импульсный инвертор (ШИМ – инвертор)) и развитую систему микропроцессорного управления, обеспечивающую широкие функциональные возможности, надежную защиту привода и другие пользовательские функции. Именно эти устройства произвели переворот в современном электроприводе и стали основными (и пока практически единственным) средствами реализации высококачественного регулируемого асинхронного электропривода в массовых применениях.

Становятся малоэффективными и многоскоростные асинхронные двигатели. Они тяжелы, дороги, требуют много переключающей аппаратуры, стоимость привода соизмерима со скоростью системы преобразователь частоты – серийный двигатель.

Итак, система «электронный преобразователь частоты – асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором» становится главным на ближайшие годы техническим решением массового регулируемого электропривода. Она особенно привлекательна на стадии модернизации, так как сохраняется все существующее оборудование, но между сетью и двигателем включается новый элемент – преобразователь частоты, радикально меняющий весь технический и экономический облик системы.

Энерго- и ресурсосбережение в электроприводе может обеспечиваться различными методами и средствами. При проектировании новых электроприводов рассматриваются, как правило, несколько вариантов, из которых должен быть выбран тот, который отличается наилучшими технико-экономическими показателями [6].

Вопрос энергосбережения средствами электропривода в механизмах и технологиях с венти-

ляторной нагрузкой подробно рассмотрен в технической литературе. Здесь будут рассмотрены вопросы повышения энергоэффективности за счет использования новых типов энергоэффективных асинхронных двигателей [7], а также методов и средств повышения коэффициента мощности и частотно-регулируемых электроприводах.

В качестве примера создания энергоэффективных асинхронных двигателей приведем информацию по созданию отечественных энергоэффективных асинхронных двигателей серии 7AVE.

Ведутся работы по повышению эксплуатационных свойств АЭД, например, реализация возможности пополнения смазки без разбора двигателя и без разагрегирования двигателя с рабочим механизмом. На базе серии 7AVE изготавливаются требуемые рынком необходимые модификации и специализированные исполнения по условиям окружающей среды, а также узкоспециализированные исполнения по конкретным применениям.

Актуальность внедрения энергоэффективной серии 7AVE заключается не только в том, что отечественный потребитель получает двигатели нового поколения, обладающие высоким КПД, большей надежностью, эргономичностью и высокой адаптацией для работы в частотно-регулируемом приводе. Не менее важными являются экономические преимущества, основанные на значительной экономии электроэнергии и оздоровлении экологической обстановки, за счет уменьшения выбросов в атмосферу углекислого газа при производстве электроэнергии. Ввиду повышения технического уровня двигателей основного исполнения и значительного разнообразия специализированных исполнений и модификаций повышается эффективность работы приводимых рабочих механизмов. Наконец, предотвращается тотальная зарубежная экспансия электродвигателей с низким техническим уровнем на Российском рынке. Значимым результатом является и развитие научного обеспечения при разработке новой серии. Следует назвать оригинальные идеи концептуального проектирования; уточнение целевых функций; развитие практических методов оптимизации; написание программ по исследованию статических и динамических режимов АЭД; развитие методов испытаний.

Для высокоэффективного электропривода машин и технологий производства предполагается следующая структура: асинхронный короткозамкнутый двигатель; силовой полупроводниковый преобразователь (коммутатор) инверторного типа с активным выпрямителем.

Задача регулирования энергетических показателей и обеспечения электромагнитной совместимости решается за счет алгоритма САУ (системы автоматического управления) электроприводом и активным выпрямителем. Специальных фильтрокомпенсирующих устройств не требуется. Струк-

тура и САУ электропривода обеспечивают рекуперацию энергии при торможении в сеть.

Практическое использование предложенных методов и средств повышения энергоэффективности. Система многодвигательного электропривода может быть построена с питанием инвертора от общей шины постоянного тока с регулированием энергетических показателей общим активным выпрямителем. Описанная структура и подходы использованы ОАО «Силовые машины» («Электросила») при создании и исследовании электромеханического оборудования экскаваторного электропривода. Испытания показали, что при использовании общего активного выпрямителя (общая мощность около 3500 кВА) коэффициент мощности составляет 0,98...1,00, коэффициент нелинейных искажений сетевого тока около 3,5 %.

В структуре САУ электропривода использован принцип векторного управления АД. В этих же публикациях и монографиях авторов [8–11] приведены алгоритмы и структуры реализации принципа «прямого цифрового управления ДТС» в контуре тока для повышения быстродействия электропривода и ограничения перегрузок по току (моменту). Алгоритмы формирования импульсов управления коммутаторами силового преобразователя, называемые далее «табличными алгоритмами», для перспективных систем управления асинхронным электроприводом с «прямым управлением моментом» приведены в [12].

Все наработки и предложения по созданию и использованию высокоэффективного асинхронного электропривода реализованы для экскаваторов ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г. Коробкова, группа ОМЗ [13–16]. Это уже эксплуатирующийся экскаваторы ЭКГ-32Р, и перспективные экскаваторы ЭКГ-50 с объемом ковша 45–70 м³.

На рис. 1 представлена схема силовой части электроприводов переменного тока экскаватора ЭКГ-32Р. Здесь использован общий активный выпрямитель (АВ), обеспечивающий питание инверторов исполнительных асинхронных двигателей, рекуперацию энергии в сеть в режимах торможения, обеспечение высокого значения коэффициента мощности и снижения уровня высших гармонических до значений, регламентируемых ГОСТ 32144-2013.

На рис. 2 представлена фотография экскаватора, уже более 2 лет успешно работающего на разрезе в Кузбассе. Идеология реализации и применения асинхронных электроприводов с активным выпрямителем для применения в машинах и технологиях минерально-сырьевого комплекса представлялись на конференции MPES в октябре 2013 года и представлены в трудах [17].

В результате можно утверждать, что энергоэффективность надежность машин и технологий с электроприводом можно обеспечить при

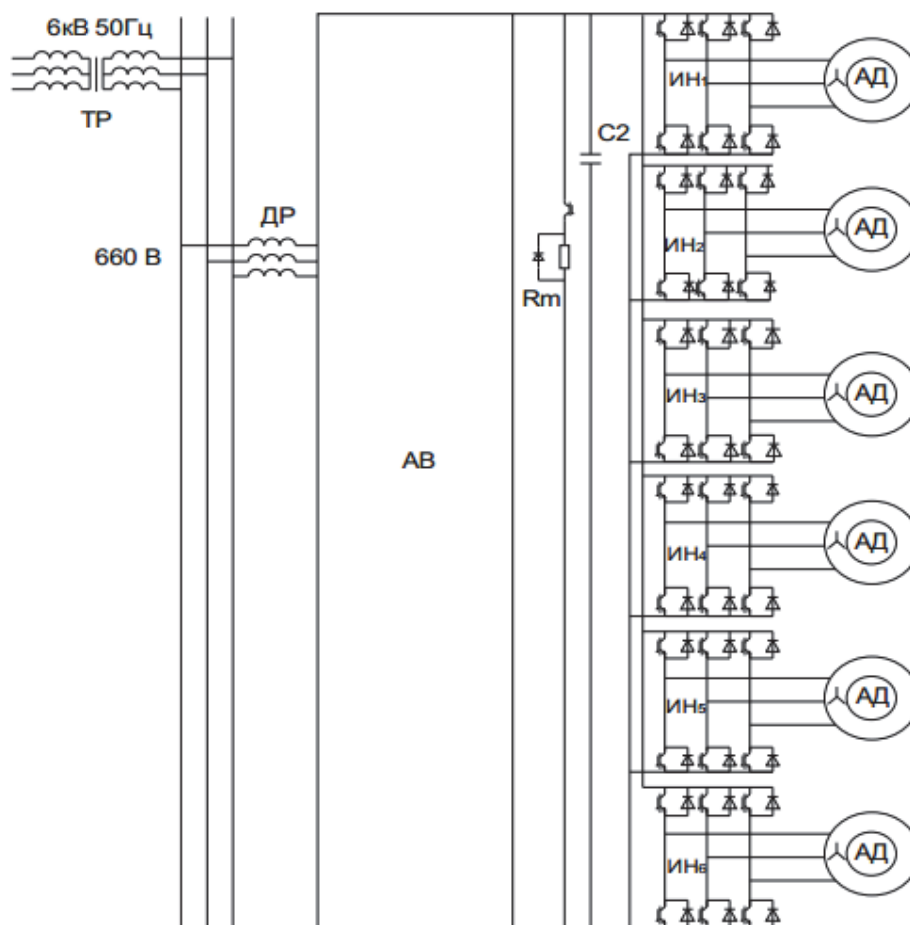


Рис. 1. Структурная схема электропривода главных механизмов экскаватора ЭКГ – 32: ТР – вводной трансформатор экскаватора; АВ – активный выпрямитель; ИН – инвертор напряжения; АД – асинхронный двигатель; ДР – дроссель; Rm – тормозной резистор



Рис. 2. Внешний вид экскаватора ЭКГ-32

использовании частотно-регулируемого электропривода с энергоэффективными асинхронными электродвигателями и преобразователями частоты (силовыми коммутаторами) с активным выпрямителем.

Литература

1. Ильинский, Н.Ф. *Электропривод: энерго- и ресурсосбережение* / Н.Ф. Ильинский, В.В. Москаленко. – М.: Академия, 2008. – 208 с.

2. Лезнов, Б.С. *Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздушных установках* / Б.С. Лезнов. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 256 с.

3. Васильев, Б.Ю. *Электропривод. Энергетика электропривода: учеб.* / Б.Ю. Васильев. – М.: СОЛОН-Пресс, 2015. – 268 с.

4. Браславский, И.Я. *Энергосберегающий асинхронный электропривод* / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишиматов, В.Н. Поляков; под ред. И.Я. Браславского. – М.: Академия, 2004 – 256 с.

5. Онищенко, Г.Б. *Электрический привод* / Г.Б. Онищенко. – М.: РАСХН, 2003 – 320 с.

6. *Инжиниринг электроприводов и систем автоматизации* / М.П. Белов, О.И. Зементов, А.Е. Козярук и др. – М.: Академия, 2006. – 368 с.

7. *Новая высокоэффективная серия асинхронных двигателей 7AVE, ее модификации и специализированные исполнения* / В.Я. Беспалов, А.С. Кобелев, О.В. Кругликов, Л.Н. Макаров // Труды VIII Международ. (XIX Всерос.) науч.-техн. конф. по автоматизир. электроприводу. – Саранск, 2014. – С. 239–243.

8. Васильев, Б.Ю. *Эффективные алгоритмы управления полупроводниковыми преобразователями в асинхронных электроприводах* / Б.Ю. Васильев, В.С. Добуш // *Электричество*. – 2014. – № 4. – С. 54–61.

9. Васильев, Б.Ю. *Эффективность управления электроприводом переменного тока с прямым управлением моментом* / Б.Ю. Васильев // *Изв. высш. учеб. заведений. Электромеханика*. – 2014. – № 1. – С. 71–75.

10. Vasilev, B. *Structure and three-level inverter control algorithm electric power facilities*

transportation of hydrocarbons / B. Vasilev // *Electrotechnic and computer systems*. – 2014. – № 15 (91). – P. 220–223.

11. Kozyaruk, E. *Structure, composition, and control algorithms of high-efficiency electric drives of gas-compressor units* / E. Kozyaruk, B.Yu. Vasil'ev // *Russian Electrical Engineering*. February. – 2013. – Vol. 84. – Iss. 2. – P. 94–102. DOI: 10.3103/S1068371213020077

12. Козярук, А.Е. *Прямое управление моментом в электроприводе переменного тока машин и механизмов горного производства* / А.Е. Козярук, В.В. Рудаков. – СПб.: СПбГГУ, 2008. – 99 с.

13. Васильев, Б.Ю. *Повышение эффективности асинхронных электроприводов с прямым управлением моментом* / Б.Ю. Васильев, А.Е. Козярук // *Вестник ЮУрГУ. Сер. «Энергетика»*. – 2013. – Т. 13, № 2. – С. 75–85.

14. Пронин, М.В. *Силовые полностью управляемые полупроводниковые преобразователи (моделирование и расчет)* / М.В. Пронин, А.Г. Воронцов; под ред. Е.А. Крутякова. – СПб.: Электросила, 2003. – 172 с.

15. Козярук, А.Е. *Направления повышения эффективности эксплуатации экскаваторно-автомобильных комплексов на открытых горных работах* / А.Е. Козярук, С.И. Таранов, А.В. Самозадов // *Горное оборудование и электромеханика*. – 2014. – № 1. – С. 6–11.

16. Васильев, Б.Ю. *Автоматизированный электропривод объектов минерально-сырьевого комплекса (применение, моделирование, исследование)* / Б.Ю. Васильев. – СПб.: Нац. минерально-сырьевой ун-т «Горный», 2014. – 139 с.

17. Козярук, А.Е. *Унифицированные энергоэффективные электромеханические системы электропривода экскаваторно-транспортного комплекса* / А.Е. Козярук, С.И. Таранов // *Электротехнические системы и комплексы*. – 2014. – № 1 (22). – С. 4–6.

18. Kozyaruk, A.E. *Growth Directions of the Electric Drive of the Mining and Transport Complex and Control and Diagnostic Systems of Electromechanical Equipment* / A.E. Kozyaruk // *Proceedings of the 22nd MPES Conference*. – Dresden, Germany, 2013. – P. 1215–1220. DOI: 10.1007/978-3-319-02678-7_117

Козярук Анатолий Евтихевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Электротехника, электроэнергетика, электромеханика», Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», г. Санкт-Петербург; kozjaruk@mail.ru.

Васильев Богдан Юрьевич, канд. техн. наук, кафедра «Электротехника, электроэнергетика, электромеханика», Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», г. Санкт-Петербург; vasilev.bu@mail.ru.

Поступила в редакцию 18 января 2015 г.

METHODS AND TOOLS INCREASING ENERGY EFFICIENCY OF MACHINES AND TECHNOLOGIES WITH ASYNCHRONOUS DRIVES

A.E. Kozyaruk, National Mineral Resources University, St. Petersburg, Russian Federation, kozyaruk@mail.ru,

B.Yu. Vasiliev, National Mineral Resources University, St. Petersburg, Russian Federation, vasilev.bu@mail.ru

The paper considers methods and structures of asynchronous drive providing increased energy efficiency of machines and mechanisms with electric drives. The authors performed analysis of the following methods and tools increasing energy efficiency of asynchronous drives: rational choice of electrical equipment of electric drives; loss reduction in electric drive motors; loss reduction in power lines; transition from non-controlled electric drive to controlled one. It is shown that assurance of high electromagnetic and energetic compatibility is primary for development of methods and tools increasing energy efficiency of machines and technologies with asynchronous drives. The first aspect involves minimization of high-order harmonics that exist in power network due to frequency converter. The second aspect involves ensured functioning of unity-power asynchronous drive. The authors describe example use of considered methods and tools at embodiment of multimotor controlled electric drive of the main machinery of the excavator.

Keywords: electric drive, asynchronous drive, active rectifier, energy efficiency.

References

1. Il'inskiy N.F., Moskalenko V.V. *Elektroprivod: energo- i resursoberezhenie* [Electro Energy and Resource Efficiency]. Moscow, Akademiya Publ., 2008. 208 p.
2. Leznov B.S. *Energoberezhenie i reguliruemyy privod v nasosnykh i vozdushnykh ustanovkakh* [Energy Saving and Adjustable Drive in Pump and Air Units]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 2006. 256 p.
3. Vasil'ev B.Yu. *Elektroprivod. Energetika elektroprivoda* [Electric Drive. Energy Electric]. Moscow, SOLON-Press, 2015. 268 p.
4. Braslavskiy I.Ya., Ishmatov Z.Sh., Polyakov V.N. *Energoberegayushchiy asinkhronnyy elektroprivod* [Energy-Efficient Asynchronous Electric Drive]. Moscow, Akademiya Publ., 2004. 256 p.
5. Onishchenko G.B. *Elektricheskiy privod* [Electric Drive]. Moscow, RASKhN Publ., 2003. 320 p.
6. Belov M.P., Zementov O.I., Kozyaruk A.E. *Inzhiniring elektroprivodov i sistem avtomatizatsii* [Engineering of Electric Drives and Automation Systems]. Moscow, Akademiya Publ., 2006. 368 p.
7. Bespalov V.Ya., Kobelev A.S., Kruglikov O.V., Makarov L.N. [The New Series of High-Performance Asynchronous Motors 7AVE, its Modifications and Specialized Execution]. *Trudy VIII Mezhdunarodnoy (XIX Vserossiyskoy) nauchno-tekhnicheskoy konferentsii po avtomatizirovannomu elektroprivodu* [Proceedings of the VIII International (XIX All-Russia) Scientific and Technical Conference on Automated Electric]. Saransk, 2014, pp. 239–243. (in Russ.)
8. Vasil'ev B.Yu., Dobush V.S. [Effective Control Algorithms Semiconductor Converters in Asynchronous Electric Drive]. *Electrical Technology Russia*, 2014, no. 4, pp. 54–61. (in Russ.)
9. Vasil'ev B.Yu. [Management Efficiency AC Drive with Direct Torque Control]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Elektromekhanika*, 2014, no. 1, pp. 71–75. (in Russ.)
10. Vasil'ev B. Structure and Three-Level Inverter Control Algorithm Electric Power Facilities Transportation of Hydrocarbons. *Electrotechnic and computer systems*, 2014, no. 15 (91), pp. 220–223.
11. Kozyaruk E., Vasil'ev B.Yu. Structure, Composition, and Control Algorithms of High-Efficiency Electric Drives of Gas-Compressor Units. *Russian Electrical Engineering*, 2013, vol. 84, iss. 2, pp. 94–102. DOI: 10.3103/S1068371213020077
12. Kozyaruk A.E., Rudakov V.V. *Pryamoe upravlenie momentom v elektroprivode peremennogo toka mashin i mekhanizmov gornogo proizvodstva* [Torque Control in AC Drives and Machinery Mining Production]. St. Petersburg, St. Petersburg State University, 2008. 99 p.
13. Vasil'ev B.Yu., Kozyaruk A.E. [Increase of Efficiency Induction Motor with Direct Torque Control]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, vol. 13, no. 2, pp. 75–85. (in Russ.)
14. Pronin M.V., Vorontsov A. G., Krutyakova E.A. (ed.) *Silovye polnost'yu upravlyaemye poluprovodnikovye preobrazovateli (modelirovanie i raschet)* [Power Fully Controllable Semiconductor Converters (Modeling and Calculation)]. St. Petersburg, Elektrosila Publ., 2003. 172 p.

15. Kozyaruk A.E., Taranov S.I., Samolazov A.V. [Ways to Improve the Operational Efficiency of Excavator-Automobile Complexes of Open Cast Mining]. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika* [Mining Equipment and Electromechanics], 2014, no. 1, pp. 6–11. (in Russ.)

16. Vasil'ev B.Yu. *Avtomatizirovannyy elektroprivod ob"ektov mineral'no-syr'evogo kompleksa (primeneniye, modelirovaniye, issledovaniye)* [Electric Objects Mineral Complex (Application, Modeling, Research)]. St. Petersburg, National Mineral Resources University Publ., 2014. 139 p.

17. Kozyaruk A.E., Taranov S.I. [Uniform Energy-Efficient Electromechanical Drive System Excavator-Transport Complex]. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrical Systems and Complexes], 2014, no. 1 (22), pp. 4–6. (in Russ.)

18. Kozyaruk A.E. Growth Directions of the Electric Drive of the Mining and Transport Complex and Control and Diagnostic Systems of Electromechanical Equipment / Mine Planning and Equipment Selection. *Proceedings of the 22nd MPES Conference*, Dresden, Germany, 2013, pp. 1215–1220. DOI: 10.1007/978-3-319-02678-7_117

Received 18 January 2015

БИБЛИОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СТАТЬИ

Козярук, А.Е. Методы и средства повышения энергоэффективности машин и технологий с асинхронными электроприводами / А.Е. Козярук, Б.Ю. Васильев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2015. – Т. 15, № 1. – С. 47–53. DOI: 10.14529/power150106

REFERENCE TO ARTICLE

Kozyaruk A.E., Vasiliev B.Yu. Methods and Tools Increasing Energy Efficiency of Machines and Technologies with Asynchronous Drives. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2015, vol. 15, no. 1, pp. 47–53. (in Russ.) DOI: 10.14529/power150106
