

УДК 621.316.717

СИСТЕМЫ ПЛАВНЫХ ПУСКОВ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ

А. А. Ткачук, В. К. Кривовяз

ЗАО «Автоматизированные системы и комплексы»

ул. Студенческая, 1, г. Екатеринбург, 620137, Россия. E-mail: tkachuk@asc-ural.ru

Приведены результаты применения тиристорных преобразователей для плавного пуска высоковольтных асинхронных и синхронных электроприводов механизмов центробежного принципа действия мощностью до 4 МВт.

Ключевые слова: плавный пуск, тиристорный преобразователь.

СИСТЕМИ ПЛАВНОГО ПУСКУ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ВІДЦЕНТРОВИХ МЕХАНІЗМІВ

А. А. Ткачук, В. К. Кривов'яз

ЗАТ «Автоматизовані системи та комплекси»

вул. Студентська, 1, м. Єкатеринбург, 620137, Росія. E-mail: tkachuk@asc-ural.ru

Наведено результати застосування тиристорних перетворювачів для плавного пуску високовольтних асинхронних та синхронних електроприводів механізмів центробіжного принципу дії потужністю до 4 МВт.

Ключові слова: плавний пуск, тиристорний перетворювач.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Нерегулируемый по скорости электропривод (ЭП) переменного тока является наиболее массовым во всех отраслях промышленности и в энергетике. При этом самым ответственным режимом работы нерегулируемых ЭП является пуск в работу. Это особенно актуально при пуске высоковольтных асинхронных и синхронных двигателей с номинальным напряжением 3, 6 и 10 кВ. Двигатели такого класса напряжения являются довольно энергоёмкими объектами. Иногда мощность единичного двигателя соизмерима с мощностью питающей сети или трансформаторной подстанции. Поэтому обеспечение плавного пуска, ограничение пусковых токов и рационализация включений/отключений такого рода ЭП является весьма актуальной задачей [1, 3, 4].

Благодаря прогрессу в области разработки и массового производства силовых полупроводниковых приборов снижается их стоимость и значительно расширяется область использования различных устройств на их базе. Тиристорные высоковольтные преобразователи напряжения (ТПН) всё более широко применяются в качестве устройств плавного пуска высоковольтных ЭП [5, 6]. Высокие технико-экономические показатели получают при плавном пуске мощных электроприводов механизмов центробежного принципа действия: насосов, вентиляторов, компрессоров и т.п. [7, 8].

Показатели экономической эффективности, при сохранении всех положительных характеристик индивидуального ЭП, повышаются при использовании тиристорного преобразователя напряжения для плавного пуска группы высоковольтных двигателей центробежных механизмов (ЦМ). В этом случае достаточно одного ТПН для поочерёдного плавного пуска всех двигателей группы ЭП ЦМ [8, 9].

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

Обзор устройств плавного пуска. Постоянно возрастающий спрос на устройства плавного пуска вы-

соковольтных ЭП, относительная простота схемного решения при сопряжении с системой электроснабжения, высокий уровень автоматизации и надёжность в эксплуатации обусловили целесообразность разработки и серийного производства рядом предприятий комплектного электротехнического оборудования для плавного пуска как асинхронных, так и синхронных ЭП. К наиболее крупным производителям устройств плавного пуска относятся отечественные: ОАО «ВНИИР» (г. Чебоксары), ОАО «Электровыпрямитель» (г. Саранск); а также зарубежные: АББ, Солкон, Тошиба, Харьковский электромеханический завод и другие [9]. Изучение технических характеристик электротехнического оборудования для реализации систем плавного пуска различных фирм показал, что они в основном аналогичны и соответствуют современному уровню схемотехники подобного класса устройств. В качестве элементной базы, как правило, применяются силовые тиристоры высокого класса напряжения (6000–7000 В), которые соединяются в последовательные группы для достижения требуемого рабочего напряжения, вакуумная коммутационная аппаратура, микропроцессорная система управления, оптоволоконные средства передачи и потенциальной развязки сигналов между высоковольтным преобразователем и системой управления, бестрансформаторные цифровые датчики напряжения и т.п. [9, 10].

Обзор литературы и энергетическое обследование ряда предприятий позволило обосновать перечень параметров приводных высоковольтных двигателей для номинальных линейных напряжений 3, 6 и 10 кВ. Обоснована и разработана шкала типоразмеров серийно изготавливаемых ЗАО «АСК» групповых преобразователей типа ПАД–В–Г и ПСД–В–Г (табл. 1) и комплектных преобразователей типа ПАД–В–К и ПСД–В–К (табл. 2). Преобразователи для плавного пуска электроприводов переменного тока, разрабатываемых и производимых ЗАО «АСК», структурно и

по техническим характеристикам соответствуют аналогичным отечественным и зарубежным [11]. При этом есть и некоторые отличительные особенности. Используется силовая элементная база преимущественно отечественных производителей. Широко применяются материалы предприятий Уральского региона. Оригинальный алгоритм формирования автоматизированного плавного пуска обеспечивает простоту наладки, настройку на механизмы с различными механическими характеристиками и моментами инерции. Стоимость на 10–15 % ниже аналогичных отечественных устройств и на 40–50 % – зарубежных. Гарантийный срок эксплуатации пять лет. Имеется сертификат соответствия и разрешение федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору на применение на нефтепроводах, газопроводах и в горнодобывающей промышленности. Это достигнуто благодаря гармоничному сочетанию науки, разработки и производства, высокому уровню организации и стратегическому направлению ЗАО «АСК» на развитие отечественной техники и технологий.

Таблица 1 – Технические характеристики групповых преобразователей ПАД–В–Г и ПСД–В–Г

Номинальные параметры двигателей		
Линейное напряжение, кВ	Мощность, МВт	Ток, А
3	0,315; 0,63	80; 160
	0,8	250
6	1; 2	125; 250
	3,15; 5	400; 630
	6,3; 10	800; 1250
10	1,6; 3,15	125; 250
	5; 8	400; 630
	12,5	800

Таблица 2 – Технические характеристики комплектных преобразователей ПАД–В–К и ПСД–В–К

Номинальные параметры двигателей		
Линейное напряжение, кВ	Мощность, МВт	Ток, А
3	0,315; 0,4; 0,5; 0,63; 0,8	63; 80; 100; 150; 200
	0,315; 0,4; 0,5; 0,63; 0,8; 1,0	40; 50; 63; 80; 100; 125
	1,4; 1,8	160; 200

Принцип действия. Тиристорный преобразователь напряжения управляет основным потоком электрической энергии, которая поступает от источника питания силовых цепей к электродвигателю через мощные тиристорные ключи. Вентильные каскады преобразователя содержат высоковольтные тиристоры, необходимые защитные и делительные элементы. Система датчиков, диагностики и управления преобразователем реализована на современной широкодоступной микроэлектронной базе с применением микроконтроллеров и оптоволоконной техники. Помимо обеспечения плавного пуска, преобразователи обладают рядом дополнительных возможностей: автоматическое управление внешней коммутационной аппаратурой; измерение напряжения, тока, мощности и энергии электродвигателя; автоматическое форсирование напряжения (тока) при несостоявшемся запуске ЭП; имеет защитную блокировку от подачи высокого напряжения на ТПН при ошибочных действиях обслуживающего персонала; имеет обширный набор параметров, которые дают возможность конфигурирования для широких областей применения; имеет изолированные дискретные и аналоговые входы и выходы; выдаёт подробную информацию о состоянии электропривода на дисплей; имеет встроенный модуль передачи данных по шине PROFIBUS; имеет энергонезависимые часы реального времени и календарь для протоколирования ошибочных ситуаций. Преобразователь оснащён комплексом защиты системы от повышенного или пониженного напряжения сети, несимметрии напряжений и токов статора двигателя, неполнофазного режима работы, сверхтоков, замыкания на землю, коммутационных перенапряжений на тиристорах, дисбаланса вентильного каскада, перегрева и ухудшения вентиляции силового тиристорного модуля. Структура системы автоматического управления преобразователя может быть настроена для различных режимов пуска двигателей. Благодаря наличию универсального программируемого задатчика [2, 5, 6] может быть реализован любой алгоритм формирования управляющего воздействия: с обратной связью по току или напряжению; в разомкнутой системе по времени.

В качестве примера на рис. 1 приведена типовая схема электроснабжения высоковольтных асинхронных электроприводов центробежных механизмов с системой группового плавного пуска на базе тиристорного преобразователя напряжения типа ПАД–В–Г [8, 10]. На рис. 2 приведена типовая схема электроснабжения с применением комплектных преобразователей типа ПАД–В–К для двух вариантов исполнений: с индивидуальным или групповым питанием [11–13].

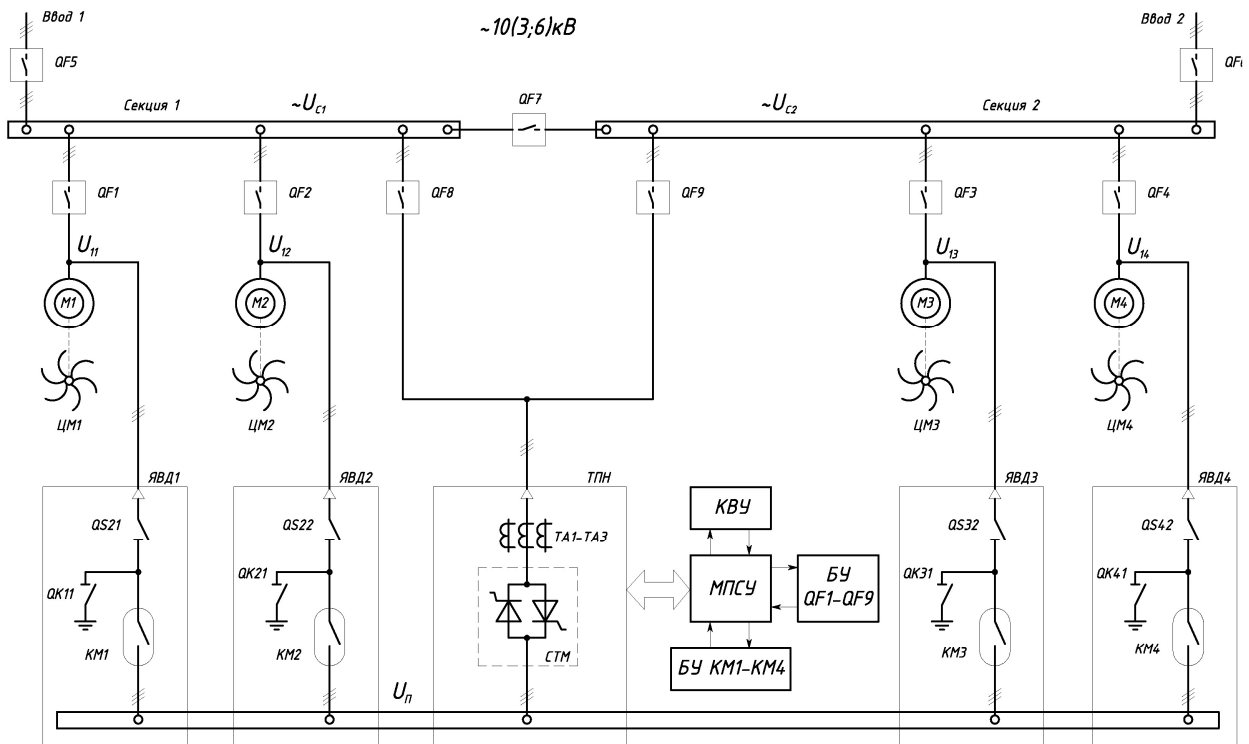


Рисунок 1 – Схема автоматизированного плавного пуска группы высоковольтных ЭП: ЦМ – центробежный механизм; ЯВД – ячейка выбора двигателей; ТПН – тиристорный преобразователь напряжения; КВУ – контроллер верхнего уровня; МПСУ – микропроцессорная система управления; БУ – блок управления

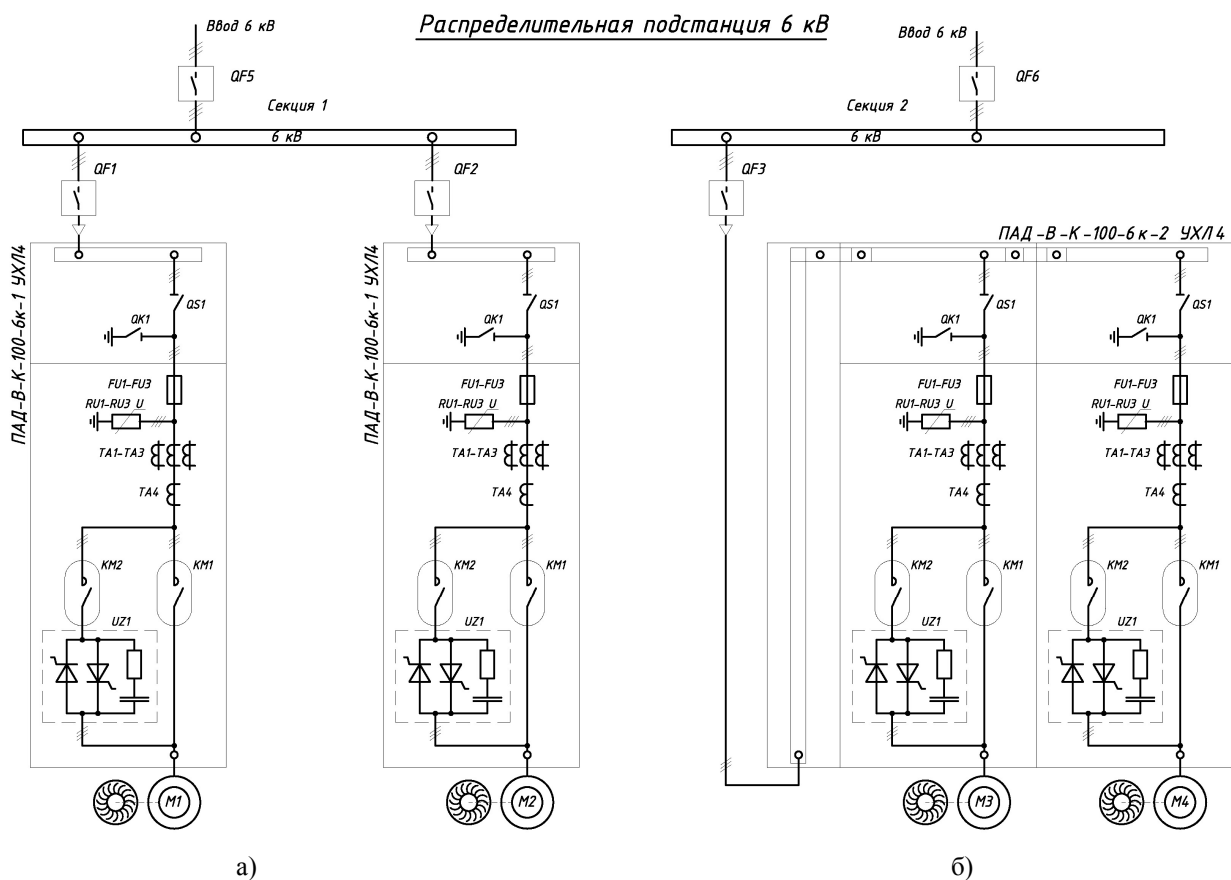


Рисунок 2 – Схема автоматизированного плавного пуска индивидуальных высоковольтных ЭП: а) вариант применения с индивидуальным питанием; б) вариант применения с групповым питанием

Внедрение. В настоящее время на предприятиях России и за рубежом ЗАО «АСК» реализовано несколько десятков проектов системы группового и индивидуального плавного пуска синхронных и асинхронных ЭП с использованием ТПН на напряжение сети 3, 6 и 10 кВ и мощностью двигателя от 0,25 до 4 МВт [11]. В табл. 3 приведены основные заказчики систем плавного пуска. Из всего шестилетнего опыта внедрения можно показать, что большое количество устройств плавного пуска устанавливается в системы энергоснабжения с недостаточной для прямого пуска мощностью. Это касается вновь вводимых объектов в устаревшую систему энергоснабжения. При этом главным критерием является снижение пусковых токов и удержание посадки напряжения на секциях шин в пределах допустимого ГОСТ 10 % уровня. Однако в другой группе механизмов с большим моментом инерции, к которым, например, относятся турбокомпрессоры, вентиляторы, дымососы, главным критерием является снижение динамического момента при старте с целью повышения эксплуатационного ресурса именно механизма.

Таблица 3 – География внедрения систем плавного пуска

Технические характеристики	Заказчики
Турбокомпрессоры 1600–3200 кВт	Уральская горно-металлургическая компания, Высокогорский горно-обогатительный комбинат, Сухоложскцемент, Таджикский алюминиевый завод
Погружные насосы 250 кВт	Уральская горно-металлургическая компания
Дымососы 800–1700 кВт	Северский трубный завод, Чусовской металлургический завод
Центробежные насосы 630–2100 кВт	Транснефть, Магнитогорский металлургический комбинат, Саутс-Ойл (Казахстан)
Плунжерные насосы 800 кВт	Верхнесалдинское металлургическое производственное объединение
Аглоэксгаустеры 4000 кВт	Новолипецкий металлургический комбинат

ВЫВОДЫ. За последние годы специалистами ЗАО «АСК» накоплен значительный опыт в разработке, производстве, внедрении и наладке высоко-

вольтных систем плавного пуска на базе ТПН. Системы в полной мере соответствуют предъявляемым требованиям, положительно зарекомендовали себя в эксплуатации и являются надёжными и конкурентоспособными изделиями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шубенко В.А., Браславский И.Я. Тиристорный асинхронный электропривод с фазовым управлением. – М.: Энергия, 1972. – 232 с.
2. Ткачук А.А., Копырин В.С., Бородацкий Е.Г. Унифицированная микроконтроллерная система управления тиристорными преобразователями напряжения / Материалы международной НТК «Наука и новые технологии в энергетике». – Павлодар: ПГУ им. С. Торайгырова, 2002. – С. 170–175.
3. Копырин В.С., Ткачук А.А., Бородацкий Е.Г. Преобразователь типа ПАД для плавного пуска асинхронного электропривода / Сб. докл. науч.-практ. семинара «Энергосберегающая техника и технологии». – Екатеринбург: Уральские выставки, 2002. – С. 60.
4. Ткачук А.А., Силуков А.Ю., Кривовяз В.К. Опыт применения преобразователя типа ПАД–В для плавного пуска высоковольтных двигателей / Сб. докл. науч.-практ. конф. «Проблемы и достижения в промышленной энергетике». – Екатеринбург: Уральские выставки, 2006. – С. 122–125.
5. Тиристорный преобразователь для плавного пуска высоковольтных асинхронных двигателей / А.А. Ткачук, В.К. Кривовяз, В.С. Копырин, А.Ю. Силуков // Силовая электроника. – 2007. – № 1.
6. Высоковольтный тиристорный преобразователь напряжения для плавного пуска электродвигателя переменного тока / А.А. Ткачук, В.К. Кривовяз, В.Н. Яковлев, В.С. Копырин / Сб. трудов Международной 14-й НТК «Электроприводы переменного тока». – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2007.
7. Ткачук А.А., Копырин В.С. Групповой плавный пуск высоковольтных синхронных электроприводов компрессорных станций // Электротехнический рынок. – 2007. – № 12.
8. Плавный пуск группы высоковольтных асинхронных электроприводов центробежных механизмов / А.А. Ткачук, В.К. Кривовяз, В.С. Копырин, А.Ю. Силуков // Силовая электроника. – 2008. – № 2.
9. Плавный пуск группы высоковольтных синхронных электроприводов центробежных механизмов / А.А. Ткачук, В.К. Кривовяз, В.С. Копырин, А.Ю. Силуков // Силовая электроника. – 2008. – № 3.
10. Плавный пуск группы высоковольтных асинхронных электроприводов центробежных механизмов / А.А. Ткачук, В.К. Кривовяз // Насосы & оборудование. – 2009. – № 2 (55).

11. Серия высоковольтных преобразователей для плавного пуска мощных электроприводов / А.А. Ткачук, В.К. Кривовяз // Известия ТулГУ. Технические науки. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2010. – Вып. 3, ч. 2.

12. Ткачук А.А. Повышение качества напряжения в системе электроснабжения предприятий при использовании плавного пуска электроприводов переменного тока / Сб. докл. науч.-практ. конф.

«Проблемы и достижения в промышленной энергетике». – Екатеринбург: Уральские выставки, 2011.

13. Ткачук А.А., Кривовяз В.К. Опыт разработки и внедрения преобразователей для плавного пуска высоковольтных электроприводов / Сб. трудов международной 15-й НТК «Электроприводы переменного тока». – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2012.

SOFTSTARTERS HIGH ELECTRIC CENTRIFUGAL MECHANISM

A. Tkachuk, V. Krivovyaz

CJSC "Automated systems and complexes"

ul. Studencheskaya, 1, Yekaterinburg, 620137, Russia. E-mail: tkachuk@asc-ural.ru

The results of use of thyristor converters for high-voltage soft starter of asynchronous and synchronous electric centrifugal principle mechanisms of action up to 4 MW.

Key words: soft start, thyristor converter.

REFERENCES

1. Shubenko V.A., Braslavsky I.J. *Thyristor phase asynchronous motor with control-it.* – M.: Energiya, 1972. – 232 p. [in Russian]

2. Tkachuk A.A., Kopyrin V.S., Borodatsky E.G. *Unified microcontroller system control thyristor converters for voltage* / International STC "Science and new technologies in the energy sector." – Pavlodar: PSU them. S. Toraigyrov, 2002. – PP. 170–175. [in Russian]

3. Kopyrin V.S., Tkachuk A.A., Borodatsky E.G. *PAD type converter for asynchronous electric starter* / Sat. Reports. Scientific-practical conference. Seminar "Energy Engineering and Technology". – Yekaterinburg: Ural Exhibitions, 2002. – P. 60. [in Russian]

4. Tkachuk A.A., Silukov A.Yu., Krivovyaz V.K. *Experience of using the ASP-type converter in high voltage soft starter motors* / Sat Reports. Scientific-practical conference. Conf. "Challenges and achievements in industrial power." – Yekaterinburg: Ural Exhibitions, 2006. – PP. 122–125. [in Russian]

5. Thyristor soft starter high-voltage asynchronous motors / A.A. Tkachuk, V.K. Krivovyaz, V.S. Kopyrin, A.Yu. Silukov // *Power electronics.* – 2007. – № 1. [in Russian]

6. *The high-voltage thyristor voltage soft starter motor AC* / A.A. Tkachuk, V.K. Krivovyaz, V.N. Yakovlev, V.S. Kopyrin / Sat. proceedings of the 14th International STC "Drives." – Yekaterinburg: Ural State Technical University, 2007. [in Russian]

7. Tkachuk AA., Kopyrin V.S. Group soft-start high-synchronous electric compressor stations // *Electrical Market.* – 2007. – № 12. [in Russian]

8. Soft start of high-voltage asynchronous electric centrifugal mechanisms / A.A. Tkachuk, V.K. Krivovyaz, V.S. Kopyrin, A.Yu. Silukov // *Power electronics.* – 2008. – № 2. [in Russian]

9. Soft start of high voltage synchronous electric rotary tools / A.A. Tkachuk, V.K. Krivovyaz, V.S. Kopyrin, A.Yu. Silukov // *Power electronics.* – 2008. – № 3. [in Russian]

10. Soft start of high-voltage asynchronous electric centrifugal mechanisms / A.A. Tkachuk, V.K. Krivovyaz // *Pumps & Equipment.* – 2009. – № 2 (55). [in Russian]

11. A series of high-voltage converters for high-power electric starter / A.A. Tkachuk, V.K. Krivovyaz // *Proceedings of the TSU. Engineering.* – Tula: Tula State University Publishing House, 2010. – Iss. 3, part 2. [in Russian]

12. Tkachuk A.A. *Improving the quality of electricity supply for the companies using starter motors AC* / Sat. Reports. Scientific-practical conference. Conf. "Challenges and achievements in industrial power." – Yekaterinburg: Ural Exhibitions, 2011. [in Russian]

13. Tkachuk A.A., Krivovyaz V.K. *The development and implementation of converters for high-voltage electric starter* / Sat. Proceedings of the International 15th STC "Drives." – Yekaterinburg: Ural State Technical University, 2012. [in Russian]

Стаття надійшла 13.07.2012.

Рекомендовано до друку
д.т.н., проф. Бештою О.С.