

УДК 62-833.6

**В. А. Барский**, д-р техн. наук,  
**Д. С. Курдюмов, А. В. Маляр**

### ВЫПРЯМИТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА ТЯГОВОГО ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ГРУЗОВЫХ ТЕПЛОВЗОВ

*Аннотация.* Представлены результаты разработки, изготовления и испытания выпрямительной установки тягового генератора для электропередачи переменного-постоянного тока магистральных тепловозов с реализацией поосного управления. Приведены результаты упрощения схемотехнических решений тяговых выпрямительных установок, а также новые подходы по повышению надежности электрооборудования электропередачи.

*Ключевые слова:* электропередача тепловоза, тяговый электропривод, выпрямительная установка, поосное регулирование, схемотехнические решения

**V. Barskiy, ScD.,**  
**D. Kurdyumov, A. Malyar**

### THE RECTIFIER UNIT OF TRACTION GENERATORS FOR FREIGHT LOCOMOTIVES

*Abstract.* The results of the design, manufacture and testing of the rectifier unit traction generator for AC-DC power transmission diesel locomotives with the individual axle control with anti-slip implementation. The results simplify circuit design traction rectifier units, as well as new approaches to increase the reliability of electrical power.

*Keywords:* power transmission, locomotive traction, rectifier unit, individual axle control with anti-slip, circuit solutions

**В. О. Барський**, д-р техн. наук,  
**Д. С. Курдюмов, А. В. Маляр**

### ВИПРЯМНА УСТАНОВКА ТЯГОВОГО ГЕНЕРАТОРУ ДЛЯ ВАНТАЖНИХ ТЕПЛОВЗІВ

*Анотація.* Представлені результати розробки, виготовлення та випробування випрямної установки тягового генератора для електропередачі змінно-постійного струму магистральних тепловозів з реалізацією поосного управління. Наведені результати спрощення схемотехнічних рішень тягових випрямних установок, а також нові підходи щодо підвищення надійності електрообладнання електропередачі.

*Ключові слова:* електропередача тепловоза, тяговий електропривод, випрямна установка, поосне регулювання, схемотехнічні рішення

#### Введение

В настоящее время ключевым направлением повышения пропускной способности грузового движения в РФ было выбрано направление на увеличение весовой нормы поезда. Как известно, доля электрифицированных железнодорожных магистралей значительно уступает количеству магистралей, на которых применяется тепловозная тяга.

Основным типом магистральных тепловозов на железных дорогах РФ принят 2ТЭ116У, который производится на предприятии ХК «Лугансктепловоз», г. Луганск, Украина. Тепловоз построен по классической схеме тягового электропривода с электропередачей переменного-постоянного тока. Отличительной особенностью электропривода тепловоза является регулирование каждой из 6 осей тепловоза, реализованное при помощи тиристорного 6-пульсного полностью управляемого 6-канального выпрямителя с применением микропроцессорной системы управления.

В выпрямительных установках, которые в настоящее время применяются на этих тепловозах, отмечен ряд недостатков – выход из строя силовых полупроводниковых приборов, а также блоков питания

собственных нужд, неудовлетворительное распределение токов между мостами в процессе испытаний.

В связи с указанными недостатками было принято решение разработать, изготовить и испытать аналогичную применяемой выпрямительную установку. Одновременно с этим была поставлена задача повысить надежность локальной системы управления выпрямителя (блоков питания и системы формирования и усиления управляющих импульсов) и снизить стоимость готового изделия.

#### Локальная система управления

Для повышения надежности локальной системы управления выпрямителя в качестве последней был применен опробованный и показавший свою безусловную работоспособность и надежность комплект блоков управления, разработанный в рамках проектирования и поставок Выпрямительных установок тягового генератора ВУТГ-5400/810-У2 для украинского тепловоза ТЭП150 [1].

При этом было достаточно произвести проектную привязку блоков системы управления к электрическому и логическому интерфейсам готовой микропроцессорной системы управления

© Барский В.А., Курдюмов Д.С., Маляр А.В., 2014

*Упрощение силовой схемы*

При решении проблемы снижения стоимости изделия в целом понадобилось досконально разобраться в существующей схеме применяемого оборудования.

Так, каждый из шести каналов выпрямителя, кроме 6 тиристоров, реализующих мостовую схему Ларионова, содержит два дополнительных диода.

Один из дополнительных диодов подключен к выводу «+» выпрямительного канала, и предназначен для выравнивания падений напряжения на тиристорах при параллельном соединении всех 6 мостов. Такой режим параллельного соединения реализуется при проведении приемо-сдаточных испытаний тепловоза, а именно в процессе испытания на нагрузочных реостатах.

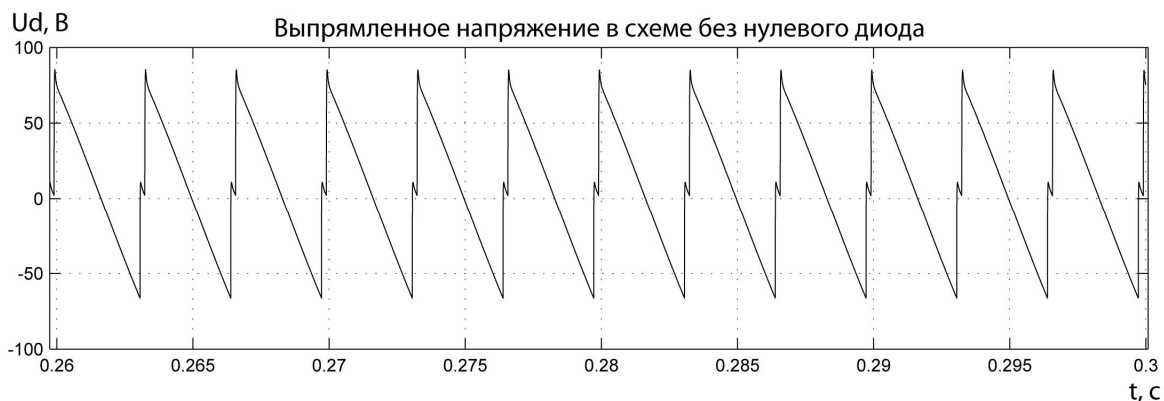
Путем тщательного конструирования шинной системы тягового выпрямителя, с соблюдением правила «параллелограмма» токов [2] указанную проблему удалось успешно решить без применения последовательного силового диода. В результате этого неравномерность распределения токов между каналами выпрямительной установки удалось сократить до 3% от среднего тока через один канал.

Второй дополнительный диод включен встречно-параллельно к выпрямительному мосту (т.н. нулевой диод), он предназначен для снижения уровня пульсаций выходного напряжения и повышения коэффици-

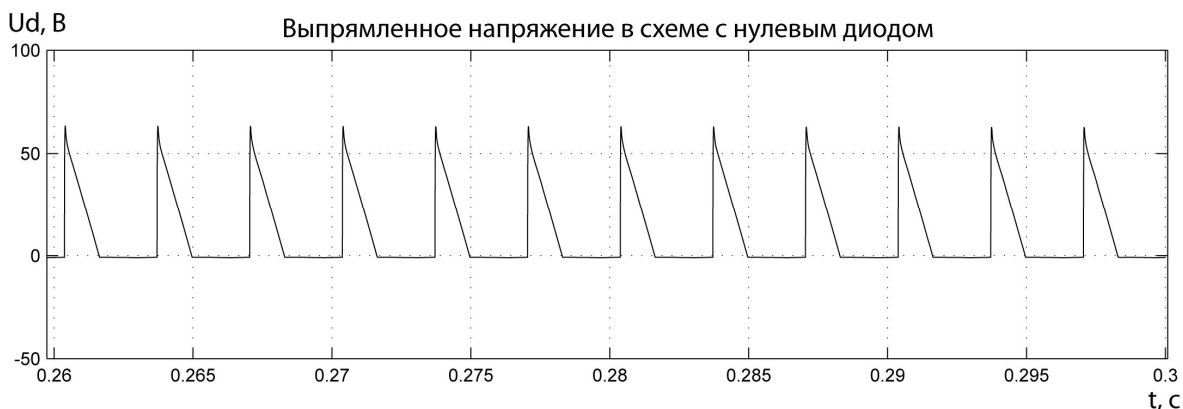
ента мощности управляемого выпрямителя при глубоком фазовом регулировании и работы на индуктивную нагрузку.

Однако существует (но гораздо реже применяется) и является более эффективной имитация работы нулевого диода основными тиристорами моста [3]. В этом варианте реализации алгоритм управления трехфазного моста еще более усложняется за счет необходимости обеспечения подачи на вентили за период трех импульсов управления (при углах  $\alpha$  более 60 эл. град.) [4]. Но значимым преимуществом полностью управляемого выпрямителя с имитацией нулевого вентиля является возможность нормального перевода его в инверторный или зависимый режим в случае аварии или простого отключения, что нельзя осуществить при наличии реально установленного демпферного диода. К другим немаловажным достоинствам следует отнести упрощение и возможное удешевление схемы за счет исключения «лишнего» силового вентиля.

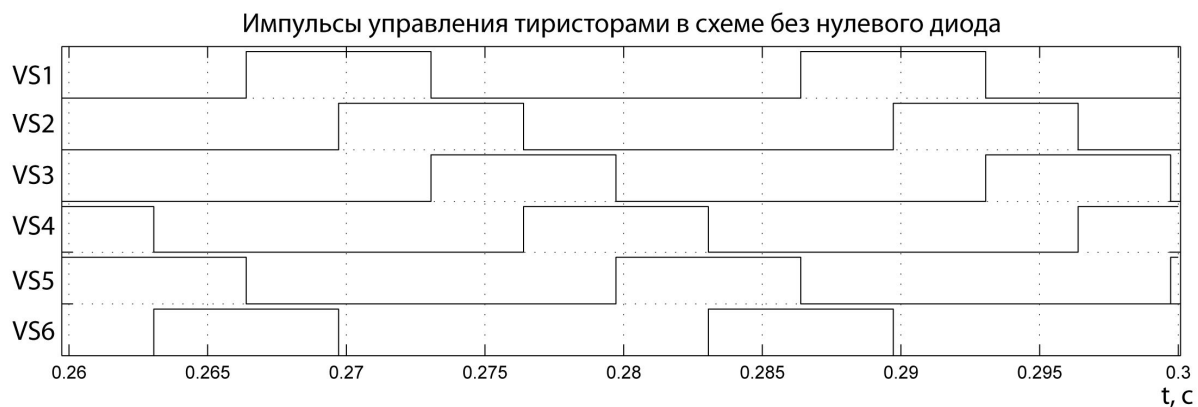
В результате математического моделирования, которые в последствие были подтверждены испытаниями опытного образца выпрямительной установки тягового генератора ВУТГ-6600/800-У2, указанные предположения были полностью подтверждены, что отражено на рисунках 1 и 2.



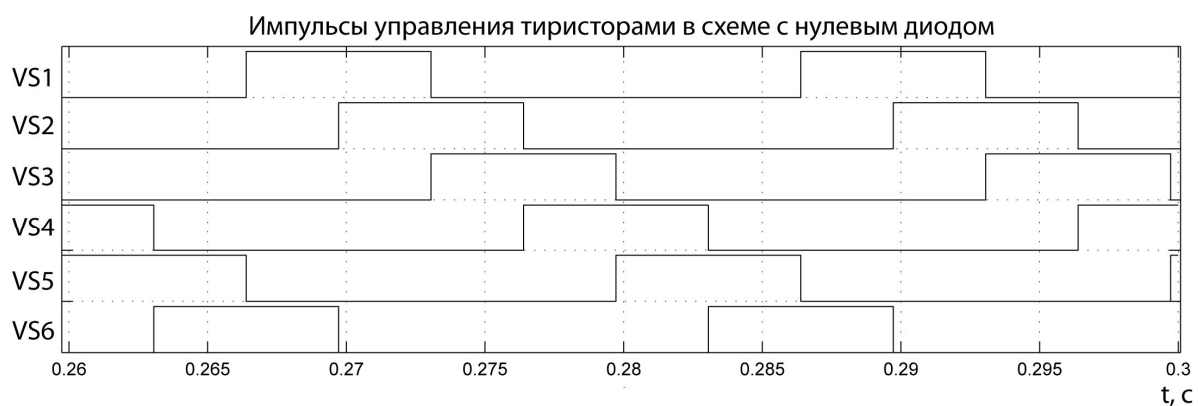
а



б



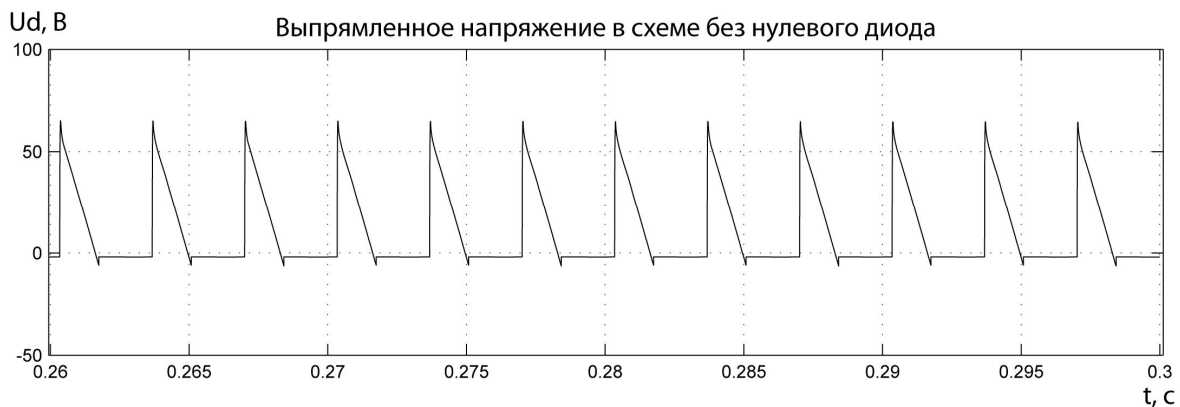
в



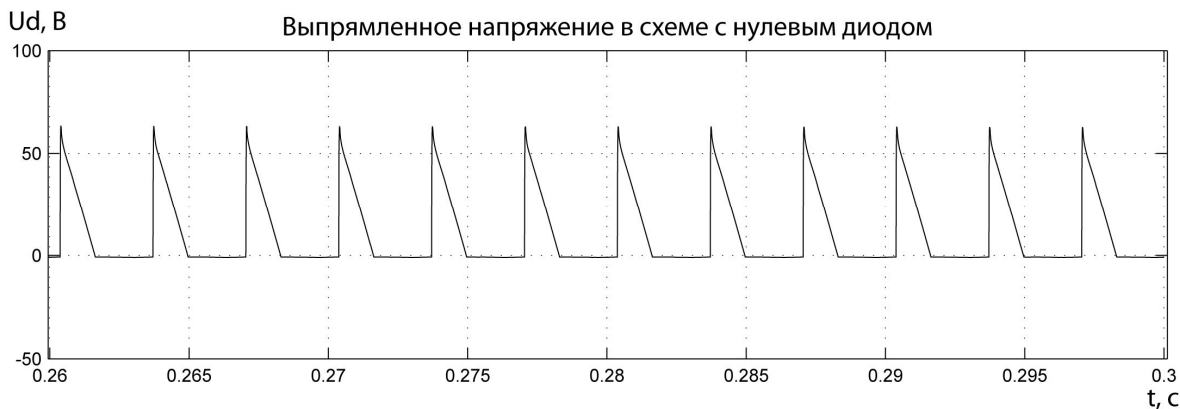
Time offset: 0

г

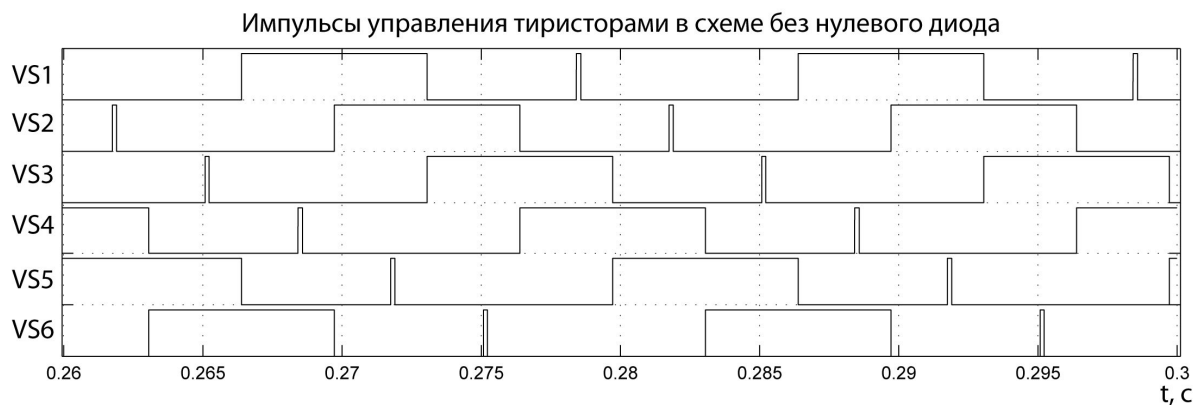
Рис. 1. Осциллограммы выходного тока и импульсы управления в схеме с нулевым диодом



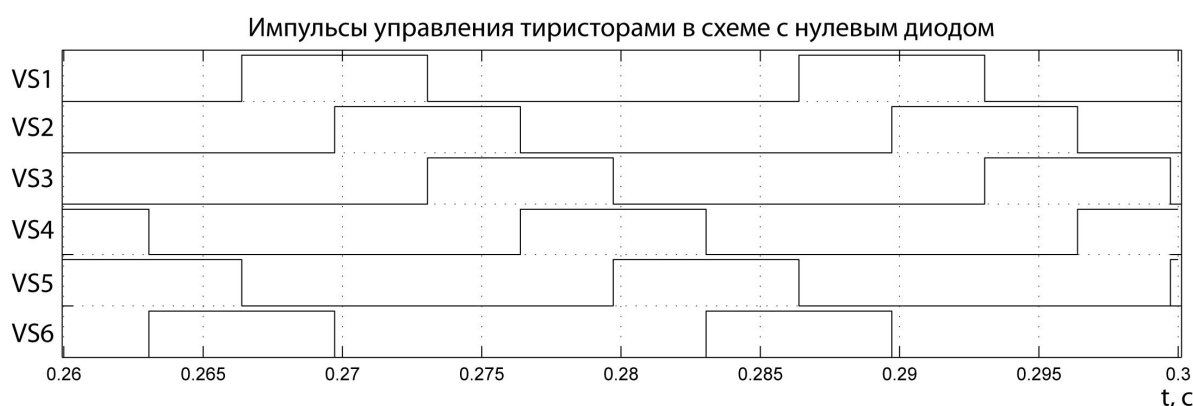
а



б



В



Г

Рис. 2. Осциллограммы выходного тока и импульсы управления в схеме с имитацией нулевого диода

**Выводы**

В результате работы коллектива на протяжении 9 месяцев в 2013-2014 гг. удалось решить все поставленные перед компанией задачи: Выпрямительная установка тягового генератора ВУТГ-6600/800-У2 была разработана, изготовлено 3 опытных образца, которые прошли полный цикл предварительных, приемоочных (в объеме квалификационных) и сертификационных испытаний, заложены предпосылки существенного повышения надежности локальной системы управления выпрямителями, исключен ряд силовых модулей (12 силовых диодов). В свою очередь, это позволило улучшить компоновку силовой части выпрямителя, оптимизировать вентиляционные каналы и уровень перегрева силовых элементов, и удешевить выпрямительную установку.

Список использованной литературы

1. Односекционный двухкабинный магистральный тепловоз ТЕП150, url: <http://www.luganskteplovoz.com>
2. Резинский С. Р. Конструирование силовых полупроводниковых преобразовательных агрегатов [Текст] / С. Р. Резинский и др. – М. : Энергия, 1973. – 288 с.

3. Донской Н. В. Управляемый выпрямитель в системах автоматического управления [Текст] / Н. В., Донской, А. Г. Иванов, В. М. Никитин, А. Д. Поздеев – М. : Энергоатомиздат, 1984.
4. Бурков А. Т., Электронная техника и преобразователи: учебник для вузов ж.-д. трансп / А. Т. Бурков – М. : Транспорт, 1999.
5. Беркович Е. И. Полупроводниковые выпрямители [Текст] / Е. И. Беркович, В. Н. Ковалев, Ф. И. Ковалев и др.: под редакцией Ф. И. Ковалева и Г. П. Мостковой. – 2-е изд., переработ. – М. : Энергия, 1978. – 448 с.
6. Евзеров И. Х. Комплексные тиристорные электроприводы [Текст] / И. Х. Евзеров, А.С. Горобец, Б. И. Мошкович, В. М. Перельмутер, Л. А. Яновский: справочник под ред. В. М. Перельмутера. – М. : Энергоатомиздат, 1988 – 318 с.
7. Замятин В. Я. Мощные полупроводниковые приборы. Тиристоры [Текст] / В. Я. Замятин, Б. В. Кондратьев, В. М. Петухов / Справочник. – М. : Радио и связь, 1988.
8. Уильямс Б. В. Силовая электроника: приборы, применение, управление [Текст] / Б. В. Уильямс : пер. с англ. – М. : Энергоатомиздат, 1993.
9. Чебовский О. Г. Силовые полупроводниковые приборы [Текст] / О. Г. Чебовский, Л. Г. Моисе-

ев, Р. П. Недошивин : справочник. – М. : Энергоатомиздат, 1985.

10. Полупроводниковые приборы силовой электроники. / Краткий каталог ОАО «Электровыпрямитель». – Ульяновск : Ульяновский дом печати, 2007.

Получено 18.07.2014

#### References

1. Odnosektsionnyi dvukhkabinnyi magistral'nyi teplovoz TEP150 [One-Sectional Two-Cabin Diesel Locomotive TEP150]. url: <http://www.luganskteplovoz.com> (In Russian).

2. Rezinskiy S.R. i dr. Konstruirovaniye silovyykh poluprovodniko-vyykh preobrazovatel'nykh agregatov [Construction of the Power Semiconductor Converter units], (1973), Moscow, Russian Federation, *Energiya*, 288 p. (In Russian).

3. Donskoy N.V., Ivanov A.G., Nikitin V.M., and Pozdeev A.D. Upravlyayemye vypryamitel' v sistemakh avtomaticheskogo upravleniya [Controlled Rectifier in Automatic Control Systems], (1984), Moscow, Russian Federation, *Energoatomizdat* (In Russian).

4. Burkov A.T., Elektronnaya tekhnika i preobrazovately [Electronic Equipment and Converters], (1999), Uchebn. dlya Vuzov Zh.-d. Transp, Moscow, Russian Federation, *Transport* (In Russian).

5. Berkovich E.I., Kovalev V.N., Kovalev F. I. i dr.; Pod redaktsiei F.I.Kovaleva i G.P.Mostkovoi. Poluprovodnikovye vypryamiteli [Semiconductor Rectifiers], (1978), 2-e Izd., Pererabot, Moscow, Russian Federation, *Energiya*, 448 p. (In Russian).

6. Evzerov I.Kh., Gorobets A.S., Moshkovich B.I., Perel'muter V.M., and Yanovskii L.A Komplektnye tiris-tornye elektroprivody [Complete SCRs Actuators], (1988), Spravochnik pod Red. V.M. Perel'mutera, Moscow, Russian Federation, *Energoatomizdat*, 318 p. (In Russian).

7. Zamyatin V.Ya., Kond-rat'ev B.V., and Petukhov V.M. Moshchnye poluprovodnikovye pribory. Tiris-tory [Power Ssemiconductors], (1988), *Spravochnik*, – Moscow, Russian Federation, *Radio i Svyaz'* (In Russian).

8. Uil'yams B.V. Silovaya elektronika: pribory, primeneniye, upravleniye [Power Electronics: Devices, Applications, Control Ssystems], (1993), Per. s Angl., Moscow, Russian Federation, *Energoatomizdat* (In Russian).

9. Chebovskii O.G., Moiseev L.G., and Nedoshivin R.P Silovye poluprovodnikovye pribory [Power Semiconductors], (1985), *Spravochnik*, Moscow, Russian Federation, *Energoatomizdat* (In Russian).

10. Poluprovodnikovye pribory silovoi elektroniki. Kratkii katalog ОАО “Elektrovypryami-tel” [Semiconductors Power Electronics], (2007), Ulyanovsk, Moscow, Russian Federation, *Ulyanovskii Dom Pechati* (In Russian).



Барский  
Виктор Алексеевич,  
д-р техн. наук, проф.,  
председатель Правления,  
главный конструктор  
Международного консорциума  
«Энергосбережение».  
Украина, 61052, г. Харьков,  
ул. Маршала Конева, 1-А.  
Тел.: +380 57 712-34-93.  
E-mail: office@mke.com.ua



Курдюмов  
Дмитрий Сергеевич,  
Руководитель проектов  
и программ Международного  
консорциума «Энергосбереже-  
ние».  
Украина, 61052, г. Харьков,  
ул. Маршала Конева, 1-А.  
Тел.: +380 57 712-48-65.  
E-mail: dsk@mke.com.ua



Маляр  
Анатолий Витальевич,  
Ведущий специалист  
Международного консорциума  
«Энергосбережение».  
Украина, 61052, г. Харьков,  
ул. Маршала Конева, 1-А.  
Тел.: +380 57 712-48-65.  
E-mail: malyar@mke.com.ua