

УДК 62-83, 621.313

**С.Ю. Черномырдин<sup>1</sup>, Ю.С. Асессоров<sup>2</sup>**<sup>1</sup>АО «ЭНЕРГОСЕРВИС», Пермь, Россия<sup>2</sup>Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
Пермь, Россия**ОБСЛЕДОВАНИЕ НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ  
С ЦЕЛЬЮ ВЫЯВЛЕНИЯ НЕРАЦИОНАЛЬНЫХ ПОТЕРЬ  
И РАЗРАБОТКИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ  
ИХ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ**

Рассматриваются вопросы об энергетической эффективности насосного оборудования, связанные, кроме прочего, с оптимизацией их режима работы. Анализируется существующая система контроля энергетической и технической эффективности работы электронасосных агрегатов. Показано, что существенным недостатком системы контроля энергоэффективности на данный момент является не столько техническая невозможность контроля, сколько организационные проблемы при определении ответственных лиц за показатели эффективности. Предложен метод поузлового анализа эффективности работы насосной станции. Метод поузлового анализа основывается на поэтапном вычислении мощностей, затрачиваемых каждой составной частью агрегата для выполнения своих функций, с учетом фактических параметров технологического режима работы установки. Основные положения метода включают в себя первоначальную регистрацию номинальных параметров технологической установки, одновременное измерение мгновенных фактических значений электрических и технологических параметров, вычисление КПД и удельных затрат мощностей для каждой составной части установки, определение фактических и эталонных значений каждого параметра, характеризующего энергоэффективность насосного агрегата. На основании поузлового анализа сделаны выводы о преобладающих причинах снижения эффективности насосных агрегатов, которые связываются с ухудшением их технического состояния, работой в зоне неоптимальных КПД и другими причинами. В данной статье предложено внедрение системы оценки энергетической эффективности работы насосного оборудования основных и вспомогательных технологических процессов предприятия с целью снижения затрат на энергоресурсы и повышения качества выпускаемой продукции. Представлен эффект от реализации различных мероприятий по повышению энергетической эффективности реальных предприятий.

**Ключевые слова:** энергетическая эффективность, насосное оборудование, поузловой анализ, нерациональные потери, энергоресурсосбережение.

S.Yu. Chernomyrdin<sup>1</sup>, Yu.S. Asectorov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>«ENERGYSERVICE» LLC, Perm, Russian Federation

<sup>2</sup>Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

## EXAMINATION OF THE PUMP EQUIPMENT TO IDENTIFY IRRATIONALLY LOSS AND DEVELOPMENT ACTIVITIES TO IMPROVE THEIR ENERGY EFFICIENCY

The paper deals with questions about the efficiency of pumping equipment related to, inter alia, with the optimization of their operation. The existing control system of energy and technical efficiency of electric pumps was analyzed. It has been shown that a significant drawback energy monitoring system at the moment is not so much the technical impossibility of monitoring how organizational problems in the determination of the persons responsible for performance indicators. We propose to consider the method of nodal analysis of the efficiency of the pump station. This method is based on a phased calculation of a power of each part of pump units. We consider the actual parameters of the technological regime of working technological installation. An used method includes: an initial registration of the nominal parameters of the technological installation; a lump measurement provided by instantaneous actual value of electrical and process parameters, the calculation of the efficiency and power of the each part of the installation, the definition of the actual and reference values for each parameter, which characterizes the energy efficiency of the pump unit. We on the base of a nodal analysis do the conclusions of the prevailing reasons for the decreasing efficiency of pumping units. Reasons of energy losses are associated with the deterioration of pump's technical condition, pump's work in the area of non-optimal efficiency and other reasons. In this paper we propose to introduce a system for evaluating the energy efficiency of the pumping equipment (pump station) of main and auxiliary technological processes of enterprises for the reduce energy costs and improve product quality. This paper shows the effect of the implementation of measures to improve the energy efficiency of real industrial enterprises.

**Keywords:** energy efficiency, pump, nodal analysis, unsustainable losses, energy and resources saving.

**Введение.** Одной из значительных составляющих стоимости продукции являются затраты на энергетические ресурсы для обеспечения технологических процессов, в том числе и потери, возникающие в них [1]. Нами разработан подход, позволяющий эффективно выявлять нерациональные потери и своевременно реализовывать мероприятия по их минимизации.

Основными целями высшего руководства промышленных компаний являются [2, 3]:

- снижение затрат на себестоимость продукции (как пример, путем снижения затрат на потребление топливно-энергетических ресурсов);
- уменьшение количества брака (выпуска неликвидной продукции);
- увеличение объемов продаж путем повышения выработки продукции либо снижением его конечной стоимости.

Для реализации поставленных целей перед руководителем производственных служб ставятся следующие задачи:

- снизить удельные расходы (УРЭ) на потребление энергоресурсов, в первую очередь энергоемкого оборудования;
- обеспечить бесперебойность работы энергетического и технологического оборудования (повысить устойчивость и надежность) с целью снижения аварийных остановов;
- своевременно разрабатывать программу повышения энергетической эффективности и энергосбережения и предоставлять обоснования необходимости ее реализации.

**Источники и причины снижения энергетической эффективности производства.** Среди процессов со значительной долей потребления энергоресурсов следует выделить работу насосного оборудования основных и вспомогательных технологических процессов [4]. При проведении целевых обследований насосных станций различных промышленных предприятий мы выявили большое количество точек возникновения существенных нерациональных потерь в технологическом процессе перекачивания жидких сред.

Предпосылками возникновения потерь электроэнергии при перекачивании жидких сред являются [5, 6]:

- несогласованность действий энергетических, механических и технологических служб предприятий;
- отсутствие анализа эффективности работы насосного оборудования;
- несогласованность изменения фактического технологического режима согласно плановой выработке продукции с эффективными диапазонами работы установленного насосного оборудования.

Основными этапами выявления и снижения потерь при работе насосного оборудования являются:

- проведение обследования насосного оборудования каждой технологической установки с целью определения фактических удельных расходов электроэнергии (УРЭ) и других показателей эффективности, а также с целью определения их отклонений от номинальных значений;
- выявление мест возникновения нерациональных потерь;
- разработка соответствующих мероприятий по повышению энергоэффективности с учетом анализа мест возникновения потерь и их характера.

С целью выявления потерь при эксплуатации насосных установок нами разработан и многократно опробован способ комплексной оценки энергетической эффективности насосных агрегатов при их работе согласно фактическому технологическому режиму.

Комплексная оценка основывается на поэтапном вычислении мощностей, затрачиваемых каждой составной частью агрегата для выполнения своих функций, с учетом фактических параметров технологического режима работы установки (рис. 1) и включает в себя первоначальную регистрацию номинальных параметров технологической установки [7], одновременное измерение мгновенных фактических значений электрических и технологических параметров, вычисление КПД и удельных затрат мощностей для каждой составной части установки, определение фактических и эталонных значений каждого параметра, характеризующего энергоэффективность насосного агрегата.

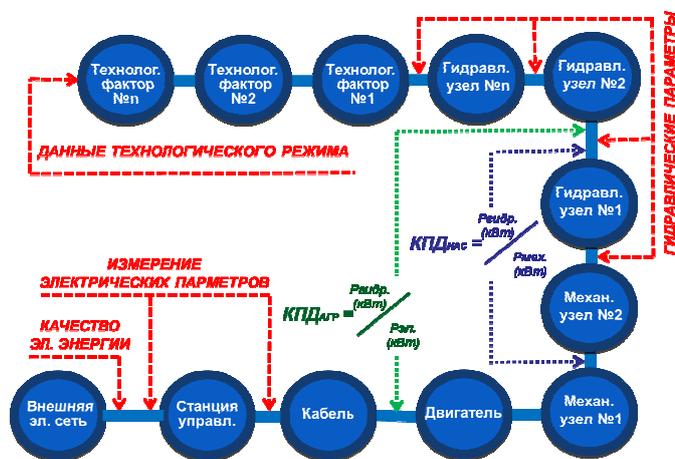


Рис. 1. Поузловой метод расчёта мощностей

Составные узлы насосной станции и характеризующие их эффективность мощности и КПД:

- внешняя электрическая сеть;
- станция управления (СУ);
- кабельная линия;
- электродвигатель (ЭД) – потребляемая электроэнергия;
- механический узел № 1, 2: промежуточные механизмы (соединительная муфта, редуктор и т.д.) – потери мощности, затрачиваемые на передачу крутящего момента от вала ЭД к валу насоса;

- гидравлический узел № 1: насос – преобразование механической энергии в гидравлическую;
- гидравлический узел № 2: запорно-регулирующая арматура насоса – потери мощности во всасывающем и нагнетающем коллекторе;
- гидравлический узел №  $n$ : гидравлическая сеть – потери регулирования в сети;
- технологический фактор № 1, 2, ...,  $n$ : вязкость, плотность, температура перекачиваемой среды, наличие твёрдых включений, воздуха и т.д.

После первоначального сбора номинальных технических характеристик каждой единицы оборудования и измерения фактических параметров, оказывающих влияние на уровень энергоэффективности, производится расчет распределения потребляемой мощности по каждой единице оборудования станции управления, электродвигателя, механических и гидравлических узлов, КПД каждого узла и насосной станции в целом, оценка соответствия фактических характеристик насосных агрегатов (напор, производительность, мощность электропривода) требованиям технологических регламентов и установленным мощностям производства, а также производится расчет фактических и эталонных УРЭ каждой составной части. При отклонении УРЭ от эталонных значений более чем на допустимую величину производят сравнение полученных фактических и эталонных значений параметров, характеризующих эффективность каждого узла насосной установки. Далее разрабатываются мероприятия, направленные на повышение уровня энергоэффективности тех составных частей установки, которые имеют недопустимые отклонения по УРЭ.

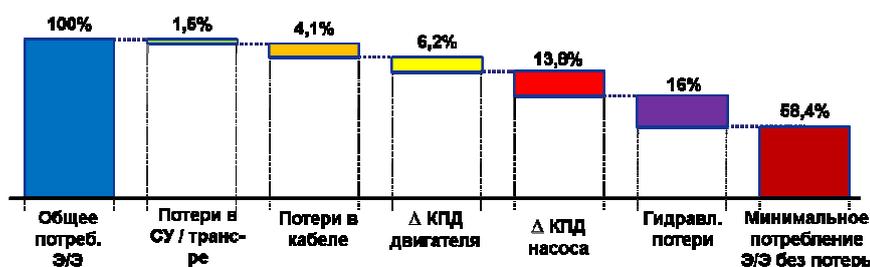


Рис. 2. Пример распределения поузловых потерь насосной станции

Описание типовых причин снижения энергетической эффективности и мероприятия по их устранению представлены в таблице.

**Причины снижения энергетической эффективности  
и мероприятия по их устранению**

Факторы	Описание	Корректирующие рычаги
Потери в СУ/ трансформаторе	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Потери активной мощности, возникающие в магнитной системе и других частях трансформатора</li> <li>• Потери электроэнергии в СУ</li> <li>• .....</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Приведение мощности трансформатора в соответствии с нагрузкой;</li> <li>• Оптимизация режима работы СУ, модернизация СУ;</li> <li>• .....</li> </ul>
Потери в кабеле	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Потери в силовом кабеле</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Увеличение сечения провода</li> <li>• .....</li> </ul>
ΔКПД двигателя	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Повышение потерь и снижение фактического КПД и коэффициента мощности</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Применение двигателей в соответствии с нагрузкой;</li> <li>• Замена ЭД;</li> <li>• .....</li> </ul>
ΔКПД насоса	<p>Снижение значения текущего КПД относительно нормативного для фактического технологического режима работы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• по причине износа проточной части;</li> <li>• по причине нерасчётных гидравлических явлений (кавитация, помпаж);</li> <li>• появление отложений на проточной части;</li> <li>• .....</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Восстановление <math>\eta_{NQH}</math>-характеристик;</li> <li>• Подбор оптимального насосного агрегата;</li> <li>• Обточка рабочих колес;</li> <li>• .....</li> </ul>
Гидравлические потери	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Потери в технологической системе (сеть потребителя);</li> <li>• Байпасирование насосной установки;</li> <li>• .....</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Оптимизация системы регулирования;</li> <li>• .....</li> </ul>

Технический результат, который достигается предложенным решением, заключается в высокой достоверности комплексной оценки энергоэффективности технологической установки для перекачивания жидких сред за счёт выявления нерациональных потерь в каждом её узле, а также в своевременной организации мероприятий по повышению её энергоэффективности.

Разработанные мероприятия, направленные на повышение эффективности работы насосных станций, участвуют в оценке потенциала

энергосбережения от их реализации. Далее производятся ранжирование и отбор мероприятий по рассчитанным показателям экономической привлекательности (IRR, NPV, PP, DPP).

На рис. 3 представлены величины нерациональных потерь по выявленным причинам снижения эффективности работы насосных станций и потенциал к энергосбережению от внедрения экономически эффективных мероприятий с внутренней нормой доходности (IRR) более 20 %.

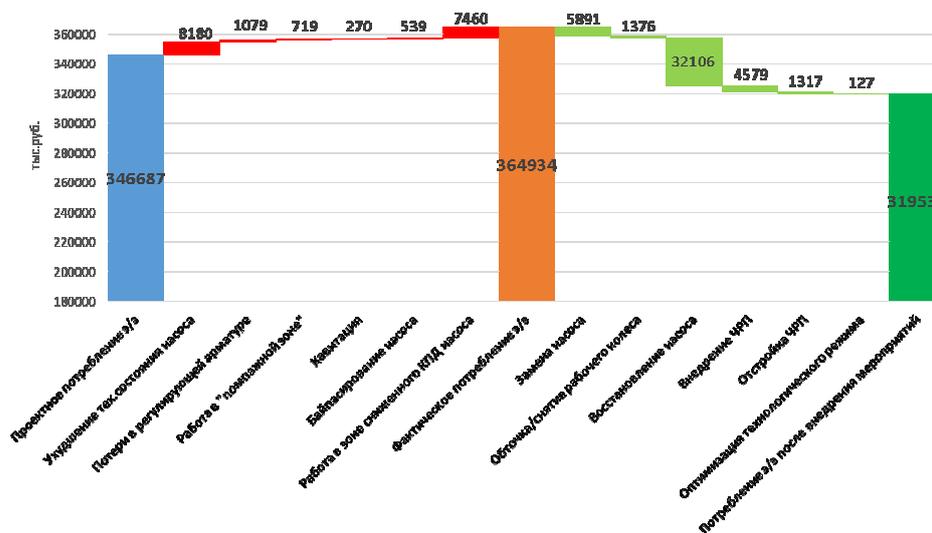


Рис. 3. Причины возникновения нерациональных потерь и экономический эффект от внедрения мероприятий по повышению энергоэффективности работы насосных станций с IRR > 20 %

Указанный алгоритм повторяют каждый раз при изменении технологического режима работы насосной станции, тем самым позволяя постоянно осуществлять контроль энергопотребления каждой её составной частью во время эксплуатации и с высокой точностью диагностировать те узлы, которые работают с низкой энергоэффективностью, и своевременно осуществлять разработку и реализацию мероприятий, направленных на повышение энергоэффективности технологической установки в целом. Возможна реализация данных мероприятий на основе автоматизированных систем [8–11].

**Выводы.** Для повышения эффективности работы насосного оборудования предприятия и, как следствие, повышения эффективности технологических установок требуется:

- разработать и внедрить методику анализа энергоэффективности работы насосного оборудования (отсутствие эталонных значений УРЭ) [12];
- определить «простые» показатели эффективности и надежности работы насосов на местах (эффективные границы изменения давления и расхода, относительно паспортных характеристик насосов);
- при снижении эффективности работы насосного оборудования внепланово проводить текущие и капитальные ремонты с целью восстановления их эффективности и, как следствие, повышать надежность их работы и устойчивость технологических установок;
- определить порядок согласования изменения фактического технологического режима согласно плановой выработке продукции с определением эффективных диапазонов работы установленного насосного оборудования и в случае необходимости разработать и провести корректирующие мероприятия;
- проводить анализ эффективности работы насосного оборудования после капитальных ремонтов;
- сформировать единую базу данных оборудования насосных агрегатов и установленных приборов учета энергетических и технологических параметров, периодически проводить её верификацию [13, 14];
- создать удобную форму модели для определения экономической привлекательности разрабатываемых мероприятий;
- ранжировать мероприятия с учетом времени их окупаемости и объема финансирования с целью их выборочной реализации в зависимости от финансовой стабильности компании, стоимости импортного и отечественного оборудования и иных факторов.

### Библиографический список

1. Паули В.К., Тульчинская Я.И. Построение отраслевой системы энергетического менеджмента – одно из направлений повышения надёжности и энергоэффективности электроэнергетики России // Вестник Москов. энергет. ин-та. – 2012. – № 5. – С. 36–41.
2. Павлюченко Д.А., Любченко В.Я. Комплексная оценка энергоэффективности системы электроснабжения промышленного предприятия // Научный вестник Новосиб. гос. техн. ун-та. – 2012. – № 4. – С. 119–128.

3. Ляхомский А.В., Петроченков А.Б., Перфильева Е.Н. Концептуальное проектирование и направления инжиниринга повышения энергоэффективности предприятий // *Электротехника*. – 2015. – № 6. – С. 4–7.

4. Энергетическая стратегия России на период до 2030 г.: утв. Распоряжением Правительства РФ от 13.11.09 № 1715-р [Электронный ресурс]. – URL: <http://minenergo.gov.ru/activity/energostrategy> (дата обращения: 02.03.2016).

5. Ремонт крупных осевых и центробежных насосов: справочник / сост. В.Л. Кузнецов, И.В. Кузнецов, Р.А. Очилов. – М.: Энергоатомиздат, 1996. – 240 с.

6. Энергетические насосы: справоч. пособие / сост. В.В. Малюшенко, А.К. Михайлов. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 200 с.

7. Новиков В.В. Интеллектуальные измерения на службе энерго-сбережения // *Энергоэксперт*. – 2011. – № 3. – С. 68–70.

8. Темичев А.А., Кычкин А.В. Программный симулятор ПЛК VIDA350 системы энергоменеджмента Му-JEVis // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления*. – 2011. – № 5. – С. 210–220.

9. Кычкин А.В. Долгосрочный энергомониторинг на базе программной платформы OpenJEVis // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления*. – 2014. – № 1(9). – С. 5–15.

10. Кычкин А.В. Синтез системы удаленного энергетического мониторинга производства // *Металлург*. – 2015. – № 9. – С. 20–27.

11. Абрамович Б.Н., Сычев Ю.А. Интеллектуальная система комплексного мониторинга использования энергоресурсов и контроля уровня качества электрической энергии в условиях распределенной генерации на основе альтернативных и возобновляемых источников энергии // *Промышленная энергетика*. – 2014. – № 12. – С. 40–44.

12. ISO 50001:2011 «Energy management systems – Requirements with guidance for use» [Electronic resource] / International Organization for Standardization. – Geneva, Switzerland, 2011. – 22 p. – URL: [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail?csnumber=51297](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=51297).

13. Кычкин А.В., Хорошев Н.И., Елтышев Д.К. Концепция автоматизированной информационной системы поддержки энергетического менеджмента // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2013. – № 5. – С. 12–17.

14. Хорошев Н.И., Елтышев Д.К., Кычкин А.В. Комплексная оценка эффективности технического обеспечения энергомониторинга // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 5–4. – С. 716–720.

### References

1. Pauli V.K., Tul'chinskaya I.I. Postroenie otraslevoi sistemy energeticheskogo menedzhmenta – jedno iz napravlenii povysheniia nadezhnosti i energoeffektivnosti elektroenergetiki Rossii [Creation of the power supply departmental system management – one of directions for increasing the reliability and power supply efficiency of Russia]. *Vestnik Moskovskogo energeticheskogo instituta*, 2012, no. 5, pp. 36-41.

2. Pavliuchenko D.A., Liubchenko V.Ia. Kompleksnaya otsenka energoeffektivnosti sistemy elektrosnabzheniia promyshlennogo predpriiatiia [Integrated assessment of the power supply management efficiency of the industrial power systems]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2012, no. 4, pp. 119-128.

3. Liakhomskii A.V., Petrochenkov A.B., Perfil'eva E.N. Kontseptual'noe proektirovanie i napravleniia inzhiniringa povysheniia energoeffektivnosti predpriiatiia [Conceptual design and engineering directions of the increasing the enterprise energy performances]. *Elektrotehnika*, 2015, no. 6, pp. 4-7.

4. Energeticheskaya strategiya Rossii na period do 2030 g.: utv. rasporiazheniem Pravitel'stva RF ot 13.11.09 № 1715-r [Power strategy of Russia till 2030: accepted by Russian Federation government dated November, 13. 2009 № 1715-r], available at: <http://minenergo.gov.ru/activity/energostrategy/> (accessed 02 March 2016).

5. Kuznetsov V.L., Kuznetsov I.V., Ochilov R.A. Remont krupnykh osevykh i tsentrobezhnykh nasosov [Maintenance of the axial pumps]. Moscow: Energoatomizdat, 1996. 240 p.

6. Maliushenko V.V., Mikhailov A.K. Energeticheskie nasosy [Energy pumps]. Moscow: Energoatomizdat, 1981. 200 p.

7. Novikov V.V. Intel'ktual'nye izmereniia na sluzhbe energosberezheniia [Intellectual measurements in energy efficiency operation]. *Energoekspert*, 2011, no. 3, pp. 68-70.

8. Temichev A.A., Kychkin A.V. Programmnyi simulator PLK VIDA350 sistemy energomenedzhmenta My-JEVis [Programming simulator PLK VIDA350 of the power management system]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Elektrotekhnika, informatsionnye tekhnologii, sistemy upravleniia*, 2011, no. 5, pp. 210-220.

9. Kychkin A.V. Dolgosrochnyi energomonitoring na baze programmnoi platformy OpenJEVis [Long-term power monitoring on the base programming platform OpenJEVis]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Elektrotekhnika, informatsionnye tekhnologii, sistemy upravleniia*, 2014, no. 1(9), pp. 5-15.

10. Kychkin A.V. Sintez sistemy udalennogo energeticheskogo monitoringa proizvodstva [The synthesis of the remote manufacturing power monitoring]. *Metallurg*, 2015, no. 9, pp. 20-27.

11. Abramovich B.N., Sychev Iu.A. Intel'ktual'naia sistema kompleksnogo monitoringa ispol'zovaniia energoresursov i kontroliia urovnia kachestva elektricheskoi energii v usloviakh raspredelennoi generatsii na osnove al'ternativnykh i vozobnovliaemykh istochnikov energii [Intelligent system of the integrated monitoring power supply usage and control of the power quality level in distributed generation conditions on the base of alternative and renewable sources of energy]. *Promyshlennaia energetika*, 2014, no. 12, pp. 40-44.

12. ISO 50001:2011 «Energy management systems -Requirements with guidance for use». International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland, 2011. 22 p, available at: [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail?csnumber=51297](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=51297).

13. Kychkin A.V., Khoroshev N.I., Eltyshev D.K. Kontsepsiia avtomatizirovannoi informatsionnoi sistemy podderzhki energeticheskogo menedzhmenta [Automated information power management support system concept]. *Energobezopasnost' i energosberezhenie*, 2013, no. 5, pp. 12-17.

14. Khoroshev N.I., Eltyshev D.K., Kychkin A.V. Kompleksnaia otsenka effektivnosti tekhnicheskogo obespecheniia energomonitoringa [Complex assessment of the power monitoring engineering support efficiency]. *Fundamental'nye issledovaniia*, 2014, no. 5-4, pp. 716-720.

### Сведения об авторах

**Черномырдин Станислав Юрьевич** (Пермь, Россия) – заместитель директора департамента по проектированию по энергетической эффективности и инновациям АО «ЭНЕРГОСЕРВИС» (614025, Пермь, ул. Героев Хасана, 50, e-mail: energosber@eservice.perm.ru).

**Ассессоров Юрий Сергеевич** (Пермь, Россия) – ассистент кафедры микропроцессорных средств автоматизации Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр-т, 29, e-mail: asessorovys@mail.ru).

### About the authors

**Chernomyrdin Stanislav Yuryevich** (Perm, Russian Federation) is a Deputy Director for Energy Efficiency and Innovation of the Department of designing, ENERGYSERVICE LLC (614025, Perm, Geroev Khasana st. 50, e-mail: energosber@eservice.perm.ru).

**Asessorov Yury Sergeyeovich** (Perm, Russian Federation) is a Assistant Lecturer at the Microprocessor Means of Automation Department Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29, Komsomolsky pr., e-mail: asessorovys@mail.ru).

Получено 20.04.2016