

УДК № 620.9.004.18+620.9:658.5.012.16

**А.В. Кычкин, К.Г. Мусихина, М.Г. Разепина**Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
Пермь, Россия**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЗДАНИЯ  
И ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТА  
НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ**

В статье рассматриваются процессы создания и внедрения системы энергетического менеджмента на промышленном предприятии. Под системой энергетического менеджмента понимается комплекс мероприятий, направленных на автоматизацию энергетического учета, выявление и устранение нерационального расхода топливно-энергетических ресурсов, а также на поддержание энергопотребления на технологически обоснованном уровне. С помощью функционального моделирования промышленное предприятие описывается как организационно-техническая система со всеми входящими и исходящими потоками. Методика расчета эффективности процессов создания и внедрения системы энергетического менеджмента на предприятии в зависимости от характера результатов позволит оценить, насколько эффективно протекают данные процессы.

В рамках разработки системы энергетического менеджмента должна функционировать система оценки эффективности внедряемых мероприятий. Основой для обеспечения системного подхода к разрабатываемой технологии стал цикл по постоянному улучшению *PDCA*: планирование (*plan*), осуществление (*do*), проверка (*check*) и действие (*act*). Разработанный алгоритм позволит оценить результат внедрения и реализации энергетически эффективного мероприятия.

**Ключевые слова:** система энергетического менеджмента, функциональное моделирование, международный стандарт на системы энергетического менеджмента – ISO50001:2011 «неинвестиционные» мероприятия.

**A.V. Kychkin, K.G. Musikhina, M.G. Razepina**

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

**ESTABLISHMENT AND IMPLEMENTATION EFFECTIVENESS  
RESEARCH OF AN ENERGY MANAGEMENT SYSTEM  
AT THE INDUSTRIAL ENTERPRISE**

This article discusses the process of creating and implementing an energy management system at an industrial enterprise. The system of energy management is a complex of measures aimed at automating energy accounting, identification and elimination of energy resource wastage, as well as to maintain power at a reasonable level technologically. Using functional simulation industrial plant is described as organizational and technical system with all incoming and outgoing flows. Method of calculating the efficiency of the processes of creation and implementation of an energy management system in the enterprise, depending on the nature of the outcomes will assess how effectively these processes occur.

As part of the development of an energy management system should function evaluation of the effectiveness of implemented measures. Basis for ensuring a systematic approach developed technologies was a cycle of constant improvement PDCA: plan, do, check and the act. The developed algorithm will evaluate the result of the introduction and implementation of energy efficient measures .

**Keywords:** Energy management system, functional simulation, an international standard for energy management systems - ISO50001: 2011 «non-investment» activities.

**Введение.** В настоящее время промышленные предприятия проявляют значительный интерес к вопросам энергосбережения и повышения энергетической эффективности как на техническом, так и организационном уровне. Это обуславливается высокой энергоемкостью производства, стремительным ростом тарифов на энергоресурсы и сырье, развитием законодательной базы, необходимостью выхода на новые рынки и т.д. [1].

Обеспечить системность в повышении энергоэффективности предприятий возможно не за счет внедрения новых энергосберегающих технологий, а за счет изменений в методах и способах управления. Данное положение подкреплено многими исследованиями Организации Объединенных Наций по промышленному развитию (United Nations Industrial Development Organization, UNIDO) и в 2011 году оформлено в виде международного стандарта на системы энергетического менеджмента (СЭнМ) – ISO50001:2011<sup>\*</sup>. Применение СЭнМ на промышленном предприятии поможет сформировать платформу для непрерывного усовершенствования процессов энергосбережения.

Известно, что стандарт дает лишь обобщенные требования по созданию и внедрению системы [2]. Эффективность реализации мероприятий в таком случае полностью зависит от качества соответствующих бизнес-процессов предприятия, которые должны быть глубоко проанализированы. Удобным механизмом для исследования бизнес-процессов создания и внедрения СЭнМ для предприятия является подход на основе функционального моделирования [3].

**Описание промышленного предприятия как организационно-технической системы.** Предприятие как организационно-техническую

---

<sup>\*</sup>ISO 50001. Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению // Википедия – свободная энциклопедия. – URL: [http://ru.wikipedia.org/wiki/ISO\\_50001](http://ru.wikipedia.org/wiki/ISO_50001) (дата обращения 25.05.2014); ГОСТ Р ИСО 50001-2012. Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению [Электронный ресурс]. – URL: <http://energy-audit.ru/zakonodatelstvo/gosti/r-iso-50001> (дата обращения: 25.05.2014).

систему можно представить в виде следующей многопараметрической модели [4, 5] (рисунок):

$$SYS = (PL, RO, RI, EX, PR, DT, SV, RD, EF),$$

где  $PL$  – цель и планы производства;  $RO$  – выходные ресурсы;  $RI$  – входные ресурсы;  $EX$  – исполнители;  $PR$  – процессы;  $DT$  – помехи;  $SV$  – оперативный инженерный контроль и контроль со стороны руководства;  $RD$  – управляющие сигналы;  $EF$  – показатели эффективности.

Одной из важнейших целей промышленного предприятия является выпуск качественной выходной продукции за короткий промежуток времени, а также рациональное использование энергетических ресурсов. Для этого предприятие ориентируется на входные материальные ресурсы: тепловая энергия, пар, электроэнергия и другие, к которым относятся различные информационные системы и оборудование; а также на нематериальные – техническое задание, исходные данные и т.п. Выходные ресурсы также могут быть материальными (например, продукция) и нематериальными (например, разработанная рабочая документация).

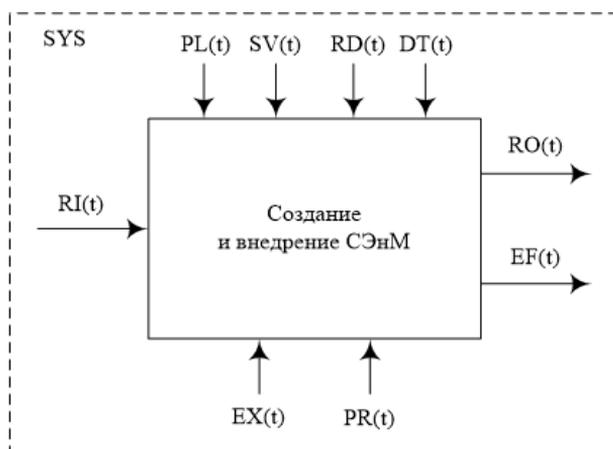


Рис. Общий вид функциональной модели создания и внедрения СЭнМ на предприятии ЦБП как модели SYS организационно-технической системы

Не учитывая сферу деятельности, можно выделить процесс по обеспечению энергоэффективного производства, включающий в себя подпроцессы по разработке технико-коммерческого предложения, созданию эскизного и технического проектов, разработке рабочей СЭнМ, а также по ее внедрению.

Контроль за обеспечением энергоэффективного производства реализуется на базе отдела энергоменеджмента, который должен находиться в подчинении у директора отдела обеспечения производства, который, в свою очередь, находится в подчинении у генерального директора предприятия. Вся деятельность работников предприятия в рамках СЭнМ должна осуществляться в соответствии с управляющими сигналами и специальными нормативными документами, к которым относятся: внутренние акты предприятия; методики работы персонала; распоряжения; должностные инструкции; ГОСТы, ОСТы, СТП и т.д. В результате внедрения СЭнМ на предприятии могут появляться разного рода эффекты, к которым можно отнести: повышение энергоэффективности производства; снижение ресурсозатрат и др.

**Расчет эффективности процессов создания и внедрения СЭнМ на предприятии в зависимости от характера результатов.** Введем ряд показателей эффективности как меры степени соответствия реального результата экономической операции подразделения предприятия по созданию и внедрению СЭнМ требуемому результату [4, 5].

В случае если успешное выполнение процесса состоит в наступлении некоторого события, то показатель эффективности определяется так:

$$W(u) = P(A), \quad (1)$$

где  $P(A)$  – вероятность события  $A$ ;  $u$  – способ проведения операции (из множества возможных).

Примером такой ситуации может быть случай, когда промышленное предприятие может вкладывать денежные средства в привлечение сторонних консультантов для поиска решений по оптимизации потребления энергии на исследуемом производственном участке. Показателем эффективности является вероятность получения рекомендации, которая приведет к реальной экономии.

Возможен также случай, когда желаемый результат не определен, тогда показатель эффективности может быть средним значением результата и определяется как

$$W(u) = M[y(u)], \quad (2)$$

где  $y(u)$  – случайный результат для  $u$ -го способа проведения операции;  $M[y(u)]$  – математическое ожидание (среднее значение) случайного результата.

Примером такой ситуации может быть случай, когда в результате проведения энергосберегающих мероприятий получается случайная прибыль. Эффективность соответствующего бизнес-процесса СЭнМ оценивается по средней прибыли.

Если желаемый результат внедрения СЭнМ – достижение требуемого экономического показателя  $y_{тр}$ , тогда показатель эффективности – вероятность достижения требуемого результата, определяемая по формуле

$$W(u) = P[y(u) \geq y_{тр}] = 1 - F_u(y_{тр}), \quad (3)$$

где  $F_u$  – функция распределения случайного результата внедрения СЭнМ  $y(u)$  для  $u$ -го способа проведения бизнес-процесса. Примером может быть случай, когда оценивается вероятность получения прибыли, не меньшей, чем заданная.

Если желаемый результат – достижение гарантированного минимального результата с заданной вероятностью, тогда показатель эффективности определяется как

$$y_\alpha = M(y) - K_\alpha \sigma_y, \quad (4)$$

где  $\alpha$  – уровень гарантии достижения заранее неизвестного результата внедрения СЭнМ  $y_\alpha$ ,  $K_\alpha$  – квантиль нормального распределения, определяемый по таблице функции Лапласа;  $\sigma_y$  – среднее квадратическое отклонение случайного результата. Предполагается, что результат представляет собой случайную величину с нормальным распределением.

Примером такой ситуации может быть случай, когда показателем эффективности является величина минимальной прибыли от проведения мероприятий СЭнМ, которая будет получена с заданной вероятностью.

Если желаемый результат – достижение гарантированного максимального результата с заданной вероятностью, тогда показатель эффективности для этого случая определяется из соотношения

$$y_\alpha = M(y) + K_\alpha \sigma_y. \quad (5)$$

Предполагается, что результат представляет собой случайную величину с нормальным распределением. Примером такой ситуации может быть случай, когда показателем эффективности является величина максимального убытка, которая будет получена с заданной вероятностью.

Анализ типовых ситуаций на предприятиях при создании и внедрении СЭнМ свидетельствует о том, что чаще всего желаемый ре-

зультат не определен, тогда показатель эффективности может быть средним значением результата. Исходя из выбранной ситуации, выберем следующие критерии эффективности.

В рамках концепции пригодности рекомендуется выбор стратегии по следующим критериям:

1) *Критерий приемлемого результата.* Выбирается один из возможных вариантов действий, для которого выполняется условие: величина показателя эффективности  $W$  не меньше заданной  $W_{\text{тр}}$ , т.е.

$$K(u^*): W(u) \geq W_{\text{тр}} \quad (u \in U), \quad (6)$$

где  $u$  – порядковый номер способа действия;  $u^*$  – номер оптимального способа действия;  $U$  – множество возможных способов действия.

Если существует несколько способов проведения операций, каждый из которых приводит к выполнению приведенного выше условия, то в соответствии с данным критерием эффективности любой из этих способов является приемлемым.

2) *Критерий допустимой гарантии.* Правило выбора наилучшего способа действий заключается в том, что выбирается один из возможных вариантов, для которого выполняется условие: вероятность того, что величина показателя эффективности окажется не меньше заданной, превышает некоторое заданное значение уровня гарантии,

$$K(u^*): P[W(u) \geq W_{\text{тр}}] \geq P_{\text{тр}} \quad (u \in U). \quad (7)$$

Если существует несколько способов проведения операций, каждый из которых приводит к выполнению приведенного выше условия, то в соответствии с данным критерием эффективности любой из этих способов является приемлемым.

3) *Критерий допустимого гарантированного результата.* Правило выбора наилучшего способа действий заключается в том, что выбирается один из возможных вариантов, для которого выполняется условие: гарантированная величина показателя эффективности не меньше заданного значения:

$$K(u^*): W_{\alpha}(u) \geq W_{\text{тр}} \quad (u \in U), \quad (8)$$

где

$$W_{\alpha}(u) = F^{-1}(1 - \alpha). \quad (9)$$

В рамках концепции оптимизации могут использоваться следующие критерии: критерий экстремального результата; критерий экстремального среднего результата; критерий наибольшей вероятностной гарантии; критерий наибольшего гарантированного результата.

**Технология системного управления проектами энергоменеджмента.** Под технологией управления проектами энергоменеджмента для промышленного предприятия будем понимать комплекс организационных мер, операций и приемов, направленных на формирование, подготовку, изменение, выполнение и реализацию мер по снижению энергозатрат и повышению энергоэффективности с номинальным качеством и оптимальными затратами и обусловленных текущим уровнем развития отрасли.

В общем случае для предприятия предлагаемая технология предоставит возможность реализовывать, контролировать и корректировать процесс реализации мероприятий в рамках системы энергетического менеджмента, оценивать их результативность.

Для обеспечения системного подхода будем базировать разрабатываемую технологию на основе цикла по постоянному улучшению *PDCA*:

- планирование (*plan*) мероприятий – поиск типовых проектов в доступных источниках; проведение опроса сотрудников предприятия с помощью корпоративного интернет-портала, сбор полученных вариантов предложений от работников, определение базовых критериев оценки, показателей энергетической результативности, выбор лучших мероприятий и разработка их планов; постановка целей, задач;

- осуществление (*do*) – внедрение мероприятий в области энергетического менеджмента на предприятии с помощью членов рабочей группы энергоменеджеров;

- проверка (*check*) – мониторинг и измерение процессов и ключевых характеристик операций, определяющих энергетическую результативность, в отношении реализации проектов;

- действие (*act*) – принятие действий по постоянному улучшению результативности деятельности предприятия в области энергетики и системы энергетического менеджмента.

Применение стандарта *ISO 50001* предрешит результативную реализацию энергоэффективной политики, воплотит системный, а не точечный (ситуационный), подход к повышению энергоэффективности.

**Математическое обеспечение системного подхода управления проектами энергоменеджмента.** На этапах планирования и проверки для оценки эффективности полученных в результате поиска, опроса и реализации проектов планируется ввести систему статусов, например: слабоэффективен, не определен, эффективен, высокоэффективен и т.п. Для определения статуса проекта в системе можно использовать алгоритм идентификации состояния сложного объекта на основе экспертных оценок [6].

Шаг 1. Формирование сводной таблицы проектов.

Например, сведения о проектах могут быть представлены (табл. 1.)

Таблица 1

Сводная таблица проектов

№ п/п	Наименование мероприятия	Участок энергетического аспекта	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K$
1	Управление климатом	Тепло	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$	$a_{14}$	$A_1$
2	Управление документооборотом	Канцтовары	$a_{21}$	$a_{22}$	$a_{23}$	$a_{24}$	$A_2$
3	Управление рабочим временем	Рабочее время сотрудника	$a_{31}$	$a_{32}$	$a_{33}$	$a_{34}$	$A_3$

Примечание:  $K_1$  – критерии оценки проекта;  $K_1$  – безопасность реализации;  $K_2$  – результативность, по мнению сотрудников;  $K_3$  – простота реализации;  $K_4$  – широта применения;  $K$  – комплексный критерий.

Шаг 2. Работа экспертов предприятия по оценке статуса рабочих и планируемых проектов.

Шаг 3. Использование статистических методов для определения значимости проекта и проверки согласованности мнений экспертов.

Статистические методы основаны на предположении, что отклонение оценок экспертов предприятия в области энергетики от истинных значений параметров происходит в силу случайных величин, и задача обработки в данном случае заключается в том, чтобы найти эти истинные значения с наименьшей погрешностью.

Степень согласованности экспертов предприятия указывает на качество результирующей оценки. Способы получения результирующих оценок различаются в зависимости от решаемой задачи оценивания.

На первом этапе задача состоит в численной оценке, поэтому производится сопоставление оцениваемой системы для одного числа:

$$a = \varphi(x_1, \dots, x_m) = \frac{\sum_{i=1}^m x_i a_i}{\sum_{i=1}^m a_i}, \quad (10)$$

где  $x_i$  – веса экспертов предприятия,  $x_i \left( i = \overline{1, m} \right)$ ;  $a_i$  – оценка  $i$ -го эксперта;  $a$  – результирующая оценка.

Степень согласованности мнений экспертов в экспертизе служит дисперсия  $\sigma^2$ ,

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (a - a_i)^2 a_i}{\sum_{i=1}^m a_i}. \quad (11)$$

Можно определить статистическую значимость полученного результата. Задавшись вероятностью ошибки  $P_{\text{ош}}$ , укажем интервал, в который оцениваемая величина попадает с вероятностью  $1 - P_{\text{ош}}$ :

$$\bar{a} - \Delta \leq a \leq \bar{a} + \Delta. \quad (12)$$

Считается, что величина  $a$  распределена нормально с центром  $\bar{a}$  и дисперсией  $\sigma^2$ . Тогда

$$\Delta = t\sigma\sqrt{N}, \quad (13)$$

где величина  $t$  имеет распределение Стьюдента с  $(N - 1)$  степенью свободы, ее определяют по соответствующим таблицам, задавшись величиной  $P_{\text{ош}}$ .

Далее ставится задача ранжирования, состоящая в сопоставлении оцениваемой системы с аналогичными. В этом случае результаты опроса экспертов – работников предприятия сводятся в табл. 2.

Таблица 2

Результаты опроса экспертов

Эксперты	Проекты		
	Управление климатом	Управление документооборотом	Управление рабочим временем
Э1	$r_{11}$	$r_{12}$	$r_{31}$
Э2	$r_{21}$	$r_{22}$	$r_{32}$
Эi	$r_{i1}$	$r_{i2}$	$r_{i3}$
$\Sigma_{\text{рангов}}$	$r_1$	$r_2$	$r_n$

В  $i$ -й строке стоят места (ранги), данные каждым экспертом ранжируемым объектам. В  $(m + 1)$ -й строке стоят суммы рангов, полученных объектами от всех экспертов. Все количество  $n$  объектов упорядочивается в соответствии с величиной  $r_s$ , определяемой по формуле

$$r_s = \sum_{j=1}^m r_{js}. \quad (14)$$

Определим средний ранг по формуле

$$\sum_{i=1}^n r_i = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m r_{ji} = \sum_{j=1}^m \left( \sum_{i=1}^n r_{ji} \right). \quad (15)$$

Степень согласованности мнений экспертов определим при помощи коэффициента конкордации  $W$ , под которым для случая строгого ранжирования, т.е. отсутствия равных рангов в ранжировке каждого эксперта, понимается следующая величина:

$$W = \frac{12 \sum \left[ r_i - \frac{1}{2} m(n+1) \right]^2}{m^2 (n^3 - n)}, \quad (16)$$

где  $n$  – число объектов,  $m$  – число экспертов предприятия.

Полученный результат позволяет оценить согласованность и выявить случаи, когда ранжировки всех  $m$  экспертов предприятия совпадают (каждый проект энергоменеджмента получил от всех экспертов одинаковый ранг – полная согласованность), а также случаи полной несогласованности экспертов.

Шаг 4. Заполнение сводной таблицы проектов.

Шаг 5. Расчет комплексного показателя.

Относительно полученных значений необходимо рассчитать комплексный показатель для каждого из проектов, и с его помощью классифицировать проекты по приоритетности.

С помощью построения комплексного критерия появляются возможности решения многокритериальных задач и использования метода анализа иерархий, что, в свою очередь, позволит оперативно принимать решения и снижать риски принятия неверных решений [7, 8].

На этапах осуществления и действия контроль реализации проектов планируется организовать на основе диаграмм Ганта. В таком случае каждая полоса на диаграмме Ганта будет представлять собой отдельную задачу в составе проекта, её диапазон – временные метки начала и завершения проекта, длительность мероприятий. Вертикальной осью диаграммы Ганта служит перечень задач по организации и внедрению энергоменеджмента. Кроме того, на диаграмме должны быть указаны обобщенные задачи, доля завершения работ, временные метки последовательности проектов и их зависимости, указатели на важные моменты, текущее времени и др.

**Заключение.** Стандарт ISO 50001 объединяет в себе опыт ведущих стран в области управления потреблением энергии. Однако стандарт дает лишь общий подход к созданию и внедрению СЭнМ, что в конкретных случаях приводит к значительным практическим трудностям и снижению эффективности реализации.

Для обеспечения рациональной интеграции СЭнМ в бизнес-процессы предприятия предлагается провести функциональное моделирование соответствующих операций, подготовку сценариев реализации и дальнейшую оценку эффективности по показателям.

Исходя из приведенных выше ситуаций на предприятиях при создании и внедрении СЭнМ, был выбран показатель эффективности, заданный средним значением результата. При этом в качестве критерия эффективности для предприятия может использоваться критерий приемлемого результата, наиболее адекватно описывающий результативность процессов создания и внедрения СЭнМ.

Системный подход к снижению энергозатрат на основе мероприятий энергоменеджмента позволит предприятию: привлечь всех сотрудников к вопросам энергосбережения в организационном плане; донести до работников информацию о мероприятиях по снижению энергозатрат; сформировать политику предприятия в рамках энергоэффективного использования ресурсов; повысить уровень образования коллектива; сплотить коллектив; донести до сотрудников коллектива информацию о том, что предприятие заботится об экологии.

### **Библиографический список**

1. Проблемы энергосбережения в России // Сайт ООО «2К ИНЖИНИРИНГ». Энергопаспорт. – URL: <http://www.energo-pasport.com/wordpress/problemu-energoberezeniya-v-rossii.html> (дата обращения: 25.05.2014).
2. Франк Т. Практика энергетического менеджмента // Энергосбережение. – 2006. – № 3. – С. 32–35.
3. Шелухин О.И., Тенякшев А.М., Осин А.В. Моделирование информационных систем: учеб. пособие / под ред. О.И. Шелухина. – М.: Радиотехника, 2005. – 368 с.
4. Войнов И.В., Пудовкина С.Г, Телегин А.И. Моделирование экономических систем и процессов. Опыт построения ARIS-моделей: учеб. пособие. – М., 2006. – 332 с.
5. Марка Д.А., МакГоуэн К. Методология структурного анализа и проектирования SADT. – М.: Метатехнология, 1993.
6. Кычкин А.В. Интеллектуальная информационно-диагностическая система для исследований кровеносных сосудов // Изв. РАН. Теория и системы управления. – 2013. – № 3. – С. 114–123.
7. Кычкин А.В., Хорошев Н.И., Елтышев Д.К. Концепция автоматизированной информационной системы поддержки энергетического менеджмента // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2013. – № 5. – С. 12–17.
8. 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. Problemy energoberezeniia v Rossii [Problems saving in Russia]. Sait ООО «2К INZhINIRING». Energopasport, available at: <http://www.energo-pasport.com/wordpress/problemu-energoberezeniya-v-rossii.html> (accessed 25 May 2014).
2. Frank T. Praktika energeticheskogo menedzhmenta [Energy management practices]. *Energoberezhnie*, 2006, no. 3, pp. 32-35.

3. Shelukhin O.I., Teniakshev A.M., Osin A.V. Modelirovanie informatsionnykh system [Modeling of information systems]. Moscow: Radiotekhnika, 2005. 368 p.

4. Voinov I.V., Pudovkina S.G., Telegin A.I. Modelirovanie ekonomicheskikh sistem i protsessov. Opyt postroeniia ARIS-modelei [Modeling of economic systems and processes. Experience in building ARIS-models]. Moscow, 2006. 332 p.

5. Marka D.A., MakGouen K. Metodologiya strukturnogo analiza i proektirovaniia SADT [Methodology for structural analysis and SADT design]. Moscow: Metatekhnologiya, 1993.

6. Kychkin A.V. Intellectua'naiia informatsionno-diagnosticheskaiia sistema dlia issledovaniia krovenosnykh sosudov [Intelligent information-diagnostic system for studies of blood vessels]. *Izvestiia Rossiiskoi akademii nauk. Teoriia i sistemy upravleniia*, 2013, no. 3, pp. 114-123.

7. Kychkin A.V., Khoroshev N.I., Eltyshev D.K. Kontsepsiia avtomatizirovannoi informatsionnoi sistemy podderzhki energeticheskogo menedzhmenta. *Energobezopasnost' i energoberezhenie*, 2013, no. 5, pp. 12-17.

8. Khoroshev N.I., Eltyshev D.K., Kychkin A.V. Kompleksnaia otsenka effektivnosti tekhnicheskogo obespecheniia energomonitoringa [Comprehensive assessment of the effectiveness of technical support retrofits]. *Fundamental'nye issledovaniia*, 2014, no. 5-4, pp. 716-720.

### **Сведения об авторах**

**Кычкин Алексей Владимирович** (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры микропроцессорных средств автоматизации Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: aleksey.kychkin@gmail.com).

**Мусихина Ксения Геннадьевна** (Пермь, Россия) – студентка группы ИН-08 Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: m.xenia@mail.ru).

**Разепина Марина Геннадьевна** (Пермь, Россия) – студентка группы ИСУП-13-2м Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: marinavo@bk.ru).

#### **About the authors**

**Kychkin Aleksey Vladimirovich** (Perm, Russian Federation) is Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Automation Microprocessors Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29, Komsomolsky pr., e-mail: aleksey.kychkin@gmail.com).

**Musihina Kseniya** (Perm, Russian Federation) - Student of IN-09 Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29, Komsomolsky pr., e-mail: m.xenia@mail.ru).

**Razepina Marina** (Perm, Russian Federation) - Student of SUP-13-2m Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29, Komsomolsky pr., e-mail: marinavo@bk.ru).

Получено 26.03.2014