

УДК 681.2

## ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ЭНЕРГОМОНИТОРИНГА С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

**Кычкин А.В., Артемов С.А.**

*ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,  
Пермь, e-mail: aleksey.kychkin@gmail.com*

Предлагается подход к построению системы энергомониторинга (СЭМ) для исследования потребления энергии подвижных или распределенных объектов, информация о которых представлена наборами атрибутивной и географической информации. Действующие СЭМ для подвижных или географически распределенных объектов функционально ограничены и не могут в полной мере обеспечить долгосрочный сбор информации о потреблении ресурсов, положения объекта или точки наблюдения распределенного объекта, гибкой визуализации и подготовки отчетной документации по результатам совместного анализа энергетических параметров и геоданных. В статье предложена архитектура программно-аппаратного комплекса для реализации элементов СЭМ подвижных или распределенных объектов с применением ГИС-технологий. Данный комплекс также может быть использован для крупных или множественных точечных объектов, где необходимы сведения об энергетических параметрах с привязкой к геоданным, например, системы генерации, транспорта и потребления ресурсов и энергии и др. Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации по государственной поддержке молодых российских ученых – кандидатов наук, МК–5279.2014.8 «Синтез эффективных технологий удаленного мониторинга и управления состоянием интеллектуальной электроэнергетической системы с активно-адаптивной сетью».

**Ключевые слова:** подвижный объект, распределенный объект, энергомониторинг, система энергомониторинга, целевые показатели энергопотребления, геоинформационные системы

## SOFTWARE AND HARDWARE SOLUTION FOR ENERGY MONITORING SYSTEM WITH GIS TECHNOLOGY

**Kychkin A.V., Artemov S.A.**

*Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: aleksey.kychkin@gmail.com*

An approach to building energy monitoring system (EMS) for the mobile or distributed objects energy consumption research, information on which is represented by a set of attributes and geographic information is proposed. Existing EMS for mobile or geographically distributed objects are functionally limited and can not fully ensure the long-term collection of information on resource consumption, position of the object or the viewpoint of a distributed object, a flexible visualization and reporting documentation of the results of the joint analysis and energy parameters. The paper proposes the architecture hardware and software system for the implementation of the EMS elements moving or distributed objects using GIS technology. This complex can also be used for large or multiple single objects, where the necessary information about the energy parameters with reference to geospatial data, such as systems for the generation, transport and consumption of resources and energy, and etc. The work carried out as part Russian Federation President grant for state support of young Russian scientists – Ph.Ds., МК–5279.2014.8 «Synthesis of efficient technologies for remote monitoring and managing of intellectual power system with active-adaptive grid».

**Keywords:** moving object, distributed object, energy monitoring, energy monitoring system, targets for energy consumption, GIS

Проблема энергоресурсосбережения на сегодняшний день становится актуальной не только для крупных промышленных объектов, но и для объектов автомобильного, морского, авиационного и железнодорожного транспорта, трубопроводных систем, многократно тиражированных однотипных объектов и других, анализ состояния энергетических показателей которых целесообразно производить совместно с географической информацией. На транспорте сбережение ресурсов приводит, в первую очередь, к снижению себестоимости перевозок и снижению выбросов отравляющих веществ в окружающую среду, что в полной мере соответствует требованиям современных государственных программ [7]. На практике это достигается путем приме-

нения методов оптимизации и планирования ресурсов и контроля их потребления, однако степень автоматизации этих операций остается крайне низкой. Кроме этого, имеющиеся системы энергетического мониторинга (СЭМ) чаще всего применяются для анализа работы стационарных объектов, что затрудняет их применение в интеграции с ГИС-технологиями. В связи с этим разработка и исследование программного и аппаратного обеспечения для элементов СЭМ подвижных или распределенных объектов с применением ГИС-технологий представляется актуальной и практически значимой задачей.

**Архитектура программно-аппаратного комплекса для построения элементов СЭМ подвижных и распределенных объектов.** Системный подход к разработ-

ке СЭМ на всех уровнях реализации программного и аппаратного обеспечения требует взаимосвязанного рассмотрения процессов сбора, передачи, обработки, анализа данных, наглядного визуального представления данных о потреблении ресурсов и географической информации. Опираясь на положения методологии синтеза информационно-измерительных систем [2, 3, 8], разработана архитектура программно-аппаратного комплекса для СЭМ, обеспечивающей расчет показателей энергоэффективности объекта с учетом набора географических данных (рис. 1).

На нижнем уровне архитектуры программно-аппаратного комплекса расположено устройство удаленной телеметрии и позиционирования, выполненное на базе программируемого логического контроллера (ПЛК) [6], осуществляющего сбор атрибутивной информации и сигналов с датчиков и счетчиков, а также модуля позиционирования. Реализация нижнего уровня предусматривает применение ПЛК VIDA44M, разработанного специально для

задач энергомониторинга как мобильных, так и стационарных объектов. Технические характеристики ПЛК VIDA44M приведены в табл. 1.

После сбора атрибутивных и географических данных, включая угловые координаты (долготу, широту), метрические координаты  $(x, y, z)$ , мгновенную и среднюю на участке скорость движения, усреднения по координатам  $(x, y, z)$ , ПЛК производит первичную фильтрацию и сжатие данных с сохранением архивов измерений на карту памяти, готовых для передачи по беспроводной сети, например GSM/GPRS-технологии. Для сбора географических данных целесообразно применение GPS/GLONASS-модуля.

На верхнем уровне архитектуры программно-аппаратного комплекса располагаются технические средства серверного управления и информационная платформа открытой архитектуры, ориентированная на совместный анализ энергетических и географических данных и обладающая модульной структурой [5].

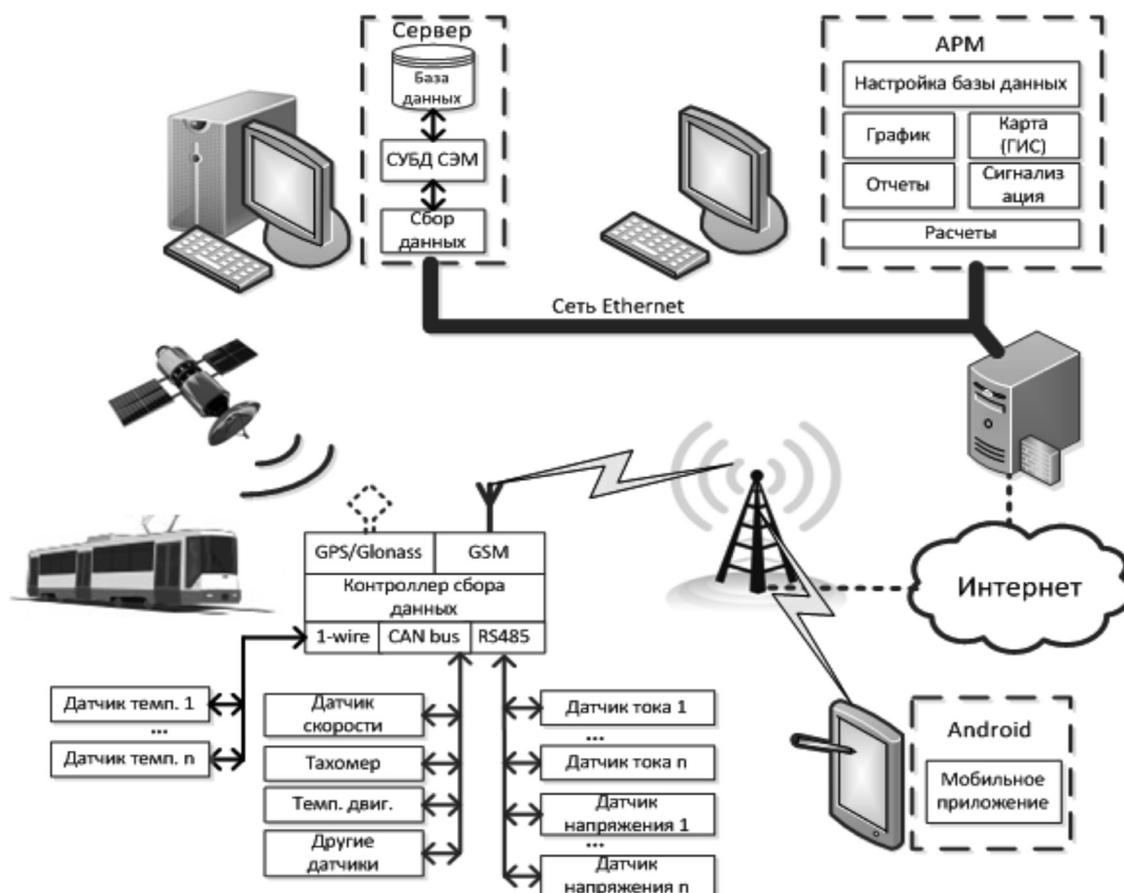


Рис. 1. Архитектура программно-аппаратного комплекса для построения элементов СЭМ подвижных и распределенных объектов

Таблица 1

Технические характеристики ПЛК VIDA44M

Напряжение питания	8..36 В постоянного тока		
Внешние интерфейсы	Последовательный порт RS485		
	Последовательный порт RS232		
	Последовательный порт 1-wire		
	Входа	2 аналоговых (0..10 В)	
	Выхода	4 цифровых (12 В)	
	4 цифровых (36 В/ 1.5 А)		
	Шина CAN ISO 11898		
16 кан. GPS-модуль	Частота обновления	NMEA @ 1 Гц	
	Точность	Позиционирования	2.5 м CEP
		DGPS/SBAS	2.5 м CEP
Модуль GSM/GPRS	Отправка SMS; аудиоканал; встроенный TCP/IP стек.		
Память	SD-card до 2 Гб; внутренняя Flash-память 64 Мб		
Версия программного обеспечения	RCTU MX2i		

**Алгоритмическое и математическое обеспечение программно-аппаратного комплекса.** Этапы сбора, обработки и анализа данных являются наиболее сложными и для каждого объекта в большей степени уникальны. Рассмотрим наиболее общие принципы построения алгоритмического и математического обеспечения программно-аппаратного комплекса для СЭМ.

Для реализации этапа обработки данных необходимо для каждого объекта определить количество параметров и значений, от которых будут зависеть качество анализа и обработки данных. Основные задачи анализа данных подвижного или распределенного объекта с применением ГИС-технологий включают фильтрацию входной информации и сигналов с датчиков и счетчиков; расчет реальных и теоретически обоснованных показателей потребления; корреляционный анализ данных потребления и геоинформации; отклонение реальных и нормированных показателей потребления с привязкой к гео-данным; долговременное хранение данных с целью выработки нормирующих показателей для групп объектов.

1)  $\rho$  – удельное потребление энергии – полезное действие на единицу затрачиваемой мощности продукции:

$$\rho = \frac{P}{S} \left[ \frac{kW}{km} \right]; \quad (1)$$

2)  $\eta_{э.д}$  – КПД объекта цикловой показывает отношение потребления энергии на полезное действие объекта, в нашем случае на перемещение груза, к циклу движения.

$$\eta_{э.д} = \frac{W_{\text{effective}}}{W_{\text{cycle}}} \cdot 100 [\%]; \quad (2)$$

3)  $K_{w_c}$  – коэффициент использования оборудования по затраченной энергии цикловой, показывает насколько загружены потребители объекта:

$$K_{w_c} = \frac{W_0}{W_n}, \quad (3)$$

где  $W_0$  [кВт/ч] – фактический расход;

$W_n = \sum P \cdot T_{ц}$  [кВт/ч] – номинальный расход.

4)  $\Delta W_{\text{рез}}$  – резерв снижения энергозатрат. Данный показатель показывает, насколько потребление объекта больше нормирующего показателя потребления:

$$\Delta W_{\text{рез}} = \frac{W_0 - W_{\text{norm}}}{W_0} \cdot 100 [\%]. \quad (4)$$

Используя инструменты систем энергетического менеджмента [4], возможно сопоставить результаты моделирования энергопотребления подвижного или распределенного объекта и путем установки значений влияния внешних факторов, например, значения состояния погоды и/или траектории движения, времени, скорости и др., предсказать состояние объекта на следующем цикле работы либо при изменении состояния внешних факторов.

Пересчет угловых координат, получаемых с GPS/GLONASS-модуля в линейные осуществляется в соответствии с системой уравнений:

$$\begin{cases} x = (N + H) \cdot \cos B \cdot \cos L \\ y = (N + H) \cdot \cos B \cdot \sin L \\ z = [N \cdot (1 - e^2) + H] \cdot \sin B \end{cases}, \quad (5)$$

где  $N = a / \sqrt{1 - e^2} \cdot \sin B$ ;  $e^2 = 2a - a^2 = 0,00669438$ ;  $a = 6378137$  [м] – меньший

радиус земли;  $B$  – широта;  $L$  – долгота;  $H$  – высота над уровнем моря.

Использование на практике линейных координат позволяет рассчитать скорость и ускорение движения объекта в определенные моменты времени, либо получить усредненные значения на интервалах. В случае, если GPS/GLONASS-модуль выдает показания в десятичной форме [ГГ.гггггг], необходимо применить преобразование координат по следующему принципу:

$$0.гггггг \cdot 60 = ММ.ммммм$$

$$0.ммммм \cdot 60 = СС.ссссс,$$

где г, Г – градусы; м, М – минуты; с, С – секунды.

Например, конвертируя десятичное число градусов, получаем:  $55,547000^\circ = 55^\circ 32' 31''$ .

**Программное и информационное обеспечение программно-аппаратного комплекса для СЭМ подвижных и распределенных объектов.** Модульной структурой

программного обеспечения, отвечающей требованиям системного подхода к построению программно-аппаратного комплекса, обладает продукт OpenJEVis с открытым исходным кодом [5]. Как можно увидеть на рис. 2, OpenJEVis разбит на блоки, в том числе база данных, модуль обработки данных, модуль подготовки отчетов и другие. Такая гибкость программного обеспечения, а также открытый исходный код модулей, обеспечивает наиболее эффективную реализацию частных решений СЭМ, в том числе с применением ГИС-технологий.

Для работы с геоинформацией на базе OpenJEVis необходимы дополнительные программные блоки интерфейсов ГИС, иностранного, Google map API или отечественного, например Yandex map API, производства.

Программный код процедуры вывода маркера по координатам с атрибутивной информацией о потреблении топлива в коде Google map API на JAVA script может выглядеть следующим образом:

```
//Центр карты
var myLatLng = new google.maps.LatLng(-25.363882,131.044922);
//Настройка опций карты
var mapOptions = {zoom: 4, center: myLatLng}
//Инициализация карты
var map = new google.maps.Map(document.getElementById 'map-canvas'),
mapOptions);
//Построение маркера
var marker = new google.maps.Marker({ position: myLatLng, map: map, title:
'Название маркера' });
```

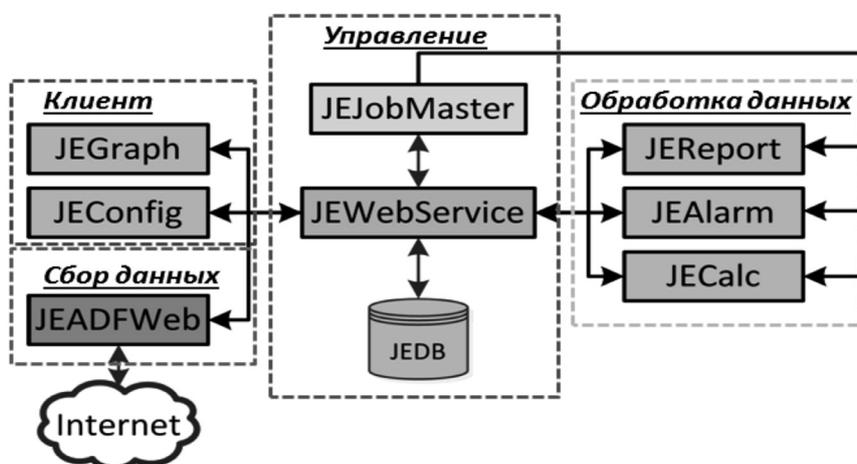


Рис. 2. Структура программного обеспечения OpenJEVis

Остальные методы, например, построение полилинии, полигона, различных фигур, символов, наложение различного рода слоев от температурной карты до карты движения городского транспорта, а также методы расчета расстояний и др., оформляются аналогично.

Реализация функции Google map API в продукте OpenJEVis, получаем СЭМ с ГИС-модулем, где на карте отображаются точки сбора данных с комментариями в виде атрибутов – энергопараметров. Программным образом реализуется экспорт данных с ПЛК в формате файла .csv формата или из базы данных OpenJEVis JDB, предварительная обработка, сортировка и настройка вывода данных.

Отображение энергетических параметров на карте преследует цель повышения информативности энергопотребления подвижных или распределенных объектов. Отображение координат и линий следования, соответствующих моментам регистрации энергопотребления, целесообразно проводить с использованием маркеров, как показано на рис. 3, и других графических примитивов ГИС-модуля (кружки, треугольники, треки и др.). Размер маркера может характеризовать удельное потребление.

Для отображения скорости и ускорения целесообразно применить цветовую раскраску, например, заливку линии тренда градиентом красного цвета при превышении удельных показателей потребления. Для отображения частоты прохождения маршрута необходимо применить так называемый «горячий слой» (наподобие термокарты), данный слой отображает гистограммную заливку от красного до зеленого в местах прохождения транспорта в зависимости от количества проходов.

### Заключение

Предложенный подход к построению программно-аппаратного комплекса для реализации элементов СЭМ подвижных или распределенных объектов с применением ГИС-технологий обеспечивает долгосрочный сбор информации, оценку потребления энергии, гибкую визуализацию и подготовку отчетной документации по результатам совместного анализа энергетических параметров и геоданных подвижных, распределенных, крупных или множественных точечных объектов, например транспорт, системы генерации, передачи и потребления ресурсов и энергии, др.

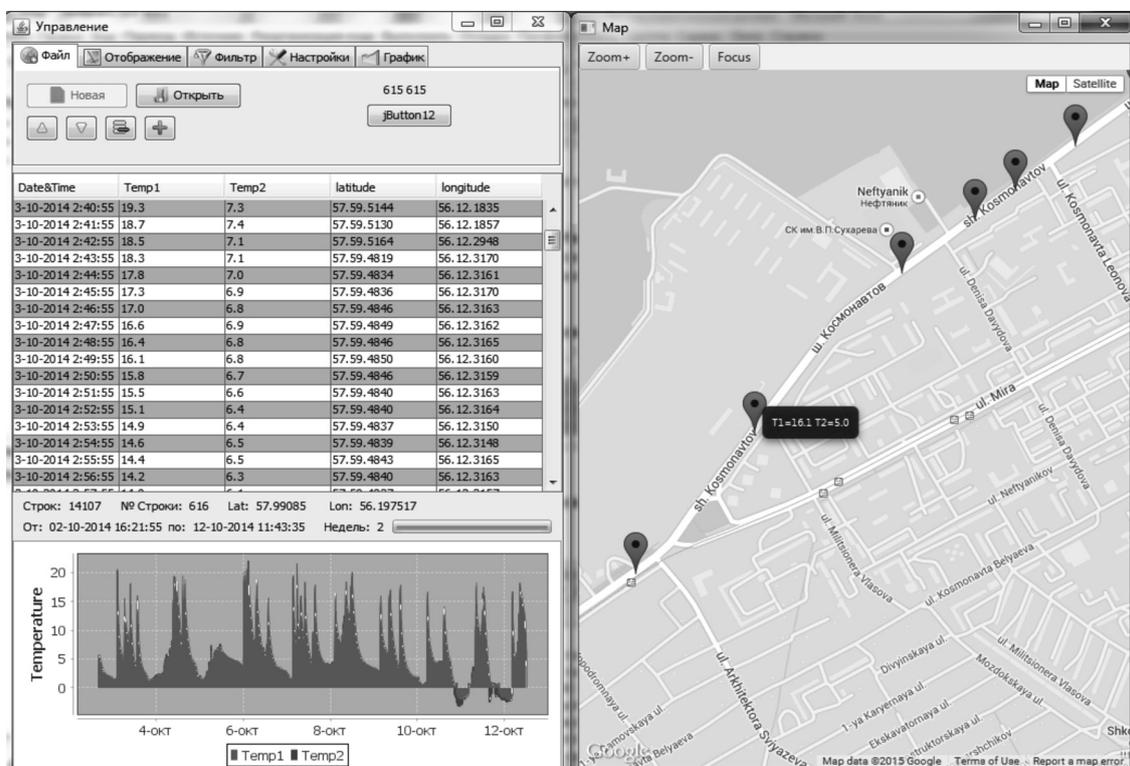


Рис. 3. Пример реализации ГИС-модуля в составе платформы OpenJEVis

Энергетические параметры в синхронизации с геоданными могут быть использованы при принятии решений по повышению эффективности управления, эксплуатации и обслуживания объектов энергомониторинга, например, построения энергоэффективных маршрутов и расписаний движения транспорта, корректировки графика планово-предупредительных работ, отслеживания некорректных действий персонала и др. Данный комплекс может применяться для реализации энергетического аудита, накопления статистики потребления энергии, ранжирования и нормирования энергоэффективности объектов, повышения информативности расходования ресурсов и энергии с привязкой к географической информации.

### Список литературы

1. Елтышев Д.К., Хорошев Н.И. Системный подход к разработке и реализации программ повышения энергоэффективности и энергосбережения // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – №5. – С. 697–701.
2. Костыгов А.М., Кычкин А.В. Структуризация удаленного мониторинга группы интеллектуальных подвижных платформ в реальном времени // *Датчики и системы*. – 2013. – № 9. – С. 65–69.
3. Кычкин А.В. Модель синтеза структуры автоматизированной системы сбора и обработки данных на базе беспроводных датчиков // *Автоматизация и современные технологии*. – 2009. – № 1. – С. 15–20.
4. Кычкин А.В., Хорошев Н.И., Елтышев Д.К. Концепция автоматизированной информационной системы поддержки энергетического менеджмента // *Энергобезопасность и энергосбережение*. – 2013. – № 5. – С. 12–17.
5. 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.
6. Темичев А.А., Кычкин А.В. Программный симулятор ПЛК VIDA350 системы энергоменеджмента // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета*. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2011. – № 5. – С. 210–220.
7. Франк Т., Кычкин А.В., Мусихина К.Г. Государственное управление проектами в области энергосбережения как база для эффективного внедрения лучших практик // *Менеджмент в России и за рубежом*. – 2014. – № 3. – С. 98–104.

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. Eltyshev D.K., Horoshev N.I. Sistemnyj podhod k razrabotke i realizacii programm povyshenija jenergojeffektivnosti i jenergosberezenija // *Fundamentalnye issledovanija*. 2014. no. 5. pp. 697–701.
2. Kostygov A.M., Kychkin A.V. Strukturizacija udalennogo monitoringa gruppy intellektualnyh podviznyh platform v realnom vremeni // *Datchiki i sistemy*. 2013. no. 9. pp. 65–69.
3. Kychkin A.V. Model sinteza struktury avtomatizirovannoj sistemy sbora i obrabotki dannyh na baze besprovodnyh datchikov // *Avtomatizacija i sovremennye tehnologii*. 2009. no. 1. pp. 15–20.
4. Kychkin A.V., Horoshev N.I., Eltyshev D.K. Konceptija avtomatizirovannoj informacionnoj sistemy podderzhki jenergeticheskogo menedzhmenta // *Jenergobezopasnost i jenergosberezenie*. 2013. no. 5. pp. 12–17.
5. Kychkin A.V. Dolgosrochnyj jenergomonitoring na baze programnoj platformy OPENJEVIS // *Vestnik Permskogo nacionalnogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta*. *Jeletrotehnika, informacionnye tehnologii, sistemy upravlenija*. 2014. no. 1 (9). pp. 5–15.
6. Temichev A.A., Kychkin A.V. Programmnyj simuljator PLK VIDA350 sistemy jenergomenedzhmenta // *Vestnik Permskogo nacionalnogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta*. *Jeletrotehnika, informacionnye tehnologii, sistemy upravlenija*. 2011. no. 5. pp. 210–220.
7. Frank T., Kychkin A.V., Musihina K.G. Gosudarstvennoe upravlenie proektami v oblasti jenergosberezenija kak baza dlja jeffektivnogo vnedrenija luchshih praktik // *Menedzhment v Rossii i za rubezhom*. 2014. no. 3. pp. 98–104.
8. Horoshev N.I., Eltyshev D.K., Kychkin A.V. Kompleksnaja ocenka jeffektivnosti tehničeskogo obespečenija jenergomonitoringa. *Fundamentalnye issledovanija*. 2014. no. 5–4. pp. 716–720.

### Рецензенты:

Бочкарёв С.В., д.т.н., доцент, профессор кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации», ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь;

Щербинин А.Г., д.т.н., доцент, профессор кафедры «Конструирование и технологии в электротехнике», ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь.