УДК 620.9:004.89

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ СООТВЕТСТВИЯ ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТА ПРЕДПРИЯТИЯ ТРЕБОВАНИЯМ СТАНДАРТА

Кычкин А.В., Елтышев Д.К., Выголова Е.А.

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

В статье рассмотрены аспекты построения интеллектуальной системы оценки соответствия энергоменеджмента предприятия требованиям стандарта *ISO* 50001:2011 «Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению». Разработана концептуальная модель интеллектуальной системы, в основу которой положен принцип многокритериальной оценки и алгоритмы нечеткого логического вывода. В соответствии с *PDCA*-подходом и положениями стандарта *ISO* 50001 сформирована иерархическая структура глобальных и локальных критериев оценки уровня реализации системы энергоменеджмента на предприятии. Предложена методика расчета весовых коэффициентов критериев на основе экспертных оценок с использованием метода анализа иерархий. Формализована структура модели нечеткого логического вывода, позволяющей использовать результаты диагностического аудита на предприятии и значимость критериев при комплексной оценке соответствия системы энергоменеджмента требованиям стандарта.

Ключевые слова: интеллектуальная система, система энергетического менеджмента, международный стандарт *ISO* 50001:2011, сертификация, энергосбережение

THE INTELLIGENT SYSTEM FOR THE ESTIMATION THE ENTERPRISE ENERGY MANAGEMENT WITH STANDARD`S REQUIREMENTS

Kychkin A.V., Eltyshev D.K., Vygolova E.A.

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

The aspects of the development of intelligent system for the estimation of compliance with the enterprise energy management and requirements of standard ISO 50001:2011 «Energy Management Systems. Requirements with guidance for use» are considered. Conceptual model of the intelligent system, based on the principle of multicriteria evaluation and fuzzy inference algorithms, is developed. According to PDCA-approach and the provisions of ISO 50001 the hierarchical structure of global and local criteria for assessing the level of the enterprise energy management system implementation is formed. A method for the criteria weighting factors calculating using experts estimates and the analytic hierarchy process is proposed. The structure of the fuzzy inference model is formalized. This structure allows to use the results of the enterprise diagnostic audit and the importance of the criteria for a comprehensive estimation of compliance with management system and standard's requirements.

Keywords: intelligent system, energy management system, ISO 50001:2011, certification, energy saving

Эффективное использование энергии помогает предприятиям сэкономить денежные средства и ресурсы, а также попытаться противодействовать изменению климата. Стандарт *ISO* 50001 на системы энергетического менеджмента (СЭнМ) позволяет следовать системному подходу при решении указанной выше задачи путем последовательного энергосбережения и повышения энергетической эффективности, включая энергобезопасность и энергопотребление [2, 7, 10].

СЭнМ описывает набор процедур, которым необходимо следовать предприятиям для достижения своих целей в области «зеленой» энергетики. Однако на сегодняшний день существует ряд ограничений успешной практической реализации СЭнМ, обуславливаемых необходимостью использования современных подходов, методов и технологий эффективной организации и внедрения бизнес-процессов. Весомость данных ограничений усиливается общим характером стандарта *ISO* 50001, предписывающим лишь направления по систематизации и управлению СЭнМ предприятия [4]. Учитывая, что стандарт *ISO* 50001 является универсальным и предлагает только общие мероприятия в области построения СЭнМ, а также тот факт, что зачастую конкретная организация сама определяет способы и методы выполнения требований стандарта, задача создания гибкого инструмента проверки соответствия СЭнМ предприятия стандарту *ISO* 50001 представляется актуальной.

В качестве базового подхода к реализации предложенной задачи предлагается использовать интеллектуальную систему оценки, позволяющую обеспечить необходимые показатели точности диагностирования состояния сложного объекта [3].

Концептуальная модель оценки соответствия системы энергоменеджмента предприятия требованиям стандарта на основе метода анализа иерархий

Предлагаемая интеллектуальная система должна являться гибкой в вопросах оценки энергоменеджмента предприятий

различной специфики и универсальной в применении, поэтому базируется на ключевых критериях, соответствующих принципу *PDCA (Plan-Do-Check-Act)*.

В качестве обобщенных (глобальных) критериев целесообразно использовать четыре составляющих принципа непрерывного улучшения Деминга – Шухарта: планирование, действие, проверка и корректировка. Каждый глобальный критерий имеет набор локальных критериев, таких как наличие энергополитики; уровень организации обмена информацией в области энергоменеджмента между подразделениями; наличие и фиксация энергопараметров; проработанность механизмов выявления явных и потенциальных несоответствий, а также причин их появления; совершенство методик оценки эффективности предпринятых действий и др.

Желание учесть большое количество ключевых факторов при оценке СЭнМ предприятия приводит к необходимости использования многокритериальной методологии [1, 8], основной задачей которой является выбор наиболее значимого фактора.

Многокритериальное иерархическое представление энергоменеджмента как организационно-технического процесса позволяет выделять подмножества объектов СЭнМ и ранжировать их в соответствии с фактическим уровнем энергоэффективности, а также анализировать значимость факторов на каждом критериальном уровне, повышая объективность получаемых решений за счет обобщения опыта экспертов [1, 6, 8].

Учитывая специфику СЭнМ, для решения подобной сложной многокритериальной задачи с иерархической структурой, включающей как количественные, так и качественные факторы, целесообразно использовать метод анализа иерархий (МАИ) [6].

Первым этапом применения МАИ для оценки соответствия СЭнМ предприятия требованиям стандарта является структурирование решаемой задачи в виде иерархии [1, 6, 8]. В простейшем виде иерархия оценки СЭнМ содержит (рис. 1) вершину (цели), промежуточные уровни-критерии и нижний уровень, который в общем случае является набором альтернатив (в нашем случае – степень соответствия стандарту *ISO* 50001).

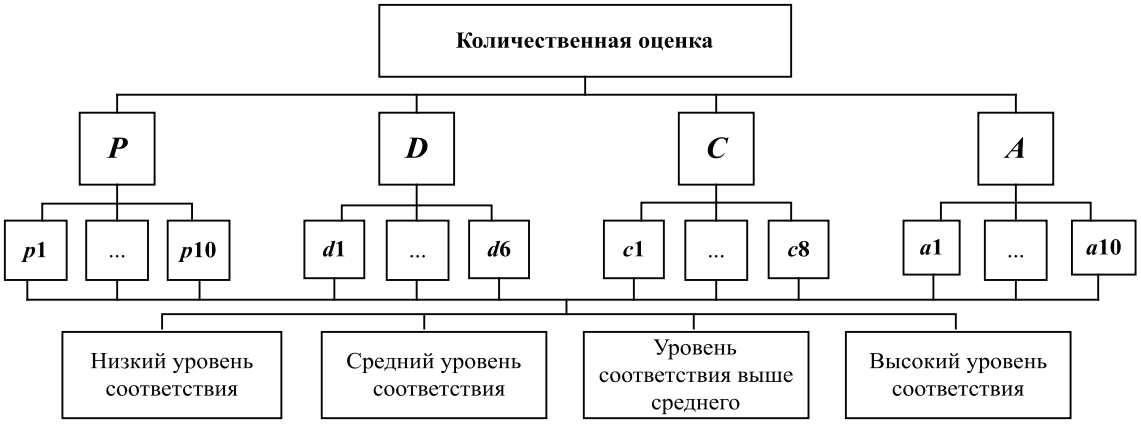

Рис. 1. Иерархическая модель многокритериальной оценки системы энергоменеджмента: P – «Plan»; D – «Do»; C – «Check»; A – «Act»

Представленная на рис. 1 структура позволяет определять относительную важность ее элементов и учитывать ее при формировании итоговых комплексных оценок, используя классический алгоритм попарных сравнений [6]. Синтез приоритетов осуществляется на основе субъективных мнений экспертов с использованием шкалы отношений, позволяющей эксперту численно оценить степень доминирования одного сравниваемого элемента над другим [6].

Расчет весовых коэффициентов предпочтения критериев оценки

Для определения значимости критериев, входящих в структуру многокритериальной задачи (рис. 1), применен метод экспертной оценки специалистами, компетентными в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности.

Для формирования оценок организуется процесс интервьюирования экспертов

в соответствии с разработанными шаблонами опросных листов. Обработка результатов экспертной оценки осуществляется по специальному алгоритму (рис. 2).

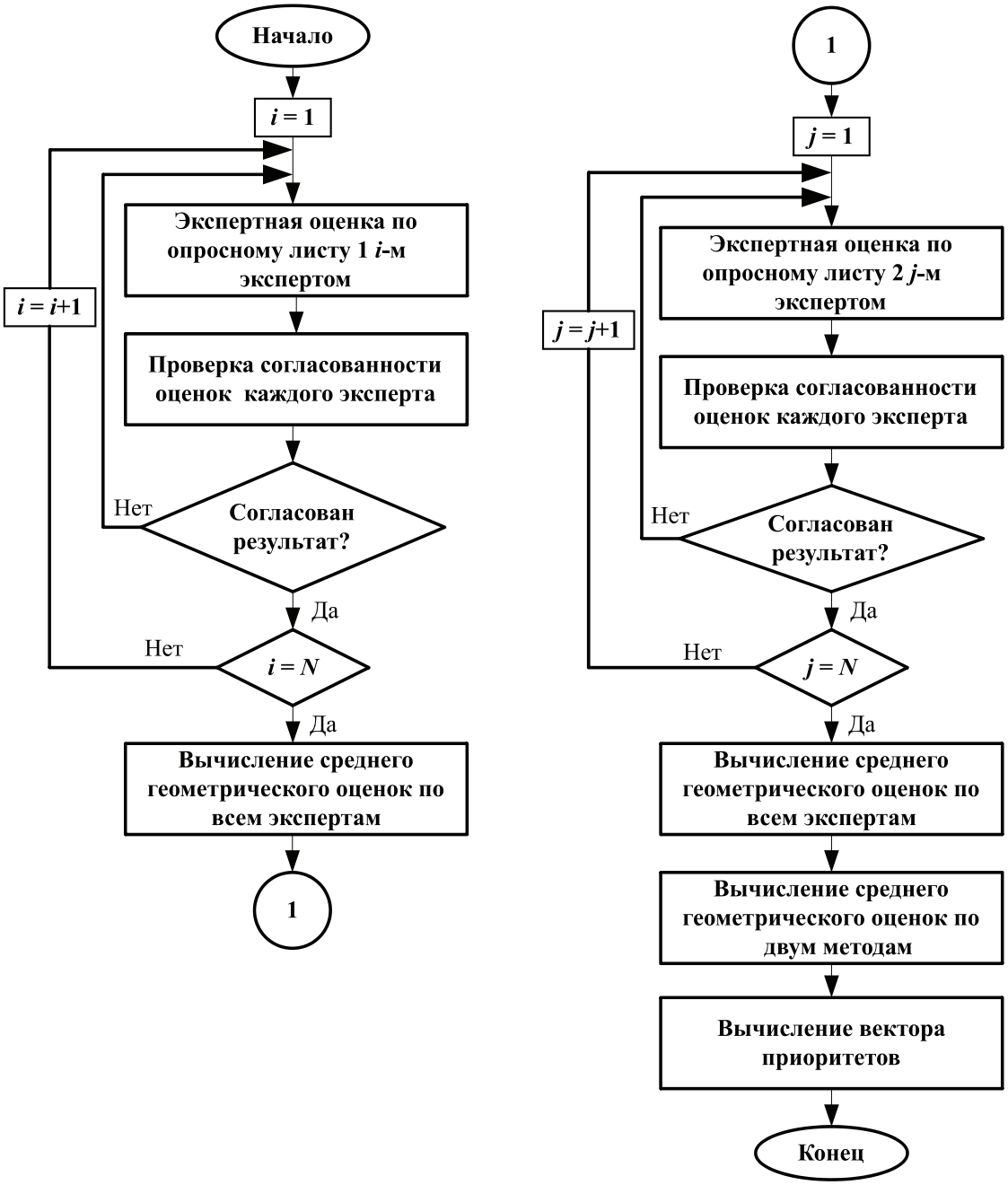

Рис. 2. Блок-схема алгоритма обработки экспертных оценок

Перед началом интервьюирования определяется число экспертов N, которые в дальнейшем заполняют опросные листы (двух видов), используя подготовленную шкалу предпочтений. На основе полученных оценок строятся матрицы парных сравнений (МПС), и результаты сформированных экспертами оценок проверяются на согласованность. При положительных результатах оценки согласованности предпочтений всех экспертов вычисляется среднее геометрическое оценок представленных в таблицах по двум опросным листам, и формируются итоговые МПС. Используя полученные МПС, на основе процедуры МАИ [6, 8] вычисляются вектора приоритета критериев на каждом уровне иерархии.

Разработка структуры интеллектуальной системы

Сформированная структура критериев оценки соответствия СЭнМ предприятия требованиям стандарта *ISO* 50001 и алгоритмы обработки экспертной информации положены в основу разработанной концепции интеллектуальной системы [5].

Система состоит из двух подсистем: операционной и решающей (рис. 3).

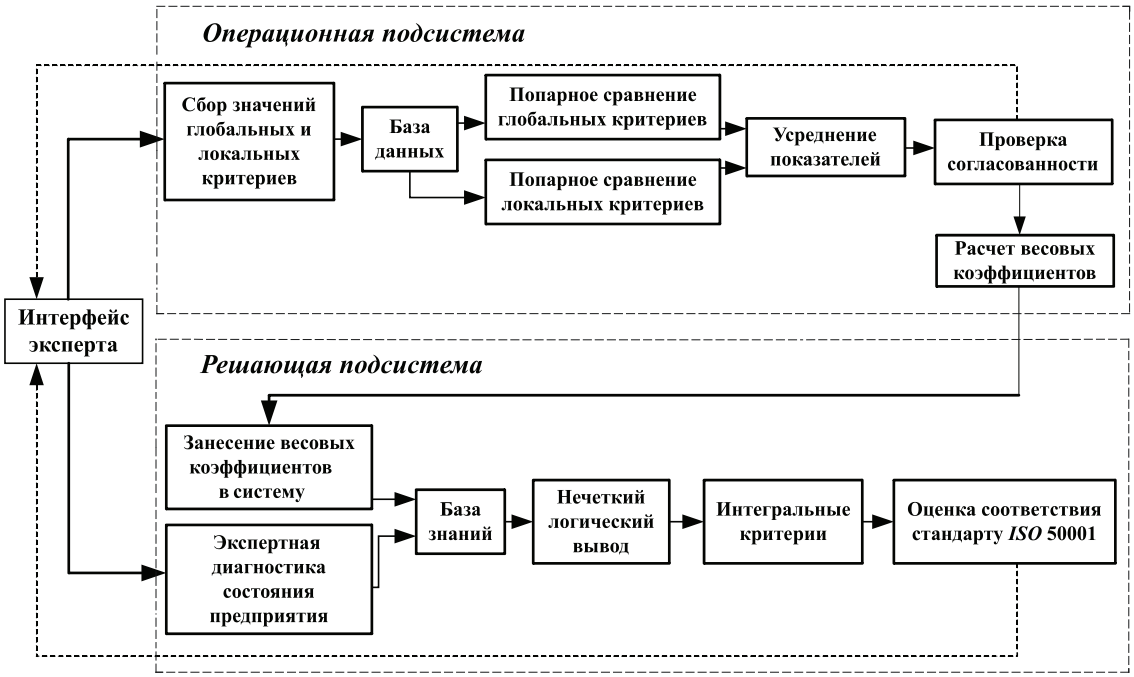

Рис. 3. Структурная модель интеллектуальной системы

Операционная подсистема является системой предварительного (подготовительного) анализа. Данная подсистема нацелена на расчет весовых коэффициентов для глобальных и локальных оценочных критериев.

Решающая подсистема – ядро интеллектуальной системы оценки. Ее реализация осуществляется с помощью инструментального пакета *MATLAB*, который позволяет работать в нечетких условиях [1, 9]. Проектирование предложенной системы в пакете *Fuzzy Logic Toolbox* позволяет применять современные методы нечеткой кластеризации и адаптивные нечеткие нейронные сети, кроме этого визуальные средства пакета позволяют наглядно демонстрировать процессы, протекающие в системе с помощью визуализации функций принадлежности.

Интеллектуальная система базируется на принципе построения моделей нечеткого логического вывода, позволяющих формировать комплексные оценки соответствия СЭнМ предприятия требованиям стандарта *ISO* 50001 по итогам экспертной оценки показателей эффективности предприятия и выдавать рекомендации к действиям.

Взаимосвязь между уровнем СЭнМ предприятия и глобальными оценочными критериями определяется в соответствии с выражением

$$X = \{x_1, x_2, \ldots, x_n\} \rightarrow y,$$

где $X = \{x_i\}$ – множество глобальных (ключевых) оценочных критериев, каждый из которых представлен лингвистической переменной с нечеткими термами $A_i = \left\{a_i^1, a_i^2, \ldots, a_i^c\right\}$; y – лингвистическая переменная с нечетким терм-множеством $S = \{s_1, s_2, \ldots, s_L\}$, характеризующая фактическое состояние СЭнМ предприятия [1, 9].

При построении системы использован алгоритм нечеткого вывода Мамдани и типовая треугольная функция принадлежности для входных и выходных параметров.

В результате обработки экспертных оценок глобальных критериев получено процентное распределение их значимости: планирование (P) – 35 %; действие (D) – 32 %; проверка (C) – 17 %; корректировка (A) – 16 %, которое использовано при построении базы знаний системы.

База знаний включает набор логических правил, формализующих связи вида ЕСЛИ <значения глобальных критериев СЭнМ>, ТО <заключение о состоянии> [1, 9]. При формировании каждого правила устанавливалось соответствие между каждой функцией принадлежности аргументов *P*, *D*, *C*, *A* и функцией принадлежности выходной переменной.

Результирующий класс состояния СЭнМ определяется в результате реализации алгоритма нечеткого вывода (1) по исходным данным посредством нечетких функций. Результат может быть представлен либо в виде нечеткой величины с оценкой степени ее принадлежности, либо четкой количественной оценкой, сверяемой с таблицей интегральных показателей работы системы.

Выводы

Распределение важности оценочных критериев дает возможность дифференцировать данные в интеллектуальной системе, сформировать базу знаний, а также выделить первичные факторы, на которые стоит обратить внимание предприятию при внедрении СЭнМ. На основании разработанной концепции интеллектуальной системы, алгоритмов ее функционирования, а также полученной структуры и весовых коэффициентов оценочных критериев с применением инструментальных средств системы *MATLAB* возможно добиться эффективного планирования и реализации комплекса мероприятий энергоменеджмента на предприятии, обеспечив надежную и эффективную работу его энергетических систем и максимальное соответствие требованиям стандартов.

Методика и алгоритмы обработки данных для интеллектуальной системы получены при поддержке гранта РФФИ № 14-07-96000 р_урала_а «Разработка интеллектуальной системы поддержки принятия решений обеспечения безаварийной работы энергетических объектов».

Список литературы

1. Бочкарев С.В., Елтышев Д.К. Методика принятия оптимальных решений при ремонте высоковольтного электротехнического оборудования // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 6. – С. 142–146.

2. Елтышев Д.К., Хорошев Н.И. Системный подход к формированию и реализации программ энергосбережения и повышения энергетической эффективности // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 5 (ч.4). – С. 697–701.

3. Кычкин А.В. Интеллектуальная информационно-диагностическая система для исследований кровеносных сосудов // Изв. РАН. Теория и системы управления. – 2013. – № 3. – С. 114–123.

4. Кычкин А.В., Мусихина К.Г., Разепина М.Г. Исследование эффективности создания и внедрения системы энергоменеджмента на промышленном предприятии // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2014. – № 1 (9). – С. 66–79.

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

6. Принятие решений. Метод анализа иерархий: пер. с англ / Т. Саати.– М.: Радио и связь, 1993.– 320 с.

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.

9. Хорошев Н.И., Казанцев В.П. Применение правил нечеткой логики при эксплуатации электротехнического оборудования // Электротехника. – 2011. – № 11. – С. 59–64.

10. ISO 50001. Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению [Электронный ресурс]. URL: http://sro61.ru/docs/gost.pdf (дата обращения 25.08.2014 г.).

References

1. Bochkarev S.V., Eltyshev D.K. *Nauchno-tehnicheskij vestnik Povolzh'ja – Scientific and technical gazette of the Volga region*, 2012, no. 6, pp. 142–146.

2. Eltyshev D.K., Khoroshev N.I. *Fundamentalnie issledovaniâ – Fundamental research*, 2014, no. 5 (v. 4), pp. 697–701.

3. Kychkin A.V. *Izvestija Rossijskoj akademii nauk. Teorija i sistemy upravlenija – Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Theory and control system*, 2013, no. 3, pp. 114–123.

4. Kychkin A.V., Musihina K.G., Razepina M.G. *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Jelektrotehnika, informacionnye tehnologii, sistemy upravlenija – PNRPU Bulletin. Electrotechnics, Informational Technologies, Control Systems*, 2014, no. 1 (9), pp. 66–79.

5. Kychkin A.V., Khoroshev N.I., Eltyshev D.K. *Jenergobezopasnost' i jenergosberezhenie – Science and practice in energetic*, 2013, no. 5, pp. 12–17.

6. Saati T. *Prinjatie reshenij. Metod analiza ierarhij* [Decision making. The Analytic Hierarchy Process]. Moscow, Radio and communications, 1993, 320 p.

7. Frank T., Kychkin A.V., Musihina K.G. *Menedzhment v Rossii i za rubezhom – Management in Russia and Abroad*, 2014, no. 3, pp. 98–104.

8. Khoroshev N.I., Eltyshev D.K., Kychkin A.V. *Fundamentalnie issledovaniâ – Fundamental research*, 2014, no. 5 (v. 4), pp. 716–720.

9. Khoroshev N.I., Kazancev V.P. *Jelektrotehnika – Electrical engineering*, 2011, no. 11, pp. 59–64.

10. *ISO* 50001. Energy management systems – Requirements with guidance for use [Electronic resource]. *URL*: http://sro61.ru/docs/gost.pdf (accessed at 25 August 2014).

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.

Работа поступила в редакцию 06.11.2014.