

А.В. Ляхомский, А.Б. Петроченков, Е.Н. Перфильева

КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИНЖИНИРИНГ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

Рассмотрено одно из основных направлений перехода от инерционного сценария повышения энергоэффективности к инновационному за счет развития системного управления энергетическими ресурсами. Дана характеристика предметной области повышения энергоэффективности. Делается вывод о целесообразности применения методов концептуального проектирования для проектирования повышения энергоэффективности. Определены смысловые аспекты, концепты, концептуальные конструкции системного управления энергетическими ресурсами. Разработан метод оценки состояния управления энергоресурсами с использованием мультипликативной модели влияния технологических и управленческих факторов с применением теории распознавания образов. Выполнено исследование и дана оценка современного состояния управления энергоресурсами на предприятиях отраслей минерально-сырьевого комплекса. На основании полученных результатов даны основные направления, стадии и объекты инжиниринга повышения энергоэффективности в рамках системного управления энергетическими ресурсами.

Ключевые слова: сценарии, повышение энергоэффективности; процесс энергопотребления – эргатический процесс; системное управление энергетическими ресурсами – энергетический менеджмент; концептуальное проектирование, инжиниринг повышения энергоэффективности.

Повышение энергоэффективности представляет собой объект, предметная область которого характеризуется законодательными, нормативно-правовым, научным, техническим, технологическим, кадровым, организационным, мотивационным, маркетинговым, инвестиционным и иными аспектами.

Предметная область повышения энергоэффективности обусловлена множеством факторов, формирующих вышеуказанные аспекты, действие которых происходит в условиях неопределенности и неполноты информации.

Принятие управленческих решений в указанной предметной области представляет собой задачу в рамках технологии концептуального проектирования.

В этой связи повышение энергоэффективности требует концептуально-

го проектирования сложных решений и инжиниринга процессов, обеспечивающих выполнение этих решений.

Применительно к промышленным предприятиям, как показывает зарубежный и отечественный опыт, потенциал повышения энергоэффективности может быть реализован за счет системного управления энергетическими ресурсами путем разработки и внедрения систем энергетического менеджмента. Так, по данным ENERDATA, Statistics, UNIDO и других международных организаций повышение энергоэффективности за счет разработки и внедрения систем энергетического менеджмента может достигать в развитых и развивающихся странах, соответственно: на горно-металлургических предприятиях – 10–35% и 30–50%; на нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятиях 10–25% и 25–50%.

Процесс потребления энергоресурсов, являясь сложным многофакторным процессом, включает в себя два основных компонента: первый, состоящий из энергопотребляющих объектов – машины, оборудование, установки, здания, сооружения; второй, включающий ключевой персонал, управляющий энергопотребляющими объектами и персонал, управляющий ключевым персоналом. В этой связи процесс энергопотребления следует отнести к «человеко-машинному» – эргатическому процессу.

Предметная область повышения энергоэффективности за счет разработки и внедрения системного управления энергетическими ресурсами промышленных предприятий, в связи с человеко-машинным характером, характеризуется двумя группами аспектов. Первая группа отражает технические, технологические свойства энергопотребляющих объектов, вторая группа отражает организационные, мотивационные, информационные, маркетинговые и инвестиционные свойства и действия персонала как управляющего элемента системного управления энергетическими ресурсами [1, 2, 5].

В настоящее время, несмотря на имеющиеся стандарты в области создания систем энергетического менеджмента [3, 4], проектирование системного управления энергетическими ресурсами представляет собой комплекс сложных решений как в силу вышеизложенных сложных свойств процесса энергопотребления, так и в силу имеющихся существенных различий предприятий по технологической, организационно-управленческой структуре, техническому оснащению, культуре предприятия и т.п.

В свете изложенного проектирование системного управления энергетическими ресурсами целесообразно осуществить с применением концептуального проектирования в рамках

4-х элементной модели: «Данность-Смыслы-Концепты-Концептуальные конструкции». В указанной модели «Данность» отражает собой состояние управления энергетическими ресурсами на предприятии. Указанная «Данность», в силу изложенного выше, имеет множество состояний для разных предприятий и требует истолкования своего смысла, оценки состояния для конкретного предприятия.

В этой связи с помощью разработанного метода выполнено исследование и осуществлена оценка уровня управления энергетическими ресурсами.

В исследовании влияющие на эффективность управления энергоресурсами факторы классифицированы по двум группам, включающие технические и управленческие аспекты. Оценка уровня управления энергоресурсами выполнена по мультипликативной модели на основе учета совместного влияния технических и управленческих факторов с использованием для снижения размерности исходной информации и идентификации существенных свойств полученных оценок метода главных компонент.

В этой связи информация о мультипликативном влиянии управленческих и технических факторов на процесс управления энергопотреблением представляется в виде матрицы:

$$U = A \cdot B = \begin{bmatrix} a_1 b_1 & a_2 b_1 & \dots & a_n b_1 \\ a_1 b_2 & a_2 b_2 & \dots & a_n b_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_1 b_m & a_2 b_m & \dots & a_n b_m \end{bmatrix} \quad (1)$$

где n – число технических факторов, оказывающих влияние на процесс управления энергопотреблением; m – число управленческих факторов, оказывающих влияние на процесс управления энергопотреблением; $a_1, a_2 \dots a_n$ – технические факторы, оказывающие влияние на управление энергоре-

Таблица 1

Оценка уровня системного управления энергетическими ресурсами

Отрасль	Характеристика первой главной компоненты		
	среднее	собственное значение	накопленная дисперсия
Черная металлургия	0,83	$7,9 \cdot 10^{-3}$	99,99
Цветная металлургия	0,49	$0,8 \cdot 10^{-3}$	99,99
Алмазодобывающая	0,57	$4,3 \cdot 10^{-3}$	99,99

сурсами; $b_1, b_2 \dots b_n$ – управленческие факторы, оказывающие влияние на управление энергоресурсами.

В связи с тем, что рассматриваемые факторы имеют случайный характер с неполной о них информацией, в определенной степени взаимозависимы, можно констатировать, что исходная информация о комплексном влиянии управленческих и технических факторов на процесс управления энергопотреблением имеет априорную избыточность, получена в условиях неполноты и неопределенности, а анализируемая матрица заведомо содержит избыточную информацию.

Для «сжатия» исходной информации применен метод главных компонент (МГК), позволяющий смоделировать оценку уровня управления энергоресурсами с более высокой степенью адекватности.

МГК позволил существенно снизить размерность исходной матрицы U с минимумом среднеквадратической ошибки, возникающей при описании реальной системы числом показателей меньшим, чем исходное.

В этом случае требуется ортогональное преобразование $A_{(a,k)}$ случайного вектора U , в результате которого новые переменные (главные компоненты) Y не коррелированы:

$$U_{(a,b)} = A_{(a,k)} \cdot Y_{(b,k)}, \quad (2)$$

где $A_{(a,k)}$ – матрица преобразования; $Y_{(b,k)}$ – главные компоненты, описывающие влияние факторов на процесс управления энергопотреблением в

пространстве новых переменных; k – номер главной компоненты.

Эффективность, информативность каждой компоненты определяется соответствующим ей собственным значением.

Современное состояние управления энергетическими ресурсами горно-обогатительных предприятий минерально-сырьевого комплекса некоторых отраслей характеризуется данными, приведенными в табл. 1.

В качестве индикатора уровня управления энергетическими ресурсами применено среднее значение первой главной компоненты, которая определяет практически всю изменчивость индикатора (накопленная дисперсия близка к единице). Полномасштабная реализация концептуальных положений системного управления энергетическими ресурсами соответствует среднему значению первой главной компоненты, равному 2,44.

Полученная оценка уровня системного управления энергетическими ресурсами показывает о наличии существенного потенциала его развития на горно-обогатительных предприятиях.

Вместе с этим приведенные результаты позволяют раскрыть содержание первых двух элементов вышеприведенной 4-х элементной модели. В качестве концептов (концепций) системного управления энергетическими ресурсами, наряду с техно-технологическим, выступают управленческие аспекты – организационные, мотивационные, информационные, маркетинговые и ин-

Таблица 2

Оценка уровня развития управленческих аспектов (составляющих) энергетического менеджмента

Компания (предприятие)	Энергетическая политика	Организация	Мотивация	Информационная система	Маркетинг	Инвестиции
АК «АПРОСА»	1,99	1,90	1,84	2,36	1,92	1,67
АО «Казцинк»	1,55	1,49	1,52	1,41	1,62	1,55
Лебединский ГОК	2,17	1,87	2,04	2,46	2,13	1,79

вестиционные. В свете «человеко-машинного» характера потребления энергоресурсов оценка развития управленческих аспектов представляется актуальной задачей. Целью такой оценки является определение приоритетов вышеуказанных аспектов и альтернативных путей развития энергетического менеджмента.

Оценка уровня развития рассматриваемых управленческих аспектов выполнена на основании экспертного их обследования и измерения по качественным шкалам со шкалой от нулевого до четвертого уровня. Результаты оценки приведены в табл. 2.

Полученные результаты показывают, что управленческие аспекты (составляющие) менеджмента энергетическими ресурсами находятся в срединной области развития (при максимальном уровне, равном четыре) и имеют существенный потенциал развития.

Полученные оценки уровня развития системного управления энергетическими ресурсами, оценки составляющих энергетического менеджмента позволяют обосновать и разрабатывать концептуальные конструкции при проектировании повышения энергоэффективности.

Полученные результаты позволяют сформировать основные направления инжиниринга повышения энергоэффективности в части системного управления энергетическими ресурсами.

Для горно-обогатительных предприятий минерально-сырьевого комплекса в качестве таких направлений являются: оценка текущего состояния энергетического менеджмента и его составляющих; разработка энергетической политики; обоснование и разработка организационно-структурной схемы менеджмента энергетических ресурсов; разработка мотивационных контуров, обеспечение мотивации в области повышения энергоэффективности различных групп персонала – участников процесса энергопотребления; создание информационных энерготехнологических баз данных, разработка и обеспечение функционирования системы мониторинга, контроля, оперативного управления показателями энергоэффективности; идентификация потребителей, продуцирование и продвижение услуг энергетического менеджмента на предприятии; развитие практики технико-экономической оценки, повышение объема инвестирования в мероприятия по повышению энергоэффективности, верификация (защита) инвестиций в повышение энергоэффективности; разработка, внедрение и сертификация систем энергетического менеджмента.

Применение методов концептуального проектирования и инжиниринга обеспечивают повышение энергетической эффективности, в том числе за счет развития системного управления энергетическими ресурсами [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ляхомский А.В., Перфильева Е.Н. Синтез моделей оценки управления энергоресурсами предприятий в условиях неопределенности // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № 8. – С. 24–28.
2. Ляхомский А.В., Дьячков Н.Б., Перфильева Е.Н. Применение методов теории распознавания образов для оценки энергетического менеджмента // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 4. – С. 9–12.
3. Energy management systems – Requirements with guidance for use. Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению.
4. ГОСТ Р ИСО 50001–2012 Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению.
5. Основы энергетического менеджмента. Библиотека энергоменеджера. – М.: АСЭМ Энизан, 1997. – 88 с.
6. Ляхомский А.В., Бабочкин Г.И. Управление энергетическими ресурсами горных предприятий: Учебное пособие. – М.: изд-во «Горная книга», 2011. – 232 с. **ИДБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Ляхомский Александр Валентинович¹ – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой, Петроченков Антон Борисович – кандидат технических наук, доцент, e-mail: pab@msa.pstu.ac.ru, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Перфильева Евгения Николаевна¹ – кандидат технических наук, доцент, ¹ МГИ НИТУ «МИСиС», e-mail: mggu.eegp@mail.ru.

UDC 622:621.311:652.26

CONCEPTUAL DESIGN AND ENGINEERING OF INCREASING OF THE ENERGY EFFICIENCY

Lyakhomsky A.V.¹, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Chair, Petrochenkov A.B., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, e-mail: pab@msa.pstu.ac.ru, Perm National Research Polytechnic University, 614990, Perm, Russia, Perfilieva E.N.¹, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, ¹ Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia, e-mail: mggu.eegp@mail.ru.

One of the main directions of changeover from 'no change' scenario to innovative scenario of increasing of the energy efficiency by system management of energy resources is reviewed. Characteristic of topical area of increasing of the energy efficiency is given. Conclusion of feasibility of conceptual design methods for increasing of the energy efficiency is made. Conceptual aspects, concepts and conceptual models of system management of energy resources are defined. Estimation method of energy resources management state with application of multiplicative model of technological and management factors with usage of theory of pattern recognition is developed. Research is implemented and evaluation of current state of energy resources management on enterprises of mineral raw material complex is given. Main directions, stages and objects of increasing of the energy efficiency engineering were given on the basis of received results in frameworks of energy resources system management.

Key words: scenario of increasing of the energy efficiency; process of energy consumption – conversational technique; system management of energy resources – energy management; conceptual design, engineering of energy efficiency increasing.

REFERENCES

1. Lyakhomskiy A.V., Perfil'eva E.N. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2009, no 8, pp. 24–28.
2. Lyakhomskiy A.V., D'yachkov N.B., Perfil'eva E.N. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2011, no 4, pp. 9–12.
3. Energy management systems Requirements with guidance for use.
4. *Sistemy energeticheskogo menedzhmenta. Trebovaniya i rukovodstvo po primeneniyu. GOST R ISO 50001-2012* (Energy management systems. Requirements with guidance for use. State Standard R ISO 50001-2012).
5. *Osnovy eneregicheskogo menedzhmenta. Biblioteka energomenedzhera* (Energy management fundamentals. Library of energy management), Moscow, ASEM Enizan, 1997, 88 p.
6. Lyakhomskiy A.V., Babokin G.I. *Upravlenie energeticheskimi resursami gornyykh predpriyatiy: Uchebnoe posobie* (Energy resources management of mining enterprises: Educational aid), Moscow, izd-vo «Gornaya kniga», 2011, 232 p.