УДК 681.5

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЕМ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ДЛЯ БЮДЖЕТНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СФЕРЫ

Трушников К.П., Ромодин А.В., Лейзгольд К.А.

ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, e-mail: romodin@mail.ru

В статье рассмотрены проблемы потребления энергоресурсов бюджетными организациями образовательной сферы, такие как недостаточная эффективность при управлении потреблением топливно-энергетических ресурсов, неучет особенностей организации бюджетного процесса и др. Для решения данных проблем предлагается введение автоматизированной системы управления потреблением (АСУП) топливно-энергетических ресурсов в роли дополнительного связующего звена между объектом потребления и энергетической службой объекта потребления. Во второй части статьи подробно рассмотрена структурная схема предлагаемой системы управления, приведено описание алгоритма работы системы. Разработаны принципы работы каждого из блоков автоматизированной системы управления. Результаты работы являются первым шагом на пути создания полноценного программного продукта, который позволит решить проблему энергосбережения в данной сфере.

Ключевые слова: энергетическая эффективность, топливно-энергетические ресурсы, автоматизированная система управления

DEVELOPMENT OF AUTOMATED CONTROL SYSTEMS CONSUMPTION OF FUEL AND ENERGY RESOURCES FOR STATE-FUNDED ORGANIZATION IN EDUCATIONAL AREA

Trushnikov K.P., Romodin A.V., Leyzgold K.A.

Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: romodin@mail.ru

In article deals with the problems of energy consumption by state-funded organization in educational area, such as low efficiency of the management of the fuel and energy resources consumption, neglect of the state-funded organization peculiarity and others. To solve these problems there is provided to introduce an automated control system of fuel and energy resources in the role of an additional link between the object of consumption and energy service of consumption object. With the aid of the control system Energy service of state-funded organization will have the opportunity to receive operation information about consumption object and make timely management decisions. In the second part of the article is considered in detail the diagram of the proposed control system and operating procedure description of the system. There are also developed the operating principle of each block of the automated control system. In particular for the control block of the system are developed the algorithms of predicting resource consumption based on neuro network device with account of climatic factors and status of the projected day (full-time, part-time, weekend). Training of neuronet was based on archival data. Ranking algorithm is energy-efficiency measures is developed by using the analytic hierarchy process in which each test significance is determined automatically based on the processing of basic data about research object using objective function of energy cost minimization instead of expert appraisement.

Keywords: energy efficiency, fuel and energy resources, automated control system

В условиях реформы российской энергетики для учреждений бюджетной сферы стремительно возрастает роль качества внедряемых информационных технологий и решений. Но использование методов и технологий управления потреблением топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), предлагаемых в настоящее время, в бюджетной сфере экономики России затруднено в силу следующих основных причин:

- неучет особенностей организации бюджетного процесса;
- плохое техническое состояние систем энергообеспечения объектов бюджетной собственности;
- ограниченность финансовых средств на реализацию энергосберегающей политики в бюджетных учреждениях;
- низкая квалификация энергообслуживающего персонала объектов бюджетной сферы;
- отсутствие энергосервисных компаний, работающих в бюджетном секторе.

Поэтому решение задач повышения энергетической эффективности требует разработки оригинальных стратегий управления процессами энергопотребления, в первую очередь, на базе самих учреждений. Сложность решения названных проблем обусловлена их комплексным характером, требующим рассмотрения, с одной стороны, научно-технических аспектов, предметно связанных с процессами энергопотребления и их оптимизацией на уровне отдельных объектов.

Можно выделить следующие основные специфические аспекты энергопотребления в бюджетной сфере на примере объектов

Рособразования Российской Федерации (РФ) [9, 10]:

- основные расходы энергии связаны с системами отопления, вентиляции, горячего водоснабжения, поскольку основными объектами – потребителями ТЭР – являются здания и сооружения;
- количество объектов – потребителей энергоресурсов – исчисляется тысячами, на балансе каждого из которых находится от одного до сотни зданий и сооружений;
- низкая эффективность использования энергии;
- большинство объектов не оснащены приборами учета расхода тепловой энергии, теплоносителя и оплачивают энергию по завышенным договорным тепловым нагрузкам;
- сбор первичных статистических данных о состоянии систем энергообеспечения и энергопотребления объектов (позволяющий оценить объемы требуемого энергопотребления) крайне затруднен низкой квалификацией энергообслуживающего персонала.

Низкая эффективность расходования бюджетных средств обусловлена неудовлетворительным качеством процессов прогнозирования потребности в энергетических ресурсах и объемов финансовых средств на их оплату. Одним из решений данной проблемы является разработка научно обоснованных методик прогнозирования, учитывающих прогнозные изменения природно-климатических факторов, а также позволяющих повысить эффективность использования средств, расходуемых на оплату энергоресурсов.

Принятие управленческих решений основывается на мониторинге и анализе разнородного и большого количества информации, следовательно, оптимальное управление должно основываться на применении эффективных информационно-управляющих систем. Особую актуальность процессы принятия эффективных управленческих решений имеют для энергоемких потребителей бюджетной сферы, например для высших учебных заведений Российской Федерации.

На основе [1, 4, 5, 6, 10] была составлена структура схемы управления потреблением типовых учреждений образовательной сферы (рис. 1).

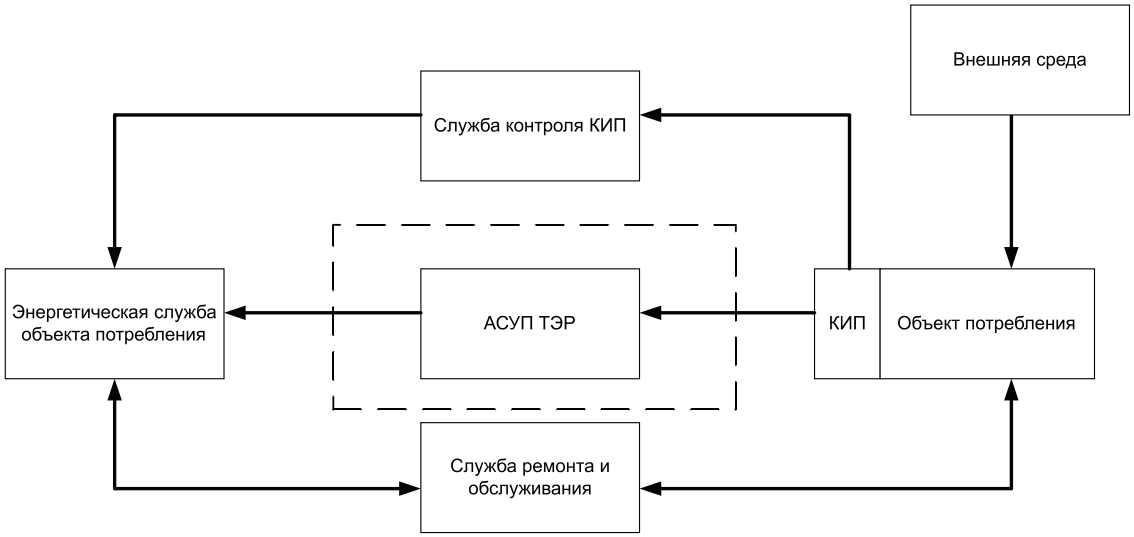

Рис. 1. Структурная схема системы управления потреблением энергоресурсов

В процессе управления энергопотреблением в ручном режиме осуществляется сбор показаний с приборов учета, которые передаются в энергетическую службу объекта потребления для сверки предъявленного к оплате объема потребления с фактическим. При таком подходе возникают некоторые негативные факторы, а именно низкая оперативность и влияние человеческого фактора на процесс снятия показаний с приборов учета. В дополнение к этому такие системы обеспечивают только передачу информации о потреблении ТЭР, но не обеспечивают взаимодействия между энергетической службой объекта потребления и объектом потребления и не имеют воздействия на процесс потребления ТЭР. Данный аспект является главной причиной недостаточной эффективности при управлении потреблением ТЭР.

В предлагаемом подходе к построению автоматизированной системы управления добавлено дополнительное связующее звено АСУП ТЭР между объектом потребления

и энергетической службой объекта потребления в систему управления потреблением ТЭР. Таким образом, система управления позволит энергетической службе оперативно получать информацию об объекте потребления, следовательно, энергетическая служба сможет своевременно принимать управленческие решения.

Задача оптимального управления потреблением сводится к следующему: произвести выбор меняющегося во времени объема потребления энергоресурсов и сформировать на его основе планируемый объем энергопотребления, обеспечивающий минимизацию затрат на энергоресурсы.

Система автоматизированного управления потреблением ТЭР состоит из четырех блоков: блок управления, исполнительный блок, контрольно-измерительный блок и блок объекта потребления (рис. 2).

Рис. 2. Функциональная структура автоматизированной системы управления потреблением ТЭР

Управляемым объектом является объект потребления. Реальное значение управляемой величины $x_{вых}$ измеряется контрольно-измерительным блоком. Задачей блока является передача информации в центральный диспетчерский пункт (ЦДП). При нормальной работе контрольно-измерительного блока в блок управления поступает оперативная информация, которая является основой для принятия управляющих решений. В зависимости от разности реального значения $x_{вых}$ и заданного значения $x_{вх}$ в системе происходит формирование управляющего воздействия. Сформированное значение поступает в исполнительный блок, состоящий из службы ремонта и обслуживания и автоматизированного рабочего места завхоза подразделения. Задача блока состоит в том, чтобы принять сформированное значение управляющего воздействия и выполнить его.

Блок управления состоит из базы данных по потреблению энергоресурсов, базы данных управленческих решений и организационно-технических мероприятий, блока планирования, центрального диспетчерского пункта. ЦДП получает данные о процессе потребления энергетических ресурсов объектом потребления в режиме реального времени и формирует прогнозное значение потребления энергоресурсов. Далее вычисляется величина рассогласования прогнозного и реального значений потребления энергетических ресурсов. При превышении величиной рассогласования допустимой нормы необходимо определить объект, на котором произошло отклонение величины потребления от нормального значения, и определить причины возникновения отклонения. Если причиной отклонения является нештатная ситуация (авария) на объекте, то необходимо принять меры по ее устранению. Если причиной отклонения являются разного рода потери, то необходимо установить источник потерь. Система анализирует получаемую информацию и формирует управленческое решение, которое передается в службу ремонта и обслуживания. Обслуживающий персонал исполняет предписанное управленческое решение.

В базу данных по потреблению энергоресурсов блока управления в зависимости от выбранного энергоносителя загружаются следующие группы измеренных данных:

1. Данные по электрической энергии:

● фактический расход электрической энергии.

● фактическое напряжение на осветительных установках, измеренное на щитах освещения.

● мощность по фазам в сетях освещения (в случае однофазных нагрузок) для выявления несимметрии и реальных установленных мощностей.

● график суточной нагрузки, который необходим для определения закона управления и регулирования освещенности помещений.

2. Теплотехнические данные:

● Фактический расход теплоносителя.

● Фактическая температура теплоносителя (на вводе в объект и на выводе).

● Фактическая температура воздуха внутри помещений и снаружи здания.

3. Данные по водоснабжению:

● Фактический расход горячей и холодной воды.

● Фактическая температура горячей воды.

4. Данные для формирования прогноза:

● Среднесуточная температура прогнозируемых суток по данным Гисметеоцентра.

● Статус дня (рабочий, неполный рабочий, выходной день) согласно календарю.

Нормативные данные должны быть введены независимо от выбранного энергоносителя:

● Выбор типа здания согласно классификации.

● Ввод типоразмера здания согласно паспортным данным.

● Ввод параметров ограждающих конструкций.

● Выбор температурного графика, согласно договору с теплоснабжающей организацией.

● Ввод параметров мест различной освещенности.

● Ввод информации об осветительной и силовой нагрузке.

Все данные сгруппированы по участкам энергопотребления.

Далее осуществляется прогнозирование потребления энергоресурсов. Алгоритм прогнозирования потребления энергоресурсов по целевому назначению делится на две основные составляющие: краткосрочного и долгосрочного прогнозирования.

Для эффективной работы ЦДП наиболее актуальны алгоритмы краткосрочного прогнозирования с целью формирования оперативного прогнозного графика потребления, для оперативного реагирования на возникающие отклонения потребления ТЭР от оптимального значения. Краткосрочный прогноз потребления ТЭР формируется при помощи нейро-нечеткой сетевой модели. Достоинства нейро-сетевого аппарата описаны в [3].

В данной задаче планирования рассматриваются следующие переменные: энергопотребление за сутки недельной, двухнедельной, трехнедельной давности для прогнозируемых суток, среднесуточная температура окружающей среды прогнозируемых суток (по прогнозным данным Гидрометеоцентра), статус дня прогнозируемых суток (рабочий день, неполный рабочий день, нерабочий день). На основе экспериментов и анализа опыта работы по прогнозированию энергопотребления выбрана следующая архитектура нечеткой нейронной сети:

● сеть прямого распространения;

● сеть содержит 5 слоев;

● входной слой – 5, выходной – 1;

● функция принадлежности – гауссовская кривая;

● для синтеза модели используется алгоритм решеточного разбиения;

● обучение сети проводится гибридным методом.

Долгосрочные алгоритмы прогнозирования необходимы для стратегического планирования энергетической политики учреждения. Для долгосрочного прогнозирования потребления предложено использовать алгоритм, описанный в [7].

Решение задачи определения целесообразности внедрения того или иного организационно-технического мероприятия определяется методом анализа иерархий. В принятой постановке задачи значимость каждого из критериев определяется автоматически на основе обработки исходных данных об объекте исследования с помощью целевых функций минимизации затрат на энергоресурсы. Для решения задачи была составлена иерархия, в которой глобальной целью ставилась минимизация затрат на потребление энергетических ресурсов. Конечной целью – выбор из предложенных организационно-технических мероприятий. В базе данных организационно-технических мероприятий собран набор стандартных решений, нацеленных на уменьшение потребления энергоресурсов и принимаемых ранее управленческих решений. Основные мероприятия указаны в [2].

Результаты работы описывают концептуальные подходы к построению программно-аппаратного продукта, который позволит решить проблему энергосбережения в данной сфере. Разработана обобщенная струк-

тура системы управления потреблением ТЭР для бюджетных организаций, выбран математический аппарат для функции прогнозирования потребления энергетических ресурсов на основе нейро-сетевого метода, на основе метода анализа иерархий разработана модель выбора оптимальных организационно-технических мероприятий, направленных на повышение энергетической эффективности учреждения.

Список литературы

1. Аметистов Е.В., Данилов О.Л., Бобряков А.В., Гаврилов А.И. Информационно-аналитические системы по энергоэффективности: опыт разработки и внедрения // Энергетическая политика. – 2003. – № 4.

2. Методика проведения энергетических обследований (энергоаудита) бюджетных учреждений. РД.34.01-03 / под общ. редакцией С.К. Сергеева. – 2-е изд., перераб. и доп. – Н. Новгород: НИЦЭ, 2003. – 228 с.

3. Мокроусова Е.С., Ромодин А.В. Вопрос создания математической модели искусственной нейронной сети в рамках разработки автоматизированной системы управления программами энергосбережения // Вестник ПГТУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2010. – № 4. – С. 72–76.

4. Петроченков А.Б., Ромодин А.В. Комплекс «Энергооптимизатор» // Электротехника. – 2010. – № 6. – С. 49–54.

5. Петроченков А.Б., Ромодин А.В. Разработка подходов к построению комплекса «Энергооптимизатор» // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. – 2013. – № 4. – С. 20–25.

6. Портнов И.С. Разработка информационной системы управления потреблением топливно-энергетических ресурсов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Владикавказ, 2009. – 24 с.

7. Ромодин А.В., Андриевская Н.В. Долгосрочное прогнозирование электропотребления на основе искусственной нейронной сети // Системы мониторинга и управления: Сб. науч. тр. / ПГТУ. – Пермь, 2008. – **С.** 132–137.

8. Ромодин А.В., Кухарчук А.В., Лейзгольд Д.Ю., Калинин И.С., Кузьминов В.А. Опыт проведения энергетического обследования Пермского национального исследовательского политехнического университета // Электропривод, электротехнологии и электрооборудование предприятий: I Междунар. (IV-я Всерос.) науч.-техн. конф.: сб. науч. тр. конф. (Уфа, 12–13 апр. 2013 г.). – Уфа: Нефтегазовое дело, 2013. – С. 289–293.

9. Ромодин А.В., Кухарчук А.В., Лейзгольд Д.Ю., Калинин И.С., Кузьминов В.А. Повышение энергетической эффективности Пермского национального исследовательского политехнического университета // Энергетика. Инновационные направления в энергетике. CALS-технологии в энергетике: материалы VI Междунар. науч.-техн. интернет-конф., (Пермь, 1–30 нояб. 2012 г.) – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2012. – **С.** 49–58.

10. Ромодин А.В., Мокроусова Е.С. Создание автоматизированной системы управления программами энергосбережения // Автоматизированные системы управления и информационные технологии: материалы краев. науч.-техн. конф., (Пермь, 13 мая 2010 г.) – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2010. – **С.** 402–406.

References

1. Ametistov E.V., Danilov O.L., Bobryakov A.V., Gavrilov A.I. *Energeticheskaya politika* [Energy policy], № 4, 2003.

2. *Metodika provedeniya energeticheskikh obsledovanii (energoaudita) byudzhetnykh uchrezhdenii. RD.34.01-03* [Methodology for conducting energy audits (energy audit) of public institutions. RD.34.01-03] / Pod obsch. redaktsiei S.K. Sergeeva; 2-e izd., pererab. I dop. N. Novgorod: NITsE, 2003. 228 p.

3. Romodin A.V., Mokrousova E.S. Vopros sozdaniya matematicheskoi modeli iskusstvennoi neironnoi seti v ramkakh razrabotki avtomatizirovannoi sistemy upravleniya programmami energosberezheniya. *Vestnik PGTU. Elektrotekhnika, informatsionnye tekhnologii, sistemy upravleniya*., 2010, no. 4, pp. 72–76.

4. Petrochenkov A.B., Romodin A.V. Elektrotekhnika – Russian Electrical Engineering, 2010, no. 6, pp. 49–54.

5. Petrochenkov A.B., Romodin A.V. Razrabotka podkhodov k postroeniyu kompleksa «Energooptimizator». Elektro. Elektrotekhnika, elektroenergetika, elektrotekhnicheskaya promyshlennost. 2013, no. 4, pp. 20–25.

6. Portnov I.S. *Razrabotka informatsionnoi sistemy upravleniya potrebleniem toplivno-energeticheskikh resursov* [Development of an information management system of fuel and energy resources]: avtoref. dis. na soiskanie uch. st. kand. tekhn. nauk. Vladikavkaz, 2009. 24 p.

7. Romodin A.V., Andrievskaya N.V. Dolgosrochnoe prognozirovanie elektropotrebleniya na osnove iskusstvennoi neironnoi seti. *Sistemy monitoringa i upravleniya: Sb. nauch. tr*., Perm', 2008, pp. 132–137.

8. Romodin A.V., Kukharchuk A.V., Leizgol'd D.Yu., Kalinin I.S., Kuz'minov V.A. Opyt provedeniya energeticheskogo obsledovaniya Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. *Elektroprivod, elektrotekhnologii i elektrooborudovanie predpriyatii: I Mezhdunar. (IV-ya Vseros.) nauch.-tekhn. konf.: sb. nauch. tr. konf.* (Electric drive, electrotechnology and electrical enterprises: I Intern. (IV–I All-Russia.) Scientific-technical. conf .: Sb. scientific. Tr. conf). Ufa, 12-13 apr. 2013 g. pp. 289–293.

9. Romodin A.V., Kukharchuk A.V., Leizgol'd D.Yu., Kalinin I.S., Kuz'minov V.A. Povyshenie energeticheskoi effektivnosti Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. *Energetika. Innovatsionnye napravleniya v energetike. CALS-tekhnologii v energetike: materialy VI Mezhdunar. nauch.-tekhn. internet-konf.* (Energy. Innovative directions in the energy sector. CALS-technologies in the energy sector: the VI Intern. scientific-technical. Internet Conf.), Perm', 1–30 noyab. 2012 g. pp. 49–58.

10. Romodin A.V., Mokrousova E.S. Sozdanie avtomatizirovannoi sistemy programmami energosberezheniya. *Avtomatizirovannye sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii: materialy kraev. nauch.-tekhn. konf.* (Automated control systems and information technologies: materials edges. scientific-technical. conf.), Perm', 13 maya 2010 g. pp. 402–406.

Рецензенты:

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

Кавалеров Б.В., д.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Электротехника и электромеханика», ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь.

Работа поступила в редакцию 06.11.2014.