

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА УНИВЕРСИТЕТСКОГО ГОРОДКА

А.А. Басалаев

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

Предлагается структура автоматизированной системы энергоменеджмента теплоэнергетического комплекса университетского городка. Предлагаемая система включает в себя автоматизированную систему диспетчерского управления, автоматизированную информационную систему анализа энергоэффективности и корпоративную систему управления теплоэнергетическим комплексом. Рассмотрено методическое обеспечение подсистемы анализа энергоэффективности потребления теплоэнергетических ресурсов. Для контроля энергоэффективности теплоэнергетического комплекса предложен метод нормирования потребления тепловой энергии, который учитывает требования международного протокола измерения и верификации эффективности. Соблюдение в течение всего отчётного периода нормы потребления, рассчитанной с использованием предложенного метода, позволяет к концу отчётного периода получить статистически значимую величину экономии тепловой энергии. Представлен пример использования предложенного метода для одного из зданий университетского городка Южно-Уральского государственного университета.

Ключевые слова: энергетическая эффективность, нормирование, тепловая энергия, теплоснабжение, система энергоменеджмента.

Введение

Энергосбережение является актуальной проблемой развития российской экономики. Особо остро проблема эффективного использования энергоресурсов стоит в сфере ЖКХ. В первую очередь это связано моральным и технологическим устареванием основных фондов ЖКХ, износ которых на сегодняшний день составляет 60–70 %. При этом большую долю в износе основных фондов составляют системы водоотведения, водоснабжения и теплоснабжения.

В настоящее время в эксплуатацию начинают вводиться системы генерации энергоресурсов, функционирующие в пределах микрорайонов (миникотельные, когенерационные установки) [1], а при строительстве новых зданий и модернизации уже построенных необходимым требованием является установка индивидуальных тепловых пунктов [2, 3]. Применение локальных систем управления генерацией и потреблением энергоресурсов совместно с автоматизированными системами контроля и управления повышает гибкость управления системой энергоснабжения и позволяет не только экономить энергоресурсы, но и повышать качество энергоснабжения [4].

Примером такого подхода являются системы теплоснабжения университетских городков [5, 6]. Поскольку большинство отечественных и зарубежных университетов уделяют энергосбережению особое внимание, в рамках их научной деятельности внедряются и тестируются различные передовые технологии в области энергосбережения. Поэтому в системах теплоснабжения университетских городков могут использоваться несколько различных типов установок генерации и потребления энергоресурсов, функционирующих в различных режимах и обеспечивающих электричеством и тепловой энергией зданий различного назначения [7].

Однако наличие в системах теплоснабжения большого количества разнотипных источников и потребителей тепловой энергии значительно усложняют анализ эффективности как всей системы теплоснабжения в целом, так и её отдельных элементов. При этом в условиях применения автоматизированных систем контроля и управления появляется большое количество статистиче-

ской информации, что делает особенно актуальным развитие и применение методов моделирования, прогнозирования и нормирования в задачах анализа энергоэффективности сложных разнородных систем теплоснабжения в рамках энергетического менеджмента университетских городков.

1. Автоматизированная система энергоменеджмента

Общая схема автоматизированного энергоменеджмента энергетических комплексов университетских городков представлена на рис. 1. Основой предлагаемой автоматизированной системы энергоменеджмента является стандарт ISO 50001 «Системы энергетического менеджмента» [8].

Согласно указанной схеме автоматизированная система энергоменеджмента сложных энергетических комплексов университетских городков должна включать 3 подсистемы:

1. Автоматизированная система диспетчерского управления топливно-энергетического комплекса (АСДУ ТЭК). Основными функциями подсистемы являются оперативный контроль, анализ и управление генерацией и потреблением энергоресурсов [9].

2. Автоматизированная информационная система анализа энергоэффективности топливно-энергетического комплекса (АИС анализа энергоэффективности ТЭК). Основными функциями подсистемы являются моделирование, анализ энергоэффективности, нормирование и оптимальное управление генерацией и потреблением энергоресурсов.

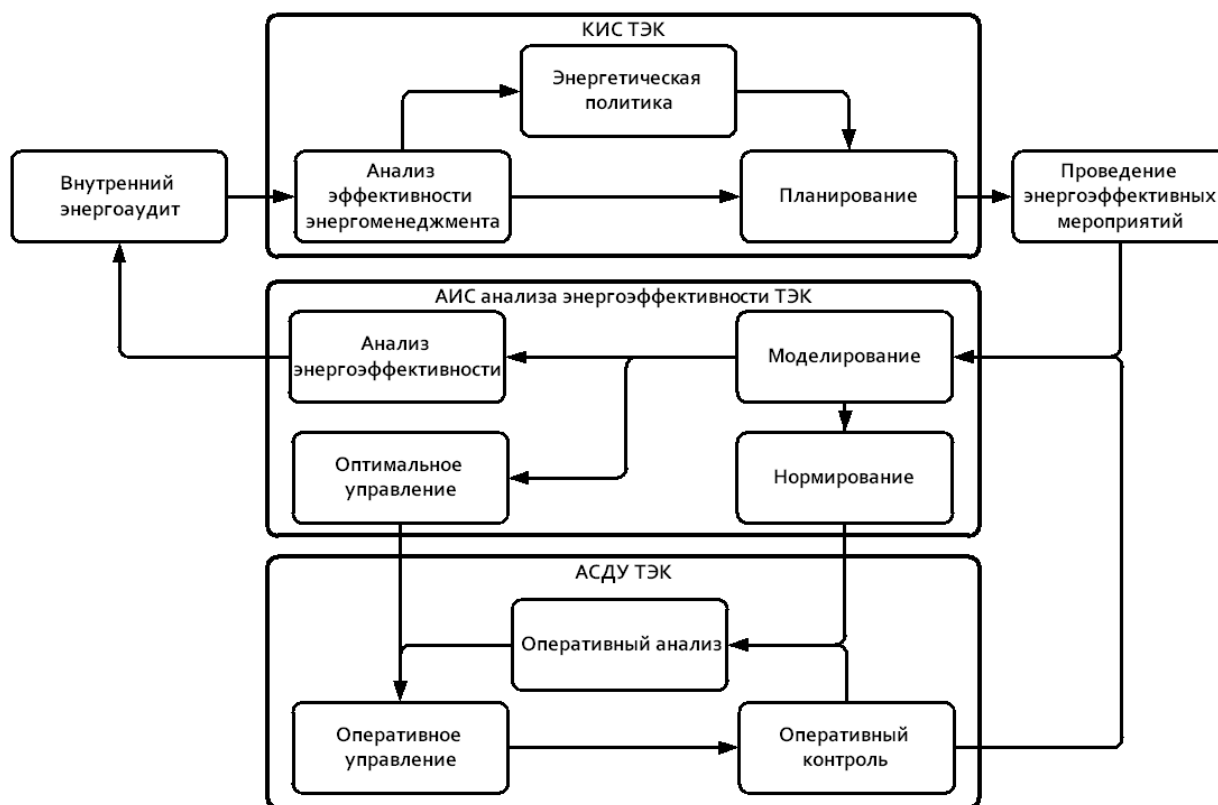


Рис. 1. Общая схема автоматизированного энергоменеджмента

Моделирование позволяет выполнять расчет различных режимов функционирования ТЭК, а также производить оптимизацию этих режимов по критериям минимума потребления энергоресурсов. На основании результатов моделирования выполняется расчет корректирующих воздействий для системы оперативного управления. С использованием результатов имитационного моделирования, а также эксплуатационных и проектных данных для контроля выбранных режимов функционирования осуществляется расчет норм суточного потребления тепловой энергии. По результатам эксплуатации выполняется расчет экономии энергии в энергетическом комплексе в целом и на подключенных к нему потребителях.

3. Корпоративная информационная система топливно-энергетического комплекса (КИС ТЭК). Основными функциями подсистемы является поддержка принятия решений руководителя или

группы по энергоменеджменту при энергетическом планировании, разработке и реализации энергетической политики. В рамках КИС ТЭК на основании данных внутренних энергоаудитов проводится анализ результатов деятельности по энергетическому менеджменту университета, производится корректировка энергетической политики университета и выполняется планирование мероприятий по повышению энергоэффективности.

Автоматизированная система, основной целью которой является повышение энергоэффективности, должна использовать объективные методы оценки и контроля потребления энергоресурсов. Поэтому в качестве методического и нормативного обеспечения указанной автоматизированной системы предлагается использовать международный протокол измерения и верификации эффективности (IPMVP) [10], который описывает методику оценки эффективности проведения энергосберегающих мероприятий.

При этом стоит отметить, что описанная в протоколе методика может быть использована не только для оценки энергоэффективности энергетических комплексов, но и для контроля энергоэффективности в процессе эксплуатации. При этом целью такого контроля должно быть обнаружение неэффективных режимов работы, препятствующих достижению требуемого уровня экономии энергоресурсов.

2. Нормирование потребления тепловой энергии

В настоящее время при реализации различных программ по повышению энергоэффективности происходит внедрение энергосберегающих технологий. При этом для оценки экономии от проведения энергосберегающих мероприятий был разработан международный протокол измерения и верификации эффективности.

Согласно данному протоколу экономия энергоресурсов E_{Δ} после проведения энергосберегающих мероприятий рассчитывается как разность между потреблением $E_{СБП}$ в базовом периоде, рассчитанным в сопоставимых отчетным периодом условиях, и фактическим потреблением в отчетном периоде $E_{ОП}$:

$$E_{\Delta} = E_{СБП} - E_{ОП}. \quad (1)$$

При этом для расчета энергопотребления в базовом периоде в сопоставимых условиях должна использоваться модель энергопотребления в базовом периоде, зависящая от факторов, влияющих на энергопотребление системы. В частности, для расчета экономии в системах отопления в протоколе приведен пример, в котором для построения модели потребления в базовом периоде используется линейная регрессия в зависимости от температуры наружного воздуха.

Согласно принципу приемлемой неопределенности данного протокола (приложение В-1.2) [10]: показатели экономии считаются статистически достоверными, если они больше по сравнению с показателями статистической вариации модели базового периода. Поскольку в качестве показателя вариации в протоколе используется среднеквадратическая погрешность, то считается, что экономия должна быть в два раза выше среднеквадратической погрешности модели базового периода.

При этом, если рассчитанное по модели базового периода потребление $E_{СБП}$ является суммой нескольких независимо определенных величин потребления $E_{СБП_i}$, то суммарное среднеквадратическое отклонение $RMSE_{СБП}$ расчетного потребления $E_{СБП}$ является геометрической суммой среднеквадратических отклонений $RMSE_{СБП_i}$ нескольких независимо определенных величин $E_{СБП_i}$:

$$RMSE_{СБП} = \sqrt{\sum_{i=1}^N RMSE_{СБП_i}^2}, \quad (2)$$

где N – количество независимо определенных величин потребления.

С учетом того, что каждое значение, рассчитанное по модели линейной регрессии, является независимой величиной, то, если регрессия строилась, например, для определения суточного потребления в базовом периоде, то суммарное среднеквадратическое отклонение $RMSE_{СБП}$ определения суммарного потребления в сопоставимых условиях $E_{СБП}$ для N дней отчетного периода также будет рассчитываться в соответствии с формулой (2):

$$RMSE_{СБП} = RMSE_{СБП_r} \sqrt{N}, \quad (3)$$

где $RMSE_{СБП_r}$ – среднеквадратическое отклонение определения суточного потребления энергоресурсов, полученное в соответствии с построенной линейной регрессионной моделью.

В соответствии с принципом приемлемой неопределенности, суммарная экономия E_{Σ} , полученная за N дней отчетного периода, будет считаться статистически достоверной, если будет выполняться следующее условие:

$$\sum_{i=1}^N E_{\Sigma i} > 2RMSE_{\text{СБП}lr} \sqrt{N}, \quad (4)$$

где $E_{\Sigma i}$ – экономия энергоресурсов в i -м дне отчётного периода.

Из указанного неравенства (4) вытекает новая постановка задачи нормирования, связанная с обеспечением выполнения принципа приемлемой неопределенности по окончании отчетного периода. Для задачи оперативного суточного нормирования переформулируем принцип приемлемой неопределенности следующим образом: показатели экономии будут считаться статистически достоверными по окончании отчетного периода длительностью N дней, если экономия в каждом дне отчетного периода $E_{\Sigma i}$ будет в два раза выше среднеквадратической погрешности $RMSE_{\text{СБП}lr}$ определения суточного потребления энергоресурсов, разделенной на квадратный корень из N :

$$E_{\Sigma i} > 2RMSE_{\text{СБП}lr} / \sqrt{N}. \quad (5)$$

Таким образом, выполнение выражения (5) для каждого дня отчётного периода является достаточным условием того, чтобы в конце отчетного периода полученная величина экономии была статистически значимой.

3. Внедрение автоматизированной системы энергоменеджмента

В Южно-Уральском государственном университете были внедрены 2 подсистемы: АСДУ ТЭК и АИС анализа энергоэффективности. Разработка АИС анализа энергоэффективности ТЭК была поддержана Министерством образования и науки РФ в рамках проекта «Разработка энерго-сберегающей геоинформационной системы реального времени для оптимального управления теплогидравлическими режимами систем теплоснабжения муниципального образования» в соответствии с Соглашением о предоставлении субсидии № 14.577.21.0026 от 05.06.2014 (уникальный идентификатор проекта RFMEFI57714X0026). После введения системы в эксплуатацию проводились оценка и контроль энергоэффективности объектов теплоэнергетического комплекса университетского городка. В качестве примера анализа и контроля энергоэффективности рассмотрим мониторинг эффективности внедрения автоматизированного индивидуального теплового пункта в корпусе ЗБВ университетского городка ЮУрГУ [11].

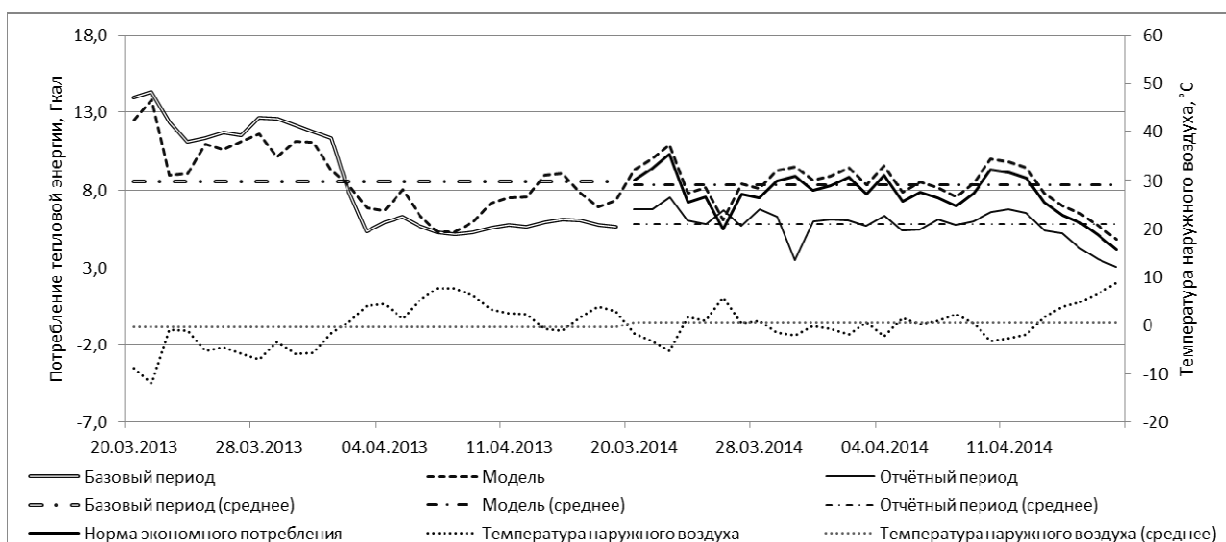


Рис. 2. Норма экономного потребления тепловой энергии здания

На рис. 2 представлен график потребления тепловой энергии до и после проведения энергосберегающих мероприятий. По эксплуатационным данным базового периода (двойная сплошная линия) была построена статистическая модель (штриховая линия) потребления тепловой энергии в зависимости от температуры наружного воздуха. После проведения энергосберегающих меро-

приятый с использованием статистической модели рассчитано потребление в отчётном периоде в сопоставимых температурных условиях. Толстой сплошной линией обозначена рассчитанная по вышеописанному методу норма эффективного теплоснабжения, превышение которой может привести к отсутствию экономии или её низкой статистической значимости в отчётном периоде. При эксплуатации системы в отчётном периоде был оперативно выявлен режим неэффективного потребления и устранены причины его возникновения. В конце отчётного периода при сравнении нормы эффективного теплоснабжения с фактическим потреблением (тонкая сплошная линия) минимальная экономия составила 25 %.

Заключение

В статье предложена структура автоматизированной системы энергоменеджмента теплоэнергетического комплекса университетского городка. Описанная структура включает в себя три взаимодействующие друг с другом подсистемы. Каждая подсистема может быть внедрена отдельно на различных уровнях управления в организации. АСДУ ТЭК позволяет службе эксплуатации оперативно управлять объектами теплоэнергетического комплекса. КИС ТЭК, посредством которой выполняется энергетическое планирование, рекомендуется реализовывать в рамках корпоративной системы управления организации. При этом в качестве связующего звена между этими подсистемами предлагается АИС анализа энергоэффективности ТЭК, позволяющая контролировать эффективность потребления тепловой энергии в теплоэнергетическом комплексе.

В качестве основы методического обеспечения анализа и контроля энергоэффективности в АИС анализа энергоэффективности ТЭК предлагается использовать международный протокол измерения и верификации эффективности. Для контроля энергоэффективности теплоэнергетического комплекса в статье предложен метод нормирования потребления тепловой энергии, учитывающий требуемый уровень статистической значимости экономии энергоресурсов при проведении энергосберегающих мероприятий.

Применение данного метода в АИС анализа энергоэффективности ТЭК является целесообразным, что было подтверждено в процессе эксплуатации внедрённой автоматизированной системы энергоменеджмента теплоэнергетического комплекса университетского городка Южно-Уральского государственного университета.

«Разработка энергосберегающей геоинформационной системы реального времени для оптимального управления теплогидравлическими режимами систем теплоснабжения муниципального образования» в соответствии с Соглашением о предоставлении субсидии № 14.577.21.0026 от 05.06.2014 г., уникальный идентификатор проекта RFMEFI57714X0026.

Литература

1. Дильман, М.Д. Проблемы и перспективы использования когенерационных установок при реконструкции систем теплоснабжения / М.Д. Дильман, С.П. Филиппов, М.С. Ионов // VII Мелентьевские чтения: Прогнозирование развития мировой и российской энергетики: подходы, проблемы, решения: сб. науч. тр. / ИНЭИ РАН. – М., 2013. – С. 206–214.
2. Проектирование тепловых пунктов: СП 41-101-95: утв. Минстроем России 01.07.96. – М.: ГУП ЦПП, 1997 – 79 с.
3. Балберов, А.А. Обоснование экономической эффективности применения энергосберегающих тепловых пунктов при строительстве зданий / А.А. Балберов // Экономические науки. – М.: Изд-во «Экономические науки». – 2011. – № 5 (78). – С. 191–195.
4. Борисов, Г.Б. Анализ современных систем автоматизации котельных / Г.Б. Борисов // Теплоэнергетика. – М.: МАИК «Наука/Интерпериодика». – 2010. – № 6. – С. 2–11.
5. Pagliarini, G. Modeling of a thermal energy storage system coupled with combined heat and power generation for the heating requirements of a University Campus / G. Pagliarini, S. Rainieri // Applied Thermal Engineering. – 2010. – Vol. 30. – P. 1255–1261.
6. Yıldırım, N. District heating system design for a university campus / N. Yıldırım, M. Toksoy, G. Gökçen // Energy and Buildings. – 2006. – Vol. 38. – P. 1111–1119.
7. A renewable energy solution for Highfield Campus of University of Southampton / N. Kalkan, K. Bercin, O. Cangul et al. // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2011. – Vol. 15. – P. 2940 – 2959.

8. ISO 50001:2011. *Energy management systems. Requirements with guidance for use.* – <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:50001:ed-1:v1:en>.

9. Басалаев, А.А. Оперативный анализ энергетической эффективности теплоснабжения зданий в автоматизированных системах диспетчеризации и управления / А.А. Басалаев, Д.А. Шнайдер, А.Р. Хасанов // Информационно-измерительные и управляющие системы. – М.: Радиотехника. – 2013. – Т. 11, № 1. – С. 16–23.

10. *International Performance Measurement and Verification Protocol. Concepts and Options for Determining Energy and Water Savings. Vol. 1* – http://www.coned.com/energyefficiency/PDF/IPMVP%20Vol%201_2010_En.pdf (дата обращения: 10 июня 2015).

11. Shnayder, D.A. *Building heating feed-forward control based on indoor air temperature inverse dynamics model* / D.A. Shnayder, V.V. Abdullin, A.A. Basalaev // *Proceedings of The World Congress on Engineering and Computer Science 2014. Vol. II.* – San Francisco, 2014. – P. 886–892.

Басалаев Александр Анатольевич, ассистент кафедры автоматики и управления, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; basalaev@ait.susu.ac.ru.

Поступила в редакцию 20 июня 2015 г.

DOI: 10.14529/ctcr150403

AUTOMATED ENERGY MANAGEMENT FOR HEAT AND POWER SYSTEM OF UNIVERSITY CAMPUS

A.A. Basalaev, basalaev@ait.susu.ac.ru

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

This paper describes a structure of automated energy management system for heat and power system of university campus. The system includes SCADA, automated information system for energy efficiency analysis and enterprise management system for heat and power system. Methodical aspects of subsystem for energy efficiency analysis are shown. The paper considers a method for calculation of heat energy consumption limits to monitor energy efficiency in heat and power system. The method considers the requirements of International Performance Measurement and Verification Protocol. If consumption limit calculated using the method is complying during the whole reporting period, energy savings will be statistically significant at the end of the reporting period. The case study of method implementation for a building in South Ural State University campus is presented.

Keywords: energy efficiency, rationing, heat energy, heat supply system, energy management system.

References

1. Dil'man M.D., Filippov S.P., Ionov M.S. [Issues and Prospects of CHP Startions for Heat Supply System Modernization]. *Prognozirovanie razvitiya mirovoy i rossiyskoy energetiki: podkhody, problemy, resheniya* [7th Melentiev Symposium: Forecasting of World and Russian Energy Sector: Approaches, Issues, Solutions]. Moscow, 2013, pp. 206–214. (in Russ.)
2. SP 41-101-95 Heating Plant Design [Proektirovanie teplovykh punktov], 1997. 79 p.
3. Balberov A.A. [Rationale for Cost-Effectiveness of Energy-Efficient Heating Units in Buildings]. *Economic Sciences*, 2011, no. 5, pp. 191–195. (in Russ.)
4. Borisov G.B. [An Analysis of Modern Systems for Automation of Boiler Houses]. *Thermal Engineering*, 2010, no. 6, pp. 2–11. (in Russ.)
5. Pagliarini G., Rainieri S. Modeling of a Thermal Energy Storage System Coupled with Combined

Heat and Power Generation for the Heating Requirements of a University Campus. *Applied Thermal Engineering*, 2010, vol. 30, pp. 1255–1261. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2010.02.008

6. Yıldırım N., Toksoy M., Gökçen G. District Heating System Design for a University Campus. *Energy and Buildings*, 2006, vol. 38, pp. 1111–1119. DOI: 10.1016/j.enbuild.2006.01.004

7. Kalkan N., Bercin K., Cangul O., Gonzales Morales M., Saleem M., Marji I., Metaxa A., Tsigkogianni E. A Renewable Energy Solution for Highfield Campus of University of Southampton. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2011, vol. 15, pp. 2940–2959. DOI: 10.1016/j.rser.2011.02.040

8. ISO 50001:2011. Energy Management Systems. Requirements with Guidance for Use. Available at: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:50001:ed-1:v1:en> (accessed 10 June 2015).

9. Basalaev A.A., Shnayder D.A., Khasanov A.R. [On-Line Analysis of Energy Efficiency of Heat Supply for Buildings in SCADA-Systems]. *Information-Measuring and Control Systems*, 2013, vol. 11, no. 1, pp. 16–23. (in Russ.)

10. International Performance Measurement and Verification Protocol. Concepts and Options for Determining Energy and Water Savings. Vol. 1. Available at: http://www.coned.com/energyefficiency/PDF/IPMVP%20Vol%201_2010_En.pdf (accessed 10 June 2015).

11. Shnayder D., Abdullin V., Basalaev A. Building Heating Feed-forward Control Based on Indoor Air Temperature Inverse Dynamics Model. *Proceedings of The World Congress on Engineering and Computer Science, 2014 Vol. II*. San Francisco, 2014, pp. 886–892.

Received 20 June 2015

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Басалаев, А.А. Автоматизированный энергоменеджмент теплоэнергетического комплекса университетского городка / А.А. Басалаев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2015. – Т. 15, № 4. – С. 26–32. DOI: 10.14529/ctcr150403

FOR CITATION

Basalaev A.A. Automated Energy Management for Heat and Power System of University Campus. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2015, vol. 15, no. 4, pp. 26–32. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr150403