

Расчетно-экспериментальный контроль энергосбережения зданий

К.т.н., доцент С.В. Корниенко,

ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»

Аннотация. Статья посвящена решению актуальной проблемы — энергосбережению и повышению энергоэффективности зданий. Разработана экспресс-методика расчетно-экспериментального контроля энергосбережения на основе удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания. Преимуществом указанной методики является то, что она позволяет выполнить оценку эффективности комплекса энергосберегающих мероприятий без измерений суммарной солнечной радиации при действительных условиях облачности и бытовых тепловыделений при сопоставимой с ГОСТ 31168—2003 точности результатов.

На основе разработанной методики произведена оценка эффективности комплекса энергосберегающих мероприятий, реализованных в эксплуатируемом многоквартирном жилом здании. По результатам проведенных экспериментальных исследований установлено, что указанное здание отвечает требованию по энергосбережению согласно актуализированной редакции СНиП 23-02-2003, класс энергосбережения здания — С (нормальный). Апробация методики на результатах экспериментальных исследований, выполненных для того же здания по ГОСТ 31168—2003, подтверждает достоверность результатов, полученных по предлагаемой методике.

Разработанная методика может быть использована при мониторинге энергопотребления и энергоаудите зданий.

Ключевые слова: класс энергосбережения; энергоэффективность; расчетно-экспериментальный контроль; энергоаудит; экспресс-методика

Энергоэффективность и энергосбережение относятся к приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в Российской Федерации, отмеченным в Указе Президента Российской Федерации от 7 июля 2011 г. №899. В современной архитектуре и строительстве они могут быть достигнуты совершенствованием архитектурно-планировочных решений, применением наружных ограждающих конструкций здания с необходимым уровнем теплозащиты, внедрением эффективных систем обеспечения микроклимата и энергосбережения в зданиях, применением возобновляемых источников энергии, повышением качества проектирования зданий.

Обзор литературы

В разработку энергетической концепции проектирования зданий большой вклад внесли В.Н. Богословский – в части теплового режима здания [1] и Ю.А. Табунщиков – в части рассмотрения здания как единой энергетической системы [2]. Данное направление получило развитие в работах отечественных ученых [3–11]. В монографии [3] разработаны модель и методы расчета при строительстве и эксплуатации зданий с целью получения максимальной энергетической эффективности при минимальных суммарных затратах энергии. В работе [4] рассмотрены опыт законодательных инициатив США, ЕС и РФ в области энергосбережения и методы их реализации. Книга [5] содержит результаты теоретических и практических исследований по применению тепловизоров для термографического обследования объектов с акцентом на повышение точности методов тепловизионного контроля. В работе [6] приведено описание математической модели здания как единой энергетической системы и предложен метод учета эффективности энергосберегающих мероприятий в теплоэнергетическом балансе помещений зданий. В работе [7] на основе анализа мирового опыта предложена концепция нормирования энергоэффективности зданий. В монографии [8] рассмотрены проблема энергосбережения в зданиях и пути ее решения, приведены методики мониторинга энергопотребления, воздухопроницаемости и энергетической сертификации зданий.

В работе [9] показана возможность применения комплексного мониторинга строительных объектов с использованием технологии «интеллектуального здания» с целью повышения их энергоэффективности. В монографии [10] исследованы особенности реализации отдельных энергосберегающих мероприятий в гражданских зданиях и выявлены наиболее целесообразные решения по снижению энергопотребления с учетом архитектурно-конструктивных и технико-экономических факторов. Основные требования к энергетическому паспорту здания сформулированы в работе [11]. Из числа последних публикаций, посвященных решению данной проблемы за рубежом, можно отметить работы [12–19].

В ГОСТ 31168–2003 [20] приведен метод определения удельного потребления тепловой энергии на отопление здания (включая вентиляцию), который позволяет количественно выявить соответствие или отклонение от нормируемых энергетических и теплотехнических параметров тепловой защиты, установить класс энергоэффективности здания и определить влияние отдельных мероприятий по энергосбережению в здании. Класс энергоэффективности здания устанавливается по величине отклонения фактического значения удельного потребления тепловой энергии на отопление здания (отнесенного к градусосуткам отопительного периода) от нормируемого значения. Для определения удельного потребления тепловой энергии необходимо экспериментальное определение следующих величин:

- расхода тепловой энергии на отопление здания;
- температуры внутреннего воздуха здания;
- температуры наружного воздуха;
- суммарной (прямой и рассеянной) солнечной радиации на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности;
- бытовых тепловыделений.

Измерение указанных величин представляет собой сложную и трудоемкую задачу, требует применения дорогостоящей аппаратуры.

Актуализированная редакция СНиП 23-02–2003 «Тепловая защита зданий» [21] дает возможность оценки энергоэффективности на основе удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания. Для определения указанного параметра необходимо знать только расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию, температуру внутри здания и температуру наружного воздуха. При этом не нужно измерять теплопоступления в здание от солнечной радиации и бытовые тепловыделения, что требует значительных материально-технических затрат. Эта идея положена в основу методики расчетно-экспериментального контроля энергосбережения зданий, предлагаемой автором.

Постановка задачи

Целью данной работы является оценка эффективности комплекса энергосберегающих мероприятий на основе расчетно-экспериментального контроля энергосбережения зданий.

Из поставленной цели вытекают следующие задачи:

- разработка методики расчетно-экспериментального контроля энергосбережения на основе удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания;
- оценка энергоэффективности эксплуатируемого жилого здания на основе разработанной методики.

Описание исследования

Теоретическая часть

Согласно п. 10.1 [21] показателем расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию жилого или общественного здания является удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, численно равная расходу тепловой энергии на 1 м³ отапливаемого объема здания в единицу времени при перепаде температуры в 1 °С.

Здание отвечает требованию энергосбережения при выполнении следующего условия:

$$q_h \leq q_h^{req}, \quad (1)$$

где q_h – расчетная (или фактическая) удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий, Вт/(м³·°C); q_h^{req} – нормируемая (базовая) удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий, Вт/(м³·°C), определяемая для различных типов жилых и общественных зданий по таблицам 13 и 14 [21].

Класс энергосбережения жилых и общественных зданий определяется по таблице 15 [21] по относительному отклонению расчетной (или фактической) удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от нормируемого (базового) значения.

Отсутствие в актуализированной редакции СНиП [21] методики определения фактического значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания затрудняет предусмотренный нормами [21] обязательный расчетно-экспериментальный контроль нормируемых энергетических показателей и энергосбережения эксплуатируемых зданий.

Сущность предлагаемой методики расчетно-экспериментального контроля энергосбережения зданий заключается в том, что в исследуемом здании в отопительный период для определенных интервалов времени измеряют расход тепловой энергии на отопление и среднюю температуру воздуха внутри и снаружи здания, на основании которых рассчитывают удельную характеристику расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания и определяют класс энергосбережения здания.

Расчетно-экспериментальный контроль энергосбережения зданий производят в следующей последовательности.

1. В отопительном периоде выделяют произвольный двухнедельный интервал, в течение которого ежедневно измеряют расход тепловой энергии на отопление Q_{hm}^i , кДж/сут ($i = 1, 2, \dots, 14$).

2. В том же временном интервале определяют среднесуточные значения температур внутреннего и наружного воздуха, t_{int}^i и t_{ext}^i , °C.

3. На основе измерений расхода тепловой энергии на отопление рассчитывают тепловой поток в системе отопления Q_h^i , Вт, по формуле:

$$Q_h^i = \frac{Q_{hm}^i 10^3}{86400}. \quad (2)$$

4. Принимая за факторную переменную разность температур $\Delta t_i = t_{int}^i - t_{ext}^i$ и за результирующую переменную Q_h^i , на основе статистической обработки данных по малому объему выборки ($N = 14$) строят математическую модель $Q_h(\Delta t)$ в виде уравнения линейной регрессии:

$$Q_h = a(t_{int} - t_{ext}), \quad (3)$$

где a – эмпирический коэффициент, Вт/°C.

5. По данным измерений или проектным данным определяют отапливаемый объем здания V_h , м³.

6. На основании полученных данных определяют удельную характеристику расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию q_h , Вт/(м³·°C), по формуле:

$$q_h = \frac{a}{V_h}. \quad (4)$$

7. На основе полученной удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию определяют класс энергосбережения согласно [21].

Применение метода дает возможность определить удельную характеристику расхода тепловой энергии на отопление с относительной ошибкой, не превышающей $\pm 10\%$.

Преимуществами разработанной методики являются:

- возможность оценки энергоэффективности здания на основе измерений параметров в течение короткого промежутка времени;

- использование удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию, что позволяет оценить энергоэффективность здания на основе измерений сравнительно небольшого числа параметров;
- по сравнению с ГОСТ 31168–2003 [20] в разработанной методике не требуется проведение измерений суммарной солнечной радиации при действительных условиях облачности и бытовых тепловыделений;
- предлагаемая методика обеспечивает сопоставимую точность результатов по сравнению с [20];

Разработанная экспресс-методика была апробирована при оценке энергоэффективности эксплуатируемого жилого здания.

Экспериментальная часть

Объектом исследования является жилое многоквартирное здание в Волгограде (рис. 1). Здание имеет Г-образную форму в плане. Количество этажей – 23. Количество секций – 3. Количество квартир – 234. Здание имеет отапливаемый подвал, в котором размещаются паркинг и помещения инженерно-технического назначения. На первом этаже здания располагаются офисные помещения, на чердаке – инженерные коммуникации. Отапливаемый объем здания – 87000 м³.

Конструктивная система здания каркасная, с монолитным железобетонным каркасом. Наружные стены выполнены из газобетонных блоков с облицовкой кирпичной кладкой и поэтажным опиранием на перекрытия. Окна и балконные двери выполнены из однокамерных стеклопакетов (с низкоэмиссионным покрытием стекла) в ПВХ переплетах. Покрытие, перекрытия над подвалом и под эркерами имеют эффективный утеплитель.

Теплоснабжение здания осуществляется от централизованного источника тепла (тепловых сетей). Система отопления двухтрубная с поквартирной горизонтальной разводкой, отопительные приборы (конвекторы) имеют встроенные терморегуляторы.

Система вентиляции квартир естественная, с притоком воздуха через регулируемые оконные створки и удалением воздуха из кухонь, уборных, ванных комнат и совмещенных санузлов через вытяжные каналы. Инженерные системы здания оснащены приборами учета тепловой энергии, холодной и горячей воды, а также электрической энергии. На момент проведения энергоаудита продолжительность эксплуатации здания составила около 5 лет.

В указанном здании реализован следующий комплекс энергосберегающих мероприятий:

- использование компактной формы здания;
- устройство теплого входного узла с тамбуром;
- использование буферных зон с применением подвала и теплого чердака;
- использование в наружных стенах теплоизоляционных материалов, обеспечивающих требуемую температуру и отсутствие конденсации влаги на внутренних поверхностях конструкций в помещениях с нормальным влажностным режимом;
- использование эффективных светопрозрачных ограждений с заполнением однокамерными стеклопакетами, с применением стекла с селективным покрытием;
- применение поквартирной водяной системы отопления.

В ходе проведенного обследования установлено, что наружные ограждающие конструкции здания находятся в состоянии, обеспечивающем в целом нормальную эксплуатацию объекта в отопительный период. Окна, балконные и входные двери имеют уплотняющие прокладки в



Рисунок 1. Общий вид обследованного здания

притворах. Требуемые по ГОСТ 30494–96 [22] параметры микроклимата в помещениях здания обеспечены. Вместе с тем, в ряде квартир зафиксировано неплотное примыкание притворов светопрозрачных ограждающих конструкций окон и балконных дверей, а также наружных дверей в лестнично-лифтовых узлах, что приводит к избыточным тепловым потерям вследствие инфильтрации воздуха через теплозащитную оболочку здания и снижению его энергоэффективности.



Рисунок 2. Общий вид теплового пункта обследованного здания

Измерение и регистрация параметров энергопотребления здания выполнены по указанной методике в течение двух недель с 22.12.2011 по 04.01.2012. Мониторинг расходов тепловой энергии на отопление производился в автоматическом режиме один раз в сутки по общедомовому теплосчетчику (рис. 2). Среднесуточная температура внутреннего воздуха ($t_{int}^i = 22\text{ }^\circ\text{C}$) принята согласно [22] по верхней границе комфортных условий. Среднесуточная температура наружного воздуха t_{ext}^i определена по данным ближайшей метеостанции. На основе измерений расхода тепловой энергии на отопление рассчитан тепловой поток в системе отопления Q_h^i при разности температур внутреннего и наружного воздуха Δt_i (табл. 1).

Таблица 1. Тепловой поток в системе отопления при разности температур внутреннего и наружного воздуха

№ п.п.	Разность температур Δt , $^\circ\text{C}$	Тепловой поток $Q_h \times 10^5$, Вт	№ п.п.	Разность температур Δt , $^\circ\text{C}$	Тепловой поток $Q_h \times 10^5$, Вт
1	20,8	5,095	8	23,6	5,847
2	23,6	5,51	9	24,6	6,109
3	22,8	5,659	10	22,1	5,086
4	24,9	6,377	11	23,2	5,888
5	25,8	6,685	12	23,1	6,047
6	21,2	5,041	13	26,6	6,904
7	19,5	4,446	14	24,2	6,338

Как видно из таблицы 1, тепловой поток в системе отопления изменяется от $4,446 \cdot 10^5$ Вт до $6,904 \cdot 10^5$ Вт, что связано с колебаниями температуры наружного воздуха.

Принимая за факторную переменную Δt_i и за результативную переменную Q_h^i , на основе статистической обработки данных по малому объему выборки ($N = 14$) получим математическую модель $Q_h(\Delta t)$ в виде уравнения линейной регрессии (3) с эмпирическим коэффициентом $a = 2,479 \cdot 10^4$ Вт/ $^\circ\text{C}$. Полученный коэффициент корреляции $r = 0,962$ свидетельствует о весьма

Корниенко С.В. Расчетно-экспериментальный контроль энергосбережения зданий

тесной связи между факторной и результирующей переменной по шкале Чэддока. При этом относительные ошибки на узлах колеблются от $-8,74$ до $+5,34\%$ при допустимом значении $\pm 10\%$. Таким образом, построенная математическая модель в целом адекватна, и выводы, полученные по результатам малой выборки, можно с вероятностью $0,95$ распространить на всю гипотетическую генеральную совокупность.

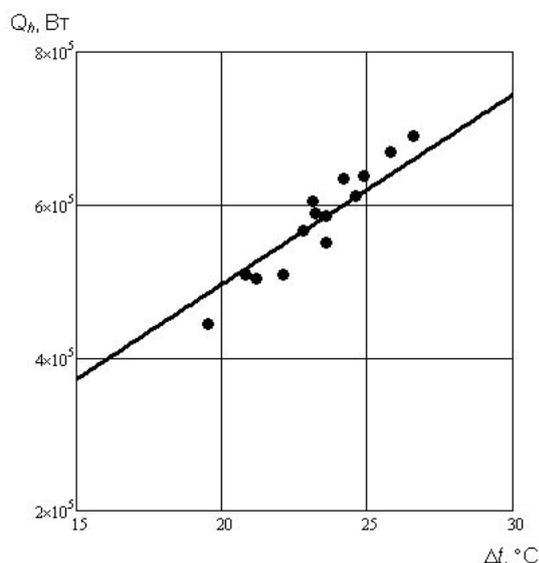


Рисунок 3. График зависимости $Q_h(\Delta t)$

Согласно таблице 15 [21] класс энергосбережения здания – С (нормальный). Используя значение удельной характеристики q_h , получим фактический удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания $q_h^y = 97,6$ МДж/($\text{м}^3 \cdot \text{год}$) при значении градусосуток отопительного периода $D_d = 3965$ $^\circ\text{C} \cdot \text{сут}/\text{год}$.

На основании результатов экспериментальных исследований, выполненных для того же здания по ГОСТ [20], фактический удельный расход тепловой энергии на отопление (включая вентиляцию) равен $94,5$ МДж/($\text{м}^3 \cdot \text{год}$) [23].

Относительное отклонение фактического удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию, полученного на основании разработанной методики, от соответствующего значения, полученного по [20], равно $3,28\%$. Хорошее согласование результатов подтверждает достоверность результатов, полученных по предлагаемой методике.

Заключение

На основе проведенных автором исследований сформулированы основные выводы.

1. Разработана экспресс-методика расчетно-экспериментального контроля энергосбережения на основе удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, которая позволяет выполнить оценку эффективности комплекса энергосберегающих мероприятий без измерений суммарной солнечной радиации при действительных условиях облачности и бытовых тепловыделений при сопоставимой с ГОСТ 31168–2003 точности результатов.

2. На основе разработанной методики произведена оценка эффективности комплекса энергосберегающих мероприятий, реализованных в эксплуатируемом многоквартирном жилом здании. Апробация методики на результатах экспериментальных исследований, выполненных для того же здания по ГОСТ 31168–2003, подтверждает достоверность результатов, полученных по предлагаемой методике.

Литература

1. Богословский В.Н. Тепловой режим здания. М.: Стройиздат, 1979. 248 с.
2. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. 194 с.
3. Савин В.К. Строительная физика. Энергоэкономика. М.: Лазурь, 2011. 418 с.
4. Шубин И.Л., Спиридонов А.В. Законодательство по энергосбережению в США, Европе и России. Пути решения // Вестник МГСУ. 2011. Т. 1. №3. С. 4–14.
5. Левин Е.В., Окунев А.Ю., Умнякова Н.П., Шубин И.Л. Основы современной строительной термографии. М.: НИИСФ РААСН, 2012. 176 с.
6. Табунщиков Ю.А., Миллер Ю.В. Принципы определения годового энергопотребления на климатизацию зданий // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2013. №31-2. С. 549–554.
7. Пугачев С.В., Табунщиков Ю.А., Наумов А.Л. Концепция нормирования энергоэффективности зданий: Мировой опыт и российские перспективы // Academia. Архитектура и строительство. 2012. №1. С. 108–116.
8. Матросов Ю.А. Энергосбережение в зданиях. Проблема и пути ее решения. М.: НИИСФ, 2008. 496 с.
9. Викулин Д.Ю., Мохов А.И. Комплексный мониторинг зданий и сооружений в обеспечении норм повышения их энергоэффективности // Промышленное и гражданское строительство. 2010. №11. С. 79–80.
10. Самарин О.Д. Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность. М.: АСВ, 2009. 296 с.
11. Матросов Ю.А., Бутовский И.Н., Гольдштейн Д. Энергетический паспорт здания // АВОК. 1997. №3. С. 6–11.
12. Moreno-Munoz A., Pallarés-Lopez V., Real-Calvo R.J., Gil-De-Castro A., De La Rosa J.J.G. Distributed DC-UPS for Energy Smart Buildings // Energy and Buildings. 2011. Vol. 43. No.1. Pp. 93–100.
13. Kennedy S.D., Vangeem M.G., Lawrence T., Lord R. Energy Efficiency: Building on Standard 90.1 // ASHRAE Journal. 2010. Vol. 52. No.6. Pp. 22–28.
14. Laverge J., Van Den Bossche N., Janssens A., Heijmans N. Energy Saving Potential and Repercussions on Indoor Air Quality of Demand Controlled Residential Ventilation Strategies // Building and Environment. 2011. Vol. 46. No.7. Pp. 1497–1503.
15. Verbeeck G., Hens H. Life Cycle Inventory of Buildings: A Contribution Analysis // Building and Environment. 2010. Vol. 45. No.4. Pp. 964–967.
16. Gustavsson L., Doodoo A., Truong N.L., Danielski I. Primary Energy Implications of End-Use Energy Efficiency Measures in District Heated Buildings // Energy and Buildings. 2011. Vol. 43. No.1. Pp. 38–48.
17. Lagüela S., Martínez J., Armesto J., Arias P. Energy Efficiency Studies Through 3D Laser Scanning and Thermographic Technologies // Energy and Buildings. 2011. Vol. 43. No.6. Pp. 1216–1221.
18. Serra V., Zanghirella F., Perino M. Experimental Evaluation of a Climate Façade: Energy Efficiency and Thermal Comfort Performance // Energy and Buildings. 2010. Vol. 42. No.1. Pp. 50–62.
19. Richman R.C., Cianfrone C., Pressnail K.D. More Sustainable Masonry Façades: Preheating Ventilation Air Using a Dynamic Buffer Zone // Journal of Building Physics. 2010. Vol. 34. No.1. Pp. 27–41.
20. ГОСТ 31168–2003. Здания жилые. Метод определения удельного потребления тепловой энергии на отопление. М.: ФГУП ЦПП, 2003.
21. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02–2003. М.: Минрегион России, 2012.
22. ГОСТ 30494-96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. М.: ФГУП ЦПП, 1999.
23. Корниенко С.В. Оценка энергоэффективности жилого здания по результатам энергоаудита // Жилищное строительство. 2012. №6. С. 19–22.

*Сергей Валерьевич Корниенко, г. Волгоград, Россия
Тел. моб.: +7(988)491-24-59; эл. почта: svkorn2009@yandex.ru*

© Корниенко С.В., 2013

doi: 10.5862/MCE.43.4

Settlement and experimental control of energy saving for buildings

S.V. Korniyenko*Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering, Volgograd, Russia
+7(988)491-24-59; e-mail: svkorn2009@yandex.ru*

Key words

energy efficiency classes; energy saving; settlement and experimental control; energy audit; express method

Abstract

This paper is devoted to the solution of an actual problem — energy saving and increase of energy efficiency of buildings. The express method of settlement and experimental control of energy saving on the basis of the specific characteristic of thermal energy consumption for heating and ventilation was developed. Advantage of the method is that it allows assessing the efficiency of a complex of energy saving actions without measurements of summary solar radiation under the valid conditions of overcast and domestic thermal emissions at comparable to GOST 31168 accuracy of results.

On the basis of the developed method assessment of efficiency of a complex of the energy saving actions realized in an operated multicompartment residential building was made. Based on the results of the conducted pilot researches it was established that the specified building met the requirements for energy saving according to the SNIP 23-02, a class of energy saving for the building was C (normal). Method was tested on the results of the pilot studies executed for the same building in accordance with GOST 31168. Approbation confirmed the reliability of the results received by an offered method.

The method can be used during the monitoring of energy consumption and the energy audit of buildings.

References

1. Bogoslovskiy V.N. *Teplovoy rezhim zdaniya* [Thermal behavior of building]. Moscow: Stroyizdat, 1979. 248 p. (rus)
2. Tabunshchikov Yu.A., Brodach M.M. *Matematicheskoye modelirovaniye i optimizatsiya teplovoy effektivnosti zdaniy* [Mathematical simulation and optimization of thermal efficiency for buildings]. Moscow: AVOK-PRESS, 2002. 194 p. (rus)
3. Savin V.K. *Stroitel'naya fizika. Energoekonomika* [Construction physics. Energy economy]. Moscow: Lazur, 2011. 418 p. (rus)
4. Shubin I.L., Spiridonov A.V. *Vestnik MGSU*. 2011. Vol. 1. No.3. Pp. 4–14. (rus)
5. Levin Ye.V., Okuney A.Yu., Umnyakova N.P., Shubin I.L. *Osnovy sovremennoy stroitel'noy termografii* [Bases of a modern construction termography]. Moscow: NIISF RAASN, 2012. 176 p. (rus)
6. Tabunshchikov Yu.A., Miller Yu.V. *Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture*. 2013. No.31-2. pp. 549–554. (rus)
7. Pugachev S.V., Tabunshchikov Yu.A., Naumov A.L. *Academia. Architecture and building*. 2012. No.1. Pp. 108–116. (rus)
8. Matrosov Yu.A. *Energoberezheniye v zdaniyakh. Problema i puti yeye resheniya* [Energy saving in buildings. Problem and ways of its decision]. Moscow: NIISF, 2008. 496 p. (rus)
9. Vikulin D.Yu., Mokhov A.I. *Industrial and Civil Engineering*. 2010. No.11. Pp. 79–80. (rus)
10. Samarin O.D. *Teplofizika. Energoberezheniye. Energoeffektivnost* [Thermophysics. Energy saving. Energy efficiency]. Moscow: ASV, 2009. 296 p. (rus)
11. Matrosov Yu.A., Butovskiy I.N., Goldshteyn D. AVOK. 1997. No.3. Pp. 6–11. (rus)
12. Moreno-Munoz A., Pallarés-Lopez V., Real-Calvo R.J., Gil-De-Castro A., De La Rosa J.J.G. Distributed DC-UPS for Energy Smart Buildings. *Energy and Buildings*. 2011. Vol. 43. No 1. Pp. 93–100.
13. Kennedy S.D., Vangeem M.G., Lawrence T., Lord R. Energy Efficiency: Building on Standard 90.1. *ASHRAE Journal*. 2010. Vol. 52. No.6. Pp. 22–28.

14. Laverge J., Van Den Bossche N., Janssens A., Heijmans N. Energy Saving Potential and Repercussions on Indoor Air Quality of Demand Controlled Residential Ventilation Strategies. *Building and Environment*. 2011. Vol. 46. No.7. Pp. 1497–1503.
15. Verbeeck G., Hens H. Life Cycle Inventory of Buildings: A Contribution Analysis. *Building and Environment*. 2010. Vol. 45. No.4. Pp. 964–967.
16. Gustavsson L., Dodoo A., Truong N.L., Danielski I. Primary energy implications of end-use energy efficiency measures in district heated buildings. *Energy and Buildings*. 2011. Vol. 43. No.1. Pp. 38–48.
17. Lagüela S., Martínez J., Armesto J., Arias P. Energy efficiency studies through 3D laser scanning and thermographic technologies. *Energy and Buildings*. 2011. Vol. 43. No.6. Pp. 1216–1221.
18. Serra V., Zanghirella F., Perino M. Experimental evaluation of a climate façade: energy efficiency and thermal comfort performance. *Energy and Buildings*. 2010. Vol. 42. No.1. Pp. 50–62.
19. Richman R.C., Cianfrone C., Pressnail K.D. More sustainable masonry façades: preheating ventilation air using a dynamic buffer zone. *Journal of Building Physics*. 2010. Vol. 34. No.1. Pp. 27–41.
20. GOST 31168–2003. *Zdaniya zhilye. Metod opredeleniya udelnogo potrebleniya teplovoy energii na otopleniye* [Apartment buildings. Method for determining the specific energy consumption of thermal energy for heating]. Moscow, 2003. (rus)
21. SP 50.13330.2012. SNiP 23-02–2003 *Teplovaya zashchita zdaniy* [Set of rules 50.13330.2012. Building code 23-02–2003. Thermal protection of buildings]. Moscow, 2012. (rus)
22. GOST 30494–96. *Zdaniya zhilye i obshchestvennyye. Parametry mikroklimata v pomeshcheniyakh* [Apartment and public buildings. Microclimate parameters in buildings]. Moscow, 1999. (rus)
23. Korniyenko S.V. *Housing Construction*. 2012. No.6. Pp. 19–22. (rus)

Full text of this article in Russian: pp. 24–30