Для цитирования: Карпов Д. Ф., Синицын А. А. Возможности комплексного контроля энерго-экологических характеристик строительных конструкций на исследовательском стенде. Технические науки. 2019; 46 (1): 177-186. DOI:10.21822/2073-6185-2019-46-1-177-186

For citation: Karpov D. F., Sinitsyn A. A. Possibilities of integrated control of energy and environmental characteristics of building structures at the research bench. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2019; 46 (1): 177-186. (in Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2019-46-1-177-186

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 697.133

DOI: 10.21822/2073-6185-2019-46-1-177-186

ВОЗМОЖНОСТИ КОМПЛЕКСНОГО КОНТРОЛЯ ЭНЕРГО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ СТЕНДЕ

Карпов Д.Ф.², Синицын А. А.¹

^{1,2}Вологодский государственный университет,

^{1,2}160000, г. Вологда, ул. Ленина, д. 15, Россия,

¹e-mail: nee-energo@yandex.ru, ²e-mail: karpov_denis_85@mail.ru

Резюме. Цель. Обозначены и проанализированы актуальные в настоящее время вопросы энергетической и экологической безопасности строительных объектов и обслуживающих их инженерных систем климатизации. **Метод.** Используя тепловые методы и средства контроля теплоэнергетических параметров в переходных условиях подвода и отвода энергии в системе «источник энергии – приемник энергии», рассмотрена возможность идентификации ее силовых и потоковых характеристик, определяющих и формирующих процессы и режимы, отражающие основные количественные и качественные уровни текущих энергоформопреобразований. **Результат.** Предложены варианты решения данной проблемы посредством комплексного контроля некоторых энерго-экологических характеристик строительных конструкций зданий и сооружений на лабораторно-экспериментальном научно-исследовательском стенде «источник энергии – приемник энергии». Представлены алгоритм идентификации термодинамических сил, потоков, свойств, изменения и воспроизводства энтропии в системе «источник энергии – приемник энергии», функциональная модель и иерархическое представление трехуровневой открытой термодинамической системы «источник энергии – приемник энергии», некоторые результаты расчетно-экспериментального определения экоэнергетических характеристик фрагмента ограждающей строительной конструкции на примере кирпичной стенки. **Вывод.** Предположено и доказано, что опыт совместного использования законов неравновесной и феноменологической термодинамики для исследования и моделирования неравновесных термодинамических процессов, протекающих в системах различного рода, позволяет контролировать их экологическое состояние и повышает точность прогнозирования затрат и рационального использования энергоресурсов.

Ключевые слова: окружающая среда, экологическая безопасность, энерго- и ресурсосбережение, строительные конструкции, строительная обложка, потоки, силы, свойства, энтропия

BUILDING AND ARCHITECTURE

POSSIBILITIES OF INTEGRATED CONTROL OF ENERGY AND ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS OF BUILDING STRUCTURES AT THE RESEARCH BENCH

Denis F. Karpov², Anton A. Sinitsyn¹

Vologda State University,

15 Lenin Str., Vologda 160000, Russia,

¹e-mail: nee-energo@yandex.ru, ²e-mail: karpov_denis_85@mail.ru

Abstract Objectives. The current topical issues of energy and environmental safety of construction sites and the air-conditioning systems that serve them are identified and analyzed. **Method.** Using thermal methods and means of controlling heat and power parameters in transitional conditions of energy supply and removal in the system “energy source - energy receiver”, the possibility of identifying its power and flow characteristics that determine and form the processes and modes reflecting the basic quantitative and qualitative levels of current energy transformations. **Result.** Options have been proposed to solve this problem through the integrated monitoring of some energy-ecological characteristics of the building structures of buildings and structures at the laboratory-experimental research stand “energy source - energy receiver”. The algorithm for identification of thermodynamic forces, flows, properties, changes and reproduction of entropy in the system “energy source - energy receiver”, a functional model and hierarchical representation of a three-level open thermodynamic system “energy source - energy receiver” are presented, some calculated results -experimental determination of the eco-energy characteristics of a fragment of the building envelope by the example of a brick wall. **Conclusion.** It has been suggested and proved that the experience of joint use of the laws of nonequilibrium and phenomenological thermodynamics for research and modeling of nonequilibrium thermodynamic processes occurring in systems of various kinds, allows you to control their ecological state and increases the accuracy of forecasting costs and rational use of energy resources.

Keywords: environment, environmental safety, energy and resource saving, building structures, construction area, flows, forces, properties, entropy

Введение. В настоящее время вопросы экологической безопасности, энерго- и ресурсосбережения, повышения энергетической эффективности являются приоритетными и становятся все более актуальными.

Энергетическая стратегия России [1] и Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...» [2] направлены на решение этих жизненно важных проблем. В [1, 2] рассматриваются следующие мероприятия: энергосбережение в теплоэнергетических комплексах, жилищно-коммунальном хозяйстве, энергоемких отраслях промышленности; производство энергосберегающей электротехники, приборов учета и регулирования; введение классов энергоэффективности объектов различного назначения; проведение энергообследований, энергоаудитов, мониторингов и др.

Значительное внимание также уделяется повышению экологической безопасности и стабилизации экологической обстановки в стране и мире [3, 4]. Причем особое место занимают вопросы идентификации тепловых загрязнений окружающей среды через различные типы строительных конструкций и разработки методологических особенностей моделирования количественной и качественной оценки диссипативных и аккумуляционных свойств в них при различных теплоэнергетических воздействиях с учетом процессов энергоформопреобразования [5, 6].

В [4] говорится о том, что экологическая безопасность строительных объектов и обслуживающих их инженерных систем климатизации вызывает широкий интерес у специалистов. В последнее время эта тема приобрела особую актуальность в силу объективной необходимости и

реакции общественности на рост числа примеров изменения климата и окружающей среды в результате жизнедеятельности человека.

Необходимость проектирования зданий, сооружений, систем кондиционирования микроклимата с учетом их экологичности возникла именно как следствие такого положения, и Киотский протокол, подписанный большинством стран, явился определяющим фактором в практическом применении данной концепции.

В сфере строительства зданий и сооружений, оборудованных системами климатизации, экологически безопасной считается такая взаимосвязь строительного объекта и инженерных систем, которая на протяжении всего срока службы обеспечивает их эффективную эксплуатацию при соблюдении следующих условий [4, 7]: минимальные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, в частности, веществ, способствующих созданию парникового эффекта, глобальному потеплению, выпадению кислотных дождей; минимальные объемы потребляемой энергии из невозобновляемых источников, сокращение энергопотребления и энергосбережение; минимальные объемы твердых и жидких отходов, в том числе от ликвидации самого строительного объекта и утилизации частей инженерного оборудования по истечении срока службы и выработке ресурса; минимальное влияние на экосистемы окружающей среды по месту нахождения объекта; наилучшее качество микроклимата в помещениях зданий и сооружений, санитарно-эпидемиологическая безопасность помещений, оптимальный температурно-влажностный режим, высокое качество воздуха, качественная акустика, освещение.

Постановка задачи. За последнее десятилетие и ранее разработано немало технологий, способствующих существенному увеличению экологической безопасности проектов. К приоритетным способам борьбы с тепловыми загрязнениями относятся [3, 8]: утилизация теплоты удаляемого воздуха для подогрева приточного; использование теплоты солнечной радиации; применение систем с регенерацией теплоты; использование теплонаносных и абсорбционных систем; автономная выработка электрической энергии.

К сожалению возможности инструментального измерения большинства загрязнителей и экологической безопасности жилища или отсутствуют, или недостаточно развиты. Особую опасность представляет собой экологическая обстановка в помещениях многоэтажных зданий современного массового строительства с естественной вентиляцией.

Таким образом, в связи с тепловым загрязнением окружающей среды через ограждающие строительные конструкции возникают проблемы более строгого учета переменных режимов работы подобного рода систем через уточнение ранее созданных различного рода моделей и методик расчета.

В частности возникает задача по регулированию и оценке качества воспринимаемой и отдаваемой энергии строительной конструкцией или оболочкой. При этом необходимо учитывать аккумуляционные свойства эксплуатируемой системы.

Переходные режимы работы системы обычно возникают под действием внешних и внутренних факторов. Таковыми являются потоковые воздействия окружающей среды на внешние ее поверхности и источники тепловыделения внутри оболочки. Внешние и внутренние воздействия осуществляются за счет необратимых процессов теплообмена: конвекции, излучения и теплопроводности.

Расчет переходных режимов работы теплообменной системы наталкивается на многие трудности, связанные с тем, что уравнения, описывающие условия связи между средами, включают в себя коэффициенты, которые получены для стационарных условий работы строительной конструкции. Не учет нестационарности приводит к значительным отличиям в результатах расчетов. Так, в [9] приводятся примеры, показывающие, что для отдельных случаев превышения расчетного перепада температуры над нормативным составляет 25-55 %. А не учет раздельного влияния, например излучения и конвекции, дает различие в 15 % по сравнению с наблюдаемыми значениями [10]. С другой стороны вопросы оптимального управления расходом энергии в такого рода системах поставлены многими исследователями. На это указывает список литературы [9]. Авторы пишут о задачах оптимального управления, в которых ставится вопрос о том,

какое схемное решение нужно выбрать, чтобы показатель эффективности имел наибольшую величину. В данном случае выбор идет между мощностью источника излучения и теплоемкостью приемника энергии. Учет этих соотношений может привести к экономии энергии до 50 %.

Методы исследования. В последнее время обсуждается возможность использования для получения обобщенной функции энергетического состояния системы понятия энтропии [11, 12]. В [12] упоминается о возможности определения термодинамического состояния бетона с помощью функции его энергетического состояния – энтропии.

Однако упоминается лишь о возможности построения модели воспроизводства энтропии в системе через термодинамические потоки и силы. В [12] указывается на возможность путем регулирования скорости изменения энтропии управлять процессом ее воспроизводства. В [13] подробно рассматривается проблема описания неравновесных процессов в энергетических системах методами равновесной термодинамики.

Авторы говорят о том, что расширение спектра и усложнения задач термодинамического анализа, делают актуальными создание равновесных описаний необратимых процессов переноса в энергетических установках. Эти описания должны составить новый виток в развитии классической равновесной термодинамики. Хотя указывается на необходимость поиска новых соотношений между формализмами разделов неравновесной и равновесной термодинамики.

В [9, 10] рассматриваются возможности учета связи энергетического потенциала внутри здания, его строительной оболочке и окружающей среде. Однако не рассматриваются термодинамические особенности такого рода явлений комплексно, чтобы была возможность в одном исследовании определять не только обобщенную функцию состояния системы, но и свойства материала, регулируемые условиями связи системы с окружающей средой. Комплексное рассмотрение задачи в рамках модели «состав-строение-свойство» приведено в работе [12]. Однако не рассмотрены проблемы описания динамического режима работы системы через потоки и силы.

Методика энергопредставления через потоки и силы позволяет получать новые зависимости, указывающие на направление и степень отклонения переходного режима в системе с неравновесными процессами.

Алгоритм может быть использован для анализа различных энерготехнологических систем. В общем виде такого рода исследования можно найти в работах И. Дьярмрти, И. Р. Пригожина, А. В. Лыкова, Ю. А. Михайлова. Преимущества такого представления описываются в [11, 14–17].

Обсуждение результатов. Основной целью настоящей работы является представление возможности комплексного контроля энерго-экологических характеристик строительных конструкций на лабораторно-экспериментальном научно-исследовательском стенде «источник энергии – приемник энергии» (рис. 1).

Используя тепловые методы и средства контроля теплоэнергетических параметров в переходных условиях подвода и отвода энергии в системе «источник энергии – приемник энергии» [18, 19], рассмотрим вопрос идентификации ее силовых и потоковых характеристик, определяющих и формирующих процессы и режимы, отражающие основные количественные и качественные уровни текущих энергоформопреобразований.

Данный стенд является модернизируемым универсальным схмотехническим измерительно-вычислительным комплексом, служащим для выполнения научно-исследовательских и учебно-лабораторных работ, состоящим из ряда структурных взаимозаменяемых элементов, комбинации которых позволяют собирать и демонстрировать разнообразные технологические решения, реализующие основные процессы энергоформопреобразования энергии [20]. Универсальность исследовательского стенда вытекает из условий его открытости как технически организуемой системы.

Рис. 1. Лабораторно-экспериментальный научно-исследовательский стенд «источник энергии – приемник энергии»: 1 – источник энергии; 2 – приемник энергии (различные варианты ограждающих строительных конструкций); 3 – система термопреобразователей; 4 – электрический понижающий блок питания; 5 – блоки аналого-цифрового преобразователя; 6 – персональный компьютер; 7 – измеритель плотности теплового потока; 8 – сеть – источник электрической энергии

Fig. 1. Laboratory experimental research stand “energy source - energy receiver”: 1 - energy source; 2 - energy receiver (various options for enclosing building structures); 3 - system of thermal converters;

4 - electric step-down power supply; 5 - blocks of analog-to-digital converter; 6 - personal computer; 7 - heat flux density meter; 8 - network - source of electrical energy

Свойство открытости дает возможность формировать различного типа термодинамические установки, собирая источники и приемники энергии в той или иной последовательной энергетической связи с соответствующими, для изучаемых режимных условий преобразования энергии приборным, информационным, программным обеспечением.

Для обработки экспериментальной информации разработаны алгоритмы и программы, позволяющие идентифицировать термодинамические силы, потоки, свойства, изменение и воспроизводство энтропии в элементах в зависимости от начальных и граничных условий в системе (рис. 2).

Рис. 2. Алгоритм идентификации термодинамических сил, потоков, свойств, изменения и воспроизводства энтропии в системе «источник энергии – приемник энергии»

Fig. 2. Algorithm of identification of thermodynamic forces, flows, properties, changes and reproduction of entropy in the system "energy source - energy receiver"

С целью составления потокового энергетического и энтропийного функционала для системы, выявления оптимальных условий воздействия на неё окружающей среды, определения коэффициентов преобразования и трансформации энергии, коэффициента полезного действия, разработана обобщенная блок-схема преобразования энергии (рис. 3).

Рис. 3. Функциональная модель открытой термодинамической системы «источник энергии – приемник энергии»:

$f_{1,i}$ – источник энергии – электрический инфракрасный излучатель ($f_{1,0}$ – форма энергии в виде электричества, $f_{1,u}$ – изменение внутренней энергии, $f_{1,L}$ – полезная работа, $f_{1,1}$ – диссипация энергии в виде конвекции, $f_{1,2}$ – диссипация энергии в виде излучения); $f_{2,j}$ – приемник энергии: фрагмент ограждающей строительной конструкции ($f_{2,0}$ – форма энергии в виде инфракрасного электромагнитного излучения, $f_{2,u}$ – изменение внутренней энергии, $f_{2,L}$ – полезная работа, $f_{2,1}$ – диссипация энергии в виде конвекции, $f_{2,2}$ – диссипация энергии в виде излучения)

Fig. 3. Functional model of an open thermodynamic system "energy source - energy receiver":

$f_{1,i}$ - energy source - electric infrared emitter ($f_{1,0}$ - form of energy in the form of electricity, $f_{1,u}$ - change in internal energy, $f_{1,L}$ - useful work, $f_{1,1}$ - energy dissipation in the form of convection, $f_{1,2}$ - energy dissipation in the form of radiation); $f_{2,j}$ - energy receiver: a fragment of the building envelope ($f_{2,0}$ is the form of energy in the form of infrared electromagnetic radiation, $f_{2,u}$ is the change in internal energy, $f_{2,L}$ is useful work, $f_{2,1}$ is energy dissipation in the form of convection, $f_{2,2}$ - energy dissipation in the form of radiation)

На рис. 4 показано иерархическое представление трехуровневой системы «источник энергии – приемник энергии». Применение системного структурного анализа к системам типа «источник энергии – приёмник» показало, что одним и тем же алгоритмом описывается множество производственных схем.

Рис. 4. Иерархическое представление трехуровневой системы «источник энергии – приемник энергии»

Fig. 4. Hierarchical representation of the three-level system "energy source - energy receiver"

На рис. 5 представлены некоторые результаты определения энерго-экологических характеристик ограждающей строительной конструкции на примере фрагмента стенки из керамического кирпича на исследовательском стенде.

Потоки энергии, входящие в систему и выходящие из неё (рис. 5 а), от всех источников теплоты, создают суммарный поток, направленный к приемнику энергии.

Входящий суммарный поток учитывает энергетическое состояние окружающих приемник энергии предметов, имеющих более высокий температурный потенциал. Для выходящего суммарного потока выполняются условия конечной разности потенциалов относительно потенциала окружающей среды (рис. 5 б).

Рис. 5. Некоторые результаты определения энерго-экологических характеристик строительной конструкции: а – потери теплоты строительной конструкцией в окружающую среду; б – параметры неравновесности системы «источник энергии – приемник энергии»

Fig. 5. Some results of determining the energy-ecological characteristics of the building structure: a - heat loss by the building structure to the environment; b - non-equilibrium parameters of the system “energy source - energy receiver”

Вывод. Итогами проведенного исследования являются следующие положения:

1. Разработан и сконструирован лабораторно-экспериментальный научно-исследовательский стенд, позволяющий контролировать комплекс энерго-экологических характеристик строительных конструкций. Стенд позволяет методами имитационного моделирования воспроизводить условия работы локальной строительной экотехнической системы.

2. Представлены алгоритм идентификации термодинамических сил, потоков, свойств, изменения и воспроизводства энтропии в системе «источник энергии – приемник энергии», функциональная модель и иерархическое представление трехуровневой открытой термодинамической системы «источник энергии – приемник энергии», некоторые результаты расчетно-экспериментального определения экоэнергетических характеристик фрагмента ограждающей строительной конструкции на примере кирпичной стенки.

3. На основе блока коэффициентов теплофизической и температурной неравновесности (рис. 2) сформированы функции управления энергетическим состоянием фрагмента ограждающей строительной конструкции на примере кирпичной стенки, позволяющие контролировать степень теплового загрязнения окружающей источник и приемник энергии среды и с большей точностью прогнозировать параметры микроклимата в жилых и общественных зданиях и сооружениях.

4. Разработаны принципы и методика контроля и прогнозирования теплоэнергетического загрязнения локальной окружающей среды в виде локального строительного объема с работающей в нем системе типа «источник энергии – приемник энергии».

5. Предложенная модель исследования процессов теплообмена с использованием понятий неравновесной термодинамики, позволяет проводить оценку аккумуляционного энергетического состояния системы при различных сценариях ее термостимулирования с последующим ра-

циональным использованием для регулирования степени загрязнения окружающей среды, в которую помещен исследовательский стенд.

6. В качестве наглядного примера применимости предложенной методики представлены некоторые графические результаты определения энерго-экологических характеристик строительной конструкции: потерь теплоты и энтропии.

Библиографический список:

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 13.11.2009 № 1715-р. – М.: Правительство РФ. – 104 с.
2. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федер. закон от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ // Ведомости Федерального Собрания Российской Федерации. – М.: ООО «Рид Групп», 2012. – 80 с.
3. Табунщиков, Ю.А. Экологическая безопасность жилища / Ю.А. Табунщиков // НП «АВОК», 2007. – № 4. – С. 4-7.
4. Шилкин Н.В. Экологическая безопасность. Взаимосвязь здания и инженерного оборудования / Н.В. Шилкин // НП «АВОК», 2006. – № 4. – С. 70-83.
5. Амерханов Р.А. Основы расчетно-экспериментального подхода при исследовании тепловых режимов зданий / Р.А. Амерханов // Энергосбережение и водоподготовка, 2007. – № 3. – С. 48-49.
6. Бегдай С.Н. Экспериментальные исследования сопротивления теплопередаче наружной ограждающей конструкции / С.Н. Бегдай // Энергосбережение и водоподготовка, 2007. – № 4 (48). – С. 69-70.
7. Дацюк, Т.А. Инженерные аспекты энергосбережения зданий / Т.А. Дацюк // Academia. Архитектура и строительство. Строительные науки. – М.: НИИСФ РААСН, 2009. – С. 313-318.
8. Еремкин, А.И. Тепловой режим зданий: учеб. пособие для вузов / А.И. Еремкин, Т.И. Королева // Ростов-на-Дону, Феникс. – 2008. – 363 с.
9. Табунщиков, Ю.А. Расчет теплопотерь помещения при раздельном учете конвективного и лучистого теплообмена / Ю.А. Табунщиков // НП «АВОК», 2007. – № 8. – С. 32-35.
10. Табунщиков Ю.А. Экспериментальные исследования оптимального управления расходом энергии / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач // Academia. Архитектура и строительство. Строительные науки. – М.: НИИСФ РААСН, 2009. – С. 277-282.
11. Игонин В.И. Пути повышения эффективности теплоэнергетических систем: монография / В.И. Игонин. – Вологда: ВоГТУ. – 2007. – 119 с.
12. Грызлов, В.С. Элементы термодинамики бетона: учеб. пособие. / В.С. Грызлов, Е.В. Меньшикова. – Череповец: ГОУ ВПО ЧГУ. – 2005. – 169 с.
13. Игонин В. И. К расчетно-экспериментальному определению энергетических параметров и балансовой модели теплообмена в приемнике лучистой энергии / В.И. Игонин, Д.А. Белянский. – Самара: Вестник СГТУ. – 2009. – № 1 (23). – С. 175-183.
14. Игонин В.И. Некоторые результаты применения белого инфракрасного излучателя / В.И. Игонин, В.Н. Чучин, Д.А. Белянский // НП «АВОК», 2007. – № 4. – С. 72-74.
15. Игонин В.И. Энтропийная модель элемента промышленной теплоэнергетической системы / В.И. Игонин, Д.В. Титов. – Череповец: Вестник ЧГУ, 2007. – № 3. – С. 42-54.
16. Игонин В.И. Методологические особенности эффективного энергоиспользования и энергосбережения / В.И. Игонин // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования. – Вологда, ВоГТУ. – 2008. – Т. 1. – С. 16-20.
17. Игонин В.И. К локально-модульной организации лучисто-конвективного энергообмена элемента промышленной теплоэнергетической системы / В.И. Игонин, В.Н. Чучин, Д.В. Титов // Вестник МАИ, 2007. – Т. 14. – № 4. – С. 4.
18. George S., Goravar, S., Mishra, D., Shyamsunder, M.T., Sharma, P., Padmashree, G.K., Kumar, P.S., Bremond, P., Mukherjee, K. Stress monitoring and analysis using lock-in thermography // Insight, 2010. – Vol. 52. – No. 9. – Pp. 470-474.
19. Vijayraghavan G.K., Majumder, M.C., Ramachandran, K.P. NDTE using flash thermography: numerical modelling and analysis of delaminations in GRP pipes // Insight, 2010. – Vol. 52. – No. 9. – Pp. 481-487.
20. Пат. 2379668 Российская Федерация, МПК G01N 25/18. Способ теплового неразрушающего контроля рабочего тела / В.И. Игонин, Д.Ф. Карпов; заявитель и патентообладатель Вологодский государственный технический университет. – № 2008140634/28; заявл. 13.10.2008; опубл. 20.01.2010. – Б. и. – 2010. – № 2.

References:

1. Energeticheskaya strategiya Rossii na period do 2030 goda: rasporyazheniye Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 13.11.2009 № 1715-r. – М.: Pravitel'stvo RF. – 104 s. [Russia's energy strategy for the period until 2030: Order of the Government of the Russian Federation of 13.11.2009 No. 1715-r. - M.: Government of the Russian Federation. - 104 s.(In Russ)]

2. Ob energosberezhenii i o povyshenii energeticheskoy effektivnosti i o vnesenii izmeneniy v otdel'nyye zakonodatel'nyye akty Rossiyskoy Federatsii: Feder. zakon ot 23 noyabrya 2009 g. № 261-FZ // Ve-domosti Federal'nogo Sobraniya Rossiyskoy Federatsii. – M.: OOO «Rid Grupp», 2012. – 80 s. [On energy saving and on increasing energy efficiency and on introducing changes to certain legislative acts of the Russian Federation: Feder. Law of November 23, 2009 No. 261-FZ // The Bodies of the Federal Assembly of the Russian Federation. - M.: OOO Reed Group, 2012. - 80 p. (In Russ)]
3. Tabunshchikov, YU.A. Ekologicheskaya bezopasnost' zhilishcha / YU.A. Tabunshchikov // NP «AVOK», 2007. – № 4. – S. 4-7. [Tabunshchikov, Yu.A. Ecological safety of the dwelling / Yu.A. Tabunshchikov // NP "AVOK", 2007. - № 4. - p. 4-7. (In Russ)]
4. Shilkin, N.V. Ekologicheskaya bezopasnost'. Vzaimosvyaz' zdaniya i inzhenernogo oborudovaniya / N.V. Shilkin // NP «AVOK», 2006. – № 4. – S. 70-83. [Shilkin, N.V. Environmental Safety. The relationship of the building and engineering equipment / N.V. Shilkin // NP "AVOK", 2006. - № 4. - p. 70-83. (In Russ)]
5. Amerkhanov, R.A. Osnovy raschetno-eksperimental'nogo podkhoda pri issledovanii teplovykh rezhimov zdaniy / R.A. Amerkhanov // Energosberezheniye i vodopodgotovka, 2007. – № 3. – S. 48-49. [Amerkhanov, R.A. Fundamentals of the experimental design approach in the study of thermal modes of buildings / R.A. Amerkhanov // Energy Saving and Water Treatment, 2007. - № 3. - p. 48-49. (In Russ)]
6. Begday, S.N. Eksperimental'nyye issledovaniya soprotivleniya teploperedache naruzhnoy ograzhda-yushchey konstruksii / S.N. Begday // Energosberezheniye i vodopodgotovka, 2007. – № 4 (48). – S. 69-70. [Begay, S.N. Experimental studies of the heat transfer resistance of the outer building envelope / S.N. Begay // Energy Saving and Water Treatment, 2007. - № 4 (48). - pp. 69-70. (In Russ)]
7. Datsyuk, T.A. Inzhenernyye aspekty energosberezheniya zdaniy / T.A. Datsyuk // Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo. Stroitel'nyye nauki. – M.: NIISF RAASN, 2009. – S. 313-318. [Datsyuk, T.A. Engineering aspects of energy saving buildings / TA Datsyuk // Academia. Architecture and construction. Building science. - M.: NIISF RAACS, 2009. - p. 313-318. (In Russ)]
8. Yeremki, A.I. Teplovoy rezhim zdaniy: ucheb. posobiye dlya vuzov / A.I. Yeremkin, T.I. Koroleva // Rostov-na-Donu, Feniks. 2008. 363 s. [Eremkin, A.I. Thermal regime of buildings: studies. manual for universities / A.I. Yeremkin, T.I. Queen // Rostov-on-Don, Phoenix. 2008. 363 s. (In Russ)]
9. Tabunshchikov YU.A. Raschet teplopoter' pomescheniya pri razdel'nom uchete konvektivnogo i luchistogo teploobmena / YU.A. Tabunshchikov // NP «AVOK», 2007. – № 8. – S. 32-35 [Tabunshchikov, Yu.A. Calculation of heat loss of a room with separate accounting of convective and radiant heat exchange / Yu.A. Tabunshchikov // NP "AVOK", 2007. - № 8. - p. 32-35. (In Russ)]
10. Tabunshchikov YU.A. Eksperimental'nyye issledovaniya optimal'nogo upravleniya raskhodom energii / YU.A. Tabunshchikov, M.M. Brodach // Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo. Stroitel'nyye nauki. – M.: NIISF RAASN, 2009. S. 277-282. [Tabunshchikov, Yu.A. Experimental studies of optimal energy consumption control / Yu.A. Tabunshchikov, MM Brodach // Academia. Architecture and construction. Building science. - M.: NIISF RAACS, 2009. p. 277-282. (In Russ)]
11. Igonin V.I. Puti povysheniya effektivnosti teploenergeticheskikh sistem: monografiya / V.I. Igonin. – Vologda: VoGTU. 2007. – 119 s. [Igonin, V.I. Ways to improve the efficiency of heat and power systems: monograph / V.I. Igonin. - Vologda: VSTU. - 2007. - 119 p. (In Russ)]
12. Gryzlov, V.S. Elementy termodinamiki betona: ucheb. posobiye. / V.S. Gryzlov, Ye.V. Men'shikova. – Cherepovets: GOU VPO CHGU. – 2005. – 169 s. [Gryzlov, V.S. Elements of thermodynamics of concrete: studies. allowance. / V.S. Gryzlov, E.V. Menshikov. - Cherepovets: GOU VPO ChGU. - 2005. - 169 p. (In Russ)]
13. Igonin, V. I. K raschetno-eksperimental'nomu opredeleniyu energeticheskikh parametrov i balan-sovoy modeli teploobmena v priyemnike luchistoy energii / V.I. Igonin, D.A. Belyanskiy. – Samara: Vestnik SGTU. – 2009. – № 1 (23). – S. 175-183. [Igonin, V.I. About calculation-experimental determination of energy parameters and balance-balance model of heat exchange in a receiver of radiant energy / V.I. Igonin, D.A. Belyansky. - Samara: Herald of SSTU. - 2009. - № 1 (23). - p. 175-183. (In Russ)]
14. Igonin, V.I. Nekotoryye rezul'taty primeneniya belogo infrakrasnogo izluchatelya / V.I. Igonin, V.N. Chuchin, D.A. Belyanskiy // NP «AVOK», 2007. – № 4. – S. 72-74. [Igonin, V.I. Some results of the use of a white infrared emitter / V.I. Igonin, V.N. Chuchin, D.A. Belyansky // NP "AVOK", 2007. - № 4. - p. 72-74. (In Russ)]
15. Igonin, V.I. Entropiynaya model' elementa promyshlennoy teploenergeticheskoy sistemy / V.I. Igonin, D.V. Titov. – Cherepovets: Vestnik CHGU, 2007. № 3. S. 42-54. [Igonin, V.I. Entropy model of an element of an industrial heat energy system / V.I. Igonin, D.V. Titov. Cherepovets: Bulletin of ChGU, 2007. № 3. pp. 42-54. (In Russ)]
16. Igonin, V.I. Metodologicheskiye osobennosti effektivnogo energoispol'zovaniya i energosbere-zheniya / V.I. Igonin // Avtomatizatsiya i energosberezheniye mashinostroitel'nogo i metallurgicheskogo pro-izvodstv, tekhnologiya i nadezhnost' mashin, priborov i oborudovaniya. – Vologda, VoGTU. – 2008. – T. 1. – S. 16-20. [Igonin, V.I. Methodological features of efficient energy use and energy saving / V.I. Igonin // Automation and energy saving of machine-building and metallurgical production, technology and reliability of machines, devices and equipment. Vologda, VSTU. 2008. V. 1. pp. 16-20. (In Russ)]
17. Igonin V.I. K lokal'no-modul'noy organizatsii luchisto-konvektivnogo energoobmena elementa promyshlennoy teploenergeticheskoy sistemy / V.I. Igonin, V.N. Chuchin, D.V. Titov // Vestnik MAI, 2007. – T. 14. – № 4. – S. 4. [Igon-

in, V.I. On the local-modular organization of the radiant-convective energy exchange of an element of an industrial heat-energy system / V.I. Igonin, V.N. Chuchin, D.V. Titov // Bulletin of the MAI, 2007. T. 14. № 4. p. 4 (In Russ)]

18. George S., Goravar, S., Mishra, D., Shyamsunder, MT, Sharma, P., Padmashree, GK, Kumar P.S, Bremond, P., Mukherjee, K. Stress monitoring and analysis using lock- in thermography // Insight, 2010. Vol. 52. No. 9. pp. 470-474.

19. Vijayraghavan G.K., Majumder, M.C., Ramachandran, K.P. NDTE using flash thermography: GRP pipes for modelilling and analysis of delaminations in GRP pipes // Insight, 2010. Vol. 52. No. 9. pp. 481-487.

20. Pat. 2379668 Rossiyskaya Federatsiya, MPK G01N 25/18. Sposob teplovogo nerazrushayushchego kon-trolya rabochego tela / V.I. Igonin, D.F. Karpov; zayavitel' i patentoobladatel' Vologodskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet. – № 2008140634/28; zayavl. 13.10.2008; opubl. 20.01.2010. B/ 2010. № 2. [Pat. 2379668 Russian Federation, IPC G01N 25/18. The method of thermal non-destructive control of the working fluid / V.I. Igonin, D.F. Karpov; applicant and patent holder Vologda State Technical University. - No. 2008140634/28; declare October 13, 2008; publ. 01/20/2010. B. 2010. № 2.(In Russ)]

Сведения об авторах:

Карпов Денис Федорович – старший преподаватель.

Синицын Антон Александрович - кандидат технических наук, доцент.

Information about authors:

Denis. F. Karpov - Senior Lecturer.

Anton A. Sinitsyn - Cand. Sci. (Technical), Assoc.Prof.

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 18. 02.2019.

Принята в печать 27.03.2018.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 18.02.2019.

Accepted for publication 27.03.2018.