

УДК 69.058.7

Кабанова Татьяна Владимировна

инженер-проектировщик

E-mail: kabanova_tatyana95@mail.ru

ООО «Дом Инженерных Решений»

Адрес организации: 420088, Россия, г. Казань, пр. Победы, д. 226

Енюшин Владимир Николаевич

кандидат технических наук, доцент

E-mail: enjushin@gmail.com

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Ануфриев Сергей Эдуардович

начальник службы диагностики

E-mail: ase.keravt@gmail.com

ООО «КЭР-Автоматика»

Адрес организации: 420080, Россия, г. Казань, пр. Ямашева, д. 376

Тепловизионная съемка как способ оперативного контроля теплозащитных свойств ограждающих конструкций

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования - изучение такого метода неразрушающего контроля ограждающих конструкций как тепловизионная съемка, а также как выбранная бесконтактная технология может быть эффективно использована при обнаружении недостатков ограждающих конструкций зданий.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в предложении использования принципов, выявленных на основе обследования шестизэтажного жилого панельного дома в г. Нижнекамск. Проведена оценка различных недостатков в элементах ограждающих конструкций здания, некоторые из которых было бы трудно определить с помощью диагностических методов, отличных от инфракрасной термографии. Количественно определено существующее термическое сопротивление элементов оболочки.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что данный метод позволит улучшить долгосрочную энергоэффективность существующих зданий и, в дальнейшем, внесет вклад для проектировщиков при выборе элементов строительных конструкций и теплоизоляции строящихся или реконструируемых объектов.

Ключевые слова: тепловизионная съемка, энергетический паспорт, коэффициент излучения, тепловое отражение, угол наблюдения, степень черноты, сопротивление теплопередаче, контактные методы.

Введение

Вопрос об энергоэффективности был и остается одним из приоритетных направлений в России. Актуальность энергосбережения и повышение энергетической эффективности зданий обусловлена высокими затратами и постоянным ростом тарифов на энергоресурсы. Для решения данной проблемы, в нашей стране был принят Федеральный закон № 261 «Об энергосбережении и повышении энергоэффективности».

Ученые многих стран занимаются проблемой энергосбережения, но, в то же время, однозначного и рационального решения этой проблемы пока не найдено. Тепловая защита наружных стен зависит от многих факторов: конструктивного решения стен, типа теплоизоляционного слоя, режима эксплуатации и района строительства.

Для обеспечения высокой энергоэффективности гражданского строительства находят широкое применение такие материалы как пенополистирол, минеральная вата и ячеистая изоляция. Однако по результатам исследований существует ряд противоречивых мнений об их долговечности. Таким образом, исследования термовлажностного режима наружных стен актуальны как с точки зрения теплоизоляции, так и с точки зрения долговечности ограждающих конструкций.

Есть несколько проблем, которые необходимо решить при улучшении энергоэффективности существующих зданий:

- Термическое сопротивление ограждающих конструкций зданий, как правило, не однородно по всей оболочке здания. Это особенно актуально для старых зданий.

- Значения термического сопротивления могут меняться со временем из-за условий окружающей среды и ухудшения свойств материала конструкции вследствие его старения. Эффективность теплозащиты может снизиться со временем на 50 %. Следовательно, существует необходимость определения значения R существующих компонентов ограждающих конструкций здания для количественной оценки фактических и прогнозируемых изменений перед реализацией любого проекта по улучшению ограждающих конструкций.

- Поскольку некоторые элементы оболочки здания имеют очень большую площадь поверхности, сбор данных для количественной оценки теплопередачи через ограждающие конструкции занимает много времени и будет стоить относительно дорого. В результате управляющие компании редко расставляют приоритеты в проектах по улучшению энергосбережения из-за сложности определения существующих недостатков изоляции и герметизации, а также, связанной с этим, нехваткой надежных данных относительно энергетической характеристики ограждающих конструкций здания.

При решении проблем, связанных с сокращением энергетических затрат, требуется комплексный подход. Работа по совершенствованию отдельных элементов системы не приведёт к кардинальному снижению энергопотребления.

В современных условиях разработано множество методов, позволяющих эффективно использовать существующие энергетические мощности и ресурсы. Использование энергосберегающих технологий предприятиями строительной индустрии безусловно позволит получить положительный эффект потребителям, который найдет выражение в реальных финансовых показателях – снижению коммунальных платежей.

Метод оценки состояния ограждающих конструкций зданий

Одним из современных методов получения достоверной информации о текущем состоянии теплозащитных свойств ограждающих конструкций здания, является тепловизионная съемка. Тепловизионная картинка показывает распределение температур на поверхности ограждающих конструкций, по которой можно судить о качестве строительно-монтажных работ и текущем состоянии теплоизоляционного слоя. Такой точный и быстрый процесс сбора данных может помочь в преодолении вышеизложенных проблем.

На сегодняшний день популярны традиционные методы тепловидения [1, 2]. Особенность этих методов заключается в том, что за довольно короткое время и с наименьшими затратами можно выявить места утечек тепла, при этом не нарушая структуру ограждающих конструкций.

Характеристики теплоизоляции регламентируются СП 50.13330.2012 и СП 345.1325800.2017. Данные нормативные документы регламентируют теплотехнические требования к зданиям, в соответствии с которыми осуществляется тепловизионное обследование и разработка энергетического паспорта объекта [3]. В энергетическом паспорте, как нормативном документе, на основе результатов энергоаудита, приводятся регламентируемые показатели энергоэффективности и мероприятия по энергосбережению.

Тепловизионная съемка позволяет качественно выполнить проверку тепловой защиты здания, а результаты обследования отражают возможные скрытые структурные, технологические, конструкционные или эксплуатационные дефекты в теплозащите объекта.

Система термографического сканирования может измерять и просматривать температурное распределение по инфракрасному излучению, исходящему от нагретой поверхности объекта, без физического контакта во время обследования между измерительным оборудованием и поверхностью. В результате тепловая двумерная картина объекта получается в разных оттенках цветов (от сине-фиолетового до оранжево-желтого) или в серых оттенках.

Принцип измерения основан на том, что любое тело непрерывно излучает энергию, пропорциональную температуре и излучательной способности его поверхности.

Факторы, влияющие на точность измерения

К основным факторам, влияющим на точность исследования инфракрасной термографии, относят следующие:

а) Климатические условия: инсоляция, ветер, температура окружающей среды, относительная влажность, концентрация парниковых газов (пары воды, CO₂).

б) Характеристики исследуемой поверхности: излучательная способность / отражательная способность, шероховатость, цвет поверхности стены, отделка стен (элементы декора).

в) Недостатки окружающей среды: угол зрения и расстояние съемки, ориентация здания и его освещенность при обследовании, наличие любых тепловыделяющих установок или машин внутри здания; скрининг объектов (например, влияние окружающих деревьев или ближайшее здание).

Полученные данные вносят в отчет о проведении обследования. Методика проведения натуральных обследований определяется специалистами на стадии подготовительных работ. Методология исследования, используемая организациями, базируется на следующих рекомендациях.

При исследовании внешних ограждающих конструкций, располагаемых на открытом воздухе, необходимо учитывать возможность охлаждения ветром. Например, значение температуры поверхности ограждений, полученное при скорости ветра 5 м/с, будет примерно в 2 раза ниже значения при скорости ветра 1 м/с.

Для допустимых значений скорости ветра от 1 до 7 м/с применяется формула [4]:

$$\frac{DT_2}{DT_1} = \left| \frac{V_1}{V_2} \right|^{0.448}, \quad (1)$$

где DT_1 – превышение температуры при скорости ветра V_1 ; DT_2 – то же при скорости ветра V_2 .

При более высоких скоростях ветра измерения проводить нежелательно.

Осадки. Измерения тепловизором в таких погодных условиях, как дождь, туман, снег, могут иметь значительную погрешность, т.к. инфракрасные лучи могут отражаться от взвешенных частичек или капель, однако это зависит от спектрального диапазона прибора. Тепловизоры, работающие в «окне прозрачности атмосферы» – 8-13 мкм практически не подвержены этому влиянию.

Солнечная радиация нагревает исследуемый объект, особенно в местах с высокой излучательной способностью. Во избежание её влияния рекомендуется проводить тепловизионную съемку в облачную погоду или в ночное время (предпочтительно после полуночи), но не ранее 2 часов после захода солнца.

При тепловизионной диагностике объектов, расположенных в сравнительно небольшом пространстве, нередко получают ошибочные результаты из-за теплового отражения от нагревательных элементов, искусственного освещения и др. (рис. 1). Например, при съемке тепловизор может показывать горячую точку (пятно), хотя в действительности это просто тепловое отражение от лампы, особенно от лампы накаливания. В основном это явление характерно для тепловизоров с коротковолновым спектральным диапазоном (длины волн в интервале 2-5 мкм). В этих случаях рекомендуется проводить тепловизионную съемку объекта под различными углами наблюдения и сменой местоположения тепловизора [5].

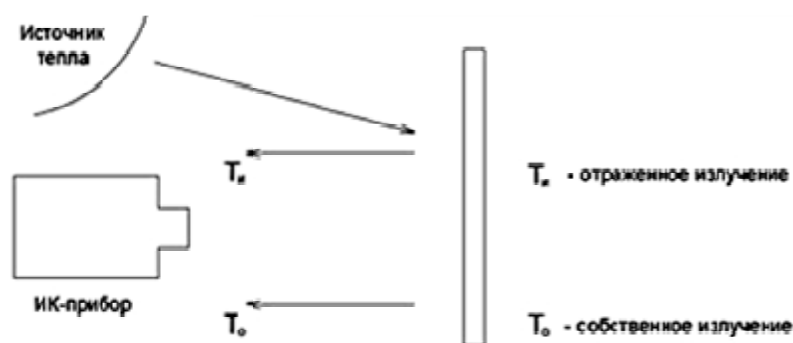


Рис. 1. Влияние теплового отражения (иллюстрация авторов)

Коэффициент излучения материала в общем виде зависит от следующих факторов: длины волны, угла наблюдения поверхности контролируемого объекта и температуры.

Коэффициент излучения высокий у неметаллов, жидкостей и газов, т.к. они практически не изменяют своих излучательных свойств относительно времени и температуры. Более того, газы и пары воды имеют «полосатый» спектр излучения и, соответственно, спектр поглощения. Поэтому, при выборе спектрального диапазона тепловизора, следует обращать внимание на возможное влияние этого фактора. Предпочтительнее выбирать тепловизионное оборудование, работающее в «окне прозрачности» области 6-8 мкм. Металлы являются хорошими отражателями длинноволнового инфракрасного излучения, отсюда и довольно низкая степень черноты.

Немаловажную роль играет в этом вопросе угол наблюдения. Для металлов значение коэффициента излучения постоянно в диапазоне угла падения от 0 до 40°, для диэлектриков – в диапазоне от 0 до 60°. За границами этих значений коэффициент излучения быстро уменьшается до нуля при наблюдении в направлении по касательной [6].

Например, при длине волны излучения 10 мкм при измерениях по нормали поверхность воды близка к абсолютно черному телу, а при наблюдении по касательной становится зеркальной.

Порядок организации и проведения измерений

Тепловизионное обследование начинается с оценки конструктивной схемы [7]. В него входит визуальный осмотр внешних ограждающих конструкций и проверка на различные явные внешние дефекты здания (трещины, перекосы здания, отслоение облицовки, наличие коррозий и т.д.). Далее проводится анализ погодных условий, характеристика поверхности и определяется доступность ограждающих конструкций для выполнения съемки тепловизором.

После визуальной оценки внешних ограждающих конструкций устанавливается порядок организации и проведения измерений, обработки результатов испытаний ограждающих конструкций и контроля уровня тепловой защиты конструкций в естественных условиях [8].

В зависимости от способа измерений, с одной стороны мы можем определить приведенное сопротивление теплопередаче, полученное в результате натурных или лабораторных условий, а с другой стороны мы можем использовать контактные методы измерения или «термографическую картинку». Так как термограмма позволяет оперативно определить только участки неоднородные по теплотехническим параметрам или имеющие другую степень теплозащитных свойств, то для получения более точных результатов, после тепловизионной съемки, как правило, используются контактные методы для измерения в конкретных участках ограждающей конструкции.

При обследовании зданий, важно получение не только действительной картины состояния ограждающих конструкций, но и информации о фактическом значении таких параметров теплозащиты как коэффициент теплотехнической однородности, коэффициент теплоотдачи и полное сопротивление теплопередаче [9].

Существует комплексное обследование, которое, помимо инфракрасной термографии, включает в себя контактные методы измерения температуры и определения теплового потока. Такое обследование является самым эффективным методом измерения фактического значения приведенного сопротивления теплопередаче элементов ограждающих конструкций.

После комплексного обследования все полученные данные вносят в энергетический паспорт здания. На основании этого определяется класс энергоэффективности здания.

Как показывает большинство обследований, лишь немногие новые здания имеют высокий класс энергоэффективности, при этом почти половина обследованных объектов имеет низкий класс энергоэффективности [10]. Поэтому тепловизионная съемка в сочетании с вышеизложенными требованиями поможет в дальнейшем увеличить количество энергоэффективных зданий и значительно сократить неоправданные расходы энергии.

Проведение обследования

Авторами данной статьи было проведено тепловизионное обследование жилого шестиэтажного дома в городе Нижнекамск, построенного в 2003 году (рис. 2).

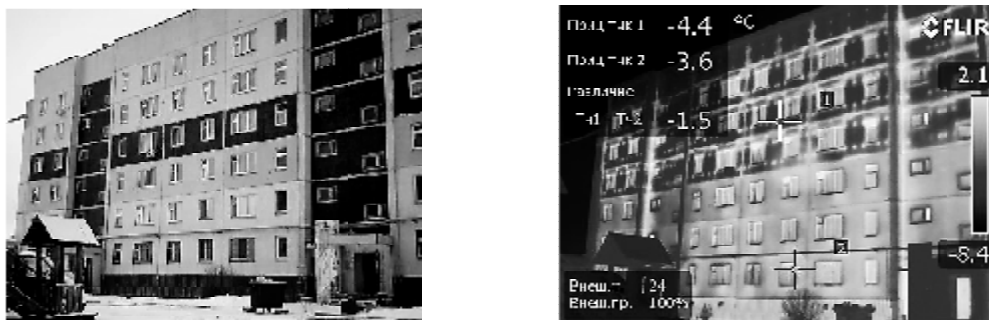


Рис. 2. Термограмма западной стороны здания (иллюстрация авторов)

На период строительства данного жилого дома пришлось изменение требований по сопротивлению ограждающих конструкций, появились первые документы, регламентирующие энергосбережение в строительстве. Для достижения повышенного сопротивления теплопередаче было предложено, не меняя конструктивных решений стеновых панелей, изменить их «начинку». Вместо однородного керамзитобетона использовали тяжелый бетон для внутреннего и наружного слоев панели и жестких связей, а между слоями – теплоизоляционный элемент из пенополистирола.

На термограмме (рис. 3) видно, что на третьем этаже панели соседних квартир выполнены по разным технологиям: слева по традиционной технологии, справа – с пенополистирольными вставками. Очевидно, что условия теплоотдачи от наружной поверхности на всех этажах практически одинаковы, температура наружной поверхности нижних этажей на 1,6 °C выше, чем на верхних.



Рис. 3. Термограмма южной стороны здания (иллюстрация авторов)

Пенополистирольные плиты в ограждающих конструкциях с навесным фасадом работают в достаточно жестких условиях. Как показало исследование [11], в солнечные дни на южной стороне ограждения температура пенополистирола может достигать 60 °C. Долговечность пенополистирола в таких условиях вызывает большие сомнения.

Температурное поле на наружной поверхности «новых» панелей свидетельствует о сохранности теплозащитных свойств пенополистирольных элементов, возможно в конструкции данного типа таких температурных напряжений не возникает.

Оценка результатов обследования

Перед авторами была поставлена следующая задача: оценить уровень сопротивления теплопередаче элементов ограждающей конструкции, изготовленных по разным технологиям. Для этого по методике, изложенной в [12], имея температуры поверхности по «глади» (не имеющие видимых теплопроводных включений) и используя данные по скорости ветра и температуре окружающего воздуха, определили коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности ограждения к воздуху.

Зная температуры поверхностей и воздуха и коэффициент теплоотдачи, посчитали тепловой поток. Аналогичным образом, оценили коэффициент теплоотдачи от внутреннего воздуха к внутренней поверхности ограждения, температуру внутреннего воздуха приняли равной 20 °С. Задаваясь стационарным температурным режимом в ограждении, определили полное сопротивление теплопередаче. Ниже в таблице приведены результаты расчетов.

Таблица

Теплотехнические характеристики элементов ограждающих конструкций здания

Измеряемые объекты	Температура наружного воздуха $t_{нр}$, °С	Температура наружной поверхности стены t_1 , °С	Коэффициент теплоотдачи излучением $\alpha_{лр}$, Вт/(м ² ·°С)	Коэффициент теплоотдачи конвекцией $\alpha_{кв}$, Вт/(м ² ·°С)	Коэффициент теплоотдачи у наружной поверхности $\alpha_{нр}$, Вт/(м ² ·°С)	Температура внутренней поверхности стены t_2 , °С	Полное сопротивление теплопередаче R , (м ² ·°С)/Вт
Точка 1	-5	-4,4	3,695	15,133	18,827	18,7	2,045
Точка 2	-5	-3,7	3,778	15,133	18,842	17,2	0,853

Таким образом, сопротивление теплопередаче традиционных панелей из керамзитобетона, получилось равным 0,853, что несколько ниже требуемых на то время значений. Это объясняется погрешностью натуральных измерений, а также представлениями о комфортной температуре внутри помещения для населения. Несмотря на то, что ГОСТ Р 51617-2000 «Жилищно-коммунальные услуги. Общие технические условия» рекомендовал принимать температуру внутри помещения 20 °С и даже 18 °С, большинство граждан предпочитают температуру 23...25 °С. Задаваясь значением температуры внутри помещения 25 °С, получаем полное сопротивление конструкции 1,057 (м²·°С)/Вт для «старых» панелей и 2,488 (м²·°С)/Вт для «новых», что соответствует требованиям, предъявляемым до 2003 года.

Заключение

Тепловизионная съемка на сегодняшний день является самым быстрым, продуктивным и экономичным способом получения информации о реальном состоянии тепловой защиты объекта. Своевременное проведение тепловизионного обследования позволит на ранней стадии выявить дефекты, а также спрогнозировать их развитие.

В данной работе было проведено исследование теплозащитных свойств наружных стен здания в натуральных условиях, а также анализ их расчетных и фактических значений сопротивления теплопередаче. Исследование оболочки здания дает наглядную качественную картину тепловых характеристик основных элементов ограждающих конструкций. Оно определяет основные недостатки, и помогает в разработке соответствующих мер по энергосбережению для улучшения ограждающих конструкций здания. Рекомендации при проведении и обработки съемки, описанные в статье, позволяют избежать ошибочных выводов о состоянии объекта.

Список библиографических ссылок

1. Вавилов В. П. Тепловидение для инженеров. Томск, 2012. 127 с.
2. Дроздов В. А., Сухарев В. И. Термография в строительстве. М. : Стройиздат, 1987. 238 с.
3. Оленников А. А., Осокин Е. В., Кирилов П. П., Гуца Е. Л., Николенко В. В. Тепловизионная съемка для поиска скрытых дефектов в тепловой защите зданий // Вестник СГИУ. Серия «Энергетика и электротехнологии». 2015. № 4 (14). С. 36–40.
4. Валиуллина Д. М., Енюшин В. Н. Применение тепловизионной съемки для выявления дефектов строительных ограждающих конструкций и энергетического

- оборудования // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2015. № 9-10. С. 29–33.
5. Szajewska A. Development of the Thermal Imaging Camera (TIC) Technology. // Procedia Engineering. MBMST. 2017. № 172. P. 1067–1072.
 6. Прошкин С. С. К вопросу о точности измерения температуры с помощью тепловизора // Вестник Международной академии холода. 2014. № 1. С. 51–54.
 7. Вавилов В. П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. М. : Спектр, 2009. 544 с.
 8. Shibaeva G., Ibe E., Portnyagin D. Assessment of the reliability of thermal protection of enclosing structures of buildings at the design and operation stages : MATEC Web of Conferences, VI International Scientific Conference – Integration, partnership and innovation in construction science and education / MGSU. M., 2018. 8 p.
 9. Ohlsson K. E. A., Olofsson T. Quantitative infrared thermography imaging of the density of heat flow rate through a building element surface. Appl. Energy. 2014. P. 499–505.
 10. Ludwig N., Redaelli V., Rosina E., Augelli F. Moisture detection in wood and plaster by IR thermography // Infrared Physics & Technology. 2004. P. 161–166.
 11. Иванцов А. И., Куприянов В. Н., Сафин И. Ш. Натурные исследования эксплуатационных воздействий на фасадные системы с различными видами эффективных утеплителей // Жилищное строительство. 2013. № 7. С. 29–32.
 12. Фокин К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. М. : АВОК-ПРЕСС, 2006. 256 с.

Kabanova Tatyana Vladimirovna

design engineer

E-mail: kabanova_tatyana95@mail.ru

LLC «House of Engineering Solutions»

The organization address: 420088, Russia, Kazan, Pobedy ave., 226

Enyushin Vladimir Nikolaevich

candidate of technical sciences, associate professor

Email: enyushin@gmail.com

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., d. 1

Anufriev Sergey Eduardovich

head of diagnostics

Email: ase.keravt@gmail.com

LLC «KER-Avtomatika»

The organization address: 420080, Russia, Kazan, Yamashev ave., 37b

Thermal imaging as a method of operational control of heat-shielding properties of enclosing structures

Abstract

Problem statement. The purpose of the research is to study such a method of non-destructive testing of enclosing structures as thermal imaging, and how the selected contactless technology can be effectively used when detecting deficiencies of enclosing structures of buildings.

Results. The main results of the research consist in a proposal to use the principles identified on the basis of a survey of a six-story residential panel house in Nizhnekamsk. Various shortcomings in the elements of building envelopes were evaluated, some of which would be difficult to determine using diagnostic methods other than infrared thermography. The existing thermal resistance of the shell elements is quantified.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry is that this method will improve the long-term energy efficiency of existing buildings and will further contribute to the designers when choosing elements of building structures and thermal insulation of objects under construction or reconstruction.

Keywords: thermal imaging, energy passport, emissivity, thermal reflection, viewing angle, degree of blackness, resistance to heat transfer, contact methods.

References

1. Vavilov V. P. Thermal imaging for engineers. Tomsk, 2012. 127 p.
2. Drozdov V. A., Sukharev V. I. Thermography in construction. M. : Stroizdat, 1987. 238 p.
3. Olennikov A. A., Osokin E. V., Kirilov P. P., Gushcha E. L., Nikolenko V. V. Thermal imaging to search for hidden defects in the thermal protection of buildings // Vestnik SGIU. Seri «Energy and Electrotechnology». 2015. № 4 (14). P. 36–40.
4. Valiullina D. M., Enyushin V. N. The use of thermal imaging to identify defects in building envelopes and power equipment // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki. 2015. № 9. P. 29–33.
5. Szajewska A. Development of the Thermal Imaging Camera (TIC) Technology. // Procedia Engineering. MBMST. 2017. № 172. P. 1067–1072.
6. Proshkin S. S. On the question of the accuracy of temperature measurement using a thermal imager // Vestnik Mezhdunarodnoy akademii kholoda. 2014. № 1. P. 51–54.
7. Vavilov V. P. Infrared thermography and thermal control. M. : Spectr, 2009. 544 p.
8. Shibaeva G., Ibe E., Portnyagin D. Assessment of the reliability of thermal protection of enclosing structures of buildings at the design and operation stages : MATEC Web of Conferences, VI International Scientific Conference – Integration, partnership and innovation in construction science and education / MGSU. M., 2018. 8 p.
9. Ohlsson K. E. A., Olofsson T. Quantitative infrared thermography imaging of the density of heat flow rate through a building element surface. Appl. Energy. 2014. P. 499–505.
10. Ludwig N., Redaelli V., Rosina E., Augelli F. Moisture detection in wood and plaster by IR-thermography // Infrared Physics & Technology. 2004. P. 161–166.
11. Ivantsov A. I., Kupriyanov V. N., Safin I. Sh. Field studies of operational impacts on facade systems with various types of effective insulation // Zhilishchnoye stroitelstvo. 2013. № 7. P. 29–32.
12. Fokin K. F. Building heat engineering of enclosing parts of buildings. M. : AVOK-PRESS, 2006. 256 p.