

DOI: 10.34031/article_5d01f5643f0854.03961206

I.*Карпов Д.Ф.

¹Вологодский государственный университет
Россия, 160000, г. Вологда, ул. Ленина, д. 15, каб. 109

*E-mail: karpov_denis_85@mail.ru

ТЕПЛОВИЗИОННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТНЫХ ПОЛЕЙ ПОВЕРХНОСТЕЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Аннотация. Обозначены и проанализированы актуальные в настоящее время вопросы сверхнормативных тепловых потерь строительными объектами. Установлено, что потери теплоты зданиями зависят от теплотехнических качеств наружных строительных конструкций из различных материалов, основными из которых являются плотность, влажность, теплопроводность. В связи с этим, особую значимость и важность приобретают практические методы идентификации температурных и влажностных полей поверхностей строительных конструкций зданий и сооружений в режиме их эксплуатации. Представлены технические возможности современного тепловизионного оборудования по получению и обработке термограмм тепловизионной съемки контролируемого объекта. Приведен практический пример тепловизионного определения и анализа температурного и влажностного полей светопрозрачной ограждающей строительной конструкций в виде окна в оконном проеме. Подтверждено, что тепловизионная диагностика в состоянии констатировать распределение тепловых потерь в зоне контроля. На основании этого знания разрабатываются мероприятия по их снижению (выравниванию) и в последующем оценивается эффективность их реализации.

Ключевые слова: температурное поле, влажностное поле, строительные конструкции, тепловизор, тепловизионная съемка, термограмма, контролируемый объект.

Введение. Влажностный режим наружных ограждающих строительных конструкций неразрывно связан с теплотехническим режимом. Рост влажности строительных материалов и изделий повышает их теплопроводность и влажность воздуха внутри помещения. Нормальный влажностный режим имеет важное санитарно-гигиеническое и теплотехническое значения, так как обуславливает нормативные параметры микроклимата и долговечность строительных конструкций. Так, например, применение в наружных ограждающих конструкциях, подверженных увлажнению, недостаточно влагостойких материалов и изделий также может быть причиной их преждевременного износа [1, 2].

Пористость, плотность, влажность, теплопроводность, теплоемкость, тепловое излучение являются основными теплотехническими свойствами строительных материалов [1]. Однако всю совокупность сложных явлений, участвующих в передаче теплоты в толще материалов обычно сводят к теплопроводности. Коэффициент теплопроводности для строительных материалов – собирательный эквивалентный коэффициент, учитывающим все физические явления, происходящие в материале и связанные с передачей теплоты [1, 3–5].

Величина коэффициента теплопроводности для одного и того же материала не является величиной постоянной. Коэффициент теплопроводности материала может изменяться в зависимости от его плотности, влажности, температуры,

направления теплового потока, структуры (рис. 1, а, б, в).

Установить общую математическую зависимость между теплопроводностью материала и его влажностью, одинаковую для всех строительных материалов, не представляется возможным, т. к. значительное влияние оказывают форма и расположение пор материала. Поэтому особую актуальность приобретают практические методы определения температурных и влажностных полей поверхностей строительных конструкций зданий и сооружений в режиме их эксплуатации.

Актуализация и обоснование решаемой проблемы. Повышение эффективности

Вопросы экономии и повышения эффективности использования тепловой энергии являются приоритетными направлениями в различных отраслях промышленности: строительство, энергетика, машиностроение, транспорт и др. [6–8]. Исследования показывают, что сверхнормативно теряется до 40 % энергии, расходуемой на отопление зданий и сооружений [9–11].

Учет и контроль рационального использования тепловой энергии возможен за счет проведения теплового контроля и определения фактических теплотехнических характеристик строительных конструкций зданий и сооружений в условиях их эксплуатации. При этом особое внимание следует уделить термографированию светопрозрачных ограждающих строительных конструкций, так как через них теряется большая часть тепловой энергии [12–16]. Также необхо-

димому учитывать динамику изменения влажностного состояния ограждающих конструкций при

проведении натурального тепловизионного контроля в период эксплуатации строительного объекта.

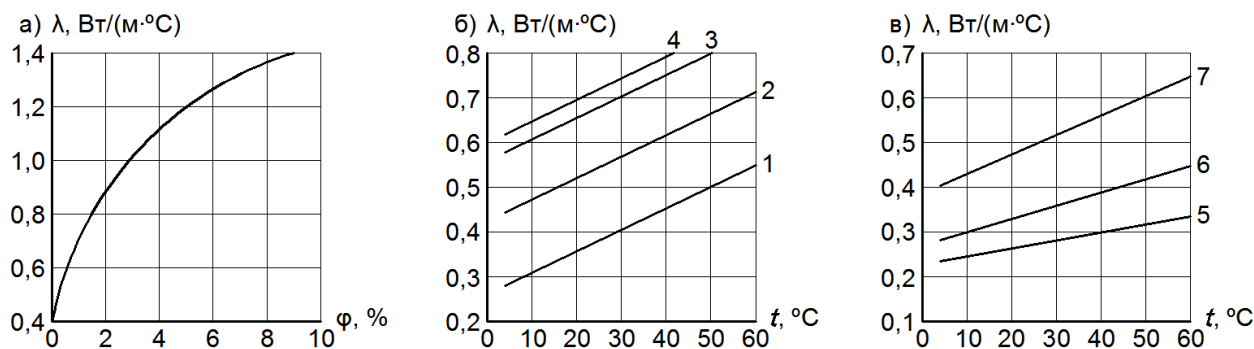


Рис. 1. Зависимость коэффициента теплопроводности: а) кирпичной кладки от влажности кирпича; б) газозолотона и в) пенобетона от температуры при различной их влажности: $\phi_1 = 4,8\%$; $\phi_2 = 17\%$; $\phi_3 = 33\%$; $\phi_4 = 38\%$; $\phi_5 = 1,4\%$; $\phi_6 = 6\%$; $\phi_7 = 28\%$

Экономические издержки от сверхнормативных тепловых потерь определяют исходя из рассчитанных значений количества тепловых потерь с учетом фактических тарифов на энергию. Очевидно, что сама по себе тепловизионная диагностика в состоянии лишь констатировать распределение тепловых потерь в зоне контроля, на основании чего можно разработать мероприятия по их снижению (выравниванию) и в последующем оценить их эффективность. Например, в жилых и производственных зданиях тепловизионный метод позволяет оценить эффективность оптимизации системы теплоснабжения и вентиляции.

Основные технические возможности современного тепловизионного оборудования. Основными техническими возможностями современных тепловизоров являются: 1) технология цифровой съемки. Встроенная в тепловизор цифровая камера выполняет автоматическое одновременное сохранение инфракрасного и видимого изображений; 2) технология SuperResolution. Позволяет увеличивать текущее

разрешение теплового изображения в несколько раз без замены детектора; 3) технология измерения влажности. Позволяет кроме обычных термограмм получать информацию по уровню влажности исследуемых поверхностей контролируемого объекта. Данная функция важна при обнаружении зон возможного образования конденсата и биокоррозии. Для реализации этой технической возможности предварительно выполняют замеры температуры и относительной влажности окружающего воздуха. Далее специализированное прикладное программное обеспечение, поставляемое с тепловизором, по заданным параметрам воздуха автоматически определяет температуру точки росы и проецирует полученное значение на температурное поле поверхности исследуемой области объекта контроля. Участки изображения, в которых фактическая температура поверхности ниже точки росы, тепловизор выделяет красным цветом («зона повышенного риска»), а неповрежденные влагой – зеленым цветом (рис. 2).

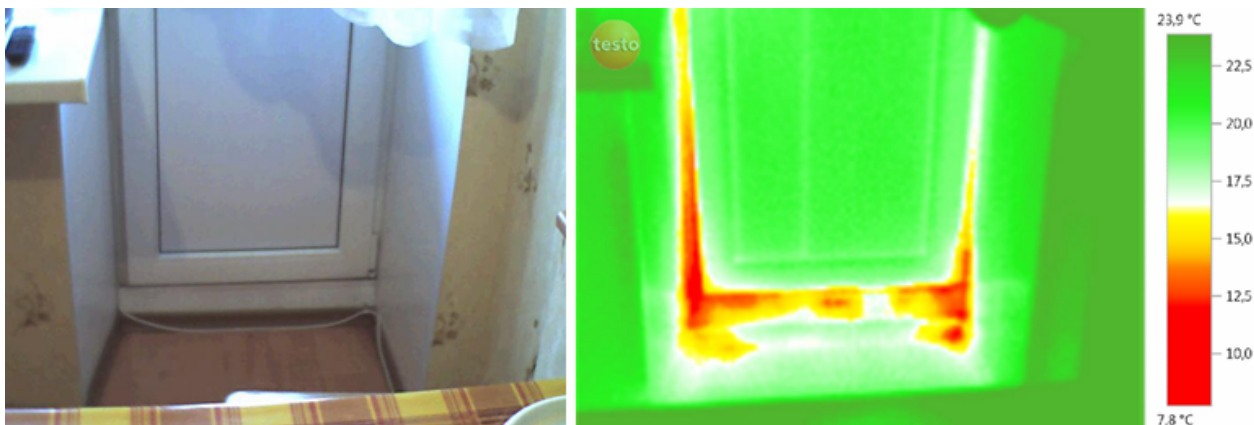


Рис. 2. Влажностное поле контролируемого объекта (дверь на балкон) при $t_a = 20\text{ °C}$ и $\phi_a = 50\%$ (зеленый: $\phi_{sur,a} = 0\text{--}64\%$, не критично; желтый / оранжевый: $\phi_{sur,a} = 65\text{--}80\%$, потенциально критично; красный: $\phi_{sur,a} > 80\%$, критично)

Практический пример тепловизионного определения температурного и влажностного полей светопрозрачной ограждающей строительной конструкций. В качестве объекта теплового контроля рассмотрим светопрозрачную

ограждающую строительную конструкцию в виде окна в оконном проеме квартиры жилого здания. На рис. 3 представлено видимое (цифровое) и тепловое изображения объекта контроля.



Рис. 3. Видимое (цифровое) и тепловое изображения окна в оконном проеме

В табл. 1 представлены параметры и условия проведения внутренней тепловизионной съемки окна в оконном проеме.

В табл. 2 приведены результаты обработки и анализа в специализированной прикладной программной среде IRSoft (для тепловизора марки Testo) термограммы контролируемого объекта.

Таблица 1

Исходные данные тепловизионной съемки окна в оконном проеме

Наименование объекта	Параметры окружающей среды			Параметры поверхности излучения		l, м
	$t_{int,a}, ^\circ\text{C}$	$\varphi_{int,a}, \%$	$t_{ext,a}, ^\circ\text{C}$	материал	ε	
Окно в оконном проеме	20	50	-1	стекло / дерево	0,94 / 0,90	3,5

По результатам обработки и анализа термограммы окна в оконном проеме заключаем о присутствии наличия: 1. Избыточных тепловых потерь через стыки оконных переплетов. 2. Зон повышенной влажности, которые могут привести к образованию конденсата. Физическое явление конденсации влаги связано с негерметичностью стыковых соединений, вследствие чего внутрь помещения проникает холодный наружный воздух. Пограничный со стыком внутренний воздух охлаждается до температуры точки росы ($t_d = 9,3 ^\circ\text{C}$), что приводит к конденсации водяных паров.

Основными проблемными участками объекта теплового контроля являются вертикальный стык оконных переплетов и горизонтальный стык оконного блока с подоконником. Для устранения данных тепловых дефектов рекомендуется заделка негерметичных зон утеплителем и / или силиконовым герметиком.

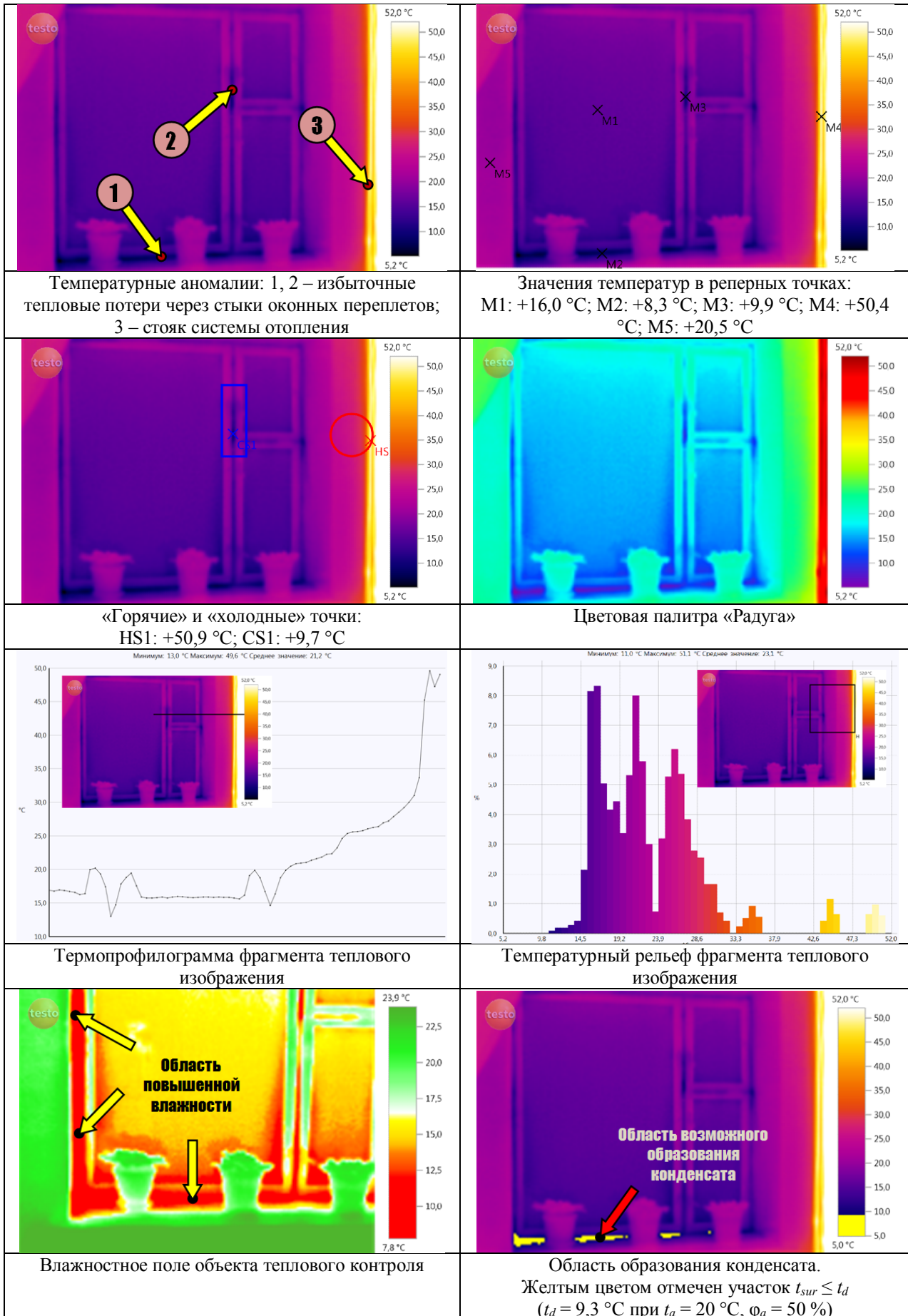
Вывод. Современные тепловизоры, необходимые для проведения тепловизионной съемки

строительных объектов и отдельных строительных конструкций, относятся к портативным оптико-механическим устройствам. Они воспроизводят изображение нагретых объектов и идентифицируют температурное поле контролируемого объекта. Результатом тепловизионной съемки является термограмма, которая обрабатывается и анализируется в оперативной памяти тепловизора или в специализированном прикладном программном обеспечении.

Причиной утечек тепловой энергии в окружающую среду являются тепловые мостики. Они способствуют конденсации влаги из внутреннего воздуха помещения, вызванного понижением его температуры на границе теплового дефекта. При известных температуре, относительной влажности окружающей среды, температуре поверхности объекта контроля, с помощью тепловизионной техники для каждой отдельной точки теплового изображения контролируемого объекта можно определять относительную поверхностную влажность.

Таблица 2

Результаты обработки и анализа термограммы окна в оконном проеме



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей здания. М.: АВОК-ПРЕСС. 2006. 256 с.
2. Хуторной А.Н., Цветков Н.А., Кузин А.Я. Теплозащитные свойства неоднородных наружных стен зданий. Томск. Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун.-та. 2006. 287 с.
3. Коротких А.Г. Теплопроводность материалов: учеб. пособие. Томск. ТПУ. Изд-во Томского политехнического университета. 2011. 97 с.
4. Фокин В.М., Бойков Г.П., Видин Ю.В. Основы технической теплофизики: монография. М.: «Изд-во Машиностроение-1». 2004. 172 с.
5. Мазо А.Б. Основы теории и методы расчета теплопередачи: учебное пособие. Казань. Казан. ун-т. 2013. 144 с.
6. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года: постановление Правительства Российской Федерации от 13.11.2009 № 1715-р.
7. Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». М.: ООО «Рид Групп». 2012. 80 с.
8. Игонин В.И. Пути повышения эффективности теплоэнергетических систем: монография. Вологда. ВоГТУ. 2007. 119 с.
9. Сканави А.Н., Махов Л.М. Отопление: учеб. для вузов. М.: АСВ. 2008. 576 с.
10. Mahdavi A., Doppelbauer E.M. A performance comparison of passive and low-energy buildings // Energy and buildings. 2010. Volume 42. No. 8. Pp. 1314–1319.
11. Kavga A., Konstas I., Panidis T. Assessment of infrared heating benefits in a production greenhouse // Applied Engineering in Agriculture. 2015. Volume 31 (1). Pp. 143–151.
12. Будадин О.Н., Потапов А.И., Колганов В.И., Троицкий-Марков Т.Е., Абрамова Е.В. Тепловой неразрушающий контроль изделий. М.: Издательство «Наука». 2002. 473 с.
13. Будадин О.Н., Вавилов В.П., Абрамова Е.В. Тепловой контроль: учеб. пособие. М.: Издательский дом «Спектр». 2013. 176 с.
14. Вавилов В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. Изд. 2-е, испр. и доп. М.: 2013. 544 с.
15. Вавилов В.П. Тепловидение и тепловой контроль для инженеров. Изд. 1-е. М.: Издательский дом «СПЕКТР». 2017. 72 с.
16. George S., Goravar S., Mishra D. etc. al. Stress monitoring and analysis using lock-in thermography // Insight. 2010. Volume 52. No. 9. Pp. 470–474.

Информация об авторах

Карпов Денис Федорович, старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: karpov_denis_85@mail.ru. Вологодский государственный университет. Россия, 160000, Вологда, ул. Ленина, д. 15, каб. 109.

Поступила в марте 2019 г.

© Карпов Д.Ф., 2019

^{1,*}**Karpov D.F.**

¹Vologda State University

Russia, 160000, Vologda, Lenin St., 15, office 109

*E-mail karpov_denis_85@mail.ru

THERMOVISION METHOD OF DETERMINING THE MOISTURE FIELDS OF BUILDING SURFACES OF CONSTRUCTION STRUCTURES OF BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS

Abstract. The current issues of excess heat losses by construction projects are identified and analyzed. It is established that the heat loss of buildings depend on the thermal qualities of external building structures of different materials, the main of which are density, humidity, thermal conductivity. In this regard, practical methods for identifying temperature and humidity fields of the surfaces of building structures in the mode of their operation are of particular importance. The technical capabilities of modern thermal imaging equipment for obtaining and processing thermograms of thermal imaging of the controlled object are presented. A practical example of thermal definition and analysis of temperature and humidity fields of translucent enclosing building structures in the form of a window in a window opening is given. It is confirmed that thermal imaging diagnostics is able to state the distribution of heat losses in the control zone. On the basis of this knowledge, measures are developed to reduce them (alignment) and subsequently assess the effectiveness of their implementation.

Keywords: temperature field, humidity field, building structures, thermal imager, thermal imaging, thermogram, controlled object.

REFERENCES

1. Fokin K.F. Construction heat engineering of enclosing parts of the building [*Stroitel'naya teplotekhnika ograzhdayushchih chastej zdaniya*]. M.: AVOK-PRESS. 2006. 256 p. (rus)
2. Khutornoy A.N., Tsvetkov N.A., Kuzin A. Ya. Thermal insulation properties of inhomogeneous exterior walls of buildings: monograph [*Teplozashchitnye svoystva neodnorodnyh naruzhnyh sten zdaniy: monografiya*]. Tomsk. Publishing House of Tomsk State University of Architecture and Construction. 2006. 287 p. (rus)
3. Korotkih A.G. Thermal conductivity of materials [*Teploprovodnost' materialov*]: textbook for universities. Tomsk. Tomsk Polytechnic University. Publishing house of Tomsk Polytechnic University. 2011. 97 p. (rus)
4. Fokin V.M., Boikov G.P., Vidin Yu.V. Fundamentals of technical thermophysics: monograph [*Osnovy tekhnicheskoy teplofiziki: monografiya*]. M.: "Publishing house of mechanical engineering-1". 2004. 172 p. (rus)
5. Mazo A.B. Fundamentals of theory and methods of calculation of heat transfer [*Osnovy teorii i metody rascheta teploperedachi*]: textbook. Kazan. Kazan University. 2013. 144 p. (rus)
6. Energy strategy of Russia for the period up to 2030 [*Energeticheskaya strategiya Rossii na period do 2030 goda*]: decree of the Government of the Russian Federation of 13.11.2009 № 1715-p. (rus)
7. Federal law on energy saving and energy efficiency and on amendments to certain legislative acts of the Russian Federation [*Ob energosberezhenii i o povyshenii energeticheskoy effektivnosti i o vnesenii izmenenij v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossijskoj Federacii*]. M.: OOO "Reed Group". 2012. 80 p. (rus)
8. Igonin V.I. Ways to improve the efficiency of thermal power systems: monograph [*Puti povysheniya effektivnosti teploenergeticheskikh sistem: monografiya*]. Vologda. VSTU. 2007. 119 p. (rus)
9. Skanavi A.N., Mahov L.M. Heating [*Otoplenie*]: textbook for universities. M.: ACU. 2002. 576 p. (rus)
10. Mahdavi A., Doppelbauer E.M. A performance comparison of passive and low-energy buildings. Energy and buildings. 2010. Volume 42. No. 8. Pp. 1314–1319.
11. Kavga A., Konstas I., Panidis T. Assessment of infrared heating benefits in a production greenhouse. Applied Engineering in Agriculture. 2015. Volume 31 (1). Pp. 143–151.
12. Budadin O.N., Potapov A.I., Kolganov V.I., Troitsky-Markov T.E., Abramova, E.V. Thermal nondestructive testing products [*Teplovoj nerazrushayushchij kontrol' izdelij*]. M.: Publishing House "Science". 2002. 473 p. (rus)
13. Budadin O.N., Vavilov V.P., Abramova E.V. Thermal control [*Teplovoj kontrol'*]: textbook for universities. Edition 2. M.: Publishing House "SPECTRUM". 2013. 176 p. (rus)
14. Vavilov V.P. Infrared thermography and thermal control [*Infrakrasnaya termografiya i teplovoj kontrol'*]. Second edition, revised and enlarged. M.: 2013. 544 p. (rus)
15. Vavilov V.P. Thermal Imaging and thermal control for engineers [*Teplovidenie i teplovoj kontrol' dlya inzhenerov*]. First edition. M.: Publishing house "SPETRUM". 2017. 72 p. (rus)
16. George S., Goravar S., Mishra D. etc. al. Stress monitoring and analysis using lock-in thermography. Insight. 2010. Volume 52. No. 9. Pp. 470–474.

Information about the authors

Karpov, Denis F. Senior lecturer. E-mail: karpov_denis_85@mail.ru. Vologda State University. Russia, 160000, Vologda, Lenin St., 15, office 109.

Received in March 2019

Для цитирования:

Карпов Д.Ф. Тепловизионный метод определения влажностных полей поверхностей строительных конструкций зданий и сооружений // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 6. С. 28–33. DOI: 10.34031/article_5d01f5643f0854.03961206

For citation:

Karpov D.F. Thermovision method of determining the moisture fields of building surfaces of construction structures of buildings and constructions. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 6. Pp. 28–33. DOI: 10.34031/article_5d01f5643f0854.03961206