DOI: 10.34031/2618-7183-2019-2-2-23-28

*Карпов Д.Ф. *, старший преподаватель,
Вологодский государственный университет, Россия*
*Ответственный автор E-mail: karpov_denis_85@mail.ru

АЛГОРИТМ КОМПЛЕКСНОЙ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО АНАЛИЗУ ТЕРМОГРАММ

Аннотация: предложен алгоритм комплексной диагностики технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений по анализу термограмм. Предпринята попытка систематизировать и логически выстроить последовательность этапов энергетического обследования теплопотребляющих и теплогенерирующих объектов строительства и их конструктивных элементов. Представленный алгоритм включает в себя основные этапы, выполняемые при подобных обследованиях. Отличается от известных технологий энергетического мониторинга зданий и сооружений наличием двух дополнительных этапов, которые являются неотъемлемой частью любого энергетического обследования: определение относительной поверхностной влажности строительных конструкций и фактического массового расхода теплоносителя через отопительный прибор по анализу тепловых изображений. Реализация энергетического (тепловизионного) и технического обследований по представленной структурной схеме требует не только наличия соответствующей приборно-измерительной базы, но и привлечения высококвалифицированных специалистов (инженеров-строителей, теплоэнергетиков, теплофизиков, операторов-термографистов и т.д.).

Ключевые слова: температура, температурное поле, относительная поверхностная влажность, тепловой поток, термограмма, термография, тепловой дефект, технический дефект, строительная конструкция, сопротивление теплопередаче

Введение

Президентом и Правительством Российской Федерации перед обществом и государством поставлена стратегическая задача по определению путей рационального применения важнейшего национального достояния страны – природных энергетических ресурсов [1, 2].

В настоящее время политика энерго- и ресурсосбережения является одним из приоритетных экономических направлений для всего народного хозяйства страны. Снижение энергопотребления жилых и общественных зданий, различных объектов промышленности создаст условия для повышения эффективности использования топливных, энергетических, материальных ресурсов в процессе производства тепловой и электрической энергии, широкого спектра строительной, промышленной, транспортной продукции. Для того чтобы принять меры по оптимизации энергопотребления зданием или сооружением, необходимо уметь производить качественную и количественную оценку его текущего энергетического состояния. Если рассматривать в данном вопросе тепловую составляющую, то для анализа теплового состояния объектов энергопотребления и энергогенерации благодаря своей оперативности и диагностике на расстоянии получило широкое распространение тепловизионное обследование [3-9]. Инфракрасная термография позволяет получать температурную картину поверхности излучения обследуемого объекта (рис. 1).

Рис. 1. Примеры термограмм строительных конструкций зданий и сооружений
Fig. 1. Examples of thermograms of building structures of buildings and structures

Методы и материалы

Температура является универсальным способом отражения состояния энергопотребляющего и энергогенерирующего объекта. По температурному полю можно судить о механических дефектах здания, качестве работы гидравлического, электрического и другого инженерного оборудования [10].

Тепловизионная диагностика обладает большим потенциалом для оценки энергетического состояния жилых зданий и промышленных предприятий. Тепловизионная съемка идентифицирует дефекты на начальной стадии их появления, тем самым позволяя определять и планировать объемы и сроки работ по

ремонту, реконструкции, модернизации. Особая ценность тепловидения в том, что диагностика осуществляется неразрушающим способом без вывода контролируемых объектов из эксплуатации [3, 5].

Результаты и обсуждения

На рис. 2 представлена структурная схема комплексной диагностики технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений по анализу термограмм.

Рис. 2. Схема комплексной диагностики технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений по анализу термограмм

Fig. 2. Scheme of complex diagnostics of the technical condition of building structures of buildings and structures for the analysis of thermograms

Рассмотрим подробнее мероприятия по комплексному мониторингу технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений по результатам анализа тепловых изображений на каждом из трех представленных уровней.

Уровень 1. Состоит из 6 последовательных (параллельных) этапов. Первые пять этапов заканчиваются сбором и предварительной компьютерной обработкой полученных данных:

1) Систематическое измерение температур на внутренних и наружных поверхностях ограждающих строительных конструкций, а также температуры окружающей среды (наружный воздух и/или внутренний воздух помещения) в течение 3-5 суток.

2) Тепловизионная съемка всей поверхности строительной конструкции и объектов, эксплуатация которых потенциально опасна.

3) Измерения температуры и тепловых потоков в «реперных» зонах.

При выполнении первых трех этапов применяется приборная база, подробно представленная в [3-6]: термопары, тепловизор, пирометр, термогигрометр, термоанемометр, измеритель плотности тепловых потоков и др.

4). Подробный анализ нормативных документов из области теплового контроля, строительства, энергетики и т. д.

5). Анализ основных характеристик (геометрических, технических, физико-механических и т. д.) строительной конструкции по технической документации.

Примеры компьютерных систем сбора и предварительной обработки регистрируемых данных подробно представлены в [4, 5].

Уровень 2. Состоит из 9 последовательных (параллельных) этапов:

1) Определение сопротивлений теплопередаче по поверхности строительной конструкции и приведенного сопротивления теплопередаче по толщине ограждающей конструкции. Методика определения данной величины хорошо известна и подробно представлена в [11-17]. Отклонение в меньшую сторону фактического (расчетного, эксплуатационного) значения сопротивления теплопередаче строительной конструкции от требуемой (нормативной) величины данного параметра свидетельствует о недостаточной тепловой защите ограждающей конструкции и/или наличии теплового дефекта (тепловой температурной аномалии) и/или технического дефекта. Под тепловым дефектом в общем случае понимается локальное изменение распределения теплового излучения контролируемого объекта и трактуется, как отклонение от нормы. Технический дефект может представлять из себя скрытую раковину, полость, трещину, различные инородные включения и т.д., а также всевозможные отклонения физических свойств контролируемого объекта от нормы, места локальных перегревов (охлаждений) и т. п. Дефекты также классифицируют на активные и пассивные. Дефекты, которые выделяют или поглощают тепловую энергию, а также диагностируются (идентифицируются) в пассивном режиме теплового контроля, называются активными.

2) Определение точки росы и положения фронта промерзания наружной ограждающей конструкции. Современная тепловизионная техника и сопутствующее специализированное программное обеспечение позволяют автоматически вычислять температуру точки росы. Для этого достаточно ввести в тепловизор данные по температуре и относительной влажности окружающей среды [5, 6].

3) Выявление и идентификация теплотехнических дефектов строительных конструкций [3-9].

4) Определение сопротивлений теплопередаче по поверхности светопрозрачных ограждающих конструкций (окнам, фрамугам, фонарям и т. п.) и приведенного сопротивления теплопередаче. Термографированию светопрозрачных конструкций зданий и сооружений должно уделяться особое внимание, так как через них происходят основные теплопотери (рис. 3 а).

5) Определение относительной поверхностной влажности строительных конструкций и идентификация дефектов. Дефекты ограждающих строительных конструкций, неправильная эксплуатация помещений зданий и сооружений, некачественные строительные материалы и изделия с пониженными тепло- и влагозащитными свойствами могут спровоцировать повышение влажности внутри помещений, что неизбежно приведет к образованию биокоррозии. Методика определения относительной поверхностной влажности строительных конструкций зданий и сооружений также входит в возможности современной тепловизионной техники и сопутствующего специализированного программного обеспечения. Технология позволяет визуализировать значение относительной поверхностной влажности для каждой отдельной точки термограммы (рис. 3 б).

6) Определение фактического массового расхода теплоносителя через отопительный прибор по анализу термограмм (рис. 3 в). Данная величина может применяться для определения фактической скорости движения теплоносителя в подводках к отопительному прибору, гидравлических потерь в трубопроводах, степени засоренности трубопроводов и секций отопительного прибора, уровня шума гидравлической системы, или при расчете фактической тепловой мощности участка системы отопления и т. д. [18, 19].

7) Определение температурного и влажностного состояния всей строительной конструкции здания при плановом или аварийном отключении систем отопления и теплоснабжения [20].

8) Разработка инженерных ситуационных решений по санации обследуемых объектов. Целью санации является обеспечение, как комфортных жилищных условий, так и соответствия современным нормативным требованиям по тепло- и влагозащите, энерго- и ресурсосбережению. В целом же под санацией понимают совокупность всех видов работ по реконструкции, модернизации зданий и сооружений, выполненных по специальной технологии. Ярким примером санации строительных объектов является теплоизоляция различными теплоизоляционными материалами.

9) Расчет погрешности определения параметров с целью установления отклонений измеренных величин от их истинных (действительных) значений.

Уровень 3. Состоит из 1 заключительного этапа:

1). Подготовка и выпуск итоговых документов по обследованию (отчеты, заключения, энергетические паспорта зданий и т. п.) с указанием дефектов, конкретных теплотехнических и влажностных характеристик диагностируемых объектов с погрешностью их определения, мероприятий по устранению выявленных технических, тепловых, влажностных дефектов, рекомендаций по повышению энергетической эффективности и рациональному использованию энергетических ресурсов.

Рис. 3. Примеры термограмм с тепловлажностными дефектами различных строительных конструкций и инженерного оборудования

Fig. 3. Examples of thermograms with heat and moisture defects of various building structures and engineering equipment

Выводы

Предложена структурная схема комплексной диагностики технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений по анализу термограмм (тепловых изображений, температурных полей). Реализация энергетического (тепловизионного) и технического обследований по представленной схеме требует не только наличия соответствующей приборно-измерительной базы, но и привлечения высококвалифицированных исполнителей (инженеров-строителей, теплоэнергетиков, теплофизиков, операторов-термографистов и т.д.).

Предпринята попытка систематизировать и логически выстроить последовательность этапов энергетического обследования теплопотребляющих и теплогенерирующих объектов строительства и их конструктивных элементов по анализу температурных полей. Описанный алгоритм включает в себя основные этапы, выполняемые при подобных обследованиях. Отличается от известных методик энергетического мониторинга зданий и сооружений наличием двух дополнительных этапов на уровне 2 (этапы 5 и 6), которые являются неотъемлемой частью любого энергетического обследования.

Литература

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года: постановление Правительства Российской Федерации от 13.11.2009 №1715-р.
2. 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.
3. Будадин О.Н., Потапов А.И., Колганов В.И. и др. Тепловой неразрушающий контроль изделий. М.: Издательство «Наука». 2002. 473 с.
4. Будадин О.Н., Вавилов В.П., Абрамова Е.В. Тепловой контроль: учеб. пособие. М.: Издательский дом «СПЕКТР». 2013. 176 с.
5. Вавилов В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. 2-е изд., испр. и доп. М.: 2013. 544 с.
6. Вавилов В.П. Тепловидение и тепловой контроль для инженеров. 1-е изд. М.: Издательский дом «СПЕКТР». 2017. 72 с.
7. Casano G., Piva S. Experimental and numerical investigation of the steady periodic solid-liquid phase-change heat transfer // Int. J. Numer. Meth. Heat Transfer Fluid Flow. 2002. N45. P. 4181 – 4190.
8. Cramer K., Winfree W., Hodges K. et al. Status of Thermal NDT of Space Shuttle Materials at NASA // Proc. SPIE "Thermosense XXVIII". 2006. V. 6205. P. 6205 IB 1-9.
9. George S., Goravar S., Mishra D., Shyamsunder M.T. and ets. Stress monitoring and analysis using lock-in thermography // Insight. 2010. V. 52. N9. P. 470 – 474.
10. Коротких А.Г. Теплопроводность материалов: учеб. пособие. Томск. ТПУ. Изд-во Томского политехнического университета. 2011. 97 с.
11. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / Под ред. Ю.А. Табунщикова, В.Г. Гагарина. 5-е изд., пересмотр. М.: АВОК-ПРЕСС. 2006. 256 с.
12. Кудинов А.А. Строительная теплофизика: учеб. пособие для вузов по направлению подготовки 270800 «Строительство». М.: ИНФРА-М. 2015. 261 с.
13. Котовский В.Н. Теплопередача: конспект лекций. М.: МГТУ ГА. 2015. 76 с.
14. Толстова Ю.И., Шумилов Р.Н. Основы строительной теплофизики: учеб. пособие. Екатеринбург: УрГУ. 2014. 106 с.

15. Мазо А.Б. Основы теории и методы расчета теплопередачи: учебное пособие. Казань: Казан. ун-т. 2013. 144 с.
16. Фокин В.М., Бойков Г.П., Видин Ю.В. Основы технической теплофизики: монография. М.: «Изд-во Машиностроение-1». 2004. 172 с.
17. Shefer Y.V., Antonevich O.A., Ordobaev B.S., Romanenko S.V. Conception of low-rise earthquake-resistant energy-efficient buildings // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2015. N81 (1).
18. Карпов Д.Ф. Метод количественного анализа термограмм (тепловых изображений) // Энергосбережение и водоподготовка. 2018. №6 (116). С. 43 – 46.
19. Карпов Д.Ф. Варианты количественной оценки тепловых изображений // Природообустройство. 2019. №1. С. 56 – 59.
20. Сканави А.Н., Махов Л.М. Отопление: учеб. для вузов. М.: АСВ. 2008. 576 с.

References

1. Energeticheskaya strategiya Rossii na period do 2030 goda: postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 13.11.2009 №1715-r. (rus.)
2. Federal'nyj zakon «Ob energosberezhenii i o povyshenii energeticheskoy effektivnosti i o vnesenii izmenenij v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossijskoj Federacii». М.: ООО «Rid Grupp». 2012. 80 p. (rus.)
3. Budadin O.N., Potapov A.I., Kolganov V.I. i dr. Teplovoj nerazrushayushchij kontrol' izdelij. М.: Izdatel'stvo «Nauka». 2002. 473 p. (rus.)
4. Budadin O.N., Vavilov V.P., Abramova E.V. Teplovoj kontrol': ucheb. posobie. М.: Izdatel'skij dom «SPEKTR». 2013. 176 p. (rus.)
5. Vavilov V.P. Infrakrasnaya termografiya i teplovoj kontrol'. 2-e izd., ispr. i dop. М.: 2013. 544 p. (rus.)
6. Vavilov V.P. Teplovidenie i teplovoj kontrol' dlya inzhenerov. 1-e izd. М.: Izdatel'skij dom «SPEKTR». 2017. 72 p. (rus.)
7. Casano G., Piva S. Experimental and numerical investigation of the steady periodic solid-liquid phase-change heat transfer. Int. J. Numer. Meth. Heat Transfer Fluid Flow. 2002. 45. P. 4181 – 4190.
8. Cramer K., Winfree W., Hodges K. et al. Status of Thermal NDT of Space Shuttle Materials at NASA. Proc. SPIE "Thermosense XXVIII". 2006. 6205. P. 6205 IB 1-9.
9. George S., Goravar S., Mishra D., Shyamsunder M.T. and ets. Stress monitoring and analysis using lock-in thermography. Insight. 2010. 52 (9). P. 470 – 474.
10. Korotkih A.G. Teploprovodnost' materialov: ucheb. posobie. Tomsk. TPU. Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. 2011. 97 p. (rus.)
11. Fokin K.F. Stroitel'naya teplo tekhnika o grazhdayushchih chastej zdanij. Pod red. YU.A. Tabunshchikova, V.G. Gagarina. 5-e izd., peresmotr. М.: AVOK-PRESS. 2006. 256 p. (rus.)
12. Kudinov A.A. Stroitel'naya teplo fizika: ucheb. posobie dlya vuzov po napravleniyu podgotovki 270800 «Stroitel'stvo». М.: INFRA-M. 2015. 261 p. (rus.)
13. Kotovskij V.N. Teploperedacha: konspekt lekcij. М.: MGTU GA. 2015. 76 p. (rus.)
14. Tolstova YU.I., SHumilov R.N. Osnovy stroitel'noj teplo fiziki: ucheb. posobie. Ekaterinburg: UrGU. 2014. 106 p. (rus.)
15. Mazo A.B. Osnovy teorii i metody rascheta teploperedachi: uchebnoe posobie. Kazan': Kazan. un-t. 2013. 144 p. (rus.)
16. Fokin V.M., Bojkov G.P., Vidin YU.V. Osnovy tekhnicheskoy teplo fiziki: monografiya. М.: «Izd-vo Mashinostroenie-1». 2004. 172 p. (rus.)
17. Shefer Y.V., Antonevich O.A., Ordobaev B.S., Romanenko S.V. Conception of low-rise earthquake-resistant energy-efficient buildings. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2015. 81 (1).
18. Karpov D.F. Metod kolichestvennogo analiza termogramm (teplovyh izobrazhenij). Energosberezhenie i vodopodgotovka. 2018. 6 (116). P. 43 – 46. (rus.)
19. Karpov D.F. Varianty kolichestvennoj ocenki teplovyh izobrazhenij. Prirodoobustrojstvo. 2019. 1. P. 56 – 59. (rus.)
20. Skanavi A.N., Mahov L.M. Otoplenie: ucheb. dlya vuzov. М.: ASV. 2008. 576 p. (rus.)

**Karpov D.F., Senior Lecturer,
Vologda State University, Russia**

*Corresponding author E-mail: karpov_denis_85@mail.ru

THE ALGORITHM OF COMPLEX DIAGNOSTICS OF TECHNICAL CONDITION OF BUILDING STRUCTURES ON THERMOGRAMS ANALYSIS

Abstract: the algorithm of complex diagnostics of a technical condition of building constructions and structures on the analysis of thermograms is offered. An attempt is made to systematize and logically build a sequence of stages of energy inspection of heat-consuming and heat-generating construction projects and their structural elements. The presented algorithm includes the main stages performed in such surveys. It differs from the known technologies of energy monitoring of buildings and structures by the presence of two additional stages, which are an integral part of any energy survey: determination of the relative surface humidity of building structures and the actual mass flow of coolant through the heating device for the analysis of thermal images. The implementation of energy (thermal imaging) and technical inspections according to the presented structural scheme requires not only the presence of appropriate instrumentation and measurement base, but also the involvement of highly qualified specialists (civil engineers, thermal power engineers, thermal physicists, operators-thermographers, etc.).

Keywords: temperature, temperature field, relative surface humidity, heat flux, thermogram, thermography, thermal defect, technical defect, construction design, heat transfer resistance

Для цитирования: Карпов Д.Ф. Алгоритм комплексной диагностики технического состояния строительных конструкций по анализу термограмм // Строительные материалы и изделия. 2019. Том 2. №2. С. 23 – 28. DOI: 10.34031/2618-7183-2019-2-2-23-28

For citation: Karpov D.F. The algorithm of complex diagnostics of technical condition of building structures on thermograms analysis. Construction Materials and Products. 2019. 2 (2). P. 23 – 28. DOI: 10.34031/2618-7183-2019-2-2-23-28

Поступила в редакцию 25 января 2019 г.
Принята в доработанном виде 7 марта 2019 г.
Одобрена для публикации 2 апреля 2019 г.

Received: January 25, 2019.
Revised: March 7, 2019.
Accepted: April 2, 2019.