



Библиографический список

1. A.N. Visyashev. Assessing the influence of power consumers and power supply organizations on voltage distortion at the point of common coupling // Smart Grid for Efficient Energy Power System for the Future. Proceedings, Volume I. Magdeburg-Irkutsk, 2012. P. 23–30.
2. Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: РД 153-34.0-15.501-00, РД 153-34.0-15.502-2002: в 2 ч. М.: Энергосервис, 2003. Ч. 1–2.
3. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2000.
4. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Взамен ГОСТ 13109-87; введ. 1999-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1997. 31 с.
5. ГОСТ Р 54149-2010. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Введ. 2013-01-01. М.: Стандартинформ, 2012. 15 с.
6. Теория вероятностей: учеб. для вузов. / под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2004.
7. Review of methods for measurement and evaluation of the harmonic emission level from an individual distorting load // CI-GRE 36.05 / CIREN 2 Joint WG CC02 (Voltage Quality). January 1999.

УДК 621.161.183

ТЕРМОГРАФИЯ В ЭНЕРГОАУДИТЕ

© В.В. Хан¹, В.П. Попов², М.В. Половнёв³Иркутский государственный технический университет.
664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Рассматриваются проблемы диагностики теплотехнического состояния ограждающих конструкций зданий на основе тепловизионного обследования. Статья посвящена обследованию административного здания, оборудованного вентилируемым фасадом. Рассмотрены сложности тепловизионного обследования, предложены рекомендации по выполнению съёмки.

Ил. 17. Библиогр. 14 назв.

Ключевые слова: теплотехническое состояние зданий; диагностика; тепловизионное обследование; вентилируемый фасад.

THERMOGRAPHY IN ENERGY AUDIT

V.V. Khan, V.P. Popov, M.V. Polovnyov

Irkutsk State Technical University
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia.

The article treats the diagnostics problems of building fencing structure thermal condition on the basis of thermographic study. It describes the examination of the administrative building with a ventilated façade. The difficulties of the thermographic examination are considered and the recommendations on how to perform the survey are given.

17 figures. 14 sources.

Keys words: thermal condition of buildings; diagnosis; thermographic examination; ventilated facade.

В настоящее время основным нормативным документом, регламентирующим методы тепловизионного обследования ограждающих конструкций на территории Российской Федерации, является ГОСТ Р 54852-2011. Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций, который определяет необходимость тепловизионного обследования «наружных, или внутренних поверхностей ограждающих конструкций зданий».

Многолетний опыт специалистов научно-образовательного инновационного центра (НОИЦ) «Энер-

гоэффективность» ИргТУ в области тепловизионного обследования ограждающих конструкций зданий и сооружений показывает, как важно обратить внимание операторов тепловизионной съёмки на тот факт, что при обследовании зданий, оборудованных фасадом, вентилируемым наружным воздухом, необходимо исключить понятие «или внутренних поверхностей», и продемонстрировать необходимость проведения термографирования как наружных, так и (обязательно) внутренних поверхностей ограждающих конструкций.

Проведение тепловизионного обследования

¹Хан Вениамин Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры городского строительства и хозяйства, тел.: (3952) 405217, e-mail: khan@istu.edu.

Khan Veniamin, Candidate of technical sciences, Associate Professor of the Department of Civil Engineering and Economy, tel.: (3952) 405217, e-mail: khan@istu.edu.

²Попов Владимир Павлович, инженер отдела метрологии и стандартизации, тел.: (3952) 405466.

Popov Vladimir, Engineer of the Department of Metrology and Standardization, tel.: (3952) 405466.

³Половнёв Михаил Владимирович, младший научный сотрудник НИЧ, тел.: 89642275414, e-mail: riew78@mail.ru

Polovnyov Mikhail, Junior Researcher of the Research Department, tel.: 89642275414, e-mail: riew78@mail.ru



наружных ограждающих конструкций зданий в энергоаудите преследует две взаимосвязанные цели:

Построение температурного поля наружной и внутренней поверхностей конструкции и расчёт усреднённого коэффициента теплопередачи конструкции в целом для проверки соответствия значений фактического коэффициента теплопередачи расчётно-нормативному [1,3,4,6,10,11].

Определение дефектных с точки зрения интенсивности нерациональных потерь тепловой энергии участков конструкции для рекомендации конкретных ремонтных мероприятий.

Использование принятых методов термографирования и последующих расчётов [1,3,4,6,10,11] позволяет рассчитать усреднённый коэффициент теплопередачи для любого вида ограждающих конструкций, тепловые потери через которые происходят путём теплопередачи. Однако при проведении тепловизионного обследования таких элементов архитектурно-строительного решения, как фасад, вентилируемый наружным воздухом, возникают следующие проблемы.

Тепловой поток, проходящий через слои материала стены, пересекается слоём наружного воздуха, движущимся по вентилирующему зазору. Это приводит к перемене способа движения тепловой энергии от прямой теплопередачи к комбинированному: конвективному, лучистому и также теплопередаче, но уже через подвижный слой воздуха (рис.1).

Ввиду того что тепловой поток размывается по площади фасада и уносится потоком воздуха, при прямой наружной тепловизионной съёмке стены, оборудованной вентилируемым фасадом, тепловизор фиксирует только незначительную часть тепловых потерь через эту стену, что ведёт к заниженной оценке потерь тепловой энергии.

Важность учета этих факторов видна на примере результатов обследований, проводимых специалистами НОИЦ «Энергоэффективность» ИргТУ, трехэтажного административного здания, оборудованного фасадом, вентилируемым наружным воздухом:

Тепловизионное обследование проводилось с использованием тепловизионной камеры TermoPro TP8S 16.10.2012 в период с 7.15 до 9 ч утра, до восхода солнца. Параметры наружного и внутреннего воздуха определялись при помощи термоанемометра Testo 455. Температура наружного воздуха - 8°C, ветер ЮЗ, скорость 1,4-3,2 м/с, относительная влажность воздуха 70%.

Характеристики ограждающих конструкций здания:

1. Кирпичная кладка 120 мм.
2. Полистеролбетон 250 мм.
3. Утеплитель – минераловатные плиты 200 мм.
4. Расстояние от кромки полистеролбетона до наружных стеновых панелей 250 мм.
5. Вентилирующий зазор 50 мм.
6. Окна из поливинилхлоридного профиля с за-

полнением однокамерными стеклопакетами, межстеновое пространство 12 мм.

Система отопления – электрические радиаторы масляные, настенные конвекторы, тепловые пушки, тепловентиляторы, система теплого пола.

1. Подготовка к обследованию. На этом этапе производится сбор сведений, позволяющих оператору определить наиболее вероятный путь, по которому тепловая энергия уходит в атмосферу, для чего требуется ознакомление с архитектурно-строительными решениями, принятыми при проектировании и строительстве здания (проектная документация, визуальный осмотр, опрос компетентных лиц, ответственных за эксплуатацию здания и энергохозяйство), а также с системой отопления и вентиляции здания. Необходимо учесть, что современные технологии управления отопительными системами, как правило, строятся на идее поддержания в помещении заданной температуры воздуха и нерациональные тепловые потери выполняются автоматически, что, не сказываясь на комфортности условий в здании, ощутимо сказывается на бюджете организации. Т.е. оптимальная температура воздуха в помещении – ещё не показатель энергоэффективности теплоснабжения и тепловой защиты здания.

2. Внутренняя тепловизионная съёмка. При наличии вентилируемого фасада внутренняя съёмка должна предшествовать наружной. На этом этапе проводится тепловизионная съёмка внутренней поверхности наружных стен. Данный этап позволяет выявить проблемные участки, нуждающиеся в дополнительном обследовании.

На рис. 2–5 отчетливо просматриваются «мостики холода» (участки с пониженной относительно общего температурного фона стены температурой). Понижение температуры недостаточное для того, чтобы вызвать ощутимые изменения микроклимата или скопление конденсата, но достаточное для того, чтобы сформировать канал отвода тепловой энергии.

Как правило, именно по результатам обработки термограмм внутренней съёмки определяются все требующие устранения дефекты конструкции, строится технико-экономическое обоснование рекомендуемых мероприятий по усилению теплозащитных свойств ограждающих конструкций.

3. Наружная тепловизионная съёмка. На практике наружная тепловизионная съёмка проводится наиболее часто. При диагностике стен с вентилируемым фасадом наружная съёмка проводится для проверки сведений, полученных в процессе выполнения этапа 2, выявления дополнительных факторов, стимулирующих процесс оттока тепловой энергии в окружающую среду. Наиболее эффективно одновременное проведение внутренней и наружной съёмок одних и тех же противоположных участков стеновых конструкций.

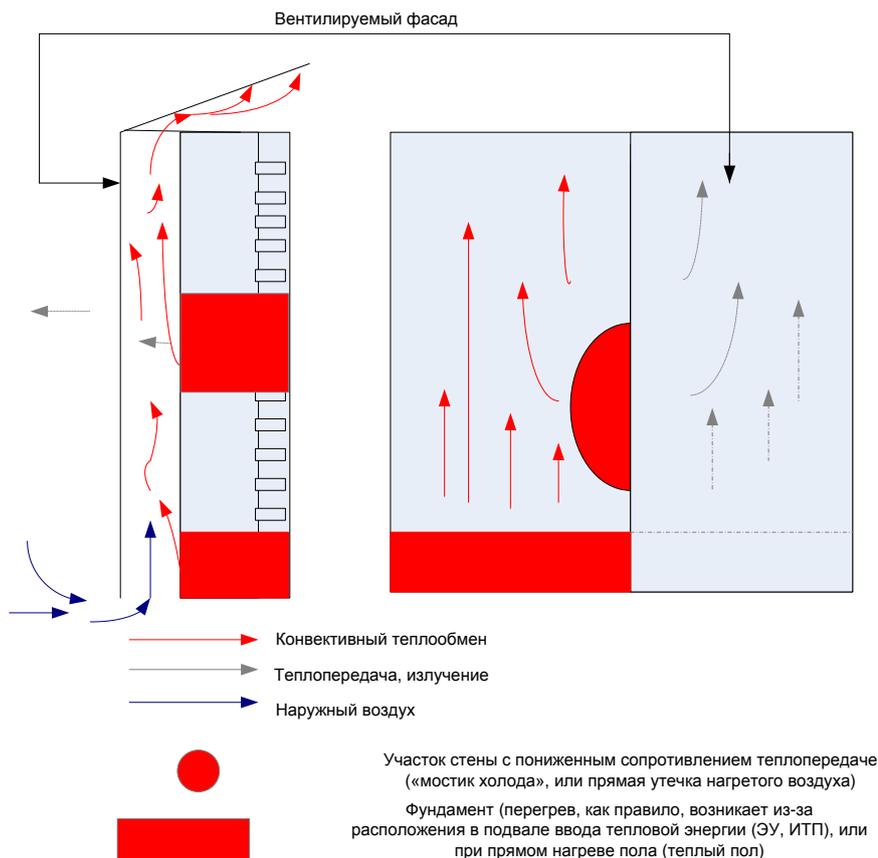


Рис.1. Переход вида теплообмена от теплопередачи к комбинированному типу

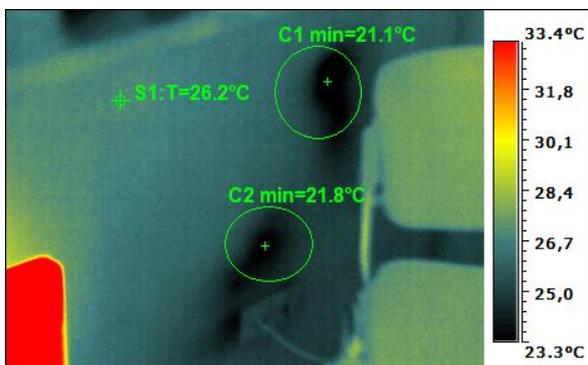


Рис.2. Термограмма стены первого этажа под оконным проёмом. Дефекты теплозащиты стен

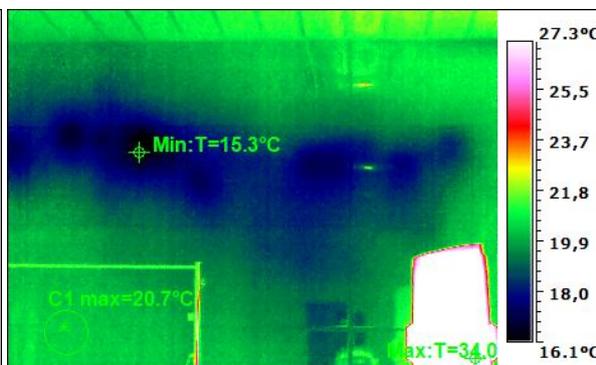


Рис.3 Термограмма угловой стены первого этажа. Дефекты теплозащиты стен

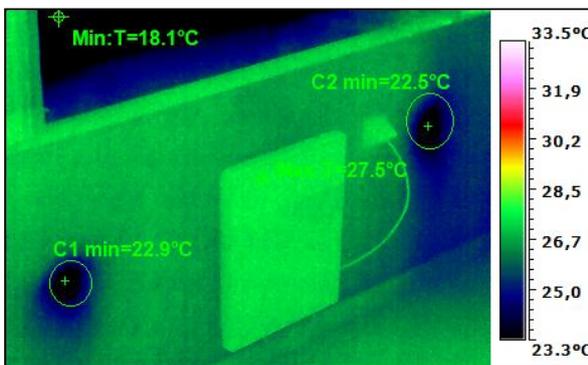


Рис.4. Термограмма стены второго этажа под оконным проёмом. Дефекты теплозащиты стен

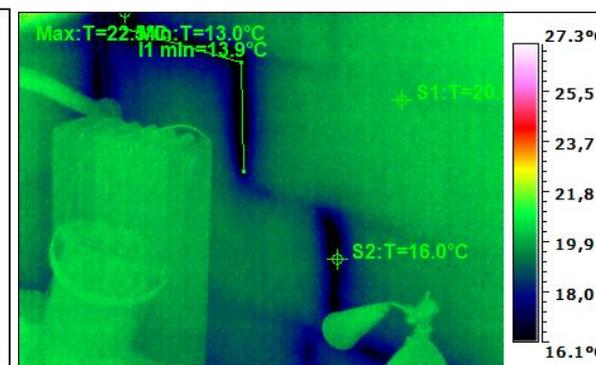


Рис.5 Термограмма стены первого этажа. Дефекты теплозащиты стен

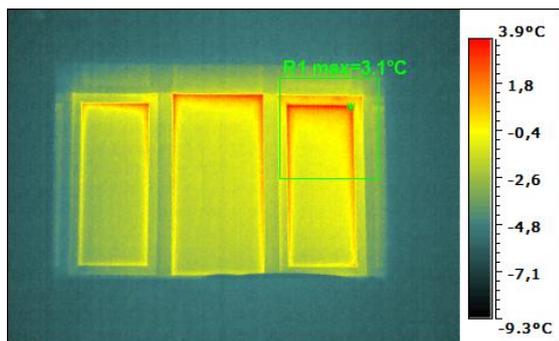


Рис.6. Термограмма оконного проёма первого этажа (противоположна термограмме на рис.2). Дефекты теплозащиты стен снаружи не просматриваются

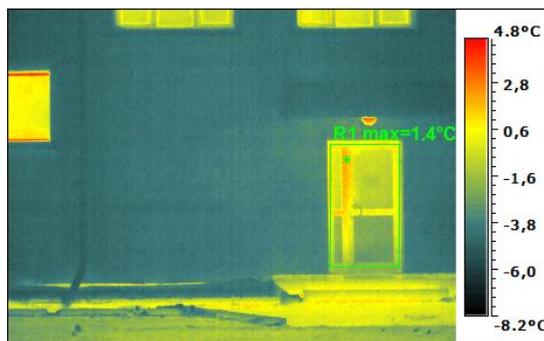


Рис.7. Термограмма стены первого этажа (противоположна термограмме на рис.5). Дефекты теплозащиты стен снаружи не просматриваются

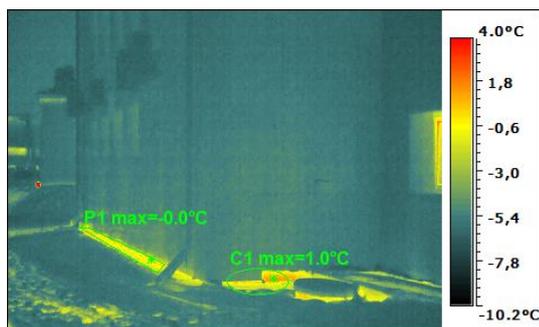


Рис.8. Термограмма оконного проёма первого этажа (противоположна термограмме на рис.3). Дефекты теплозащиты стен снаружи не просматриваются

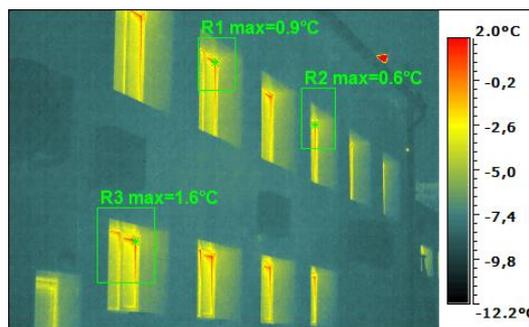


Рис.9. Термограмма стен первого и второго этажей (противоположна термограмме на рис.2, 4). Дефекты теплозащиты стен снаружи не просматриваются

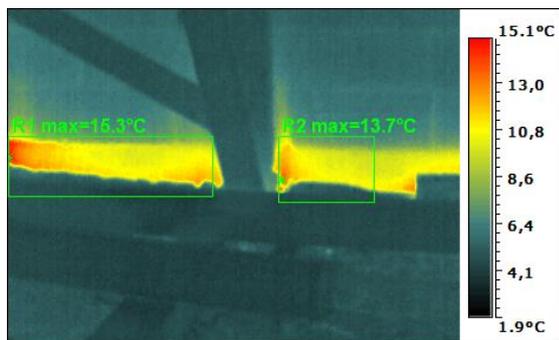


Рис.10. Термограмма чердачного перекрытия

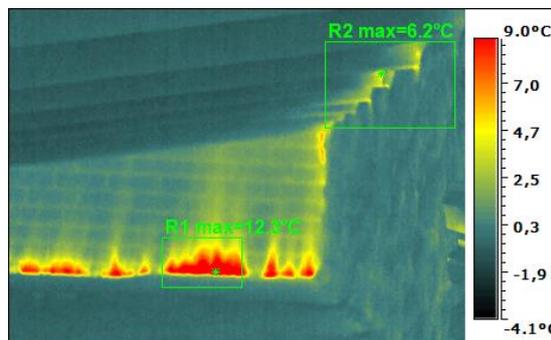


Рис.11. Термограмма чердачного перекрытия (просматривается излишний нагрев кровли перекрытия потоками теплого воздуха из-под фасада)

4. Тепловизионная съёмка чердачного перекрытия. Особое внимание нужно уделить съёмке чердачного перекрытия в местах перехода стены в кровлю (рис. 10, 11).

Из анализа приведённых в пп.1–4 термограмм следует, что:

1. Несмотря на то, что тепловизионная съёмка внутренней поверхности стен выявляет как «мостики холода» (рис.2, 3), так и прямые конвективные утечки тепловой энергии (рис.4, 5), наружная тепловизионная съёмка эти утечки в полном объёме не фиксирует (рис.6–9, векторы съёмки 2–5 и 6–9 прямо противоположны).

2. Наружная тепловизионная съёмка позволяет выявить дополнительный источник повышения скорости конвекции под фасадом – восходящее движение воздуха над перегретым фундаментом и, как след-

ствие – усиленный приток холодного наружного воздуха под фасад (рис.1,8,9).

3. Основная доля потерь тепловой энергии проходит по маршруту фундамент – пространство между стеной и фасадом – неотапливаемый чердак (рис 1) и не может быть в полном объёме зафиксирована тепловизором без выполнения условий п. 4 (рис.10,11).

Вывод. Тепловизионное обследование зданий, оборудованных фасадом, вентилируемым наружным воздухом, будет объективно результативным только при учёте конвективного переноса тепловой энергии под фасадом. Прямая наружная съёмка конвективной части потерь не фиксирует. Расчёт тепловых потерь сводится к суммированию теплообмена путём теплопроводности (открытые участки окон, дверей, фундамента) и потерь в результате конвективного теплообмена [1,4,5,10,11].



Вентилирующий зазор между теплоизоляцией и облицовкой наружной поверхности стены, при наличии в последней «мостиков холода» вызывает более интенсивный восходящий поток воздуха под теплоизоляцией, чем при отсутствии вентилируемого фасада, тем более интенсивного, чем ниже температура наружного воздуха. Следовательно, образуется подобие системы газоходов с естественной тягой, усиливающей теплопередачу. Это видно на рис. 12–15. Термограммы выполнены по одной вертикальной оси. Температурные поля наглядно иллюстрируют взаимосвязь «мостиков холода» изнутри здания с интенсивностью утечки тёплого воздуха. Рис. 16, 17 демонстрируют, что наружная тепловизионная съёмка перегрева стен и потерь тепловой энергии не фиксирует. Вектора снимков прямо противоположны.

Количественная оценка тепловых потерь с конвективными потоками осложняется отсутствием каких-

либо нормативных документов на устройство вентилируемых фасадов и, следовательно, отсутствием утверждённых нормативов мощности воздушных потоков.

Однако в экономически приемлемом приближении, потери можно оценить, проведя дополнительное инструментальное обследование:

Установить все каналы утечки нагретого воздуха при помощи обзорного термографирования.

Измерить скорость и температуру воздуха при помощи термоанемометра.

Вычислить площадь «паразитных газоходов», сопоставляя термограммы чердачного перекрытия и внутренние термограммы стен («мостики холода»). Вычислить количество тепла, переносимого конвективными потоками по формуле (ккал/ч)

$$I = Vv \cdot c(\Delta t_1 - t_2)$$

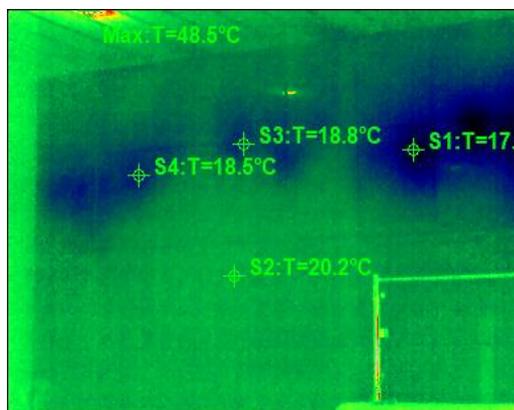


Рис.12. Термограмма стены первого этажа

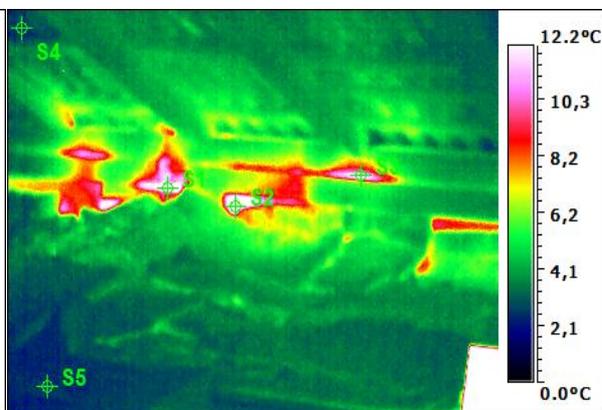


Рис.13. Термограмма кровли и чердачного перекрытия

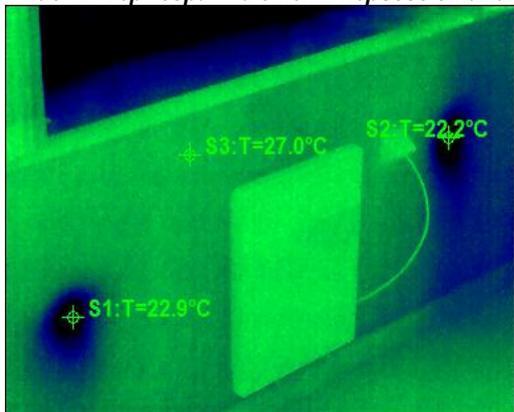


Рис. 14. Термограмма стены второго этажа

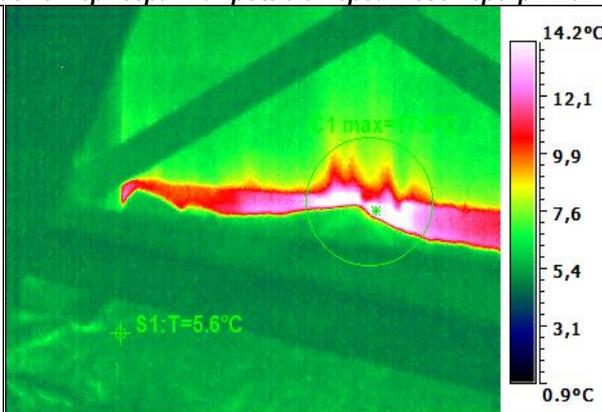


Рис. 15. Термограмма кровли

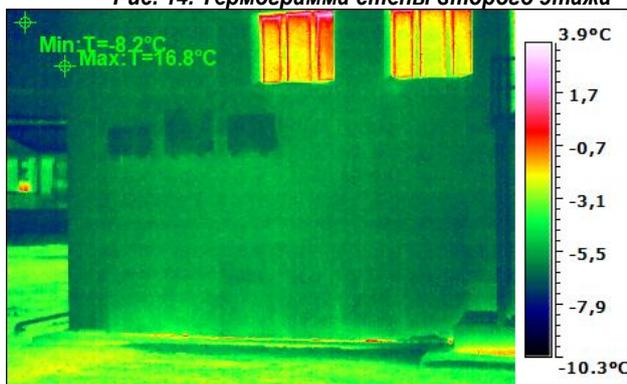


Рис. 16. Термограмма торцевой стены

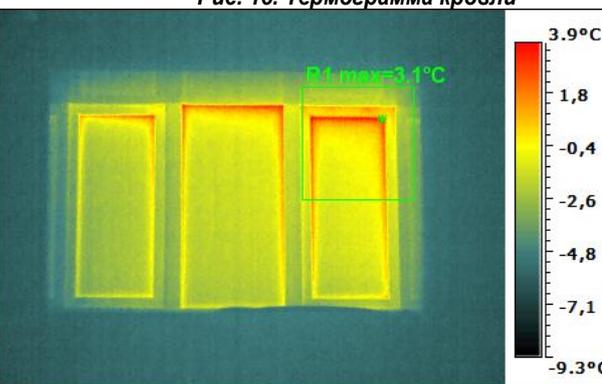


Рис.17. Термограмма оконного проёма



(формула расчёта теплосодержания воздуха), где V_v – объем воздуха, $m^3/ч$, вычисляется из сопоставления площади и скорости воздушного потока; C – удельная теплоёмкость воздуха, при нормальных условиях равна $0,311 \text{ ккал}/m^3 \cdot ^\circ C$; $\Delta t_1 - t_2$ – разность температур наружного воздуха и конвективного потока.

В случае рассматриваемого здания тепловые потери с конвективным переносом под фасадом, рассчитанные по предлагаемому методу, составили $40,78 \text{ Гкал}/\text{отопительный период}$ при общем расходе тепловой энергии на отопление здания $389,2 \text{ Гкал}$ за отопительный период 2011 г.

Библиографический список

1. Методические рекомендации по проведению энергетического обследования и составлению энергопаспортов. М., 2011.
2. СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий. М.: Изд-во стандартов, 2003. 30 с.
3. СНиП 23-01-99* Строительная теплотехника. М.: Изд-во стандартов, 1999. 40 с.
4. Руководство по расчету теплотребления эксплуатируемых жилых и общественных зданий. М.: АВОК-8-2007.
5. Правила установления требований энергетической эффективности для зданий, строений, сооружений. Утверждены Постановлением Правительства Российской Федерации от 25 января 2011 г. N 18, г. Москва.
6. ГОСТ Р 54852-2011 Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций. М., 2011.
7. Правила установления требований энергетической эффективности для зданий, строений, сооружений. Утверждены Постановлением Правительства Российской Федерации от 25 января 2011 г. N 18, г. Москва.
8. ГОСТ 9573-96 Плиты из минеральной ваты теплоизоляционные. М., 1996.
9. ГОСТ 30674-99 Блоки оконные из поливинилхлоридных профилей. М., 1999.
10. DIN EN ISO 10077-1 Тепловые характеристики окон, дверей и жалюзи. расчёт теплопотерь.
11. ГОСТ 26602.1-99 Блоки оконные и дверные. Методы определения сопротивления теплопередаче. М., 1999.
12. Деканова Н.П., Хан В.В. Подходы теории нечетких множеств в задачах диагностики тепловых сетей и объектов теплотребления // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование / ИргУПС. Иркутск, 2011. №4. С.96-102.
13. Диагностика теплотехнических свойств объектов нефтехимического производства / В.В. Хан [и др.] // Химия и технология топлив и масел. М.: Изд-во РГУНиГ, 2008. № 2(546). С.39–42.
14. John Straube and Graham Finch. Ventilated Wall Claddings: Review, Field Performance, and Hygrothermal Modeling. Research Report – 09.06.2009.