

УДК 699.86
DOI: 10.15393/j2.art.2016.3441
Статья

АНАЛИЗ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НАРУЖНОЙ СТЕНЫ НА ОСНОВЕ ТЕПЛОВИЗИОННОЙ СЪЕМКИ

Людмила А. Девятникова¹ *, Мария И. Зайцева¹ и Семен Ю. Мухин²

Петрозаводский государственный университет, 185910, Россия, г. Петрозаводск, пр. Ленина д.33, E-Mails: dev@petrsu.ru (Л. А. Д.); 2003bk@bk.ru (М. И. З.).

Карельский региональный институт управления, экономики и права ПетрГУ, 185005, Россия, Карелия, Петрозаводск, пр. Александра Невского, д.8

* Автор, с которым следует вести переписку; E-Mail: dev@petrsu.ru (Л. А. Д.);

Получена: 15 Июля 2016 / Принята: 02 Августа 2016 / Опубликовано: 1 Сентября 2016

Аннотация: За счет выбора формы здания, расположения и площади заполнения световых проемов может быть оптимизировано воздействие наружного воздуха на тепловой баланс здания. Важную роль играет и выбор материалов ограждающих конструкций здания, а также последовательность расположения слоев в многослойных конструкциях. Кроме ограждающих конструкций (стен, перекрытий, окон и дверей) за «энергоэффективность» в доме отвечают ещё и системы вентиляции и кондиционирования, через которые также теряется тепло. Поэтому только комплексный подход даст максимально возможный результат к теплосбережению здания. Зная места максимальных теплопотерь, можно предусмотреть меры по ликвидации утечек тепла доступными для эксплуатации здания средствами, так как повышение энергоэффективности дома начинается с устранения "тепловых утечек".

Этот же метод тепловизионного контроля позволяет определить и эксплуатационные утечки тепла, вызванные невидимыми при визуальном осмотре разрушениями внутренних слоев, усадкой и деформацией утеплителей при их устройстве

Ключевые слова: тепловизионная съемка, теплопотери, конструкции стен, тепловой баланс здания

Article

DOI: 10.15393/j2.art.2016.3441

Analysis of external walls thermal properties based on thermographing

Ludmila A. Devjatnikova *, Maria I. Zaitseva and Semen Yu. Muhin

Petrozavodsk State University, 185910, Lenin av. 33, Petrozavodsk, Russia; E-Mails: dev@petsu.ru (L. A. D.); 2003bk@bk.ru (M. I. Z.).
Karelian Regional Institute of Management, Economics and Law of PetrSU, 185005, Al. Nevskiy av. 8, Petrozavodsk, Russia

* Author to whom correspondence should be addressed; E-Mail: dev@petsu.ru (L. A. D.);

Received: 15 July 2016 / Accepted: 02 August 2016 / Published: 1 September 2016

Abstract: Due to the selection of the building shape, orientation and space filling of light apertures can be optimized exposure to the outside air in the heat balance of the building. An important role is played by the choice of materials and building envelope as well as the location of the sequence of layers in multilayer structures. In addition to building envelopes (walls, floors, windows and doors) for "energy efficiency" in the house and still meet the HVAC system through which the heat is also lost. Therefore, only a comprehensive approach will yield the best possible result to the building heat saving. Knowing the place of maximum heat, you can provide measures to eliminate leakage of heat available for use of the building means as improving energy efficiency at home begins with the elimination of "heat leaks". The same thermal control method makes it possible to identify and maintenance of heat leakage caused by invisible on visual examination of the destruction of the inner layers, shrinkage and deformation of the heaters when the device

Keywords: thermal imaging survey, the heat loss, the walls of the structure, the heat balance of the building

1. Введение

Воздействие наружного воздуха на тепловой баланс здания может быть оптимизировано за счет выбора формы здания, расположения и площади заполнения световых проемов. Так, удачный выбор формы, ориентации по сторонам света и размеров здания дает возможность в холодный период времени уменьшить воздействие воздуха и ветра на оболочку здания, и, следовательно, снизить затраты на его отопление. Важную роль играет и выбор материалов ограждающих конструкций здания, а также последовательность расположения слоев в многослойных конструкциях. Кроме ограждающих конструкций (стен, перекрытий, окон и дверей) за «энергоэффективность» в доме отвечают ещё и системы вентиляции и кондиционирования, через которые также теряется тепло. Поэтому только комплексный подход даст максимально возможный результат к теплосбережению здания.

Но все эти известные приемы по уменьшению теплопотерь эффективны на стадии проектирования здания в соответствии с современными теплотехническими нормами.

Однако достаточно большая доля зданий, построенных по старым нормам теплозащиты, находится в настоящее время в эксплуатации и сносу в ближайшие годы, и даже десятилетия, не подлежит. Для дальнейшей благополучной эксплуатации подобных зданий требуется утепление ограждающих конструкций в соответствии с современными нормами по теплозащите и требованиями к параметрам микроклимата. Дополнительное утепление ограждающих конструкций приводит к уменьшению так называемых трансмиссионных потерь тепловой энергии. Чем меньше потери тепла в здании, тем меньшее количество тепловой энергии требуется подвести к зданию от источника теплоснабжения для компенсации трансмиссионных потерь тепловой энергии в нем [1].

Наиболее предпочтительным является утепление стен снаружи здания, так как улучшаются температурно-влажностные и звукоизоляционные условия работы конструкции, а внешний облик здания, в большинстве случаев, приобретает обновленный и ухоженный вид.

2. Материалы и методы

На современном строительном рынке предложено большое разнообразие материалов для утепления с хорошими прочностными и теплоизолирующими свойствами. Однако, прежде чем принять решение о выборе материала, необходимо иметь представление о теплозащитных свойствах существующей конструкции. Воспользоваться только технической документацией о конструкциях здания бывает недостаточно, так как в процессе эксплуатации происходят изменения, обусловленные воздействием нагрузок, температур (положительных и отрицательных) и влаги. Эти изменения могут влиять на теплозащиту здания в целом, на возникновение линейных и точечных участков с ослабленной теплозащитой. Поэтому наряду с теплотехническими расчетами необходимо произвести оценку фактического состояния теплозащитных свойств конструкций [2, 3, 4].

Одним из рекомендуемых способов оценки качества тепловой защиты здания является тепловизионный контроль. Современные тепловизионные системы позволяют быстро и точно выявить участки с повышенными теплопотерями и определить их границы.

В работе рассматриваются результаты тепловизионной съемки наружных стен некоторых зданий.

Цель исследования:

определить и проанализировать зоны возможных утечек тепла на фасаде здания путем тепловизионной съемки.

Объекты исследования:

В качестве объектов исследования приняты:

- корпус университета;
- жилые дома, построенные в разные годы по разным теплотехническим нормам (см. рис. 3-8).

Исходные данные для исследования:

Таблица 1 - Основные климатические параметры (г. Петрозаводск, Республика Карелия) в соответствии с СП 131.13330 [5]

Температура холодной пятидневки с обеспеченностью 0.92	-28°C
Продолжительность отопительного периода	235 суток
Средняя температура воздуха отопительного периода	-3.2°C
Относительная влажность воздуха наиболее холодного месяца	86%
Условия эксплуатации помещения	Б
Количество градусо-суток отопительного периода (ГСОП)	5452°C•сут

Согласно действующим нормам [5, 6, 7] произведен теплотехнический расчет, в результате которого определено расчетное (проектное) сопротивление теплопередаче конструкции наружной стены здания (см. рисунок 1), которое составило $R_0 = 0,99 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$. В настоящее время такая ограждающая конструкция не удовлетворяет даже санитарно-гигиеническим нормам по тепловой защите и для поддержания микроклимата помещений требует перерасхода тепловой энергии.

Но, рассматриваемое в работе здание университета построено в 60-е годы XX века в соответствии с устаревшими теплотехническими нормами, согласно которым и принята однослойная конструкция (в данном случае - кирпичная кладка) с низким по сегодняшним меркам значением сопротивления теплопередаче.

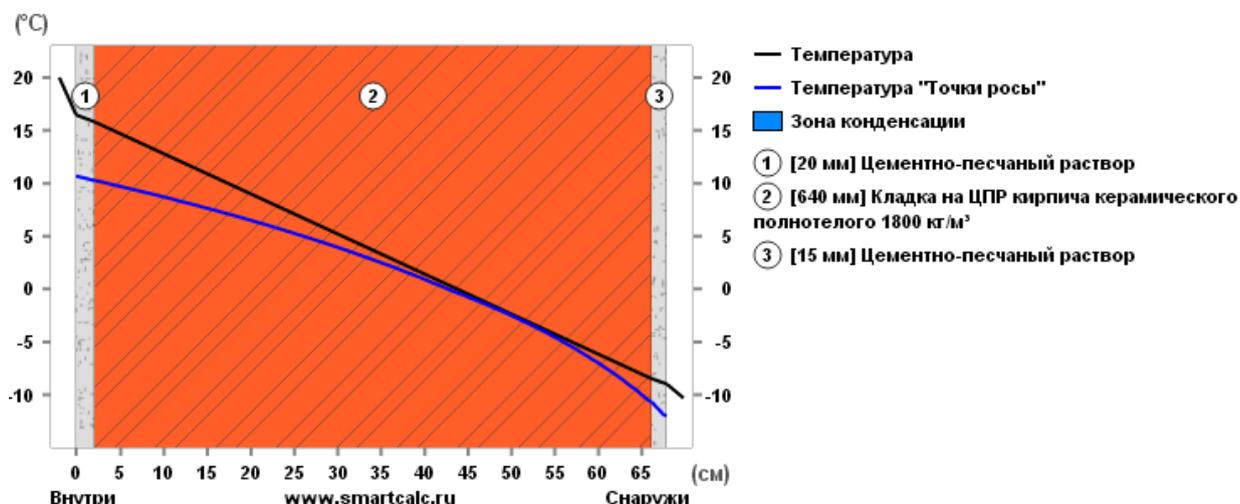


Рисунок 1 - эскиз существующей наружной стены с распределением температур внутри конструкции (сгенерирован программой свободного доступа Internet: www.smartcalc.ru, разр. В. А. Киреев)

Чтобы добиться нормативных теплозащитных свойств стены здания (при соблюдении условия $R_0 \geq R_0^{TP}$) при требуемом сопротивлении теплопередаче $R_0^{TP} = 3,31 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$, а соответственно и принятом расчетном $R_0 = 3,31 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$, необходимо произвести внешнее утепление этого здания теплоизоляционным материалом с коэффициентом теплопроводности не более $0,05 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$ и толщиной не менее 10 см [5, 6, 7].

После предлагаемого утепления распределение температур в конструкции стены изменяется (см. рис. 2). Исчезает зона возможной конденсации влаги (участок слияния температурных линий на рисунке 1), сопротивление теплопередаче такой утепленной стены становится равным $3,37 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$, что соответствует современным теплотехническим нормам.

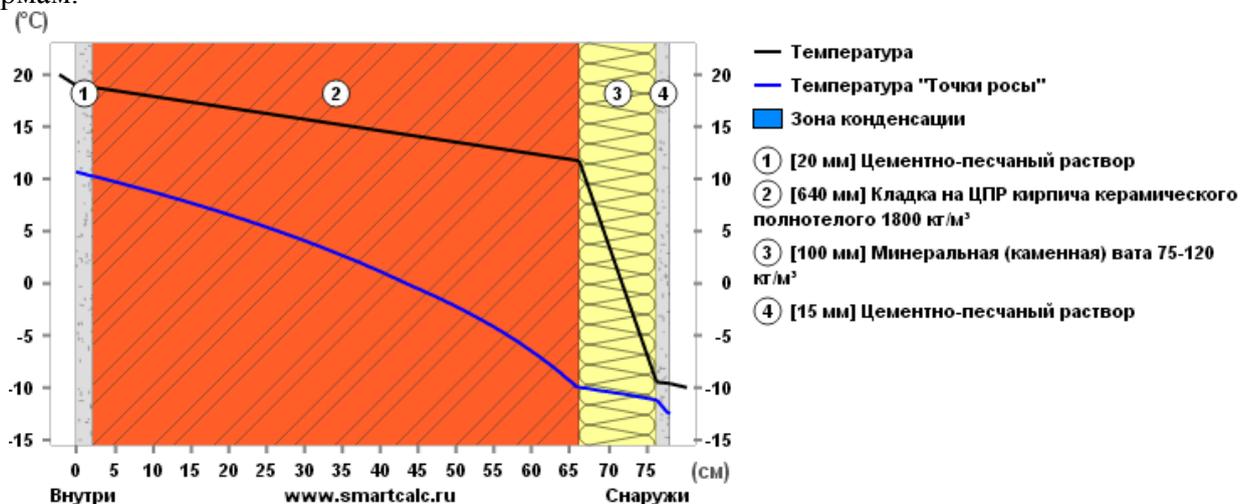


Рисунок 2 - эскиз утепленной каменной ватой существующей наружной стены (сгенерирован программой свободного доступа Internet: www.smartcalc.ru, разр. В. А. Киреев)

Для удобства представления данных по теплозащитным свойствам конструкции стены рассматриваемого здания воспользуемся величиной, обратной сопротивлению теплопередаче, которая в международных стандартах названа коэффициентом теплопередаче ограждающих конструкций здания и обозначена U . Коэффициент теплопередаче определяется по формуле:

$$U = \frac{1}{R_0} \quad (1)$$

Величина U , $Вт/(м^2 \cdot ^\circ C)$ показывает сколько тепловой энергии в $Вт$ проходит через стену площадью $F = 1 м^2$ при разности температур внутреннего и наружного воздуха $1 ^\circ C$. При увеличении разности температур U будет пропорционально увеличиваться.

Для примера возьмем два значения сопротивления теплопередаче стены рассматриваемого в работе здания: фактическое $R_0 = 0,99 (м^2 \cdot ^\circ C)/Вт$ (по нормам до 2000 года) и с утеплением $R_0 = 3,37 (м^2 \cdot ^\circ C)/Вт$ (по современным требованиям), и определим соответственно два значения U_1 и U_2

$$U_1 = \frac{1}{0,99} = 1,01; \quad U_2 = \frac{1}{3,37} = 0,3 \text{ Вт}/(м^2 \cdot ^\circ C) \quad (2)$$

Очевидно, что чем выше R , тем меньше тепла при одной и той же разности температур уходит из здания через стену.

Однако, до принятия решения о капитальном ремонте здания можно выявить места максимальных утечек тепла и попытаться принять меры для их устранения. Для этого производится мониторинг технического состояния несущих конструкций, который представляет собой совокупность технических и программных средств, позволяющих осуществлять сбор и обработку информации о различных параметрах строительных конструкций (геодезические, динамические, деформационные и др.) с целью оценки технического состояния зданий и сооружений [3].

Подготовка измерений и обработка результатов тепловизионного контроля должны проводиться в соответствии с разделами 4 и 5 ГОСТ26629-85.

В данной работе в качестве примера описаны результаты наблюдений за теплопотерями только одного фасадного участка стены, а именно, северо-восточного фасада со стороны внутреннего двора здания главного корпуса ПетрГУ (см. рисунок 3).

Для наблюдения за утечками тепла или теплонапряженных участков был использован тепловизор FLIR T420bx, позволяющий бесконтактно регистрировать распределение радиационной температуры на поверхности, находящейся в поле зрения тепловизионной камеры.

Погодные условия для наблюдения (в соответствии с рекомендациями ГОСТ 31937-2011 и ГОСТ26629-85 [3, 4]):

- температура наружного воздуха, $t_n = +5 - +6 ^\circ C$;
- скорость ветра 2-3 м/с;
- пасмурная (облачная) погода (март);
- отсутствие прямого солнечного света.

Температура наружного воздуха +5 градусов при температуре внутреннего воздуха 20-23 градусов не противоречит расчетному показателю: минимально допустимому перепаду температур, который определен по формуле (1) ГОСТ26629-85 [4] и составил 5,05 °C:

$$\Delta t_{min} = \theta R_0^п \frac{\alpha r}{1 - r} = 0,045 \cdot 0,99 \cdot \frac{20 \cdot 0,85}{1 - 0,85} = 5,05 \quad (3)$$

где,

θ - предел температурной чувствительности тепловизора, °C (для тепловизора марки FLIR T420 предел температурной чувствительности равен 0,045°C):

$R_0^п$ - проектное (расчетное) значение сопротивления теплопередаче, (м²•°C)/Вт

α - коэффициент теплоотдачи, принимаемый равным: для наружной поверхности стен при скоростях ветра 1, 3, 6 м/с - соответственно 11, 20, 30 Вт/(м²•°C)

r - относительное сопротивление теплопередаче подлежащего выявлению дефектного участка ограждающей конструкции, принимаемое равным отношению значения требуемого нормативно-технической документации к проектному значению сопротивления теплопередаче, но не более 0,85.

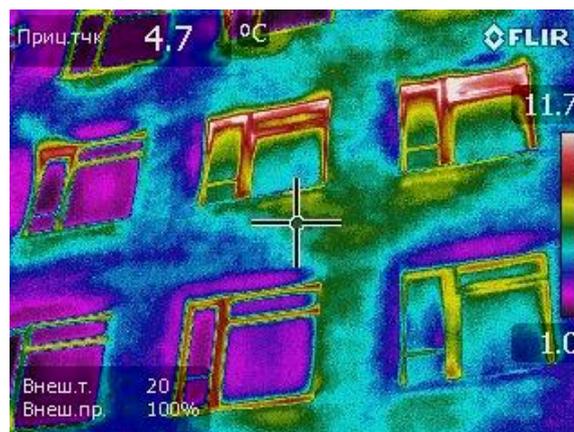


Рисунок 3 - Фрагмент северо-восточного фасада главного корпуса ПетрГУ

Для того, чтобы определить на основании замеренных данных количество теплоты переданной через фрагмент стены с одинаковой температурой на наружной поверхности, воспользуемся законом Фурье, устанавливающим прямую зависимость между поверхностной плотностью теплового потока и температурным градиентом. Выведенная из уравнения Фурье формула для однослойной плоской стенки позволяет определить поверхностную плотность теплового потока:

$$q = \frac{\lambda}{\delta} \cdot \Delta t, \quad (4)$$

где,

q - поверхностная плотность теплового потока, Вт/м²;

λ - коэффициент теплопроводности материала слоя, Вт/м °С (для кладки на ЦПР кирпича керамического полнотелого плотностью 1800 кг/м³; $\lambda = 0.81$ Вт/(м•°С))

δ - толщина стенки, м, $\delta = 0,675$ м (см. рис.1);

Δt - температурный перепад $\Delta t = t_1 - t_2$ (t_1 и t_2 - температуры на границах стенки составили в ходе замеров $t_1 = +4,7$ °С и $t_2 = +25$ °С, соответственно $\Delta t = 20,3$ °С)

Подставив значения, получим:

$$q = 24,36 \text{ Вт/м}^2 \quad (5)$$

Теперь, зная поверхностную плотность теплового потока q , можно определить общее количество теплоты, переданной за 1 час через стенки поверхности F (м²), по формуле 2.13 [8]:

$$Q = q \cdot F = 24,36 \cdot 0,78 = 19 \text{ Вт} \quad (6)$$

Площадь стенки F принята по температурной зоне прицельной точки (см. на рис. 3 область вокруг прицельной точки) в виде приближенного к форме треугольника фрагмента, $F = 0,78$ м². В пересчете на 1 м² при температурном перепаде $\Delta t = 20,3$ °С теплотери составят 23,36 Вт.

Но температура наружного воздуха +5 °С является только экспериментальной, но не расчетной. Расчетная температура наружного воздуха составляет - 28 °С (см. табл. 1) и теплотери при большей разности температур увеличиваются.

Таким образом можно обследовать все фасады здания и с учетом температурных площадей определить фактические потери тепла.

В ходе эксперимента (т.е. при этих же погодных условиях) были обследованы и другие фасады зданий разных лет постройки. Причем, здания, представленные на рис. 3-5 были построены американскими финнами ещё в 30-х годах [9], Большинство домов этой исторической застройки уничтожены пожарами или попали под снос.

Результаты тепловизионной съемки представлены ниже.

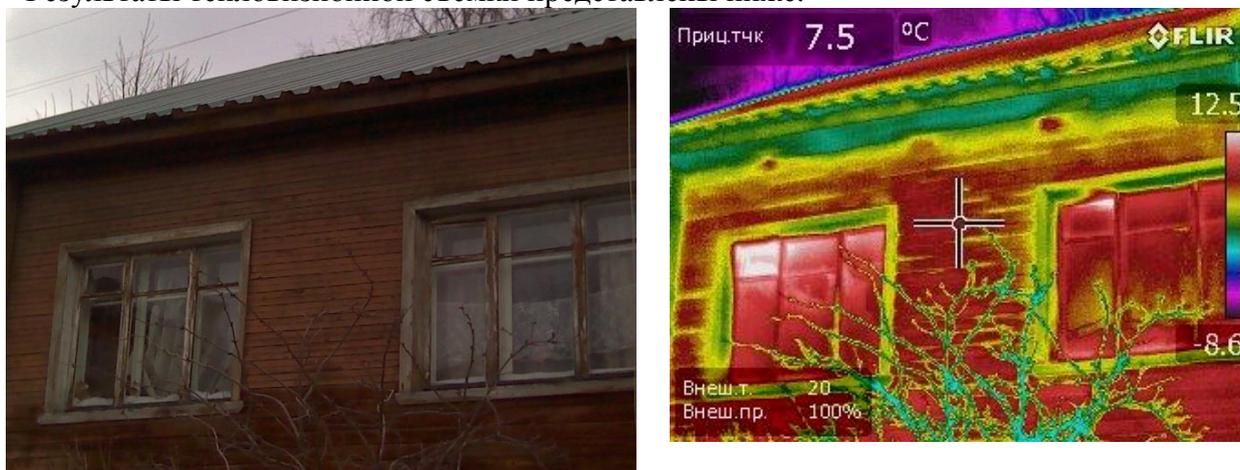


Рисунок 4 - жилой дом 1933 года постройки (ул. Горького, 21а), температура на поверхности наружной стены 7,5 °С, выше температуры наружного воздуха на 2,5 °С.



Рисунок 5 - жилой дом 1930 года постройки (ул. Горького, 19), температура на поверхности наружной стены 7,2 °С, выше температуры наружного воздуха на 2,2 °С.



Рисунок 6 - жилой дом 1933 года постройки (ул. Горького, 21в), температура на поверхности наружной стены 4,9 °С, примерно равна температуре наружного воздуха.

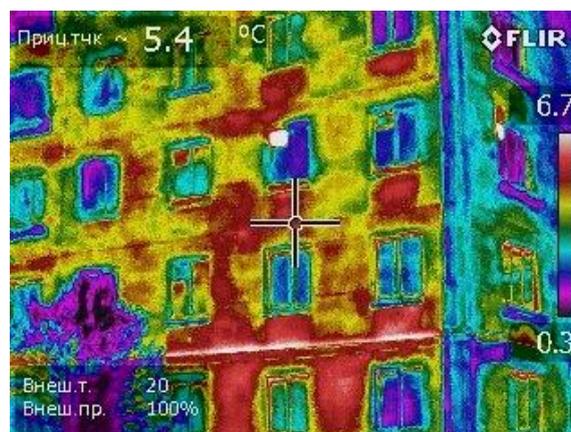


Рисунок 7 - жилой дом 1964 года постройки (ул. Горького, 21) температура на поверхности наружной стены 5,4 °С, немного превышает на 0,4 °С температуру наружного воздуха.

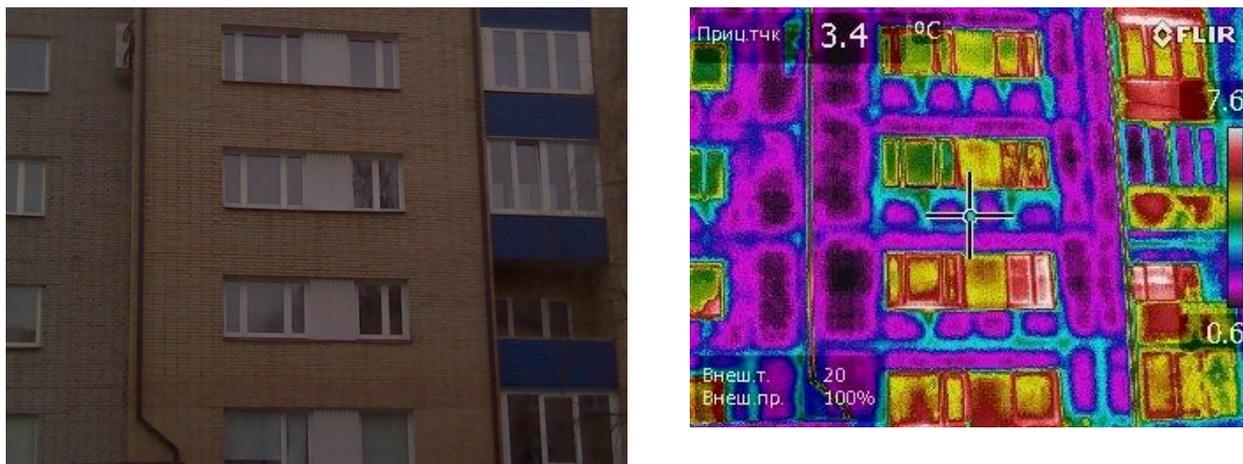


Рисунок 8 - жилой дом 2002 года постройки (ул. Анохина, 33), температура на поверхности наружной стены 3,4 °С, что ниже температуры наружного воздуха на 1,6 °С

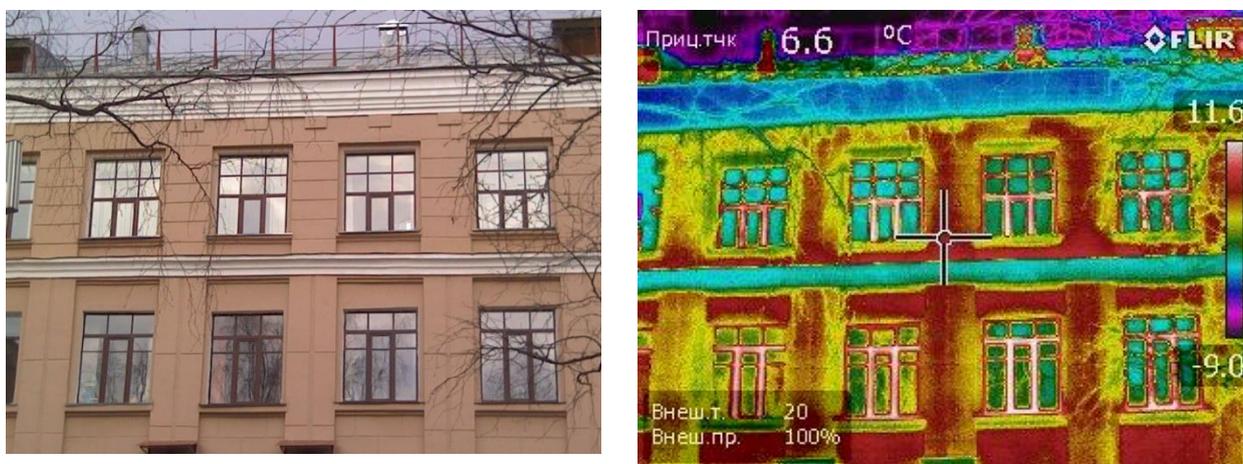


Рисунок 9 - учебный корпус 40-х годов XX века постройки (пр. Ленина, 33), температура на поверхности наружной стены 6,6 °С, что выше температуры наружного воздуха на 1,6 °С.

3. Заключение

Проанализировав данные тепловизионной съемки (рис. 3 - 9), получим вполне очевидные результаты:

- здания, построенные до 2000 года, т.е. по старым нормам (рис. 3 - 7 и 9), имеют нагретую поверхность фасадов, а значит плохо сохраняют тепло внутри здания и являются отопителями для наружного воздуха;
- здание, построенное по новым теплотехническим нормам (см. рис. 8), имея срок эксплуатации уже 14 лет, тепло внутри здания сохраняет лучше.

Зная места максимальных теплотерь, можно предусмотреть меры по ликвидации утечек тепла доступными для эксплуатации здания средствами, так как повышение энергоэффективности дома начинается с устранения "тепловых утечек".

Этот же метод тепловизионного контроля позволяет определить и эксплуатационные утечки тепла, вызванные невидимыми при визуальном осмотре разрушениями внутренних слоев, усадкой и деформацией утеплителей при их устройстве. Методика описана в разделе 5 [3].

*Работа выполнена в рамках Программы стратегического развития
Петрозаводского государственного университета на 2012-2016 гг.*

Литература

1. Цейтин Д.Н., Ватин Н.И., Немова Д.В., Рымкевич П.П., Горшков А.С. Технико-экономическое обоснование утепления фасадов при реновации жилых зданий первых массовых серий//Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 1. С. 20-31
2. ГОСТ26254-84 Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, М., 1985
3. ГОСТ 31937-2011 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния, М., 2011
4. ГОСТ 26629-85 Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций, М., 1985
5. СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*, М., 2012
6. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуальная редакция СНиП 23-02-2003, М., 2012
7. СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий, М., 2004
8. Тихомиров К. В., Сергеенко Э. С. Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция: Учеб. Для вузов. – 5-е изд., репринтное. – М.: ООО «БАСТЕТ», 2007. – 480с.
9. Американский городок // Истории нашего города / <http://history.ptz.ru/article/166> (дата обращения 10.07.2016)
10. Горшков А.С. Энергоэффективность в строительстве: вопросы нормирования и меры по снижению энергопотребления зданий // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 1. С. 9-13.

References

1. Cejtin D.N., Vatin N.I., Nemova D.V., Rymkevich P.P., Gorshkov A.S. Tehniko-ekonomicheskoe obosnovanie utepleniya fasadov pri renovacii zhilyh zdaniy pervyh massovyh serij//Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij. 2016. № 1. S. 20-31
2. GOST26254-84 Zdanija i sooruzhenija. Metody opredelenija soprotivlenija teploperedache ograzhdajushhih konstrukcij, M., 1985
3. GOST 31937-2011 Zdanija i sooruzhenija. Pravila obsledovaniya i monitoringa tehničeskogo sostojaniya, M., 2011
4. GOST 26629-85 Zdanija i sooruzhenija. Metod teplovizionnogo kontrolja kachestva teploizoljacji ograzhdajushhih konstrukcij, M., 1985
5. SP 131.13330.2012 Stroitel'naja klimatologija. Aktualizirovannaja redakcija SNIp 23-01-99*, M., 2012
6. SP 50.13330.2012 Teplovaja zashhita zdaniy. Aktual'naja redakcija SNIp 23-02-2003, M., 2012
7. SP 23-101-2004 Proektirovanie teplovoj zashhity zdaniy, M., 2004

8. Tihomirov K. V., Sergeenko Je. S. Teplotehnika, teplogazosnabzhenie i ventiljacija: Ucheb. Dlja vuzov. – 5-e izd., reprintnoe. – M.: ООО «BASTET», 2007. – 480s.
9. Amerikanskij gorodok // Istorii nashego goroda / <http://history.ptz.ru/article/166> (data obrashhenija 10.07.2016)
10. Gorshkov A.S. Jenergojefektivnost' v stroitel'stve: voprosy normirovanija i mery po snizheniju jenergotreblenija zdaniy // Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal. 2010. № 1. S. 9-13.

© 2016 Девятникова Л.А., Зайцева М.И., Мухин С.Ю.