

ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ ОСНОВЫ МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ

С. И. Крышов, канд. техн. наук, начальник отдела экспертиз зданий и сооружений на соответствие теплотехническим и акустическим требованиям ГБУ «ЦЭИИС»

И. С. Курилюк, ведущий инженер-эксперт ГБУ «ЦЭИИС»

Ключевые слова: методика оценки показателей энергоэффективности зданий, приведенное сопротивление теплопередаче, тепловизионная съемка

В процессе проведения в Москве государственной работы № 836002 «Оценка соответствия показателей энергоэффективности объектов капитального строительства проектным требованиям в рамках государственного строительного надзора»¹ применялась методика натуральных измерений показателей энергоэффективности, разработанная и применяемая сотрудниками ГБУ «ЦЭИИС». Предлагаем ознакомиться с основными аспектами данной методики.

¹ Результаты натуральных обследований современных зданий, полученные в рамках государственной работы № 836002, см. в статье «Оценка теплозащиты наружных ограждающих конструкций современных зданий», «Энергосбережение», 3–2018.



Анализ результатов натурных обследований современных зданий, приведенных в [1], показывает, что в большинстве случаев фактические показатели теплозащитных параметров не соответствуют требованиям проектной и нормативной документации.

Сопrotивление теплопередаче оконных блоков, как правило, соответствует и даже превышает нормативные требования, а вот значения приведенного сопротивления теплопередаче стен и других несветопрозрачных конструкций (покрытий, полов подвалов и т. д.) в большинстве случаев значительно ниже требований норм и проектной документации. Рассмотрим основы методики оценки соответствия показателей энергоэффективности объектов капитального строительства по результатам комплексного инструментального обследования теплозащитной оболочки зданий на базе тепловизионного метода требованиям технических регламентов и проектной документации, разработанной авторами и применяемой ГБУ «ЦЭИИС».

Методика оценки соответствия показателей энергоэффективности зданий

Работа по техническому заданию органа государственного строительного надзора для оценки показателей энергоэффективности имеет свою специфику. Измерения проводят в зданиях, строительство которых не завершено. Начало выполнения измерений устанавливают в соответствии с планом, а период измерений должен быть максимально кратким. Система отопления, как правило, функционирует по временной схеме. Некоторые помещения и конструкции, любопытные с точки зрения теплофизики, недоступны для проведения измерений. Большое количество факторов, оказывающих влияние на результаты измерений, не зависит от испытателя.

При разработке методики оценки соответствия показателей энергоэффективности (далее – Методика) особое внимание было уделено повышению точности и воспроизводимости результатов измерений.

Основные работы по оценке показателей энергоэффективности объекта

В рамках проведения оценки показателей энергоэффективности объекта капитального строительства, например жилого дома, осуществляется несколько видов работ, основными из которых являются:

- проведение тепловизионной съемки наружных ограждающих конструкций;

- определение мест и расстановка измерительного оборудования (датчиков измерения и фиксации температуры и плотности тепловых потоков) на основные типы наружных ограждающих конструкций;

- обработка результатов тепловизионной съемки (термограмм), поиск скрытых теплотехнических дефектов;

- обработка результатов прямых контактных измерений и определение фактического значения приведенного сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций;

- анализ полученных значений и осуществление оценки соответствия показателей энергоэффективности требованиям нормативной и проектной документации.

Условия проведения оценки показателей энергоэффективности

Необходимыми и обязательными условиями проведения обследований по оценке показателей энергоэффективности на возводимых зданиях являются:

- Холодный период года.

- Функционирующая система отопления здания, включенная не менее чем за 10 суток до начала обследования.

- Перепад между температурой внутреннего и наружного воздуха не менее 15 °С.

- Окончание работ по теплоизоляции конструкций, установке оконных блоков и созданию «теплого контура».

- Возможность установить измерительное оборудование в запираемые на период измерений помещения.

Перед выездом группы на объект необходимо подготовить планы этажей, запрограммировать датчики измерения температуры и плотности тепловых потоков, провести предварительный анализ проектной документации для ознакомления с применяемыми инженерными решениями и выявления наиболее распространенных конструкций.

Оборудование для обследования зданий

В работе по оценке показателей энергоэффективности применяются: тепловизоры с разрешением 640×480 пикселей; комплексы измерительные, состоящие из 100 датчиков фиксации в автоматическом режиме плотности теплового потока (тепломеров); комплект датчиков фиксации в автоматическом режиме температуры (термохроны).

Исходя из практики проведения обследований, все датчики объединяют в систему измерений и программируют на синхронную фиксацию измеряемых параметров (плотность теплового потока, температура, влажность) с частотой каждые 10 минут в течение 10–12 суток.

Тепловизионная съемка

На объекте проводят тепловизионную съемку всех доступных к обследованию наружных ограждающих конструкций. Рекомендуется проводить сплошную тепловизионную съемку в каждом помещении здания, включая чердак и подвал, а также наружную съемку всех фасадов и по возможности покрытия. Такой массив термограмм позволяет оценить температурно-влажностный режим объекта в целом, обнаружить скрытые дефекты строительства, места возможной конденсации, повышенной воздухопроницаемости и получить прочую информацию.

Необходимо отметить, что тепловизионная съемка позволяет оценить температурные поля на поверхности конструкций и служит прекрасным инструментом для визуализации температурных процессов, протекающих в конструкции, однако для определения приведенного сопротивления теплопередаче необходимо оперировать базой измерений датчиков.

Выбор конструкций для обследования и правила установки датчиков

На каждом обследуемом объекте необходимо подобрать конструкции (фрагменты конструкций), на которые устанавливают датчики фиксации температуры и плотности теплового потока. Как правило, выбирают фрагменты стен и оконные блоки наиболее распространенных конструктивных решений.



На выбор фрагментов конструкций оказывает влияние очень большое количество факторов. Главное, чтобы подобранные для определения значения приведенного сопротивления теплопередаче ограждающие конструкции были, если так можно выразиться, референсными для данного здания.

Например, в панельных зданиях для измерений можно подобрать два оконных блока различной площади, две торцевые панели без оконных проемов, четыре стеновые панели разных конфигураций с оконными проемами, два фрагмента покрытия. Для зданий с вентилируемым фасадом датчики устанавливают на 2–3 фрагментах, выполненных из железобетона, и 3–4 фрагментах кладки из пенобетонных блоков.

Схема установки датчиков зависит от типа и конструктивных особенностей испытываемой ограждающей конструкции. Датчики фиксации температуры и плотности тепловых потоков устанавливают на внутренней поверхности испытываемой конструкции по вертикальной и горизонтальной осям в центрах предполагаемых однородных температурных зон. Для оценки геометрических границ однородных зон при возможности используют результаты анализа тепловизионной съемки.

На непрозрачные конструкции датчики устанавливают равномерно в центрах теплотехнических зон, исключая места влияния нагревательных приборов (не ближе 500 мм от нагревательного прибора).

На каждый основной элемент испытываемой светопрозрачной конструкции (стеклопакет, профиль створки, профиль коробки и т. п.) необходимо устанавливать не менее трех датчиков теплового потока. Всего на испытываемую светопрозрачную конструкцию устанавливают, как правило, 20 датчиков теплового потока. Датчики фиксации температур устанавливают на расстоянии не более 50 мм от соответствующего датчика теплового потока на сторону, обращенную внутрь помещения, и симметрично на наружную сторону. На поверхности стеклопакета датчики размещают в центральной и краевых зонах.

Такое сравнительно большое количество устанавливаемых на каждый испытываемый фрагмент датчиков необходимо для повышения точности при определении значения приведенного сопротивления теплопередаче, поскольку значения сопротивления теплопередаче по показаниям двух датчиков, установленных на один фрагмент конструкции, могут различаться в 2–3 раза. Также крайне важно, чтобы период измерений был не менее 10 суток, поскольку только статистическая обработка накопленной за определенный период времени достаточно обширной базы постоянно изменяющихся значений измеряемых величин позволит определить некоторое среднее искомое значение.

№	Формула
1	$R_o = R_{si} + R_k + R_{se}$, где $R_{si} = 1/\alpha_{int}$, а $R_{se} = 1/\alpha_{ext}$
2	$R_k(x) = R_{si} + \frac{\tau_{int}(x) - \tau_{ext}(x)}{q(x)} + R_{se}$
3	$q(x) = \frac{\sum_{i=1}^n (q_i(x) \cdot F_i)}{\sum_{i=1}^n F_i}$
4	$R_k(x) = \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{\sum_{i=1}^n (F_i / R_i(x))}$
5	$R(x) = \sum_{i=0}^k (a_i \cdot x^i)$
6	$R = \frac{1}{x_e - x_s} \int_{x_s}^{x_e} \left(\sum_{i=0}^k (a_i \cdot x^i) \right) dx$
7	$R = 1/N \cdot \sum_{j=1}^N R_j$
8	$\delta_j = R_j - \sum_{i=0}^k (a_i \cdot x^i)$
Обозначения в формулах	
<p>R_o – сопротивление теплопередаче испытуемой ограждающей конструкции, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$</p> <p>R_k – термическое сопротивление ограждающей конструкции, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$, определенное по результатам анализа данных мониторинга процессов теплопередачи через испытуемые фрагменты</p> <p>α_{int} – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, принимаемый по данным измерений</p> <p>α_{ext} – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для условий холодного периода, принимаемый по таблице СП 23-101-2004</p> <p>x – время, мин</p> <p>$\tau_{int}(x)$ – температура внутренней поверхности стены, $^\circ C$</p> <p>$\tau_{ext}(x)$ – температура наружной поверхности стены, $^\circ C$</p> <p>$q(x)$ – плотность теплового потока через ограждение, $Вт/м^2$</p> <p>n – число зон, на которые разделен фрагмент в соответствии с установкой датчиков температуры и тепловых потоков</p> <p>F_i – площадь i-й зоны, $м^2$</p> <p>$R_i(x)$ – сопротивление теплопередаче i-й зоны в момент времени x, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$</p> <p>x_s – момент начала испытаний</p> <p>x_e – момент окончания испытаний</p> <p>δ_j – погрешность измерений</p>	

Оценка фактического сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций

Накопленная статистика мониторинга процессов теплопередачи через испытуемые фрагменты позволяет оценить фактическое сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций объекта.

Сопротивление теплопередаче R_o , $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$, испытуемой ограждающей конструкции определяется по формуле (1) (см. Формулы).

Вследствие нестационарных процессов теплопередачи определение сопротивления теплопередаче возможно только на основе совместного анализа временных зависимостей температур наружного и внутреннего воздуха, тепловых потоков через ограждающую конструкцию, коэффициентов теплоотдачи внутренней поверхности, а также функции сопротивления теплопередаче $R_k(x)$, определяемого по формуле (2).

Для повышения точности измерений каждый испытуемый фрагмент разбивают на зоны (по количеству датчиков плотности теплового потока), в центрах которых устанавливают датчики теплового потока и температуры.

Временные зависимости плотностей тепловых потоков, представленные на графиках, имеют усредненные значения по зонам в каждый момент времени и определяются по формуле (3).

Приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента ограждения определяется по формуле (4).

Следует отметить, что в формулах (2) и (4) под сопротивлением теплопередаче понимается временная функциональная зависимость между входящими переменными.

В частном случае стационарного режима теплопередачи эти соотношения определяют приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента стены в стандартном понимании, изложенном в нормативных документах.

Оценка соответствия осуществляется путем сопоставления значения приведенного сопротивления теплопередаче конструкции, указанного в проектной документации, со значением приведенного сопротивления теплопередаче испытанной строительной ограждающей конструкции, полученным по результатам испытаний с учетом погрешности.

В результате серии замеров с интервалом 10 минут формируется массив экспериментальных значений приведенного сопротивления теплопередаче $\{R_j(x)\}$, $j = 1, \dots, N$.

Методом наименьших квадратов строится аппроксимирующий полином ($k = 5-7$), описывающий зависимость измеряемого сопротивления теплопередаче от времени, вида (5). Приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента конструкции является интегральной величиной вида (6). Близкий результат дает вычисление по формуле (7).

Погрешность измерений δ_j в каждый момент времени j определяется разностью экспериментальной величины R_j и значения полинома (5) в тот же момент времени x_j по формуле (8).

Массив погрешностей $\{\delta_j(x)\}$, $j = 1, \dots, N$ характеризуется математическим ожиданием μ и дисперсией σ . В случае нормального распределения при доверительной вероятности 0,95 доверительный интервал величины приведенного сопротивления теплопередаче, определенного по формулам (6) и (7), составляет $[R - 2\sigma; R + 2\sigma]$, а при доверительной вероятности 0,997 соответственно $[R - 3\sigma; R + 3\sigma]$.

Представление значений измеренных сопротивлений теплопередаче фрагментов наружных ограждений принимают в виде $R \pm 3\sigma$.

Результаты определения приведенного сопротивления теплопередаче

Результаты определения приведенного сопротивления теплопередаче одного из шести испытанных фрагментов – стены панельного здания (рис. 1) – приведены в форме, принятой в заключениях ГБУ «ЦЭ-ИИС» (рис. 2–6).

В период испытаний, с 29 марта по 8 апреля 2018 года, погодные условия были весьма неустойчивы, однако полученные результаты хорошо коррелируются с данными испытаний ограждающих конструкций зданий подобного типа. Отметим, что, согласно проектной документации, среднее расчетное сопротивление теплопередаче панелей составляет $3,43 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

Приводимой в заключении ГБУ «ЦЭИИС» информации, включая графики измерений на каждом испытываемом фрагменте, должно

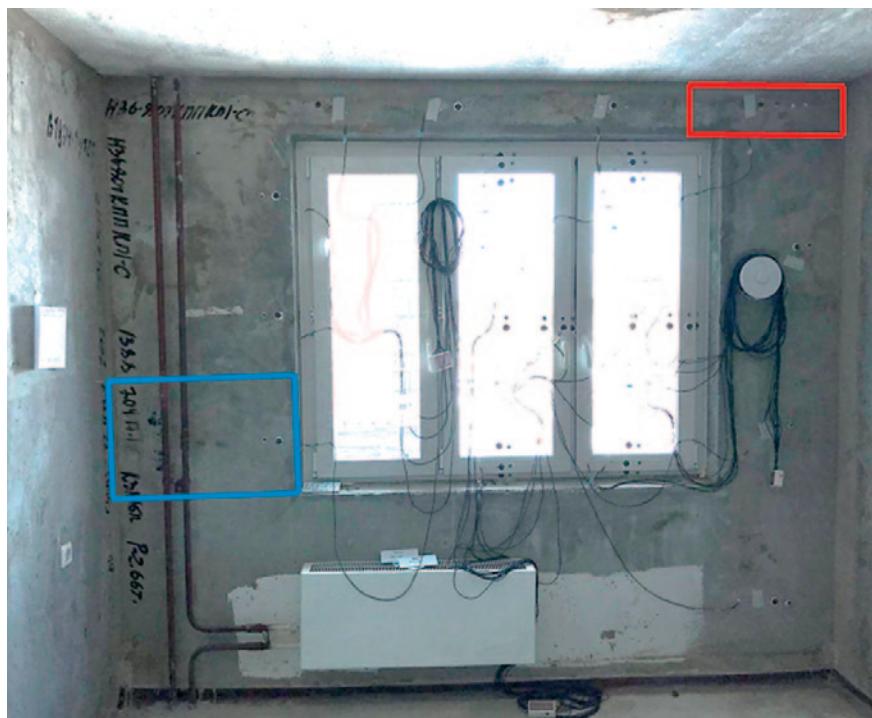
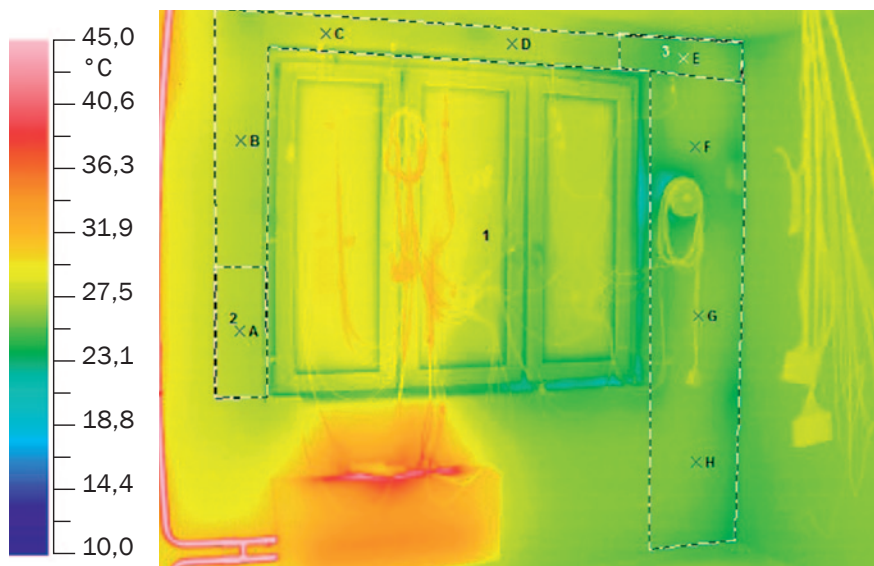


Рис. 1. Стена со светопроемом с датчиками теплового потока и температуры. Комната в осях 7–8, Г–Е на четвертом этаже. Красным контуром выделена наиболее теплопроводная зона, синим – наименее теплопроводная



Точка	A	B	C	D	E	F	G	H
$T, \text{°C}$	27,4	27,6	28,3	27,4	25,8	26,1	26,7	25,8
Область	Мин., °C		Макс., °C		Средн., °C			
1	21,9		30,3		26,4			
2	25,8		28,4		27,4			
3	24,1		26,6		25,6			

Рис. 2. Распределение температурных полей на испытываемой конструкции



Рис. 3. Значения температуры внутреннего и наружного воздуха за период наблюдений, °C



Рис. 4. Значения средней плотности теплового потока через испытываемую конструкцию стены за период наблюдений



Рис. 5. Значения приведенного сопротивления теплопередаче стены за период наблюдений



Рис. 6. Сопротивление теплопередаче стены в зонах минимальных и максимальных значений за период наблюдений

быть вполне достаточно для идентификации испытываемой конструкции, периода измерений, характеристики протекающих теплофизических процессов и обоснования полученной величины приведенного сопротивления теплопередаче.

Рассмотренная методика оценки соответствия показателей энергоэффективности объектов капитального строительства по результатам комплексного инструментального обследования теплозащитной оболочки зданий на базе тепловизионного метода требованиям технических регламентов и проектной документации позволяет с достаточной степенью точности проводить работы в натуральных условиях перед вводом здания в эксплуатацию.

К удивлению, методика проведения обследований теплофизических показателей, базирующаяся на принципах, заложенных основателями отечественной теплофизической школы, не нашла массового применения. Основными причинами невостребованности методики, очевидно, являются трудоемкость выполнения работ и то, что результаты испытаний трудно подогнать под необходимую величину.

Поскольку единая государственная методика проведения работ в целях оценки соответствия показателей энергоэффективности зданий требованиям проектной и нормативной документации отсутствует, считаем целесообразным разработать ГОСТ на данные работы на базе методики, прошедшей апробацию в ГБУ «ЦЭИИС». Авторами накоплен большой опыт работ по определению показателей энергоэффективности в натуральных условиях, которым они готовы поделиться со всеми заинтересованными лицами и организациями.

Литература

1. Крышов С. И., Курилюк И. С. Оценка теплозащиты наружных ограждающих конструкций современных зданий // Энергосбережение. 2018. № 3. ■