



Повышение энергетической эффективности жилых зданий в Республике Беларусь

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений

Андрей Федорович МОЛОЧКО
*национальный консультант проекта,
РУП «БелТЭИ», Беларусь*

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений.

Признаки дефектов и повреждений

Тепловизионное обследование с успехом позволяет получить реальную картину теплопотерь и строительных дефектов, приводящих к потерям тепла, как в отношении крупных промышленных сооружений, так и в отношении частных коттеджей. Мониторинг может быть проведен как на этапе приемки здания или сооружения, так и после длительной эксплуатации строительного объекта.

Тепловизионная диагностика может проводиться как изнутри, так и снаружи здания.

Исправление обнаруженных с помощью тепловизионного обследования дефектов позволит существенно сэкономить на отоплении и обогреве строительных сооружений, поспособствует соблюдению правильного теплового режима в зданиях.

Тепловизионное обследование – это обследование сооружений в инфракрасном диапазоне. Такая диагностика позволяет получить «тепловую картинку» сооружения, определить с высокой точностью, где происходят потери тепла.

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений.

Признаки дефектов и повреждений

Тепловизионное обследование может быть полезно в следующих случаях:

- ▶ если необходимо определить реальные теплотери по зданию, и сравнить их с заложенными на этапе проектирования;
- ▶ если необходимо выяснить тепловую герметичность сооружения и исследовать ограждающие конструкции сооружения на предмет теплотери;
- ▶ если необходимо обнаружить дефекты стыков между перекрытиями и панелями, щели, оставленные при монтаже оконных и дверных блоков, теплопропускающие дефекты стен, «мостики холода», нарушения изоляции деталей конструкций, обладающих существенной теплопроводностью;
- ▶ если необходимо найти дефекты кровли здания – они «выдадут» себя повышенным тепловым излучением;
- ▶ если необходимо определить места возможного возникновения конденсата внутри зданий и помещений, вызванного осаждением влаги на холодные поверхности;
- ▶ если нужно выяснить состояние термоизоляции между помещениями с различными температурными режимами;
- ▶ если необходимо проверить эффективность имеющихся систем отопления, получить данные температурного режима в помещениях, выяснить, какие стояки и батареи работают, а какие засорены;
- ▶ если необходимо без документов восстановить схему прокладки дымоходов в старых зданиях, или, например, схему прокладки обогревающих элементов теплого пола в современных строениях.

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений

Точность и достоверность измерений тепловизором зависит от свойств объекта измерений и состояния окружающей среды. Рассмотрим влияние свойств объекта съемки на результаты измерений.

Как материал объекта влияет на измерения

Каждый материал имеет определенный коэффициент излучения, т.е. материал, из которого сделан объект, напрямую влияет на результаты измерений его температуры.

Как температура объекта влияет на измерения

Температура объекта измерений влияет на его коэффициент излучения, но незначительно. Для неметаллических объектов этим влиянием можно пренебречь. Для металлов же КИ может сильно возрасти при увеличении температуры. В целом нужно стараться определять КИ в тех же температурных условиях, в которых будут проводиться реальные измерения.

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений

Как цвет объекта влияет на измерения

При измерении температуры с помощью тепловизора цвет материала, из которого сделан объект, не оказывает большого влияния на излучаемое инфракрасное излучение.

Темная поверхность воспринимает больше инфракрасного излучения, чем светлая поверхность, поэтому и нагревается быстрее. Но излучаемое инфракрасное излучение зависит от температуры объекта, а не от цвета его поверхности. Например, при одинаковой температуре радиатор, окрашенный в черный цвет, излучает то же количество инфракрасного излучения, что и радиатор, окрашенный в белый цвет.

Как поверхность объекта влияет на измерения

Решающую роль при измерении температуры с помощью тепловизора играют свойства поверхности объекта. Это связано с тем, что коэффициент излучения меняется в зависимости от структуры поверхности, загрязнения и покрытия.

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений

Структура поверхности

Для одного и того же материала блестящие, гладкие, отражающие и/или отполированные поверхности в большинстве случаев имеют более низкий коэффициент излучения, чем матовые, структурные, шероховатые, исцарапанные и/или поверхности после атмосферных воздействий. При работе с очень гладкими поверхностями часто появляется отражение излучения от внешних источников, на которое нужно вводить поправку.

Влага, снег и иней на поверхности

Снег, иней и вода обладают относительно высоким коэффициентом излучения (приблизительно от 0,85 до 0,95), поэтому измерение влажных объектов обычно не вызывает трудностей.

Но следует помнить о том, что температура объекта может быть искажена из-за того, что ее покрывает снег, вода или иней. Вода охлаждает поверхность измеряемого объекта, так как она испаряется. Снег обладает хорошими изоляционными свойствами. Иней обычно не создает собственной сплошной поверхности, поэтому при измерении необходимо учитывать коэффициенты излучения и самого инея, и поверхности под ним.

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений

Загрязнение и посторонние вещества на поверхности

Такие загрязняющие вещества на поверхности измеряемого объекта, как пыль, сажа или масло для смазки, повышают коэффициент излучения поверхности. Поэтому измерение на загрязненных объектах не представляет большой трудности.

Но помните: тепловизор всегда измеряет температуру поверхности, т.е. пыли, а не точную температуру поверхности, покрытой пылью.

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений

Коэффициент излучения (КИ) — это степень способности материала излучать инфракрасное излучение.

КИ изменяется в зависимости от материала, свойств поверхности и для некоторых материалов — от температуры измеряемого объекта.

Максимальное значение коэффициента излучения = 1 (100%), в реальных условиях КИ всегда меньше 1.

У живых тел КИ также меньше 1, т. к. живые тела также отражают и пропускают излучение.

Многие неметаллические материалы, например, органические вещества, бетон, ПВХ, имеют высокую излучательную способность (от 0,8 до 0,95). Коэффициент излучения у таких материалов от температуры не зависит.

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений

Как влияет коэффициент излучения на точность измерений

1. Объекты измерений с высоким коэффициентом излучения (больше 0,8) имеют низкий коэффициент отражения ($\rho = 1 - \epsilon$). Температуру таких объектов можно очень легко измерить с помощью тепловизора.
2. Объекты измерений со средним коэффициентом излучения (от 0,6 до 0,8) имеют средний коэффициент отражения. Температуру таких объектов можно измерить с помощью тепловизора.
3. Объекты измерений с низким коэффициентом излучения (меньше 0,6) имеют высокий коэффициент отражения. Измерение температуры таких объектов тепловизором возможно, но результаты необходимо тщательно проверять.

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений

Для определения коэффициента излучения (КИ) поверхности объекта можно:

- ▶ обратиться к таблице коэффициентов излучения;
- ▶ определить КИ с помощью эталонного измерения контактным термометром;
- ▶ определить КИ с помощью эталонного измерения тепловизором.

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений

Для определения коэффициента излучения (КИ) поверхности объекта можно:

- ▶ обратиться к таблице коэффициентов излучения;
- ▶ определить КИ с помощью эталонного измерения контактным термометром;
- ▶ определить КИ с помощью эталонного измерения тепловизором.

В таблице представлены коэффициенты излучения некоторых материалов, используемых в строительстве и промышленности. Значения, указанные в таблице, являются нормативными. Можно пользоваться этими коэффициентами для настройки тепловизора при измерении температуры. Однако следует помнить, что это ориентировочные значения. Поскольку излучательная способность материала зависит от состояния поверхности и других параметров объекта, для получения достоверных результатов следует измерять КИ в реальных условиях проведения тепловизионной съемки.

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений

Материал	Температура, °С	Коэффициент излучения
Алюминий сильно окисленный	93	0,20
Алюминий не окисленный	25	0,02
Алюминий не окисленный	100	0,03
Алюминий блестящий, укатанный	170	0,04
Алюминий, отполированный до зеркального блеска	100	0,09
Медь окисленная	130	0,76
Медь желтая, окисленная	200	0,61
Медь укатанная	40	0,64
Медь, слегка потемневшая	20	0,04
Медь отполированная	40	0,03
Хром	40	0,08
Хром отполированный	150	0,06
Сталь черная, анодированная	50	0,98
Сталь окисленная	200	0,79
Сталь холоднокатанная	93	0,75 – 0,85
Сталь, термообработанная поверхность	200	0,52

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений

Материал	Температура, °С	Коэффициент излучения
Железо с коркой отливки	100	0,80
Железо с прокатной пленкой	20	0,77
Железо отшлифованное	20	0,24
Чугун окисленный	200	0,64
Свинец необработанный	40	0,43
Свинец окисленный	40	0,43
Свинец серый, окисленный	40	0,28
Трансформатор окрашенный	70	0,94
Бетон	25	0,93
Кирпичная кладка	40	0,93
Известковый раствор, штукатурка	20	0,93
Глина обожженная	70	0,91
Песчаник	40	0,67
Гранит	20	0,45

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений

Материал	Температура, °С	Коэффициент излучения
Мрамор белый	40	0,95
Гипс	20	0,90
Фарфор	20	0,92
Стекло	90	0,94
Дерево	70	0,94
Резина твердая	23	0,94
Резина мягкая, серая	23	0,89
Пластик ПЭ, ПП, ПВХ	20	0,94
Краски масляные (всех цветов)	90	0,92 – 0,96
Краска черная, матовая	80	0,97
Краска белая	90	0,95
Краска желтая, 2 слоя на алюм. фольге	40	0,79
Краска синяя, на алюм. фольге	40	0,78
Бумага	20	0,97
Хлопок	20	0,77
Лед гладкий	0	0,97

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений

Определение КИ с помощью контактного термометра:

- ▶ Измерьте температуру поверхности объекта используя контактный термометр (например, testo 905-T2).
- ▶ Измерьте температуру поверхности объекта с помощью тепловизора, заранее указав коэффициент излучения (например, используя таблицу КИ).
- ▶ Разница значений температуры, полученной контактным термометром и тепловизором, указывает на то, что заданный коэффициент излучения не точен. Постепенно изменяя его значение, вы можете изменять измеренную температуру. Когда температура будет равной той, что получена при контактном измерении термометром, тогда заданный коэффициент излучения будет соответствовать реальному.

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений

Определение КИ с помощью тепловизора:

1. Наклеить на поверхность измеряемого объекта кусок специальной пленки с известным КИ (например, термостойкой самоклеющейся пленки Testo).
2. Задать на тепловизоре коэффициент излучения пленки.
3. После промежутка времени, достаточного для адаптации пленки к температуре поверхности, измерить температуру поверхности объекта на участке, покрытом пленкой. Полученное значение температуры является эталонным значением.
4. Провести измерения в области, не покрытой пленкой. Изменять коэффициент излучения до тех пор, пока с помощью тепловизора не получите значение температуры, равное эталонному. Данный коэффициент излучения будет являться истинным коэффициентом для поверхности измеряемого объекта.

Вместо специальной пленки также можно:

- ▶ покрыть измеряемый объект слоем термостойкого масла толщиной не менее 0,13 мм (КИ = 0,82);
- ▶ покрыть измеряемый объект толстым слоем сажи (КИ = 0,95);
- ▶ нанести на измеряемый объект другое покрытие или краску с известным коэффициентом излучения.

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений.

Признаки дефектов и повреждений

Коэффициент отражения — это степень способности материала отражать инфракрасное излучение.

Коэффициент отражения зависит от свойств поверхности, температуры и типа материала.

Как правило, гладкие, полированные поверхности имеют большую отражательную способность, чем шероховатые, матовые поверхности, изготовленные из того же материала.

Компенсацию отраженной температуры (КОТ) можно настроить в тепловизоре вручную.

В большинстве случаев отраженная температура равна температуре окружающей среды. Можно измерить ее с помощью воздушного термометра.

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений

Как определить температуру отраженного излучения

После устранения всех возможных помех, которые могут оказать нежелательное воздействие на результаты измерения, температура отраженного инфракрасного излучения будет равна температуре окружающей среды. Вы можете измерить температуру окружающей среды воздушным термометром, и на основе полученного значения ввести в тепловизор параметры КОТ.

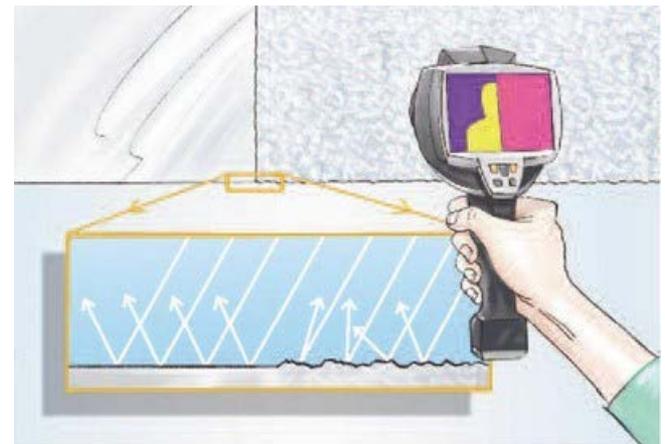
Но если рядом все еще присутствуют источники излучения, нужно выполнить дополнительное измерение отраженной температуры. Сделать это можно с помощью т.н. излучателя Ламберта, изготовленного из подручных средств.

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений

Как измерить температуру отраженного излучения с помощью излучателя Ламберта

Излучатель Ламберта представляет собой приспособление, которое отражает падающее излучение с оптимальным рассеиванием, т.е. с одинаковой силой по всем направлениям. Вы можете измерить температуру отраженного излучения на излучателе Ламберта с помощью тепловизора.

В качестве самодельного излучателя Ламберта можно использовать кусок алюминиевой фольги, которую необходимо смять, а затем расправить. Фольга имеет высокий коэффициент отражения. Благодаря тому, что фольга была предварительно скомкана, рассеивание отраженного излучения практически идеальное (см. рисунок, правая сторона алюминиевой фольги).



Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений

Для измерения температуры отраженного излучения выполните следующие действия.

1. Установите излучатель Ламберта на поверхность измеряемого объекта или рядом с ним.
2. Введите в тепловизор $KI=1$ и измерьте температуру поверхности излучателя.
3. Введите полученное значение температуры в качестве КОТ в тепловизор.

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений

Оптимальные условия тепловизионных измерений:

- устойчивые погодные условия;
- значительная облачность до и во время проведения измерений (при съемке на открытом воздухе);
- отсутствие прямых солнечных лучей до и во время измерения;
- отсутствие осадков и водяных паров в воздухе;
- отсутствие взвешенных частиц в воздухе;
- отсутствие ветра или сквозняка;
- отсутствие источников теплового излучения вблизи объекта;
- сухая, чистая и не подверженная действию помех поверхность измеряемого объекта;
- поверхность измеряемого объекта должна обладать высоким коэффициентом излучения.

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений

Оптимальные условия тепловизионных измерений:

Тепловизионные измерения проводят при перепаде температур между наружным и внутренним воздухом, превосходящем минимально допустимый перепад, °С, значение которого определяют по формуле

$$\Delta t_{\min} = 2 \Delta \Theta R_0^n \cdot (\alpha r / (1-r)),$$

где $\Delta \Theta$ – предел температурной чувствительности тепловизора, °С;

R_0^n – проектное значение сопротивления теплопередаче, °С · м/Вт;

α – коэффициент теплоотдачи, принимаемый равным: для внутренней поверхности стен – по нормативно-технической документации, для наружной поверхности стен при скоростях ветра 1; 3; 6 м/с – 11; 20; 30 соответственно;

r – относительное сопротивление теплопередаче подлежащего выявлению дефектного участка ограждающей конструкции.

Для строительной термографии рекомендуется разница между температурой в помещении и температурой окружающей среды минимум 15°С.

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений

Точки съемки выбирают так, чтобы поверхность объекта измерений находилась в прямой видимости под углом наблюдения не более 60° . Под данными углами должны находиться все поверхности, подлежащие анализу в рамках каждой термограммы.

Допускается термографирование под большими чем 60° углами. В этом случае оператор с помощью осмотра объекта под разными углами должен убедиться, что показания тепловизора для каждого вида обследуемой поверхности изменяются незначительно.

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений

Удаленность точек съемки от поверхности объекта выбирают исходя из величины наименьшего линейного размера подлежащего выявлению участка ограждающей конструкции по формуле:

$$L = H / (5\Delta\varphi),$$

где $\Delta\varphi$ – мгновенное поле зрения тепловизора, определяемое как линейный угол зрения одного элемента разложения термограммы, рад.

Значение H может быть принято равным:

- при контроле внутренней поверхности – от 0,01 до 0,2 м;
- при контроле наружной поверхности – от 0,2 до 1 м.

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений

Анализ термограмм

Анализ термограмм представляет собой процедуру, направленную на выявление причин возникновения температурных аномалий с целью выявления нарушения теплоизоляции ограждающих конструкций или снижения ее качества.

При анализе термограмм наружной поверхности ограждающей конструкции ее следует разбивать на участки, для которых температурные условия на внутренней поверхности близки к постоянным (отсутствуют локальные источники тепла, заметно влияющие на температуру внутренней поверхности).

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений

Анализ термограмм

На стадии анализа используют обработанные или необработанные термограммы для компьютерной визуализации температурных полей на поверхности ограждающей конструкции с возможностью выделения отдельных участков ограждающих конструкций для проведения компьютерных оперативных расчетов перепадов температур, построения гистограмм линейных и поверхностных распределений температур.

Основным критерием сравнения различных участков поверхности ограждающей конструкции является разница температур в выбранной точке на сравниваемом и базовом участках поверхности.

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений

Анализ термограмм

Для сравнения может быть дополнительно проведена оценка относительного сопротивления теплопередаче в различных точках ограждающей конструкции. Значения сопротивления теплопередаче рассчитывают по отношению к базовым участкам ограждающей конструкции для внутренних обследований по формуле

$$r(x, y) = 1 + (\Theta(x, y) / (t_{\text{в}} - \tau_{\text{в}}^{\text{б}} - \Theta(x, y))),$$

и для наружных: $r(x, y) = 1 + (\Theta(x, y) / (t_{\text{н}} - \tau_{\text{н}}^{\text{б}} - \Theta(x, y))),$

где $t_{\text{в}}, t_{\text{н}}$ – температуры внутреннего и наружного воздуха соответственно в зоне исследуемого фрагмента, °С;

$\tau_{\text{в}}^{\text{б}}, \tau_{\text{н}}^{\text{б}}$ – температура поверхности базового участка при внутренних и наружных обследованиях соответственно, °С;

$\Theta(x, y)$ – разность между температурой (,) изотермы, проходящей через точку с координатами , на соответствующей поверхности, и температурой поверхности базового участка, °С.

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений



Вид дефекта

Температурные аномалии в местах примыкания оконных блоков к стенам здания.
Температурные аномалии на стыковом шве здания, на уровне цокольного этажа.

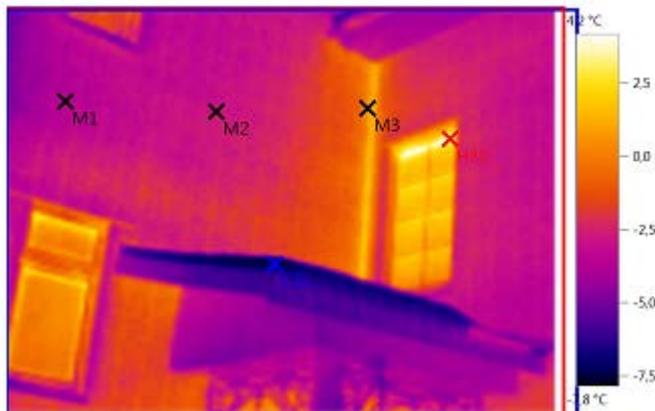
Причина дефекта

Неудовлетворительное качество проведенных работ по изоляции стыков оконных рам и корпуса здания. Недостаточная теплоизоляция цокольного этажа.

Рекомендации

Герметизация стыков между окном и стеной.
Утепление цокольного этажа.

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений



Вид дефекта

Температурные аномалии в местах примыкания оконных блоков к стенам здания.
Температурные аномалии на угловых стыках, на стенах.

Причина дефекта

Неудовлетворительное качество проведенных работ по изоляции стыков оконных и здания.
Недостаточная теплоизоляция стен.

Рекомендации

Герметизация стыков между оконным блоком и стеной.
Установка теплоотражающих экранов за отопительными приборами. Утепление фасадов

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений



Вид дефекта

Температурные аномалии в местах примыкания оконных блоков к стенам здания.
Температурные аномалии на угловых стыках, на уровне цокольного этажа, участках стен.

Причина дефекта

Неудовлетворительное качество проведенных работ по изоляции стыков оконных и здания.
Недостаточная теплоизоляция стен.

Рекомендации

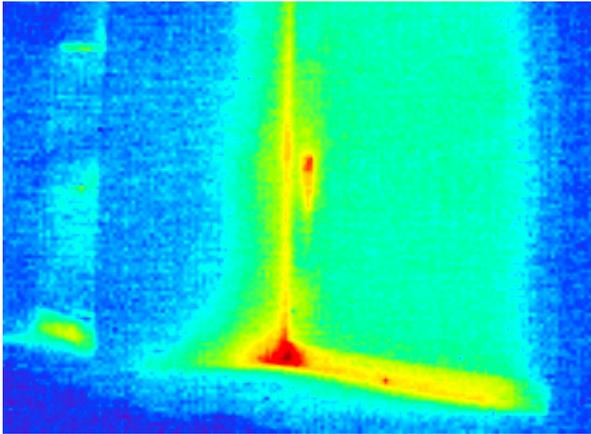
Герметизация стыков между оконным блоком и стеной.
Установка теплоотражающих экранов за отопительными приборами. Утепление фасадов

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений



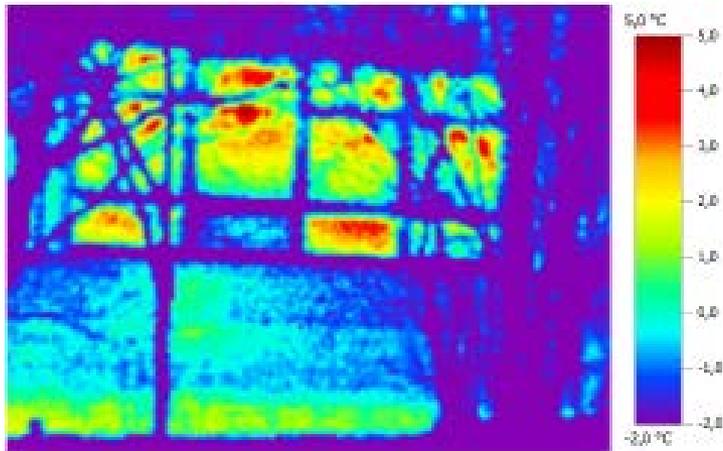
Вид дефекта
Температурные аномалии на стыковом шве здания, на уровне цокольного этажа.
Причина дефекта
Недостаточная теплоизоляция цокольного этажа.
Рекомендации
Утепление цокольного этажа.

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений



Вид дефекта
Температурные аномалии на угловых стыках.
Причина дефекта
Недостаточная теплоизоляция угловых стыков.
Рекомендации
Утеплить стыки.

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений



Вид дефекта
Температурные аномалии на стыковом шве здания, на уровне цокольного этажа.
Причина дефекта
Недостаточная теплоизоляция цокольного этажа
Рекомендации
Утепление цокольного этажа.

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений

Измерение плотности теплового потока

Плотность теплового потока определяется в соответствии с ГОСТ 25380–82 “Метод измерения плотности тепловых потоков, проходящих через ограждающие конструкции”.

Измерение плотности теплового потока проводится с внутренней стороны ограждающих конструкций. Для этого преобразователь (датчик) приклеивается на внутреннюю поверхность ограждения и при восстановлении условий теплообмена определяется значение плотности тепловых потоков (Вт/м²).

Сопротивление теплопередаче наружных стен определяется по формуле:

где q — измеренная плотность теплового потока, Вт/м²;

$$R_n = \frac{t_B - t_H}{q}$$

t_B — температура внутреннего воздуха, °С;

t_H — температура наружного воздуха, °С;

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений

Измерение плотности теплового потока

Сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций определяется в соответствии с ГОСТ 26254–84 Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций:

$$q_{\phi} = \frac{q_{cp} \cdot (t_{вн} - t_n)}{(t_{вн} - t_n - q_{cp} \cdot (R_m + R_c))}, \quad \text{Вт/м}^2 \quad R = \frac{t_{вн} - \tau_{вн}}{q_{\phi}} + \frac{\tau_{вн} - \tau_n}{q_{\phi}} + \frac{\tau_n - t_n}{q_{\phi}} \text{ м}^2 \cdot \text{C/Вт}$$

где

$t_{вн}$ и t_n – средние за расчетный период измерений значения температур соответственно внутреннего и наружного воздуха, ;

$t_{вн}$ – , t_n – средние за расчетный период измерений значения температур соответственно внутренней и наружной поверхностей ограждающей конструкции, ;

q – средняя за расчетный период измеренная плотность теплового потока, Вт/м ;

R_r – термическое сопротивление преобразователя теплового потока, определяемого по его паспортным данным, $\text{м}^2 \cdot \text{C/Вт}$;

R_c – термическое сопротивление слоя, прикрепляющего преобразователь теплового потока, $\text{м}^2 \cdot \text{C/Вт}$; определяемое расчетом;

R_b – сопротивление теплопередаче внутренней поверхности ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{C/Вт}$, определяемое расчетным путем по средним значениям α и β . Допускается в первом приближении принимать его равным нормируемым значениям $0,115 \text{ м}^2 \cdot \text{C/Вт}$;

R_i – термическое сопротивление слоя ограждающей конструкции между внутренней поверхностью и воздушной прослойкой, $\text{м}^2 \cdot \text{C/Вт}$, определяемое расчетом;

$\tau_{т.в.}$ – температура поверхности преобразователя теплового потока, обращенная внутрь помещения, , измеренная при испытаниях, $^{\circ}\text{C}$;

$R_{в.п.}$ – термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки, $\text{м}^2 \cdot \text{C/Вт}$.

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений

Измерение плотности теплового потока

При натуральных испытаниях наружных стен выбирают стены в угловой комнате на первом этаже, ориентированные на север, северо-восток, северо-запад и дополнительно в соответствии с решаемыми задачами на другие стороны горизонта, наиболее неблагоприятные для данной местности (преимущественные ветры, косые дожди и т.д.), и на другом этаже.

Для испытаний выбирают не менее двух однотипных ограждающих конструкций, с внутренней стороны которых в помещениях поддерживают одинаковые температурно-влажностные условия.

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений

Измерение плотности теплового потока

Испытания в натуральных условиях проводят в периоды, когда разность среднесуточных температур наружного и внутреннего воздуха и соответствующий тепловой поток обеспечивают получение результата с погрешностью не более 15% .

Продолжительность измерений в натуральных условиях определяют по результатам предварительной обработки данных измерений в ходе испытаний, при которой учитывают стабильность температуры наружного воздуха в период испытаний и в предшествующие дни и тепловую инерцию ограждающей конструкции. Продолжительность измерений в натуральных условиях эксплуатации должна составлять не менее 15 сут.

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений

Воздухопроницаемость

Контроль воздухопроницаемости ограждающих конструкций необходим для обеспечения правильного воздухообмена и энергоэффективности здания. Дефекты воздухопроницаемости являются основной причиной образования конденсата внутри и на поверхностях ограждающих конструкций.

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений

Воздухопроницаемость

Аэродверь – представляет собой комплект оборудования, используемого для проведения важного теста на воздухопроницаемость конструкций. При применении аэродвери удастся создать благоприятные условия для выполнения предстоящего тепловизионного обследования здания, сооружения. В систему аэродвери входит мощный измерительный вентилятор, к которому подсоединены датчики разного назначения, а также двухканальный высокочастотный манометр, оснащенный специальным программным обеспечением, с помощью которого проводится запись и анализ информации полученной в реальном времени.

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений

Воздухопроницаемость

Сущность метода заключается в том, что в испытываемое помещение нагнетают или отсасывают из него воздух и после установления стационарного воздушного потока через вентилятор при фиксированном перепаде давления между испытываемым помещением и наружной средой измеряют расход воздуха через вентилятор и приравнивают его к расходу воздуха, фильтрующегося через ограждения, ограничивающие испытываемое помещение. По результатам измерений вычисляют обобщенные характеристики воздухопроницаемости ограждений испытываемого помещения.

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений

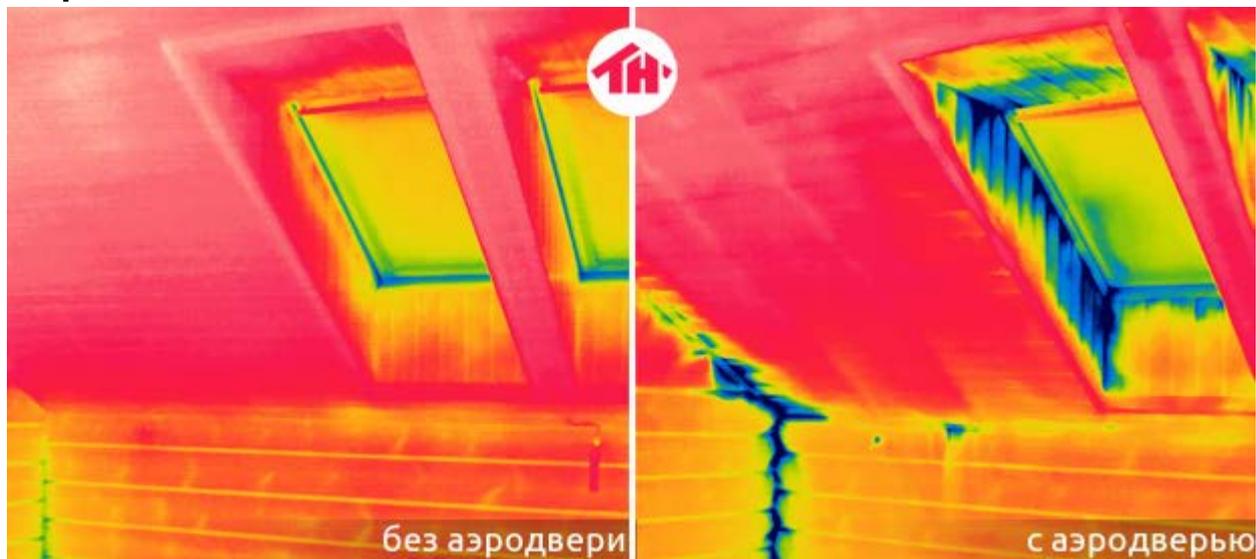
Воздухопроницаемость



Внутренняя тепловизионная съемка в помещении на первом этаже. Перепад давлений в естественных условиях (из-за тяги и ветра, без аэродвери) составляет 7 Па. Такого перепада давлений достаточно для выявления слабых мест с фильтрацией воздуха. На термограмме, снятой при понижении давления аэродверью на 35 Па, новых мест фильтрации не проявляется.

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений

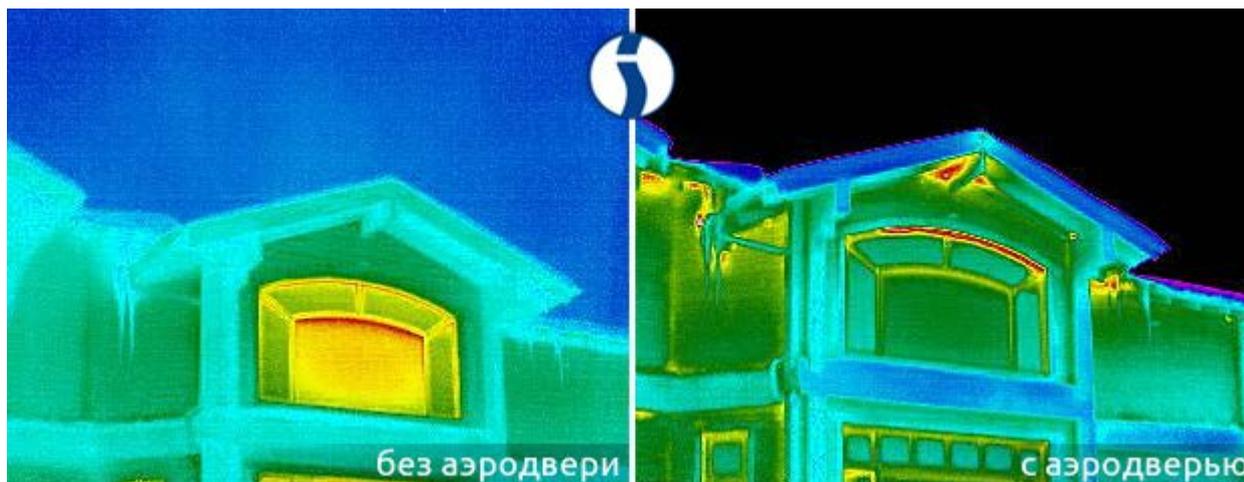
Воздухопроницаемость



Существующий в естественных условиях перепад давлений не позволяет обнаружить щели без использования аэродвери. При создании в помещении разряжения 35 Па с помощью аэродвери на термограмме четко проявляются все проблемные участки.

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений

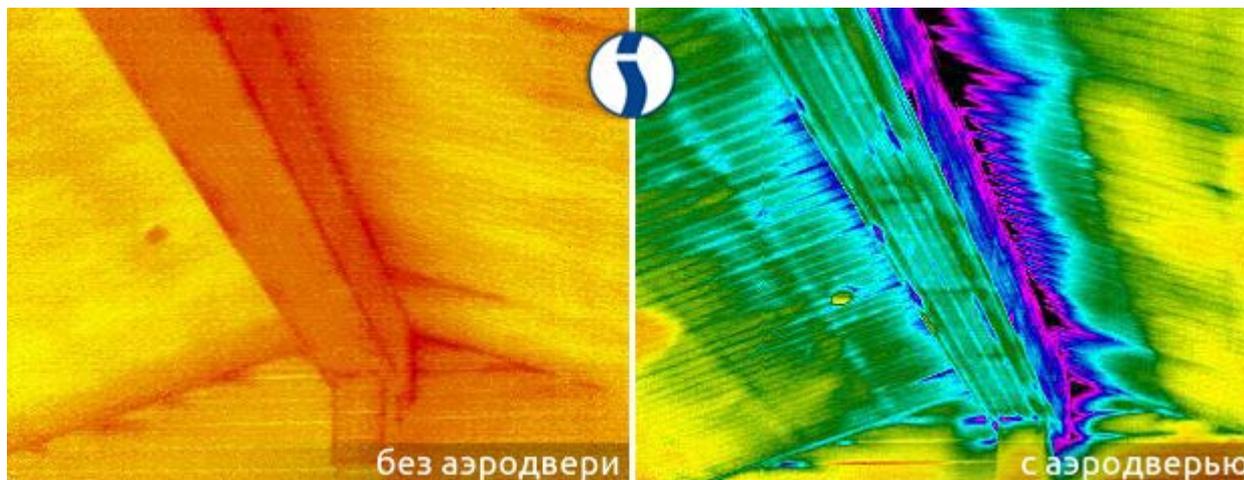
Воздухопроницаемость



Существующий в естественных условиях перепад давлений не позволяет обнаружить щели без использования аэродвери. При создании в помещении разряжения 35 Па с помощью аэродвери на термограмме четко проявляются все проблемные участки.

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений

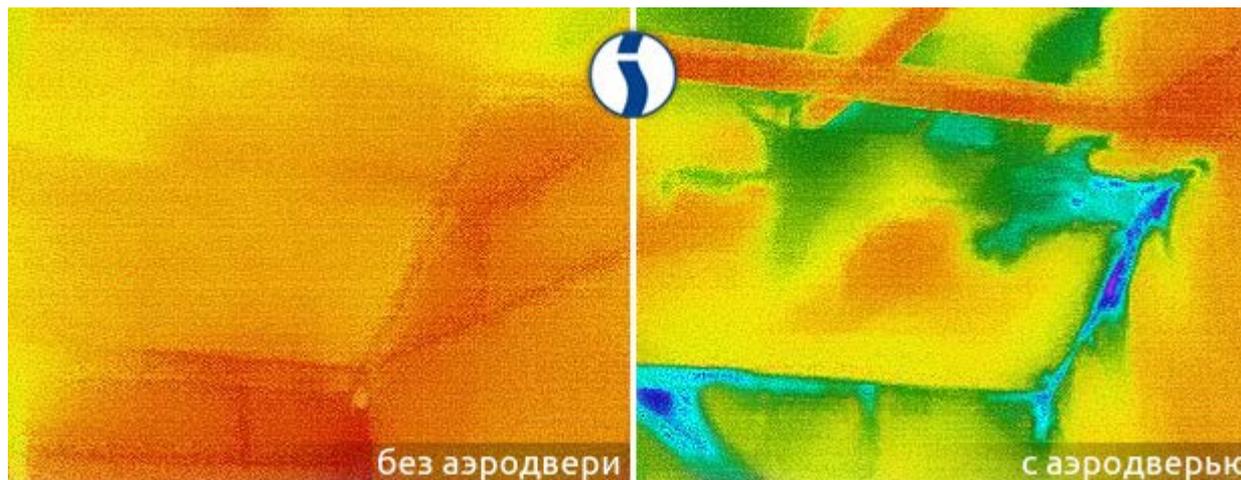
Воздухопроницаемость



Скатная кровля этого дома полностью под снегом, наружный тепловизионный контроль невозможен. Контроль возможен только по внутренней поверхности. Даже при перепаде температур между внутренним и наружным воздухом около 40°C внутренняя тепловизионная съемка не показывает проблем с кровлей. Для проверки конструкций необходимо создать условия для притока наружного холодного воздуха через возможные нарушения герметичности. Эта задача решена совместным использованием тепловизора и аэродвери, теперь на внутренних термограммах можно выявить все типы нарушений тепловой защиты.

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений

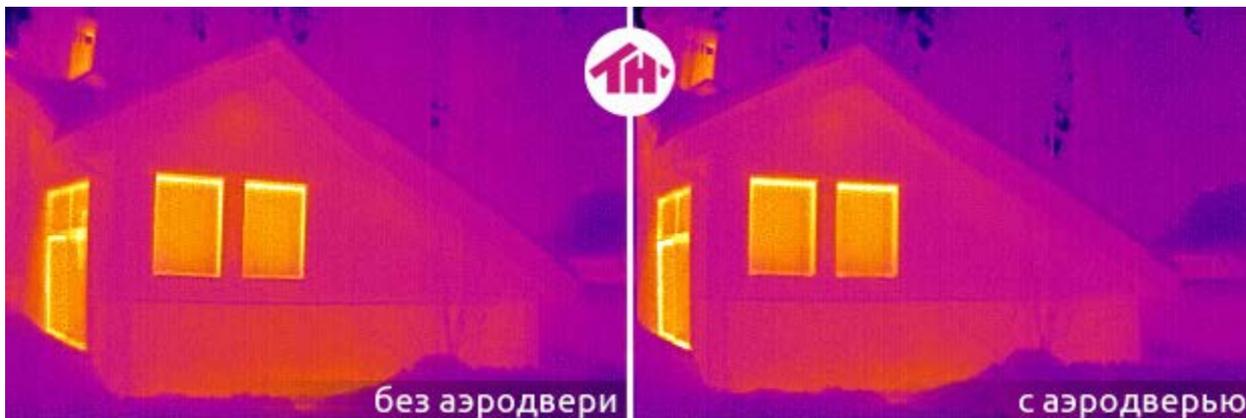
Воздухопроницаемость



Почти всегда в верхней части здания создается избыточное давление, которое мешает обнаружению дефектов по результатам внутренней тепловизионной съемки. наружное обследование часто также не дает результатов, из-за наличия снежного покрова, меньших перепадов температуры, наличия вентилируемой прослойки, большой дальности от тепловизора до объекта и др. Тепловизионное обследование этого дома не показало бы никаких проблем с воздушным барьером в кровле, если бы не использование стенда для контроля воздухопроницаемости

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений

Воздухопроницаемость



Наружная тепловизионная съемка этого фасада проведена в двух режимах: в естественных условиях эксплуатации и при нагнетании воздуха в помещения (создание избыточного давления 50 Па). Так как при использовании аэродвери изменений на термограмме не произошло, можно сделать вывод о качественном исполнении герметизации конструкций и их примыканий.

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений

Воздухопроницаемость



Температурная аномалия на термограммах этого участка стены одинаково проявляется как без использования аэродвери, так и при создании в помещении разряжения. Это позволяет точно сделать вывод, что в этом месте нет фильтрации воздуха, аномалия связана с повышенной теплопроводностью конструкции и должна быть проверена по санитарно-гигиеническому показателю теплозащиты (по точке росы).

Методики инструментального контроля конструкций оболочки здания. Инструменты и техника измерений. Признаки дефектов и повреждений

Воздухопроницаемость

Правила безопасности при проведении испытаний на воздухопроницаемость зданий с помощью аэродверей:

- ✓ Надежное крепление вентилятора и дверной панели
- ✓ Недопускать захлопывание дверей
- ✓ До проведения испытаний следует проверить надежность крепления стекол в оконных переплетах от выдавливания при изменении давления внутри помещений во время испытаний.
- ✓ проверить надежность крепления подшивных или подвесных потолков и других конструкций, которые могут быть повреждены при изменении давления внутри помещений.
- ✓ При опасности повреждения пленок воздушного барьера стен или кровли (пароизоляция или ветрозащита) программа испытаний может быть ограничена как по направлению испытаний (только нагнетание или только понижение давления), так и по максимальным перепадам давления между помещением и окружающей средой.
- ✓ Установка вентилятора аэродвери, любые подключения и техническое обслуживание должны производиться только при отключенном питании.



Повышение энергетической эффективности жилых зданий в Республике Беларусь

Спасибо за внимание !!!!

Андрей Федорович МОЛОЧКО
*национальный консультант проекта,
РУП «БелТЭИ», Беларусь*