

## **МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ ТЕПЛОЗАЩИТЫ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ**

*А.Х. Байбурин, А.Е. Русанов*

Статья посвящена анализу современных методов определения уровня теплозащиты наружных ограждающих конструкций. Показаны характерные особенности способов оценки уровня теплозащиты. Приведено сравнение двух подходов к определению приведенного сопротивления теплопередаче.

Согласно ГОСТ Р 51387-99 [1] повышение энергетической эффективности зданий может быть реализовано в результате: разработки проектов, предусматривающих возможно большее энергосбережение по сравнению с нормативными требованиями; повышение уровня качества строительно-монтажных работ; обязательный контроль реальных теплозащитных характеристик строящихся, эксплуатируемых и реконструируемых зданий.

Большинство современных ограждающих конструкций, в том числе и навесные фасадные системы с воздушным зазором, характеризуются теплотехнической неоднородностью, которая зависит как от конструктивных особенностей, так и от дефектов строительных работ.

Существующими в настоящее время методами исследования теплозащиты неоднородных ограждающих конструкций являются: теоретические исследования (замена физического процесса математической моделью) и экспериментальные исследования (измерение величин исследуемого физического процесса).

Для реализации теоретических исследований применяются аналитический метод и использование численных методов. Аналитический подход подразумевает решение уравнений, описывающих процесс теплопередачи. Используется в тех случаях, когда допускается пренебречь нестационарностью процессов теплообмена. Применим только к линейным уравнениям. Численные методы учитывают нестационарность и нелинейность изучаемых процессов в многомерных задачах, что приводит к усложнению математических моделей. При реализации численных методов определяются значения температур в узлах конечных элементов, на которые разбивается исследуемый объект. Для практической реализации численных методов в настоящее время существуют следующие программные продукты: Tempreg-3D, THERM, ELCUT и т.п. Анализ температурных полей численными методами имеет следующие преимущества: имитирование реальных условий процесса теплопередачи; высокая скорость расчета; малые трудозатраты.

Экспериментальные исследования уровня теплозащиты ограждающих конструкций предназначены для: количественной оценки фактических теплотехнических характеристик ограждающих конструкций зданий; контроля соответствия требованиям строительных норм; фактического определения тепловых потерь через наружные ограждающие конструкции. Экспериментальные исследования реализуются проведением лабораторных и натурных испытаний в соответствии с требованиями ГОСТ 26254-84 [2] ГОСТ Р 54853-2011 [3]. Использование тепловизионной техники необходимо для бесконтактного термографирования поверхности объекта с последующим качественным анализом температурного поля и определения границ изотермических поверхностей.

На применение указанных нормативных методик налагаются условия обеспечения достоверности результатов исследования:

1) обеспечение стационарных условий протекания процесса теплопередачи в ограждающих конструкциях, то есть постоянство или слабое изменение температуры по обе стороны ограждающей конструкции в течении длительного промежутка времени;

2) обеспечение возможно большего значения температурного напора для минимизации погрешностей при последующем расчете приведенного сопротивления теплопередаче.

Условие стационарности может быть смоделировано только при проведении лабораторных испытаний фрагментов ограждающих конструкций в климатических камерах, поскольку в натуральных условиях стационарный режим недостижим из-за суточных колебаний климатического фона.

Характерные особенности проведения лабораторных испытаний: требуют значительных затрат на приобретение оборудования; различие по качеству возведения и характеристик материалов и, следовательно, различие теплозащитных характеристик между исследуемым в лабораторных условиях фрагментом ограждающей конструкции и фрагментом, входящим в состав ограждающей конструкции реального объекта.

Для моделирования влияния различных теплопроводных включений и дефектов строительных работ рациональнее использовать численные методы решения с помощью компьютерного имитационного моделирования.

Не смотря на преимущества применения программных продуктов, в настоящее время отсутствует методика оценки достоверности получаемых с их помощью результатов.

Для проверки адекватности применения компьютерного имитационного моделирования для оценки влияния дефектов строительных работ на уровень теплозащиты наружных ограждающих конструкций были реализованы: лабораторные испытания влияния отдельных дефектов строительных работ при устройстве НФС на теплозащиту фрагмента конструкции; компьютерное моделирование влияния дефектов на теплозащиту имитационного фрагмента с использованием программы «ELCUT»; анализ результатов исследований.

Объектом лабораторного испытания являлся фрагмент многослойной ограждающей конструкции с устройством НФС. Размеры фрагмента: высота – 1275 мм., ширина – 1255 мм., толщина – 300 мм. Полезная площадь – 1 м<sup>2</sup>. Значения коэффициентов теплопроводности используемых материалов определялись в условиях проведения испытаний. Моделирование влияния на теплозащитные свойства фрагмента рассмотрено на примере отдельных характерных дефектов строительных работ при устройстве НФС: отслоение плит утеплителя от основания, стык плит утеплителя, стык кронштейна для крепления направляющих с плитами утеплителя.

Методика проведения лабораторных испытаний включала в себя следующие этапы: установка фрагмента ограждающей конструкции с заданными характеристиками на границе «теплого» и «холодного» отсеков климатической камеры; установка предварительной температурной нагрузки на объект для регистрации температурного поля поверхности фрагмента; анализ термограммы с целью определения площадей изотермических участков; установка в изотермические зоны температурных датчиков и датчиков теплового потока; установка по обе стороны фрагмента необходимого температурного режима; регистрация значений исследуемых параметров; вычисление значения приведенного сопротивления теплопередаче.

Оценка влияния дефектов теплозащиты при моделировании процесса теплообмена в программе «ELCUT» осуществлялось в следующей последовательности: подготовка исходных данных; построение геометрической схемы; назначение теплофизических характеристик слоев конструкции; назначение граничных условий; формирование сетки конечных элементов; расчет температурного поля и мощности теплового потока; визуализация расчета; расчет приведенного сопротивления теплопередаче по полученным данным; сравнение вычисленного значения приведенного сопротивления теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции с учетом влияния дефекта с приведенным сопротивлением теплопередаче аналогичного фрагмента, но без учета влияния дефекта.

Компьютерное моделирование фрагмента ограждающей конструкции осуществлялось при обязательном соблюдении следующих условий: геометрические размеры тождественны размерам фрагмента, исследуемого в лабораторном эксперименте; физико-технические характеристики принимаются аналогичными характеристикам исследуемого в лабораторном эксперименте фрагмента; граничные условия для моделируемого фрагмента принимаются аналогичными граничным условиям, при которых определялось приведенное сопротивление теплопередаче в проводимых лабораторных испытаниях.

При реализации лабораторных испытаний и компьютерного моделирования в программе «ELCUT» влияния отдельных характерных дефектов строительных работ (рис.) были получены обобщенные результаты определения уровня теплозащиты  $1 \text{ м}^2$  фрагмента наружной ограждающей конструкции (табл. 1).

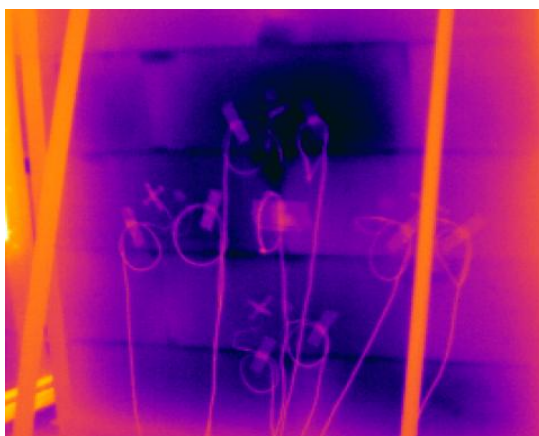
Таблица 1

Обобщенные результаты при оценке влияния отдельных дефектов

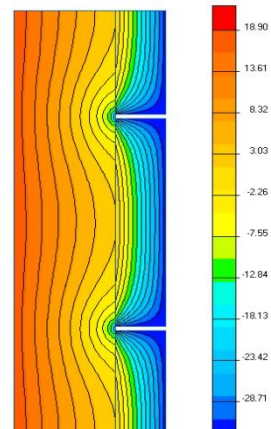
Объект исследования	$R_o^{np} \text{ эксп.}$ ( $\text{м}^2 \cdot \text{°C}$ )/Вт	$R_o^{np} \text{ ELCUT}$ , ( $\text{м}^2 \cdot \text{°C}$ )/Вт	Расхождение, %
Фрагмент + отслоение плит утеплителя от основания ( $t = 10 \text{ мм}$ )	1,56	1,58	1,3
Фрагмент + зазор в стыке плит утеплителя ( $t = 10 \text{ мм}$ )	2,26	2,41	6,64
Фрагмент + зазор в стыке кронштейна с плитами утеплителя ( $t = 15 \text{ мм}$ )	3,08	3,10	0,65



а)



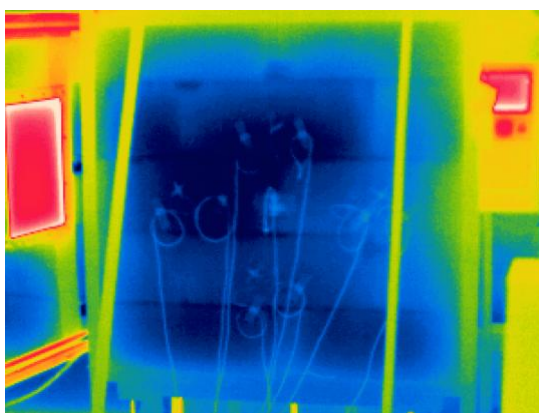
б)  
1а)



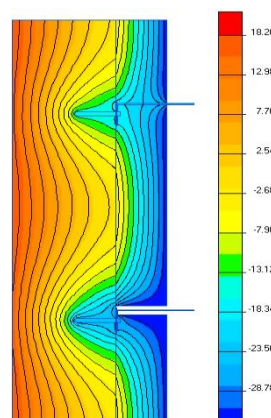
в)



а)



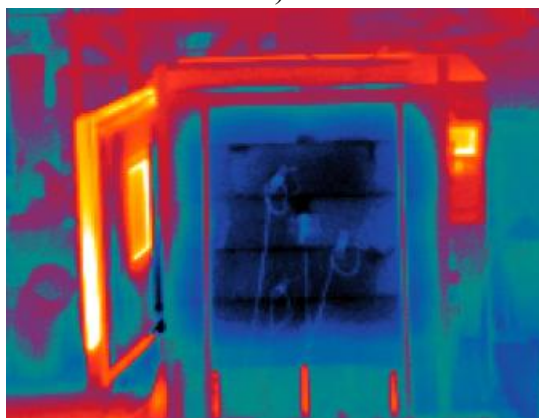
б)  
1б)



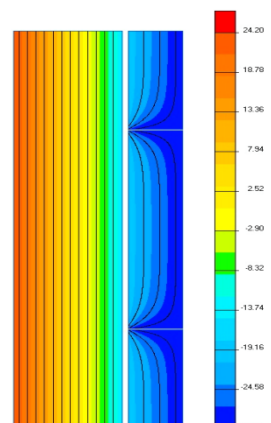
в)



а)



б)  
1в)



в)

Дефекты устройства наружной теплоизоляции:  
1а) зазор в стыке плит утеплителя; 1б) зазор в стыке плит утеплителя  
и кронштейна; 1в) отслоение плит утеплителя от основания;  
а) фрагмент ограждающей конструкции; в) термограмма фрагмента;  
г) температурное поле сечения фрагмента

## Выводы

- 1) достоверное согласование результатов подтверждает адекватность оценки влияния дефектов на уровень теплозащиты с помощью компьютерного моделирования;
- 2) определено количественное влияние дефектов. Наиболее существенное влияние на величину приведенного сопротивления теплопередаче оказал отслоение плит утеплителя от основания (– 114,6 %); влияние зазора в стыке плит утеплителя составило (– 20,3 %); влияние зазора в стыке кроштейна с плитами утеплителя составило (– 3,0 %).

## Библиографический список

1. ГОСТ Р 51387-99. Энергосбережение. Нормативно-методическое обеспечение. Основные положения. – М.: Госстандарт РФ, 1999;
2. ГОСТ 26254-84. Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. Введ. постановлением Государственного комитета СССР по делам строительства от 02.08.1984 г. № 127. – М.: Изд-во стандартов, 1994;
3. ГОСТ Р 54853-2011. Здания и сооружения. Метод определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций с помощью тепломера. – М.: Стандартинформ, 2012.