

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЕФЕКТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ НА ТЕПЛОЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА ФРАГМЕНТА ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ С УСТРОЙСТВОМ НАВЕСНОЙ ФАСАДНОЙ СИСТЕМЫ

А.Е. Русанов

Исследовано влияние дефектов строительных работ на теплозащитные свойства фрагмента ограждающей конструкции в лабораторных условиях с помощью климатической камеры. Приведено сравнение результатов лабораторных испытаний с результатами математического моделирования процесса теплопередачи на ЭВМ.

Ключевые слова: приведенное сопротивление теплопередаче, математическое моделирование теплопередачи, наружные ограждающие конструкции.

Значительные тепловые потери происходят через наружные стеновые ограждающие конструкции. Основная причина – пониженное значение их сопротивления теплопередаче, на которое влияют ошибки проектирования, ошибки и нарушения технологии при строительстве, неправильный режим эксплуатации ограждающих конструкций.

Основной характеристикой теплозащиты ограждающей конструкции является приведенное сопротивление теплопередаче (ПСТ), для непосредственного измерения которой разработаны ГОСТ 26254-84 [1], ГОСТ Р 54853-2011 [2], в основе которых заложено усреднение измеряемых в течении определенного промежутка времени величин теплового потока, температуры наружного воздуха, температуры внутреннего воздуха, температуры поверхностей. Использование тепловизионной техники необходимо для визуального представления распределения температур по поверхности (качественная оценка), а значение теплового потока и температур измеряют с помощью датчиков теплового потока и температуры соответственно (количественная оценка). Тем не менее на применение [1, 2] налагаются определенные условия обеспечения достоверности использования методик практического определения ПСТ:

1) обеспечение стационарного процесса теплопередачи через испытываемую конструкцию – неизменяемость или слабая изменяемость температуры по обе стороны ограждающей конструкции в течении длительного промежутка времени;

2) обеспечение широкого диапазона температур по обе стороны ограждающей конструкции для соблюдения минимальных погрешностей при последующем расчете ПСТ.

Данные требования обусловлены тем, что в реальных условиях колебания температур в течение суток значительны, что делает процесс теплопередачи нестационарным, а методику ГОСТ 26254-82 [1] и основанную на ней методику ГОСТ Р 54853-2011 [2] неприменимыми. Методики применимы только

при обеспечении минимальных погрешностей измерений в лабораторных условиях, а в натуральных – при обязательном соблюдении указанных выше требований. Одним из условий обеспечения минимальных погрешностей измерений является учет тепловой инерции исследуемой конструкции.

Смысл ПСТ заключается в том, что теплотехнически неоднородная конструкция приводится к тождественной по площади условной однородной конструкции при том, что потери тепла через обе конструкции одинаковы.

Важность правильного определения приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции определяется тем, что данная характеристика вносится в энергетический паспорт и непосредственно фигурирует в расчете удельного энергопотребления здания.

В настоящее время для количественной оценки уровня теплозащиты ограждающей конструкции – значения ПСТ – предусмотрены следующие способы: натурные испытания; лабораторные испытания; математическое моделирование процесса теплопередачи с помощью ЭВМ.

Для точной оценки уровня теплозащиты ограждающих конструкций необходимо учитывать влияние дефектов строительных работ и различных теплопроводных включений. Под дефектом в данном случае будем понимать любое отклонение от технологии строительства, ведущее к дополнительным тепловым потерям, и не учтенное в проекте. Необходима методика моделирования влияния дефектов, обеспечивающая достаточную для последующего применения достоверность определения ПСТ ограждающих конструкций. Для этого, согласно ГОСТ 26254-84 [1] необходимо производить лабораторные испытания с применением климатических камер: исследуемый ФОК (фрагмент ограждающей конструкции) устанавливается между «холодным» и «теплым» отсеками камеры, после чего задаются необходимые температурные режимы.

Возможно также моделирование влияния различных теплопроводных включений и дефектов строительных работ – анализ температурных полей численными методами математического моделирования с помощью ЭВМ и последующим расчетом ПСТ. Наиболее распространенной и положительно себя зарекомендовавшей является программа моделирования двумерных температурных полей – ELCUT версии 5.10.1 [3]. Выбор двумерной программы связан с наглядностью и удобством задания теплофизических характеристик составляющих конструкции и их геометрии.

Анализ температурных полей численными методами математического моделирования имеет следующие преимущества: имитирование реальных условий процесса теплопередачи, высокая скорость расчета, высокая точность расчета. Тем не менее для проверки достоверности результатов математического моделирования с помощью ЭВМ необходимо сравнение с лабораторными испытаниями, проводимыми в соответствии с нормативно-установленной методикой, аналогичных по конструктиву и температурным режимам конструкций.

В работе приведен анализ результатов лабораторных испытаний и результатов математического моделирования на ЭВМ.

Испытание дефектов для фрагмента ограждающей конструкции (ФОК) было реализовано в лабораторных условиях 8.07.2013 – 22.07.2013, что позволило обеспечить контроль за установленным температурным режимом и имитацию реального уровня качества монтажа ФОК. Испытания прово-

дились в аттестованной научно-исследовательской лаборатории УНЦ «Строительство» ФГБОУ ВПО ЮУрГУ (НИУ), имеющей свидетельство № 424 о состоянии измерений в лаборатории, выданное ФБУ «Челябинский ЦСМ» и действующее до 05.07.2016 г. Испытания проводились в соответствии с ГОСТ 26254-84 [1].

Для определения теплофизических величин испытываемых фрагментов была использована специально-изготовленная приборно-испытательная установка, состоящая из передвижного стэнда (рис. 1), климатической камеры (рис. 2), комплекта приборного оборудования.

Конструкция передвижного стэнда позволяла многократно и оперативно изменять конструктивные особенности ФОК – моделировать *i*-й дефект – и перемещать до 1 м от климатической камеры для подготовительных работ. После подготовки ФОК для проведения испытаний, передвижной стэнд со смонтированным на нем ФОК подвигался к климатической камере до плотного примыкания через теплоизолирующие элементы.

Климатическая камера MNU-800CLSA с полезным объемом 0,8 м³ применялась для создания по обе стороны исследуемого ФОК «теплого» и «холодного» отсеков с автоматическим поддержанием температуры на заданном уровне. В качестве «теплого» отсека климатической камеры выступало помещение проведения испытаний, где температура воздуха практически постоянная, из-за условий эксплуатации. Таким образом, процесс теплопередачи через исследуемые фрагменты можно было считать стационарным.



Рис. 1. Передвижной стэнд



Рис. 2. Климатическая камера

Технология и организация строительного производства

Комплект приборного оборудования включал в себя:

- 10-канальный прибор ИТП-МГ4.03-10 «Поток» для измерения и регистрации температур и плотности тепловых потоков для каждого испытания продолжительностью не менее 1 сут с интервалом 30 мин (рис. 3);
- тепловизор FLIR E60 с матрицей 320×240 пикселей для термографирования поверхности исследуемого ФОК;
- термогигрометр ТГЦ-МГ4 для измерения параметров микроклимата в «холодном» отсеке климатической камеры;
- термогигрометр ТЕМП-3.2 для измерения параметров микроклимата в «теплом» отсеке климатической камеры;



Рис. 3. Проведение испытаний

- анемометр-термометр цифровой ИСП-МГ4.01 для измерения средней скорости воздушного потока;
- измеритель теплопроводности ИСП-МГ4 «ЗОНД» для измерения коэффициента теплопроводности материала.

Объектами лабораторного исследования являлись фрагмент многослойной ограждающей конструкции с устройством НФС. Размеры фрагмента: высота – 1275 мм, ширина – 1255 мм, толщина – 300 мм. Толщина фрагмента определялась из условия соблюдения поэлементных требований СНиП 23-02-2003 [4] для условий г. Челябинска. В качестве несущего слоя использовалась кладка из пазогребневых газобетонных блоков маркой D500 размером 200×250×625 мм. Вертикальные и горизонтальные швы кладки выполнены на клею Ceresit СТ 21 толщиной 5 мм. Моделирование влияния на теплозащиту фрагмента рассмотрено на примере характерного дефекта СМР при устройстве НФС: дефект стыка плит утеплителя (2 стыка

шириной 10 мм), дефект стыка плит утеплителя и кронштейна для крепления направляющих (ширина стыка 15 мм). Характеристики исследуемых фрагментов представлены в табл. 1.

Предусматривалось определение свойств используемых материалов. Исследования свойств газобетона проводились в соответствии с ГОСТ 12730.2-78 «Бетоны. Метод определения влажности» [5]. Исследование свойств используемых теплоизоляционных материалов проводилось в соответствии с ГОСТ 17177-94 «Материалы строительные теплоизоляционные. Методы испытаний» [6]. Коэффициенты теплопроводности используемых материалов определялись согласно ГОСТ 30256-94 «Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности цилиндрическим зон-

дом» [7]. Физико-технические характеристики материалов при проведении лабораторных испытаний представлены в табл. 2.

Экспериментальные значения коэффициентов теплопроводности показывают хорошую сходимость с расчетными значениями. Для последующих расчетов приняты экспериментальные значения.

Согласно паспорту на прибор ИТП-МГ4.03-10 «Поток» основная относительная погрешность при измерении плотности теплового потока $\pm 6\%$, основная абсолютная погрешность при измерении температуры $\pm 0,2\text{ }^\circ\text{C}$. Согласно требованию ГОСТ 26254-84 [1] суммарная относительная погрешность определения сопротивления теплопередаче не должна превышать 15%. Для того чтобы относительная погрешность измерения сопротивления теплопередаче была $\leq 5\%$, согласно Приложению 3 [1] были определены диапазоны температур воздуха «холодного» отсека для каждого исследуемого фрагмента ограждающей конструкции (табл. 3).

Таблица 1

Физико-технические расчетные характеристики
исследуемых фрагментов наружных стен с устройством НФС

№	Конструкционные слои	Состав	Коэффициент теплопроводности λ_A , Вт/(м·°С)
1	Несущий слой (толщина 200 мм)	Автоклавный газоблок марки D500 200×250×625 мм	0,18
		Клей Ceresit СТ 21	0,7
2	Слой утеплителя (минераловатные плиты, толщина 100 мм)	Лайнрок Венти Оптимал $\rho_0 = 80 \div 100$ кг/м ³ 1000×500×100 мм	0,042
3	Крепление плит утеплителя	Тарельчатые дюбели с металлическим гвоздем Mungo MDD-S 160×8 мм	58
4	Крепление направляющих для устройства НФС (оцинкованная сталь)	Кронштейн КР «Альтернатива» 150×50×50 мм	58
		Дюбель фасадный с шурупом MBK-STB 10×100/50	58

Таблица 2

Физико-технические характеристики материалов
при проведении лабораторных испытаний фрагментов наружных стен

№	Наименование	$\rho_{\text{эксп}}$, кг/м ³	ω_B , %	$\lambda_{\text{эксп}}$ Вт/(м·°С)
1	Газоблок D500	550	8,1	0,181
2	Лайнрок Венти Оптимал	78	0,63	0,037

Таблица 3

Условия проведения лабораторных испытаний

Наименование	Диапазон t , °С	Стандартное отклонение, δ , Вт/(м ² ·°С)	Относительная погрешность, ε , %
ФОК с НФС	-39,0...-30,0	0,157	4,64

Дополнительно погрешность определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций определяется согласно формуле

$$\Delta = \sqrt{(\Delta_t)^2 + (\Delta_q)^2 + (\Delta_m)^2},$$

где Δ – суммарная относительная погрешность определения сопротивления теплопередаче, %; Δ_t – относительная погрешность при измерении температуры, %; Δ_q – относительная погрешность при измерении плотности теплового потока, %; Δ_m – относительная методическая погрешность, %.

Согласно паспорту прибора ИТП-МГ4.03-10 «Поток», основная относительная погрешность при измерении температуры – составляет не более 1 %; при измерении плотности тепловых потоков – не более 6 %. Согласно МДС 23-1.2007 [8], относительная методическая погрешность – не более 3 %. Таким образом, суммарная относительная погрешность определения сопротивления теплопередаче не превышает 6,8 %. Требования ГОСТ 26254-84 [1] соблюдены.

Продолжительность лабораторного исследования влияния каждого дефекта соответствовала

требованиям ГОСТ 26254-84 [1] по тепловой инерции ФОК и составило 7 сут.

Математическое моделирование в ПК «ELCUT» ФОК осуществлялось при обязательном соблюдении следующих условий:

- геометрические размеры тождественны размерам исследуемого в лабораторном эксперименте фрагмента;
- физико-технические характеристики принимаются аналогичными характеристикам исследуемого фрагмента в лабораторном эксперименте;
- граничные условия для моделируемого фрагмента принимаются аналогичными условиям, при которых определялось приведенное сопротивление теплопередаче в проведенных согласно требованиям ГОСТ 26254-84 [1] лабораторных испытаниях.

Результаты определения ПСТ согласно данным, полученным в лабораторных испытаниях и при моделировании в программе «ELCUT» (табл. 4).

Анализ результатов показывает их достоверное согласование.

По результатам проведенного исследования сформулированы следующие выводы:

Результаты определения приведенного сопротивления теплопередаче согласно данным, полученным в лабораторных испытаниях и при моделировании в программе «ELCUT»

Наименование	$R_{o, \text{эксп}}^{\text{пр}}$, Вт/(м ² ·°С)	$R_{o, \text{ELCUT}}^{\text{пр}}$, Вт/(м ² ·°С)	Расхождение, %
ФОК + 8 дюбелей	3,24	3,38	4,64
ФОК + 8 дюбелей + дефект стыка плит утеплителя (2 стыка по 10 мм)	2,26	2,40	6,20
ФОК + 6 дюбелей + 1 кронштейн без стыка + 1 кронштейн с дефектом стыка с плитой утеплителя (1 стык 15 мм)	3,08	2,89	6,60

1) проведенное испытание метода оценки влияния дефектов строительных работ на теплозащиту с помощью математического моделирования, подтвержденного результатами лабораторного эксперимента, говорит о его достоверности и возможности применения в дальнейших исследованиях;

2) выявлена зависимость прогноза теплозащитных свойств ограждающих конструкций от качества монтажных работ;

3) определено количественное влияние наиболее характерных дефектов строительных работ ограждающих конструкций с устройством НФС;

4) показана важность оценки качества выполнения строительных работ по параметрам энергоэффективности.

Литература

1. ГОСТ 26254-84 «Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций».

2. ГОСТ Р 54853-2011 «Здания и сооружения. Метод определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций с помощью тепломера».

3. ELCUT. Моделирование двумерных полей методом конечных элементов. Версия 5.10: рук. пользователя / ООО «ТОР». – СПб., 2012. – 356 с.

4. СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий».

5. ГОСТ 12730.2-78 «Бетоны. Метод определения влажности».

6. ГОСТ 17177-94 «Материалы строительные теплоизоляционные. Методы испытаний».

7. ГОСТ 30256-94 «Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности цилиндрическим зондом».

8. МДС 23-1.2007 «Методические рекомендации по комплексному теплотехническому обследованию наружных ограждающих конструкций с применением тепловизионной техники».

Русанов Алексей Евгеньевич, аспирант кафедры «Технология строительного производства», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск. Тел.: (351) 267-91-83; 2679183@mail.ru.

**Bulletin of the South Ural State University
Series "Construction Engineering and Architecture"
2013, vol. 13, no. 2, pp. 38–42**

RESEARCH OF INFLUENCE OF CIVIL ENGINEERING WORK DEFECTS ON HEAT-SHIELDING PROPERTIES OF EXTERNAL PROTECTING DESIGNS ON THE EXAMPLE OF CURTAIN WALL SYSTEMS

A.E. Rusanov, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, 2679183@mail.ru

The article is devoted to research of influence of civil engineering work defects on heat-shielding properties of a fragment of a protecting design in laboratory with the climatic chamber. Comparison of the results of laboratory research with the results of mathematical modeling of heat transfer process is given in the computer.

Keywords: the specified resistance to heat transfer, mathematical modeling of heat transfer, external protecting designs.

Поступила в редакцию 17 сентября 2013 г.