

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ  
ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-  
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

---

Кафедра «Архитектура»

ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ  
по теме: «Исследование тепловых характеристик сверхтонкой теплоизоляции  
"Корунд®"»

Волгоград 2011

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ  
ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-  
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Архитектура»

Утверждаю

Проректор по научной работе

ВолгГАСУ

к.т.н., проф. А.Н. Богомолов



2011 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

по теме: «Исследование тепловых характеристик сверхтонкой теплоизоляции  
"Корунд®"»

Договор № 407/09 от 15.10.2009 г.

Начальник Управления НИР  
ВолгГАСУ, к.т.н., доцент

В.И. Воробьев

Руководитель НИР  
д.т.н., профессор

А.Г. Перехоженцев

Волгоград 2011

## **Ответственные исполнители:**

д.т.н., проф. Перехоженцев А.Г.

инж. Жуков А.Н.

зав.лаб. стр.физики  
инж. Лисицын С.А.

## **СОДЕРЖАНИЕ**

Введение.

1. Предварительное испытание покрытия Корунд® при нагреве.
2. Сравнительное лабораторное испытание теплоотдачи трубопроводов.
3. Исследование теплозащитных свойств покрытия "Корунд®" в натуральных условиях.
4. Исследование температурного режима стеновых керамзитобетонных панелей с покрытием "Корунд®-Фасад".
5. Заключение.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на российском рынке строительных материалов появляется огромное количество новых жидких сверхтонких теплоизоляционных материалов. Жидкий утеплитель представляет собой суспензию на основе структурированных акриловых полимеров. Наполнителем и теплоизолирующей составляющей в них являются мельчайшие стеклянные и керамические капсулы, внутри которых находится вакуум (или инертный газ).

Целью настоящей работы является исследование теплозащитных свойств, а именно коэффициента теплопроводности одной из широко применяемых на практике жидкой теплоизоляционной композиции торговой марки «Корунд®».

Главным уникальным теплоизоляционным свойством данного жидкого утеплителя (по заявлению производителей) является значение коэффициента теплопроводности  $\lambda=0,0012$  Вт/(м·°С).

**Жидкие керамические теплоизоляционные покрытия серии Корунд®** состоят из высококачественного акрилового связующего, оригинальной разработанной композиции катализаторов и фиксаторов, керамических сверхтонкостенных микросфер с разряженным воздухом. Корунд®, представляя собой многокомпонентную смесь, характеризуется прежде всего природой и видом полимерного связующего. И особое значение имеет выбор водорастворимого полимера, что позволяет не использовать токсичные растворители, что в свою очередь повышает экологичность и пожаробезопасность покрытия. Наиболее перспективным является полимерные связующие на основе синтетических латексов. Помимо основного состава в материал вводятся специальные добавки, которые исключают появление коррозии на поверхности металла и образование грибка в условиях повышенной влажности на бетонных поверхностях. Эта комбинация делает материал легким, гибким, растяжимым, обладающим отличной адгезией к покрываемым поверхностям. Материал по консистенции напоминающий обычную краску, является суспензией белого цвета, которую можно наносить на любую поверхность. После высыхания образуется эластичное полимерное покрытие, которое обладает уникальными по сравнению с традиционными изоляторами теплоизоляционными свойствами и обеспечивает антикоррозийную защиту. Уникальность изоляционных свойств **Корунд®** - результат интенсивного молекулярного воздействия разреженного воздуха, находящегося в полых сферах. Материал **Корунд®** имеет несколько модификаций: Корунд® Классик (универсальная базовая композиция), Корунд® Антикор (специальная композиция для металла), Корунд® Зима (возможность применения и нанесения при температуре -20°С), Корунд® Фасад (для утепления отдельных элементов зданий).

Материал **Корунд®** широко применяется в различных отраслях строительства и промышленности. К примеру, антикоррозийная обработка резервуаров и емкостей, снижение температуры тепловых источников (окраска теплопроводов) и многое другое.

Особенности композиции **Корунд®** :

1. Можно наносить на металл, пластик, бетон, кирпич и другие строительные материалы, а также на оборудование, трубопроводы горячей и холодной воды, воздухопроводы и т. п.
2. Имеют прочную и стабильную адгезию к металлу, пластику, пропилену, что позволяет изолировать покрываемую поверхность от доступа воды и воздуха.
3. Покрытия обеспечивают защиту поверхности от воздействия влаги, атмосферных осадков и перепадов температуры.
4. Предохраняет поверхность от образования конденсата.

5. Наносятся на поверхность любой формы.
6. Обеспечивают постоянный доступ к осмотру изолированной поверхности без необходимости остановки производства, простоев, связанных с ремонтом, и сбоями в работе производственного оборудования.
7. Быстрая процедура нанесения покрытий.
8. Легко ремонтируются и восстанавливаются.
9. Время полного высыхания одного слоя 24 часа.

С целью исследования и проверки теплофизических свойств данного *жидкокерамического теплоизоляционного покрытия «Корунд®»* в период с октября 2009 года по апрель 2011г. были проведены следующие исследования, на основании которых были сделаны определённые выводы и рекомендации.

Для эксперимента заказчиком предоставлены жидкокерамические композиции Корунд®-Классик и Корунд®-Фасад.

# **1. Предварительное испытание теплоизоляционного покрытия «Корунд®»**

## **Цель и задача эксперимента:**

В отличие от большинства теплоизоляционных материалов жидкие керамические теплоизоляционные покрытия серии «Корунд®» работают по принципу низкой теплоотдачи с поверхности. Наиболее простым способом показать специфичность принципа действия ЖКТ Корунд® являются следующие эксперименты:

1 часть — нанести материал Корунд® на горячую металлическую пластину, с температурой +100 С, (использовать для этого специальную лабораторную плитку с возможностью точного регулирования температуры нагрева) и провести замер температуры различными приборами (различными по методу измерения и принципу действия) на поверхности теплоизоляционного покрытия Корунд.

2 часть — поместить на Корунд® различные материалы - такие как металл, акриловая краска, силиконовая краска, акриловый клей, бумага, флизелиновые обои (на универсальном клее), шпатлевка, гофрокартон, цементно-песчаная штукатурка, керамическая плитка, пенопласт толщиной 1мм. Далее при одинаковом температурном режиме (на плитке температура +100 °С) замерить температуру на поверхности данных материалов, нанесенных на покрытие Корунд®.

## **1.1 Замер температуры теплоизоляционного слоя Корунд различными приборами**

### **1.1.1 Общие данные:**

На металлическую платину толщиной 3 мм нанесено теплоизоляционное покрытие Корунд® толщиной 1 мм. Размер пластины 300x400 мм. Нанесение теплоизоляционного покрытия производилось кистью слоями по 0,3 мм с межслойной сушкой 24 часа.

Измерения проводились всеми приборами примерно в одной области сначала на непокрытой части пластины, затем аналогично всеми приборами на участке теплоизолированном жидкой теплоизоляцией Корунд®.

### **1.1.2 Используемое оборудование:**

1. Стальная пластина толщиной 3 мм, покрытая теплоизоляционным покрытием Корунд® (толщиной 2 мм);
2. Плитка нагревательная лабораторная (с точностью изменения температура до 0,1 °С);
3. Измеритель температуры Elcometer 319;
4. Термощуп Термо-5;
5. Контактный термометр ТК-04.5;
5. Пирометр;
6. ИТП МГ-4 «Поток».

### **1.1.3 Методика проведения испытаний:**

1. Подготовка металлической пластины толщиной 3 мм, с нанесенным теплоизоляционным покрытием Корунд® Классик толщиной 1,5 мм (размер пластины 30x40 см);
2. Установка на поверхность нагревательного элемента плитки стальной пластины с нанесенным покрытием Корунд®;
3. Включение нагревательного элемента лабораторной плитки;
4. Нагрев лабораторной плитки до температуры +100 °С;
5. Установка датчиков приборов на поверхность теплоизоляционного покрытия Корунд®.

6. Ожидание стабилизации показаний каждого прибора;
7. Фиксирование показаний всех используемых приборов (рис.1.1);
8. Отключение лабораторной плиты.

Результаты эксперимента занесены в таблицу 1.1.

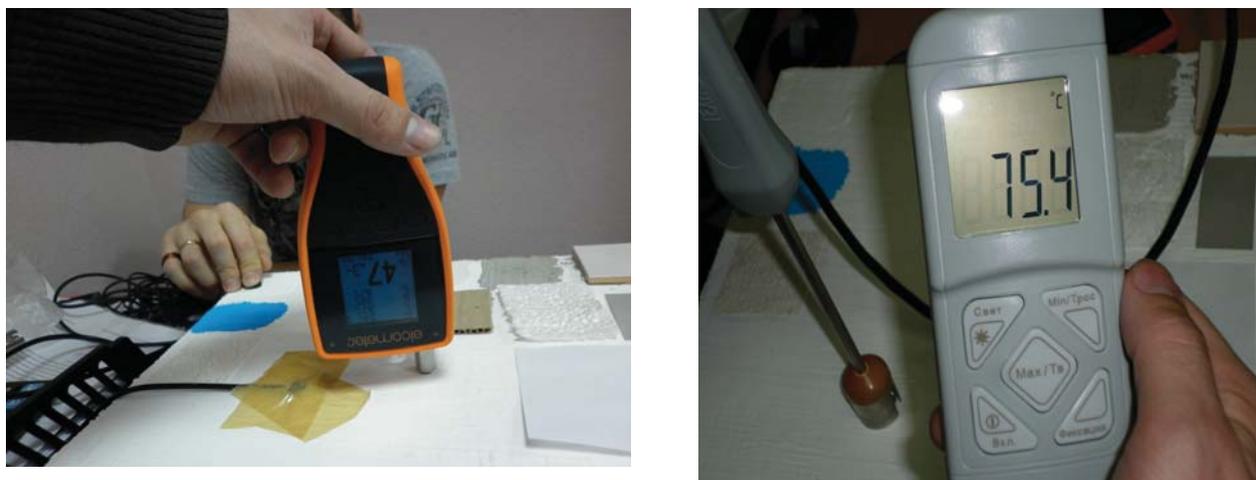


Рис. 1.1 — Замер температуры на поверхности теплоизоляционного слоя Корунд® разными приборами.

Таблица 1.1

### Результаты измерения температуры поверхности образца

Прибор	Температура на поверхности теплоизолированного участка, °С	Температура на поверхности неизолированного участка, °С
Контактный термометр ТК-04.5	75,4	100
Термощуп Термо-5	52,5	98
Elcometer 319	44,7	99 (с доп. датчиком)
Пирометр	73,6	97
ИТП МГ-4 «Поток»	65,9	100

Данный опыт наглядно показывает, что различные приборы в зависимости от их принципа действия (контактные, бесконтактные и т.д.) имеют различные показания температуры именно на поверхности теплоизоляционного покрытия Корунд®.

Это объясняется тем, что материал Корунд® работает по принципу низкой теплоотдачи с поверхности, а не как стандартные утеплители — путем слабого пропускания тепла. И это только подтверждает, что теплоотдача с поверхности сильно зависит от того, с каким материалом соприкасается данная поверхность (в отличие от традиционных теплоизоляционных материалов, у которых совершенно другой принцип работы, не зависящий от того, с каким материалом они соприкасаются). Из данного эксперимента можно сделать вывод, что материалы с высоким тепловосприятием (особенно такие материалы, как металл)

радикально увеличивают теплоотдачу с поверхности покрытия Корунд®. И фактически контактные приборы (с обычной термопарой), имея металлический наконечник, показывают температуру с учетом сильного нагрева металла на поверхности теплоизоляционного слоя Корунд®.

## **1.2 Замер температуры различных материалов на поверхности теплоизоляционного слоя Корунд®.**

### **1.2.1 Общие данные:**

На металлическую пластину толщиной 3 мм нанесено теплоизоляционное покрытие Корунд® толщиной 1,5 мм. Размер пластины 300x400 мм. Нанесение теплоизоляционного покрытия производилось кистью слоями по 0,3 мм с межслойной сушкой 24 часа.

Далее на теплоизоляционное покрытие Корунд® были нанесены различные покрытия: металл, акриловая краска, силиконовая краска, акриловый клей, бумага, флизелиновые обои (на универсальном клее), шпатлевка, гофрокартон, цементно-песчаная штукатурка, керамическая плитка, пенопласт толщиной 1мм.

Опыт заключается в установке пластины с покрытием Корунд® и различных материалов на нагревательный элемент лабораторной плиты, разогретой до +80 °С и замер температуры на поверхности чистого теплоизоляционного покрытия Корунд®, а также на поверхности всех материалов, нанесенных поверх теплоизоляционного покрытия Корунд® (рис.1.2).

Измерения проводятся при помощи прибора Elcometer 319.

### **1.2.2 Используемое оборудование:**

1. Стальная пластина толщиной 3 мм, покрытая теплоизоляционным покрытием Корунд® (толщиной 1 мм) и нанесенным поверх покрытия Корунд® различными материалами (см. п. 1.2.1)
2. Плитка нагревательная лабораторная (с точностью изменения температура до 0,1 °С);
3. Измеритель температуры Elcometer 319;



Рис. 1.2 — Измерение температуры на поверхности теплоизоляционного слоя Корунд®

### **1.2.3 Методика проведения испытаний:**

1. Установка подготовленной пластины на нагревательный элемент плитки.
2. Нагрев до температуры +100 °С

3. Снятие показаний температур на поверхности покрытия Корунд®, а также всех материалов, нанесенных поверх теплоизоляционного слоя.

Результаты эксперимента занесены в таблицу 1.2.

Таблица 1.2

**Результаты измерений различных поверхностей образца**

Материал	Температура на поверхности, °С
Теплоизоляционное покрытие Корунд®	47,3
Акриловая краска	49,4
Акриловый клей	57
Металл	62,1
Бумага	48
Картон	48,4
Флизелиновые обои	45
Штукатурка на цементно-песчаном растворе	54
Шпатлевка	53,6
Керамическая плитка	59,6
Пенопласт (толщиной 1мм)	47
Гофрокартон (толщ. 4 мм, с воздушной прослойкой)	46

Данный эксперимент наглядно показывает, что температура на поверхности различных материалов, нанесенных поверх материала Корунд® изменяется в зависимости от свойств нанесенного материала. Кроме того, данный опыт подтверждает принцип действия теплоизолирующего покрытия Корунд® — низкая теплоотдача с поверхности, которая в свою очередь в большой степени зависит от того, с каким материалом соприкасается поверхность Корунд®.

Из таблицы 1.2 видно, что теплоотдача в металл максимальная и металлические предметы, соприкасающиеся с поверхностью покрытия Корунд®, нагреваются до температуры близкой к той температуре, которая находится под покрытием Корунд®.

В то же время теплоотдача, к примеру, в акриловую краску на водной основе или флизелиновые обои практически не изменяется.

Это говорит о том, что покрытие Корунд® корректно использовать в качестве финишного покрытия. В случае технологической или декоративной необходимости наносить поверх покрытия Корунд® различных материалов необходимо учитывать их теплофизические показатели.

## **Вывод:**

По результатам проведенных испытаний можно сделать вывод, что большинство контактных приборов для измерения температуры имеет металлический датчик, который обладает повышенным тепловосприятием и теплоотдача в него возрастает, что объясняет причину получения ошибочных результатов температуры на поверхности ЖКТ Корунд® при помощи контактных термометров и термопар (с металлическими измерительными наконечниками). Металлические датчики обладая повышенным тепловосприятием нагреваются до температуры в 1,5-2,5 раза выше, чем реальная температура поверхности Корунд®, что приводит к некорректным результатам на дисплее прибора.

Это ключевой момент, который необходимо учитывать при проведении последующих испытаний (особенно это важно при выборе средств измерения). Основываясь на данных, полученных в ходе испытания в последствии для контроля тепловых характеристик на поверхности теплоизоляционного покрытия «Корунд®» используется прибор Elcometer 319.

## **2. СРАВНИТЕЛЬНОЕ ЛАБОРАТОРНОЕ ИСПЫТАНИЕ ТЕПЛОТДАЧИ ТРУБОПРОВОДОВ.**

### **2.1 Общие данные:**

Цель данного испытания — определение плотности теплового потока теплоизолированного и не теплоизолированного участков трубопроводов диаметром 108 мм. На основании полученных данных определение коэффициента теплопроводности слоя теплоизоляционного покрытия.

Методика проведения испытаний описана далее и включает в себя подготовку и сбор испытательного стенда, нанесение на один из испытываемых участков жидкого теплоизоляционного покрытия Корунд® (ТУ 5760-001-83663241-2008) общей толщиной 1,5 мм, запуск испытательного стенда, проведение замеров температур и расходов воды через испытываемые участки трубопроводов, обработка полученных результатов.

Основные результаты сравнительных испытаний в виде таблиц и схем.

### **2.2 Результаты сравнительных испытаний:**

Испытания проводились спустя 8 часов после включения установки по достижении стационарного режима энергоносителя.

Вода, нагретая водонагревателем до стационарной температуры, проходит через испытываемый участок трубопровода и возвращается по обратному трубопроводу обратно в нагреватель. Схема сложного трубопровода — кольцевая или система с параллельным соединением труб.

Сравнительное испытание по определению теплоотдачи испытываемых участков трубопроводов проводились в учебно-исследовательской лаборатории при температуре воздуха +29 °С. Детальные результаты испытаний представлены далее.

### **2.3 Методика проведения испытаний и определения плотности теплового потока трубопроводов.**

Испытания по определению плотности теплового потока теплоизолированного и не теплоизолированного трубопроводов проводились в испытательной лаборатории строительной физики Волгоградского Государственного Архитектурно-Строительного Университета на специально изготовленном стенде.

Испытания проводились при установившемся стационарном температурном режиме теплоносителя и расходе воды.

#### **Устройство и принцип работы стенда**

Принцип работы стенда основан на определении теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах и расхода воды за один час через испытываемый участок трубопровода.

Стенд представляет собой три участка трубопровода диаметром 108 мм (длиной по 4 метра), расположенных друг над другом и подключенных посредством металлопластиковых трубопроводов. Регулирование и отключение подачи теплоносителя осуществляется шаровыми кранами. Нагрев водопроводной воды до постоянной температуры теплоносителя в подающих трубопроводах производится при помощи нагревательного котла. Постоянная циркуляция воды в отопительных приборах обеспечивается установленным на подающем трубопроводе циркуляционным насосом (рис.2.1).

Вода, нагретая водонагревателем до постоянной температуры, проходит через испытываемые участки трубопроводов диаметром 108 мм и возвращается по обратному трубопроводу. Схема подачи теплоносителя — двусторонняя.

Показания расходов воды фиксируются по расходомерам воды, установленным на обратных трубопроводах трех испытываемых участков. Температура теплоносителя определяется при помощи прибора Elcometer 319 со встроенным датчиком измерения температуры поверхности.

Порядок проведения испытания:

1. На один из испытываемых участков трубопровода наносится теплоизоляционное покрытие Корунд® (ТУ 5760-001-83663241-2008). Нанесение осуществлялось сотрудником производителя при помощи малярной кисти слоями по 0,5 мм с межслойной сушкой 24 часа. Общая толщина слоя составила — 1,5 мм.

2. Вся система заполняется водопроводной водой с помощью насоса и начинается циркуляция носителя.

3. Происходит нагрев теплоносителя с помощью нагревательного котла, работающего от электросети.

4. Определяются температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах теплоизолированного участка.

5. Определяются значения расходов воды через испытываемый участок трубопровода при помощи расходомера, установленного на обратном трубопроводе.

6. Отчет времени, за которое происходит определение теплоотдачи на участке.

7. По истечении определенного времени снимаются показания расходов воды через теплоизолированный участок трубопровода.

8. Определяются показания средней температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах.

9. Отключение стенда и подачи носителя.

Далее, аналогично производится испытание не теплоизолированного участка трубопровода.

Методика вычислений:

Количество теплоты, выделяемое участком трубопровода определяется по формуле:

$$Q = \frac{G_{вд} \cdot c_{вд} \cdot (t_2 - t_{ox})}{3,6} \quad (2.1),$$

где  $Q$  — количество теплоты, выделяемое участками трубопровода, Вт;

$c_{вд}$  — удельная теплоемкость воды ( $c_{вд} = 4,187 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ );

$t_2$  — температура теплоносителя в подающем трубопроводе,  $^\circ\text{C}$ ;

$t_{ox}$  — температура теплоносителя в обратном трубопроводе,  $^\circ\text{C}$ ;

$G_{вд}$  — расход воды через испытываемый участок трубопровода, кг/ч.

Плотность теплового потока с 1 м<sup>2</sup> испытываемого участка трубопровода,  $q$  определяется по формуле:

$$q = \frac{Q}{l \cdot \pi \cdot d} \quad (2.2),$$

где  $l$  — длина испытываемого участка трубопровода, м;

$d$  — диаметр трубы, м.

Коэффициент теплоотдачи с поверхности определяется по формуле:

$$\alpha_H = \frac{q_{нов}}{\tau - t_{int}} \quad (2.3),$$

где  $q_{нов}$  — тепловой поток с 1 м<sup>2</sup> трубопровода, Вт/м<sup>2</sup>;

$\tau$  — температура поверхности, °С;

$t_{int}$  — температура окружающей среды в помещении, °С.

Коэффициент теплопроводности материала определяется по формуле:

$$\lambda = \frac{\delta \cdot \alpha_H \cdot (\tau - t_{int})}{t_g - \tau} \quad (2.4),$$

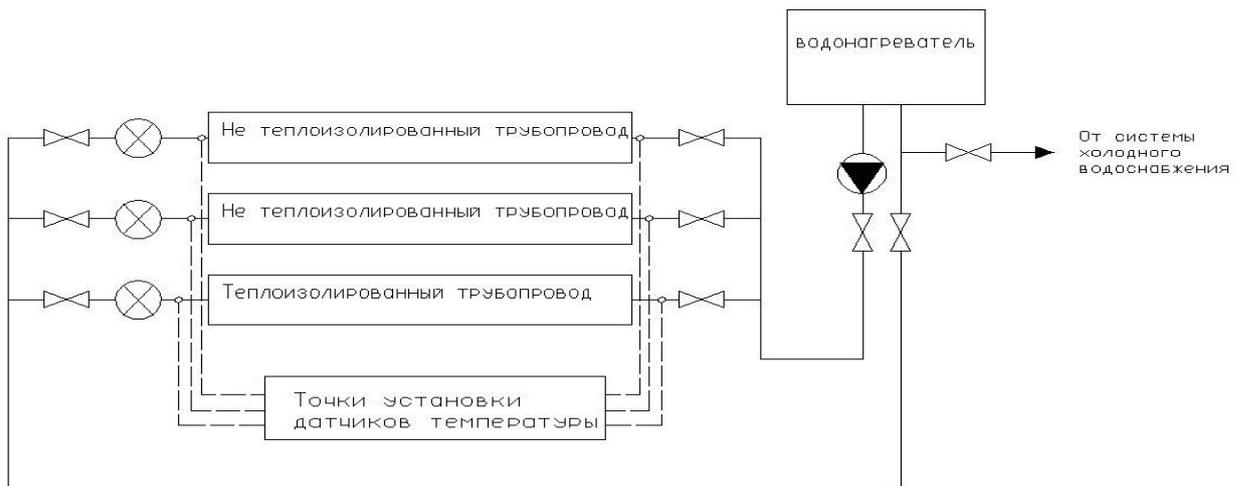
где  $\delta$  — толщина теплоизоляционного слоя Корунд®, м;

$t_g$  — температура теплоносителя в трубопроводе (среднее значение), °С.

Результаты измерений представлены в таблице 2.1.



Рис. 2.1 — Общий вид испытательного стенда



Условные обозначения:

-  Расходомер горячей воды
-  Вентиль регулировочный
-  Циркуляционный насос

Рис. 2.2 – Принципиальная схема испытательной установки

## Результаты измерений участков трубопроводов

Наименование показателей	Теплоизолированный участок	Нетеплоизолированный участок	
	Участок №1	Участок №1	Участок №2
Средняя температура внутреннего воздуха в помещении на момент проведения испытаний $t_{in}$ , °С	29	29	
Температура теплоносителя на входе в испытуемый участок трубопровода, °С			
$t_{e1}$ , °С	74,3	80,5	79,2
$t_{e2}$ , °С	74,1	80,3	79,1
$t_{e3}$ , °С	74,2	80,2	79,3
$t_{ecp}$ , °С	74,1	80,3	79,1
Температура теплоносителя на выходе из испытуемого участка трубопровода, °С			
$t_{ox1}$ , °С	73,8	73,0	72,3
$t_{ox2}$ , °С	73,9	73,3	72,0
$t_{ox3}$ , °С	73,7	73,2	72,5
$t_{oxcp}$ , °С	73,8	73,1	72,3
Температурный перепад ( $t_{гcp} - t_{oxcp}$ ), °С	0,3	7,2	6,8
Температура поверхности испытуемого участка трубопровода			
$\tau_1$ , °С	50,0	71,5	64,4
$\tau_2$ , °С	48,7	65,9	64,7
$\tau_3$ , °С	49,1	71,1	64,4
$\tau_{cp}$ , °С	49,2	69,5	64,5
Расход воды через испытуемый участок $G_{вод}$ , кг/ч	109	124	133
Количество теплоты, поступающей в помещение от испытуемого участка трубопровода $Q_{np}$ , Вт	38,03	1038,37	1051,86
Плотность теплового потока 1 м <sup>2</sup> испытуемого участка трубы при фактических показателях $q_{np}$ , Вт/м <sup>2</sup>	28,04	765,48	775,71

Обработка результатов измерений:

Теплоизолированная труба участок №1:

1. Определяем количество теплоты по формуле 2.1:

$$Q = \frac{109 \cdot 4,187 \cdot (74,1 - 73,8)}{3,6} = 38,03 \text{ Вт}$$

2. Определяем плотность теплового потока по формуле 2.2:

$$q = \frac{38,03}{4 \cdot 3,14 \cdot 0,108} = 28,04 \text{ Вт/м}^2$$

3. Определяем коэффициент теплоотдачи по формуле 2.3:

$$\alpha_n = \frac{28,04}{49,2 - 29} = 1,38 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$$

4. Определяем коэффициент теплопроводности покрытия Корунд® по формуле 2.4:

$$\lambda = \frac{0,0015 \cdot 1,38 \cdot (49,2 - 29)}{(74,1 - 49,2)} = 0,0016 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$$

#### Не теплоизолированная труба участок №1:

1. Определяем количество теплоты по формуле 2.1:

$$Q = \frac{124 \cdot 4,187 \cdot (80,3 - 73,1)}{3,6} = 1038,37 \text{ Вт}$$

2. Определяем плотность теплового потока по формуле 2.2:

$$q = \frac{1038,37}{4 \cdot 3,14 \cdot 0,108} = 765,48 \text{ Вт/м}^2$$

3. Определяем коэффициент теплоотдачи по формуле 2.3:

$$\alpha_n = \frac{765,48}{69,5 - 29} = 18,91 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$$

#### Не теплоизолированная труба участок №2:

1. Определяем количество теплоты по формуле 2.1:

$$Q = \frac{133 \cdot 4,187 \cdot (79,1 - 72,3)}{3,6} = 1051,86 \text{ Вт}$$

2. Определяем плотность теплового потока по формуле 2.2:

$$q = \frac{1051,86}{4 \cdot 3,14 \cdot 0,108} = 775,71 \text{ Вт/м}^2$$

3. Определяем коэффициент теплоотдачи по формуле 2.3:

$$\alpha_n = \frac{775,71}{64,5 - 29} = 21,85 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$$

#### **Вывод:**

По результатам данных сравнительных испытаний теплоотдачи трубопроводов получили следующие показатели:

- Теплоотдача 1 м<sup>2</sup> теплоизолированного трубопровода (теплоизоляционное покрытие Корунд®, нанесенная толщиной 1,5 мм) диаметром 108 мм при фактических параметрах теплоносителя и температуры окружающей среды составила — 28,04 Вт/м<sup>2</sup>;

- Теплоотдача 1 м<sup>2</sup> не теплоизолированного трубопровода диаметром 108 мм при фактических параметрах теплоносителя и окружающей среды — 765,48 Вт/м<sup>2</sup>;

- Коэффициент теплоотдачи с поверхности теплоизоляционного покрытия при данных условиях — 1,38 Вт/(м<sup>2</sup> · °C);

- Коэффициент теплопроводности теплоизоляционного покрытия Корунд® при данных параметрах теплоносителя и окружающей среды — 0,0016 Вт/(м · °C).

### **3. Исследование теплозащитных свойств покрытия "Корунд®" в натурных условиях**

Результаты предыдущего эксперимента хорошо согласуются с данными натурных измерений, которые были проведены на открытом участке теплотрассы в Кировском районе г. Волгограда в феврале 2011 года (рис.3.1).

Длина окружности трубы = 108 см. Диаметр наружной поверхности трубы 320 мм

Длина между точками 1 и 2 = 36 метров.

Температура воздуха  $T_{\text{окр.среды}} = -17,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$

На данном участке производились замеры температуры на поверхности теплоизоляционного слоя Корунд® при помощи прибора Elcometer 319.



Рис. 3.1 — Общий вид открытого участка теплотрассы

В результате проведенных замеров температуры поверхности трубопровода (в начале и конце участка) были получены следующие значения:

температура неизолированной поверхности трубопровода в начале участка колеблется в районе  $89,0-90,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , в конце участка —  $88,3-90,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Температура на поверхности ЖКТ Корунд® — среднее значение  $+18,2^{\circ}\text{C}$ .

В связи с отсутствием возможности измерить тепловой поток на трубопроводе по причине того, что имеющийся измеритель теплового потока имеет плоские датчики, а поверхность трубы имеет радиус 190 мм, вследствие этого образуется не полный контакт между поверхностью трубопровода и поверхностью датчика измерителя, что ведет к ошибочным результатам.

Поэтому был проведен базовый расчет по формулам теплопроводности, с учетом температуры на поверхности Корунд®:

Расчетная формула:

$$\lambda = \frac{\delta \cdot \alpha_n \cdot (\tau - t_n)}{t_g - \tau} \quad (3.1),$$

где  $\delta$  – толщина теплоизоляционного слоя Корунд® (в среднем 1,5 мм);  
 $\alpha_n$  — коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности теплоизоляционного слоя Корунд® (взяты из предыдущего лабораторного измерения 1,38 Вт/м<sup>2</sup> °С);  
 $\tau$  — температура поверхности теплоизоляционного слоя Корунд®, °С;  
 $t_n$  — температура окружающего воздуха на момент проведения замеров, °С;  
 $t_g$  — температура энергоносителя в трубопроводе (в среднем — 90 °С);

Подставив значения в формулу 3.1 определим расчетный коэффициент теплопроводности теплоизоляционного слоя Корунд®:

$$\lambda = \frac{0,0015 \cdot 1,38 \cdot (18,2 - (-17,1))}{90 - 18,2} = 0,001 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)}$$

### **Выводы:**

Данные, полученные в ходе эксперимента подтверждаются официальным заключением от МУП «Волгоградское Коммунальное Хозяйство», в ведомстве которого находится данный объект (кроме того, в данном заключении подтверждается, что на участке потери температуры энергоносителя составляют 0 °С).

В результате обработки полученных значений можно сделать вывод о том, что расчетный коэффициент теплопроводности теплоизолирующего покрытия Корунд® составляет 0,001 Вт/м °С в рамках погрешностей, связанных с некорректностью измерения температуры на неизолированных участках (т.к. приборы фиксировали значение температуры в конце участка зачастую выше чем в начале), что вызвано неоднозначностью давления в трубопроводе во время испытаний (т.к. испытания проводились в утреннее время, когда температура воздуха резко повышалась и на котельной давление соответственно изменялось). Для минимизации погрешностей рекомендуется данное испытание проводить в условиях статичной температуры окружающей среды. Необходимо также скорректировать (и замерить с большей точностью) расход энергоносителя на данном участке. Также следует учитывать, что на данном отрезке трубопровода имеются участки, где труба заглубляется в грунт и проходит подземно без тепловой изоляции, что также вносит неточности измерения эффективности теплоизоляционного слоя.

#### **4. Исследование температурного режима стеновых керамзитобетонных панелей с покрытием "Корунд®-Фасад"**

Натурные исследования проводились на одноэтажном бытовом здании из крупноразмерных керамзитобетонных стеновых панелей (рис.4.1). Толщина покрытия жидкой керамической теплоизоляции "Корунд®-Фасад" составила 2 мм. Покрытие было нанесено в октябре 2010 года. Измерения проводились после зимнего периода в марте 2011 года. Результаты измерения приведены в таблицах 4.1 и 4.2.

Оборудование:

1. Измеритель плотности потока ИТП МГ-4 "Поток".
2. Измеритель температуры, влажности «Термогигрометр».
3. Измеритель температуры, влажности «Тесто».
4. Измеритель температуры поверхности – Elcometer 319.



Рис. 4.1 — Керамзитобетонная стеновая панель с покрытием "Корунд® Фасад"

**4.1 Измерение коэффициента теплопроводности керамзитобетонной панели толщиной 360 мм без покрытия "Корунд®-Фасад" (рис.4.2).**

Таблица 4.1

Результаты измерений керамзитобетонной панели без покрытия

Поток $q$ "+" с положительной стороны, Вт/м <sup>2</sup>	Поток $q$ "-" с отрицательной стороны, Вт/м <sup>2</sup>	Температура внутренней поверхности $t_{в}$ , °С	Температура наружной поверхности $t_{н}$ , °С	Температура внутри помещения, $t^+$ °С	Температура на улице, $t^-$ °С
26,6	13,5	+13,1	-13,5	14,5	-14,1

Определим коэффициент теплопроводности конструкции:

$$\lambda_{\kappa/\delta} = \frac{\delta_{\kappa/\delta}}{\left( \frac{(t_g - t_n)}{q} - \left( \frac{1}{\alpha_g} + \frac{1}{\alpha_n} \right) \right)} \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C}) \quad (4.1),$$

где  $\delta_{\kappa/\delta}$  - толщина к/б панели = 0,360 м;

$q_i$  – плотность теплового потока = 13,5 Вт/м<sup>2</sup>;

$\alpha_g$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности = 19 Вт/м<sup>2</sup> · °C;

$\alpha_n$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности = 22,5 Вт/м<sup>2</sup> · °C;

$$\lambda_{\kappa/\delta} = \frac{0,36}{\left( \frac{(14,5 - (-13,5))}{13,5} - \left( \frac{1}{19} + \frac{1}{22,5} \right) \right)} = 0,18 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$$

Определим коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности стены по формуле:

$$\alpha_g = \frac{q_i}{(t_g - \tau_{i \kappa/\delta})} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}) \quad (4.2),$$

где  $\alpha_g$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности;

$q_i$  – плотность теплового потока с положительной стороны = 26,6 Вт/м<sup>2</sup>;

$\tau_{i \kappa/\delta}$  – температура на внутренней поверхности = +13,1 °C;

$t_g$  – температура внутри помещения = +14,5 °C.

Подставив значения получаем:

$$\alpha_g = \frac{26,6}{(14,5 - 13,1)} = 19 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$$

Определим коэффициент теплоотдачи наружной поверхности стены по формуле:

$$\alpha_n = \frac{q_i}{(\tau_{i \kappa/\delta} - t_n)} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}) \quad (4.3),$$

где  $\alpha_n$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности;

$q_i$  – плотность теплового потока с отрицательной стороны = 13,5 Вт/м<sup>2</sup>;

$\tau_{i \kappa/\delta}$  – температура на наружной поверхности керамзитобетонной панели = -13,5 °C;

$t_n$  – температура на улице = -14,1 °C.

Подставив значения получаем:

$$\alpha_n = \frac{13,5}{(-13,5 - (-14,1))} = 22,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$$



Рис. 4.2 — Измерение плотности теплового потока  $q$ , температуры поверхности  $t^{к/б}$  керамзитобетонной стеновой панели

#### 4.2 Измерение коэффициента теплопроводности $\kappa/\delta$ панели толщиной 360 мм с покрытием теплоизоляцией "Корунд®" толщиной 2 мм (рис.4.3).

Таблица 4.2

Результаты измерений керамзитобетонной панели с покрытием теплоизоляции "Корунд®".

Поток $q$ "+" с положительной стороны, Вт/м <sup>2</sup>	Поток $q$ "-" с отрицательной стороны, Вт/м <sup>2</sup>	Температура внутренней поверхности $\tau_{в}$ , °C	Температура наружной поверхности $\tau_{н}$ , °C	Температура внутри помещения, $t^+$ °C	Температура на улице, $t^-$ °C
39,4	1,5	+15,9	-12,8	+19,2	-14,1

Определим коэффициент теплопроводности теплоизоляционного слоя Корунд® по формуле:

$$\lambda^{\kappa} = \frac{\delta^{\kappa}}{\left( \frac{(t_{в} - t_{н})}{q} - \left( \frac{1}{\alpha_{в}} + \frac{\delta^{\kappa/\delta}}{\lambda^{\kappa/\delta}} + \frac{1}{\alpha_{н}} \right) \right)} \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)} \quad (4.4),$$

где  $\delta_{\kappa}$  - толщина покрытия "Корунд®" = 0,002 м;  
 $q_i$  – плотность теплового потока с отрицательной стороны = 1,5 Вт/м<sup>2</sup>;  
 $\alpha_{в}$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности = 12,15 Вт/(м<sup>2</sup> · °C);  
 $\alpha_{н}$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности = 1,15 Вт/(м<sup>2</sup> · °C);

$$\lambda^{\kappa} = \frac{0,002}{\left( \frac{(19,2 - (-14,1))}{1,5} - \left( \frac{1}{11,94} + \frac{0,36}{0,18} + \frac{1}{1,15} \right) \right)} = 0,001 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$$

Определим коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности стены по формуле:

$$\alpha_{в} = \frac{q_i}{(t_{в} - \tau_i^{\kappa/\delta})} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)} \quad (4.5),$$

где  $\alpha_{в}$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности;  
 $q_i$  – плотность теплового потока с положительной стороны = 39,4 Вт/м<sup>2</sup>;

$\tau_i^{в}$  – температура на внутренней поверхности = +15,9 °С;  
 $t_в$  – температура внутри помещения = +19,2 °С.

Подставив значения получим:

$$\alpha_в = \frac{39,4}{(19,2 - 15,9)} = 11,94 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С})$$

Определим коэффициент теплоотдачи наружной поверхности стены по формуле:

$$\alpha_н = \frac{q_i}{(\tau_i^к - t_н)} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С}) \quad (4.6),$$

где  $\alpha_н$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности;

$q_i$  – плотность теплового потока с отрицательной стороны = 1,5 Вт/м<sup>2</sup>;

$\tau_i^к$  – температура на наружной поверхности покрытия "Корунд®" = -12,8 °С;

$t_н$  – температура на улице = -14,1 °С.

Подставив значения, получим:

$$\alpha_н = \frac{1,5}{(-12,8 - (-14,1))} = 1,15 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С})$$

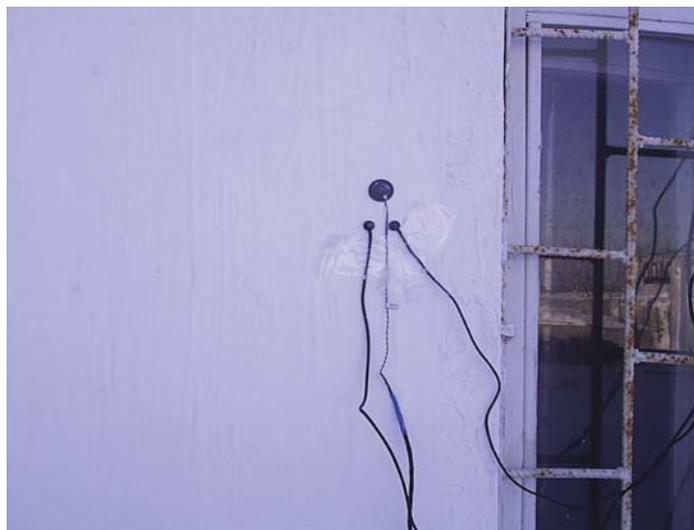


Рис. 4.3 — Измерение плотности теплового потока  $q$ , температуры поверхности  $\tau_k$  "Корунд®"

#### **Выводы:**

В результате обработки полученных данных в ходе испытаний получено значение коэффициента теплопроводности теплоизоляционного слоя Корунд® Фасад —  $0,001 \text{ Вт}/\text{м} \cdot \text{°С}$ . Коэффициент теплоотдачи с поверхности теплоизоляционного покрытия Корунд® Фасад в данных условиях —  $1,15 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С})$ .

Но стоит также отметить, что в данном опыте присутствует доля погрешностей, связанных с температурными колебаниями воздуха (ночью температура доходила до -25 °С, в то время как в дневное время температура повышалась до -12 °С). Поэтому для большей точности и полноты эксперимента рекомендуется проводить все испытания как минимум 7 дней подряд с установкой автоматизированного самописца (данные испытания за отсутствием такой возможности проводились экспресс-замерами в течении 1 дня). Кроме того, температурный режим на время всего испытания должен быть относительно ровный (без резких колебаний между температурой в дневное и ночное время суток).

## **5 Исследование теплозащитных свойств покрытия "Корунд®-Классик" при нагреве**

### **5.1 Общие данные**

Наиболее простым и наглядным экспериментом является нагрев стальной пластины, которая покрыта композицией «Корунд®». Такой эксперимент позволяет исследовать работу материала на горячих поверхностях.

В эксперименте было использовано следующее оборудование:

1. Стальная пластина - толщина 3 мм, размер 300x400 мм.
2. Лабораторная плита с точностью нагрева до 0,1 °С.
3. Измеритель температуры Elcometer 319.

На стальную пластину толщиной 3 мм было нанесено теплоизоляционное покрытие "Корунд®-Классик" толщиной 1,5 мм. Покрытие наносилось послойно с толщиной одного слоя 0,3 мм. Время технологического перерыва каждого слоя составило 24 ч.

Задача опыта — экспериментальное определение коэффициента теплопроводность теплоизоляционного слоя Корунд® на основании замера температуры поверхностного слоя теплоизоляционного покрытия и плотности теплового потока с поверхности тепловой изоляции.



Рис.5.1 — Общий вид установки

### **5.2 Методика проведения эксперимента**

На лабораторную плиту устанавливается металлическая пластина размером 300x400 мм (пластина закрывает всю площадь нагревательного элемента плиты, чтобы свести к минимуму влияние конвективных потоков от нагретой поверхности плиты).

Нагрев пластины производится ступенчато с интервалами времени для релаксации температуры с постепенным повышением температуры до +100 °С.

Фиксация температуры металла происходит с помощью встроенного в лабораторную плиту температурного датчика, показания которого выводятся на дисплей плиты.

Измерения проводятся через 3 часа после достижения температуры +100°С (для равномерного нагрева и распределения температуры).

Результаты проведенных измерений приведены ниже:

Температура окружающего воздуха = +26,6 °С

Температура нагрева лабораторной плиты = +100 °С;

Температура на поверхности теплоизоляционного покрытия Корунд® = +47,3 °С

### 5.3 Обработка результатов

По результатам измерений проведены вычисления формуле теплопроводности:

$$\lambda = \frac{\delta \cdot \alpha_n \cdot (\tau - t_n)}{t_g - \tau} \quad (5.1),$$

где  $\delta$  – толщина теплоизоляционного слоя Корунд® (в среднем 1,5 мм);

$\alpha_n$  — коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности теплоизоляционного слоя Корунд® (взят из предыдущего лабораторного измерения 1,38 Вт/м<sup>2</sup> °С);

$\tau$  — температура поверхности теплоизоляционного слоя Корунд®, °С;

$t_n$  — температура окружающего воздуха на момент проведения замеров, °С;

$t_g$  — температура нагрева лабораторной плиты, °С;

#### Вывод:

В результате проведения эксперимента и обработки полученных данных, получен коэффициент теплопроводности ЖКТ Корунд®, равный *0,0008 Вт/м °С*

Несмотря на то, что данный показатель нельзя брать за расчетный вследствие погрешностей условий и средств измерений, однако данный коэффициент соотносится с полученными ранее данными, а также с заявленным производителем (*0,0012 Вт/м °С*) в рамках погрешности условий и средств измерения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Жидкая керамическая композиция "Корунд®" является эффективным теплоизоляционным материалом. Коэффициент теплопроводности этого материала по данным проведенных выше испытаний в указанных условиях составляет в среднем  $0,001 \text{ Вт/м} \cdot ^\circ\text{C}$ .

2. Кроме того в ходе экспериментов был получен коэффициент теплоотдачи с наружной поверхности тепловой изоляции Корунд®, который составил *от 1,15 до 1,38 Вт/(м<sup>2</sup>·°C)* в данных условиях проведения испытаний в рамках погрешности приборов и средств измерений и условий измерения.

3. Жидкая керамическая теплоизоляция марки "Корунд®" может быть рекомендована в качестве эффективной теплоизоляции для "горячих" теплоносителей с температурой до 200° С, так как реально снижает температуру поверхности до безопасной по санитарным нормам (до 45-55°С), то есть может быть рекомендована для теплоизоляции паропроводов, котлов, объектов энергетического назначения, резервуаров для хранения нефтепродуктов и других металлических конструкций. Данный материал может быть также рекомендован для изоляции труб холодного водоснабжения с целью устранения конденсации на поверхности труб. Кроме того, покрытие "Корунд®" может быть использована для улучшения теплотехнических свойств оконных откосов, межпанельных стыков и других мест, где наблюдаются "мостики холода".