



Министерство образования
Республики Беларусь

**БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра «Технология бетона и строительные материалы»

ОСНОВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Лабораторные работы (практикум)
для студентов строительных специальностей

М и н с к 2 0 0 9

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Технология бетона и строительные материалы»

ОСНОВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Лабораторные работы (практикум)
для студентов строительных специальностей

М и н с к 2 0 0 9

УДК 69:[620.9:005.93](075.8)

ББК 38я7

О 75

Составители:

А.Э. Змачинский, О.Г. Галузо, Г.С. Галузо

Рецензенты:

В.В. Бабицкий, А.П. Пашков

О 75 Основы энергосбережения в строительстве: лабораторные работы (практикум) для студентов строительных специальностей / сост.: А.Э. Змачинский, О.Г. Галузо, Г.С. Галузо. – Минск: БНТУ, 2009. – 92 с.

ISBN 978-985-525-230-7.

В практикуме изложены: цель выполнения и основные теоретические положения разделов дисциплины, отражаемых тематикой лабораторных работ, последовательность выполнения работ, правила оформления их результатов, а также представлены их результаты с подробным решением.

УДК 69:[620.9:005.93](075.8)

ББК 38я7

ISBN 978-985-525-230-7

© БНТУ, 2009

ВВЕДЕНИЕ

Снижение потребления энергоресурсов в Республике Беларусь является стратегической задачей для страны. Она может быть решена только за счет применения эффективной теплоизоляции зданий и тепловых сетей.

Основной целью лабораторных работ (практикума) по дисциплине «Основы энергосбережения в строительстве» является формирование у будущих специалистов с высшим образованием общего методологического подхода к постановке и решению задач эффективного использования энергетических ресурсов при строительстве, тепловой реабилитации зданий и сооружений, а также сокращение потерь тепловой энергии при транспортировке по трубам холодной и горячей воды.

Овладение указанными навыками в сочетании с приобретенными при выполнении заданий практических знаний по данной дисциплине обеспечит студентам строительной специальности требуемый уровень профессиональной подготовки для решения практических задач по снижению теплотерь в строительстве.

Лабораторная работа № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ (ТИМ)

Цель работы

Ознакомление с приборами и методикой определения теплопроводности ТИМ; определение структурных характеристик эффективных ТИМ, применяемых в системах утепления фасадов стен здания; определение влияния влажности ТИМ на их теплофизические свойства.

Вопросы для подготовки к выполнению лабораторной работы

1. Какими техническими показателями характеризуются ТИМ?
2. По каким показателям классифицируют ТИМ?
3. Классификация ТИМ по структуре.
4. На какие классы делят ТИМ по величине коэффициента теплопроводности?
5. Как классифицируют ТИМ по величине средней плотности?
6. Какие ТИМ существуют в зависимости от вида исходного сырья?
7. Как делят ТИМ по внешнему виду и форме?
8. Какие ТИМ существуют в зависимости от жесткости (деформации сжатия)?
9. Какие физические характеристики ТИМ влияют на величину коэффициента теплопроводности? Как? Перечислить.

Задания к лабораторной работе

Задание 1. Определить структурные характеристики и влажность ТИМ.

Задание 2. Определить теплопроводность сухих ТИМ.

Задание 3. Определить влияние влажности на теплопроводность ТИМ.

Общие сведения о ТИМ

Строительные материалы, используемые для тепловой изоляции ограждающих конструкций зданий, промышленного и энергетического оборудования и трубопроводов, называются *теплоизоляционными*. Такие материалы имеют низкую теплопроводность (значения коэффициента теплопроводности λ не более 0,175 Вт/(м · °С)) и среднюю плотность ρ_0 не более 600 кг/м³.

Классификация ТИМ и изделий (ГОСТ 16381-77*) проводится по следующим признакам (показателям): структуре, форме, виду основного исходного сырья, средней плотности, жесткости (относительной деформации при сжатии), теплопроводности и по горючести.

По *структуре* ТИМ делят на:

- волокнистые (минераловатные, стекловолокнистые и др.);
- зернистые (перлитовые, вермикулитовые, совелитовые, известково-кремнеземистые и др.);
- ячеистые (изделия из ячеистых бетонов, пеностекло (ячеистое стекло), ячеистые пластмассы – пенопласты и поропласты).

По *форме и внешнему виду*:

- штучные (плиты, блоки, кирпич, цилиндры, полуцилиндры, сегменты);
- рулонные (маты, полосы);
- шнуровые (шнуры, жгуты);
- сыпучие и рыхлые (вата минеральная (каменная, стеклянная), вспученные песок перлитовый и вермикулит);

По *виду исходного сырья*:

- неорганические (минеральные ваты (каменная, шлаковая, стеклянная), ячеистые бетоны, материалы на основе асбеста, керамические и др.);

– органические (материалы из пористых пластмасс, древесноволокнистые (ДВП) и древесностружечные (ДСП) плиты, торфяные плиты и др.);

– комбинированные материалы, состоящие из органического и неорганического сырья (фибrolит, арболит, минеральные волокна с органическим связующим).

По величине средней плотности ρ_0 :

– особо легкие (ОЛ), имеющие марки D 15, D 25, D 35, D 50, D 75, D 100;

– легкие (Л) – D 125, D 150, D 200, D 250, D 300;

– тяжелые (Т) – D 400, D 450, D 500, D 600.

По величине коэффициента теплопроводности λ :

– низкой теплопроводности – класс А (меньше 0,058 Вт/(м·°С));

– средней теплопроводности – класс Б (0,058–0,116 Вт/(м·°С));

– повышенной теплопроводности – класс В (не более 0,175 Вт/(м·°С)).

По горючести:

– негорючие (НГ);

– горючие (Г).

По жесткости:

– мягкие (М) – сжимаемость свыше 30 % при удельной нагрузке 0,002 МПа (2 кПа) (шлако- и стекловата, вата из комкового и базальтового волокна, вата из супертонкого стекловолокна, маты и плиты из штапельного стекловолокна);

– полужесткие (П) сжимаемость меньше 30 %.

Важнейшей структурной характеристикой ТИМ является *пористость* П, от которой зависят средняя плотность ρ_0 , теплопроводность λ , прочность R , газопроницаемость и другие технические показатели. Большое значение имеет распределение воздушных пор в материале, их характер, а также химический состав, молекулярное строение каркаса и условия применения ТИМ.

Теплопроводность является главной характеристикой теплозащитных свойств материала. При равной пористости более

высокими теплоизоляционными показателями вследствие уменьшения передачи теплоты излучением и конвекцией обладают материалы, имеющие мелкие замкнутые поры. Это особенно необходимо учитывать при выборе материалов для высокотемпературной изоляции. *Увлажнение* и тем более замерзание воды в порах материала ведут к резкому увеличению теплопроводности, так как теплопроводность воды [0,58 Вт/(м · °С)] – примерно в 25 раз, а льда [2,32 Вт/(м · °С)] – в 100 раз больше, чем воздуха. Поэтому ТИМ необходимо предохранять от увлажнения.

Прочность ТИМ вследствие их пористого строения относительно невелика. *Предел прочности при сжатии* при 10%-й деформации обычно колеблется от 0,2 до 2,5 МПа. Требуется, чтобы прочностные характеристики ТИМ были достаточны для их сохранности при транспортировании, складировании, монтаже и работе в конкретных условиях эксплуатации.

Химическую и биологическую стойкость ТИМ повышают, применяя различные защитные покрытия и обработку антисептиками.

Применение ТИМ в строительстве позволяет резко снизить массу конструкции, затраты на строительство зданий, уменьшить потребность в основных строительных материалах, сократить потери тепла в окружающую среду через ограждающие конструкции и оконные проемы и тем самым уменьшить расход топлива, повысить комфортность помещений.

Весьма эффективным является использование ТИМ для изоляции тепловых агрегатов, технологической аппаратуры и трубопроводов. В холодильной промышленности ТИМ применяют для уменьшения затрат энергии на охлаждение.

В табл. 1.1. приведены основные физико-технические характеристики наиболее эффективных ТИМ.

Таблица 1.1

Физико-технические характеристики ТИМ

Наименование	Средняя плотность ρ_0 , кг/м ³	Теплопроводность в сухом состоянии λ , Вт/(м · °С)	Пористость Π , %	Истинная плотность материала ρ , кг/м ³
Пенополиуретан, пенополистирол и др.	20–35	0,04–0,05	99–97	1060
Минеральная (каменная) вата	150–250	0,05–0,075	94–90	2500
Пеногипс, газосиликат	250–400	0,07–0,105	98–85	2450–2550
Ячеистое стекло (пеностекло)	180–350	0,065–0,09	95–98	2500
Полистиролбетон	250–350	0,065–0,095	80–70	1250
Керамзитобетон	500–600	0,14–0,16	77–65	2200
Древесина и др. ТИМ из растительных волокон	500	0,15–0,29	60–70	1540–1550 (целлюлоза)

Задание 1. Определить структурные характеристики и влажность ТИМ.

К структурным характеристикам ТИМ относятся их средняя ρ_0 и истинная ρ плотность, пористость Π , насыпная плотность ρ_n и пустотность (для сыпучих материалов).

Приборы и материалы

1. Весы технические.
2. Штангенциркуль.
3. Образцы ТИМ (ячеистый бетон, пенополиуретан, жесткая минераловатная плита, пенопласт полистирольный и др.).

Методика испытаний

Определение средней плотности материала ρ_0 сводится к определению *массы* сухого образца и его *объема в естественном состоянии*. Масса образца определяется взвешиванием на технических или аналитических весах с точностью до 0,01 г. Объем рассчитывается по линейным параметрам, измеренным с помощью штангенциркуля.

$$\rho_0 = m / V_{\text{ест}}, \text{ кг/м}^3.$$

Вычислив среднюю плотность материала ρ_0 и зная его истинную плотность ρ (см. табл. 1.1), рассчитывают пористость Π испытываемых ТИМ по следующей формуле:

$$\Pi = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) \cdot 100, \%,$$

где ρ_0 – средняя плотность материала, кг/м³;

ρ – истинная плотность материала, (плотность вещества), кг/м³.

Определение влажности материала проводится согласно ГОСТ 12730.0–78 и сводится к определению *массы влажного образца*. Масса сухого образца определяется предварительно до его помещения во влажную среду. Эта величина должна быть зафиксирована на образце или в журнале лабораторных испытаний. Вычисляется влажность W по формуле

$$W = \frac{m_{\text{вл}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} \cdot 100, \%,$$

где $m_{\text{вл}}$ и $m_{\text{сух}}$ – соответственно масса образца во влажном и сухом состоянии, г.

Результаты испытаний

Результаты испытаний по определению средней плотности ρ_0 , пористости и влажности W ТИМ заносят в табл. 1.2.

Среднюю плотность теплоизоляционных материалов вычисляют с точностью до $0,1 \text{ кг/м}^3$. Значения истинной плотности материала ρ испытанных ТИМ принимают по табл. 1.1. Пористость вычисляют с точностью до $0,1 \%$, влажность – до $0,1 \%$.

Таблица 1.2

Результаты определения структурных характеристик и влажности ТИМ

Наименование ТИМ	Масса образца m , г	Линейные размеры, см	Объем образца V , см^3	Плотность, кг/м^3		Пористость P , %	Влажность W , %
				средняя ρ_0	истинная ρ		
А. Сухие образцы							
Б. Влажные образцы							

Заключение

Сделать анализ полученных значений пористости и влажности ТИМ в зависимости от значения средней плотности ρ_0 .

Задание 2. Определить теплопроводность сухих ТИМ.

Одним из важных показателей качества ТИМ является *теплопроводность* – способность материала пропускать через себя тепло от одной поверхности к другой при наличии перепада температуры.

Теплопроводность материала оценивается количеством тепла, проходящим через образец материала толщиной 1 м, площадью 1 м² за 1 час при разности температур на противоположных плоскопараллельных поверхностях образца в 1°С. Показателем теплопроводности служит коэффициент теплопроводности λ , имеющий размерность Вт/(м · °С) в системе СИ:

$$\lambda = \frac{Q\delta}{A(t_2 - t_1)\tau},$$

где Q – количество тепла, проходящее через материал, Дж;
 δ – толщина стенки материала, м;
 A – площадь стенки, равная 1 м²;
 $(t_2 - t_1)$ – разность температур, °С;
 τ – время прохождения тепла, ч.

Приборы и материалы

1. Электрический сушильный шкаф с температурой нагрева до 240 °С и регулятором температуры.
2. Весы электронные с точностью измерения до 0,1 г.
3. Секундомер.
4. Измеритель теплопроводности строительных материалов типа ИТ-1 (рис. 1.1).

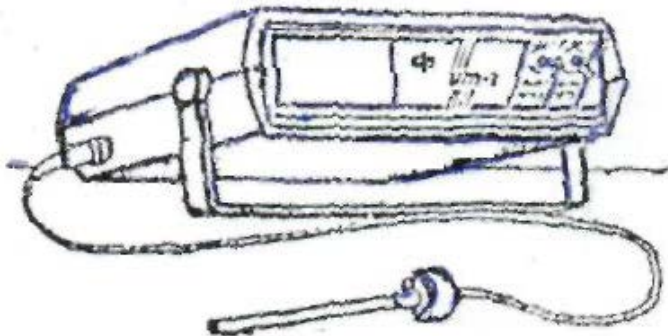


Рис. 1.1. Общий вид прибора ИТ-1

5. Вазелин технический.

6. Исследуемые образцы (по 3 шт.) размерами 150×150×150 мм или 200×200×200.

Методика испытаний

Определение теплопроводности материала производится с помощью цилиндрического зонда с нагревательным элементом при постоянной электрической мощности нагрева по результатам измерения его (зонда) температуры. Метод определения теплопроводности основан на принципе регулярного режима и устанавливает зависимость температуры помещенного в материал нагреваемого зонда от температуры окружающего его материала за определенный интервал времени.

Величину коэффициента теплопроводности вычисляют расчетным путем по результатам измерений.

1. Проведение измерений. Испытываемые образцы кубы 150×150×150 мм или 200×200×200 мм высушивают в сушильном шкафу при соответствующей температуре до постоянной массы. Затем подготавливают измерительный прибор к работе. Для этого включают его в сеть и прогревают в течение 5 мин. Вставляют зонд прибора в отверстие в центре образца-куба.

На табло прибора индицируется показание R_0 , соответствующее температуре (в условных единицах) зонда (материала) в начальный момент времени τ_0 , которое фиксируется в таблице для записи испытаний.

Затем одновременно с пуском секундомера включают нагревательный элемент зонда. Нагрев производят в течение 6 мин, фиксируя по табло показания в условных единицах, соответствующие температуре R_i в моменты времени τ_i – 2, 2,5, 3, 4, 5, 6 минут.

После снятия показаний прибор отключают. Следующий замер может быть осуществлен не ранее, чем через 30–40 мин после полного остывания зонда и образца. Для получения достоверных результатов проводят три измерения.

Принцип регулярного режима при использовании излучающего тепло цилиндрического зонда постоянной мощности предусматривает, что изменение температуры зонда во времени подчиняется экспоненциальному закону. В связи с этим для расчета коэффициента теплопроводности используется следующая формула:

$$\lambda = A \cdot \frac{\ln(\tau_n / \tau_m)}{R_m - R_n},$$

где λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м · °С);

A – аппаратурный фактор прибора, зависящий от условий испытаний, температуры материала в начале испытаний, вида материала и контакта его с зондом;

τ_n, τ_m – фиксированные отсчеты времени в минутах, они выбираются при условии $\tau_n / \tau_m = 2$;

R_m, R_n – фиксированные температуры в указанные выше моменты времени в условных единицах.

Для фактических расчетов, с учетом неизбежных погрешностей опыта, вычисляют среднеарифметическое значение ΔR_i по трем парам фиксированных измерений:

$$(R_m - R_n) = \frac{1}{3} \sum \Delta R_i = \frac{1}{3} [(R_2 - R_4) + (R_{2,5} - R_5) + (R_3 - R_6)].$$

Величина аппаратурного фактора A рассчитывается по формуле

$$A = R_0 [K + \alpha C \cdot \rho_0],$$

где R_0 – показание, соответствующее температуре испытания материала среды в начальный момент времени ($\tau_0 = 0$ мин), усл. ед.; снимается по табло прибора и заносится в табл. 1.3;

K – удельная мощность нагрева зонда, зависит от начальной температуры, определяется по графику $K = f(t)$, (рис. 1.2), (пример определения величин R и K приведен под рисунком);

α – коэффициент теплообмена в зоне контакта, $\text{м}^2/\text{ч}$ (для пенопластов, минеральной ваты, газосиликата (или пеногипса) и керамзитобетона в сухом состоянии соответственно равен 0,00175, 0,000363 и 0,000451 $\text{м}^2/\text{ч}$);

C – удельная теплоемкость (для пенопласта, газосиликата, минеральной ваты, пеногипса, керамзитобетона соответственно равна 1,34, 0,84 и 0,84 $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$);

ρ_0 – средняя плотность исследуемых образцов ТИМ в сухом состоянии, определяется в задании 1, $\text{кг}/\text{м}^3$.

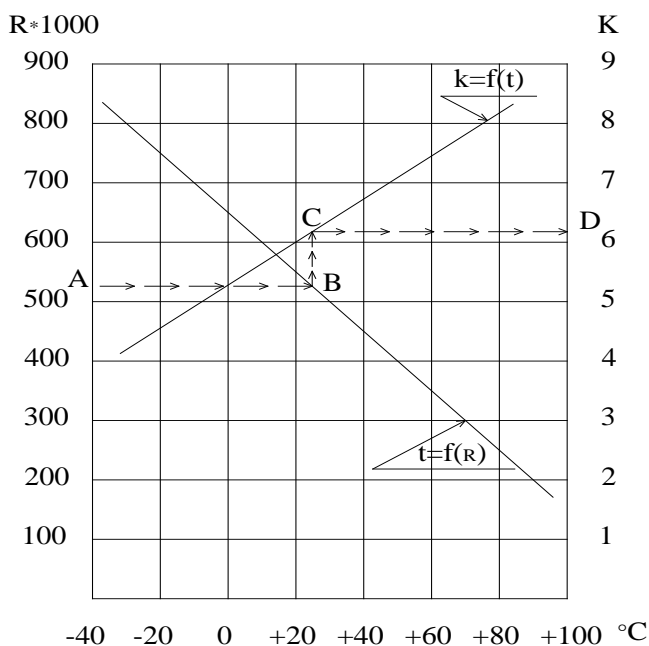


Рис. 1.2. График определения величины K в зависимости от величины R_0

2. Пример определения величины K в зависимости от R_0 .

Имеем показание $R_0 = 526$ усл. ед., индицированное по табло прибора ИТ-1 в начальный момент времени τ_0 . Отложим это значение на оси абсцисс R_0 в соответствующем масштабе

(точка *A*). Проведем линию, параллельную оси ординат t , °С, до пересечения с прямой зависимости $t = f(R_0)$ в точке *B*. Из точки *B* проведем линию, параллельную оси K , до пересечения с графиком функции $K = f(t)$ в точке *C*. Опустив перпендикуляр из точки *C* на ось абсцисс K , получим численное значение K , соответствующее значению $R_0 = 526$ усл. ед., зафиксированному на табло прибора.

Расчетная формула коэффициента теплопроводности имеет вид

$$\lambda = R_0 [K + \alpha c \rho_0] \frac{\ln(\tau_n / \tau_m)}{1/3 \sum \Delta R_i \cdot 10^3},$$

где $\ln(\tau_n / \tau_m) = 0,693$.

За значение коэффициента теплопроводности материала λ принимают среднее арифметическое трех результатов измерений.

Протокол испытаний

Таблица 1.3

Результаты измерений и вычислений коэффициента теплопроводности ТИМ в сухом состоянии

Измеряемые показатели, их обозначения и единицы измерения	Образцы материала								
	Пенополи- стирол			Каменная вата					
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Температура материала R_0 в начальный момент времени τ_0 в условных единицах									

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2. Температура материала R_i по показаниям прибора в фиксированный момент времени τ_i , мин, соответственно при:									
$\tau_0 = 0$									
$\tau_1 = 2$									
$\tau_2 = 2,5$									
$\tau_3 = 3$									
$\tau_4 = 4$									
$\tau_5 = 5$									
$\tau_6 = 6$									
3. Среднеарифметические значения температуры в условных единицах ($1/3 \sum \Delta R_i \cdot 10^3$)									
4. Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м · °С)									
5. Среднеарифметическое значение коэффициента теплопроводности λ , Вт/(м · °С)									

Задание 3. Определить влияние влажности на теплопроводность ТИМ.

Известно, что на теплопроводность материала значительное влияние оказывает его влажность. Влажные материалы более теплопроводны по сравнению с сухими. Объясняется это тем, что теплопроводность воды в 25 раз выше теплопроводности воздуха. И именно вода, находящаяся в порах материала в парообразном или жидком состояниях, способствует более интен-

сивной передаче тепла от поверхности изделия с более высокой температурой к поверхности с более низкой температурой.

Приборы и материалы

1. Весы электронные типа 9026 ВН-3Д13 с разновесом.
2. Секундомер.
3. Прибор-измеритель теплопроводности типа ИТ-1.
4. Вазелин технический.
5. Образцы исследуемых ТИМ (по 3 шт.) размерами 150×150×150 мм.

Методика испытаний

Методика определения коэффициента теплопроводности образцов исследуемых материалов аналогична той, что описана в задании 2. Испытаниям подлежат образцы (по 3 шт.) из газосиликата, каменной ваты, пенополистирола.

Величину коэффициента теплопроводности определяют расчетным путем по результатам измерений и с учетом величины влажности образцов.

1. Проведение испытаний. Для определения влияния влажности на теплопроводность материала воспользуемся данными по плотности и влажности образцов, полученными в задании 1.

Схема испытательной установки и очередность операций по определению коэффициента теплопроводности аналогична описанной в задании 2. Последовательность замера показаний температуры R и время замера τ соответствуют тем, что приведены в предыдущем задании.

2. Обработка результатов испытаний. Алгоритм расчета экспериментальных данных и вычисления коэффициента теплопроводности исследуемых ТИМ аналогичен приведенному в задании 2.

$$\lambda = R_0 \left[K + a_w C_w \rho_w \right] \frac{0,693}{1/3 \sum \Delta R_i \cdot 10^3},$$

где a_w – коэффициент нестандартной влагопроводности для исследуемых образцов во влажном состоянии, вычисляется по формуле

$$a_w = \frac{\mu}{W \rho_w},$$

где μ – коэффициент паропроницаемости, определяется по СНиП 11-3-79 (для пенопласта, газосиликата (пеногипса) и керамзитобетона соответственно равен 0,05; 0,23 и 0,26 (мг/(м · ч · Па)), при влажности по массе $W_m = 0,6$ долей единицы);

ρ_w – средняя плотность образцов материала во влажном состоянии (см. задание 1), кг/м³;

C_w – удельная теплоемкость влажного материала, определяемая с учетом теплоемкости сухого материала (см. задание 2) и влажности по массе W_m , % (см. задание 1), кДж/(кг · °С), вычисляется по формуле

$$C_w = \frac{c + 0,01W}{1 + 0,01W}.$$

Результаты испытаний

Опытные данные и результаты вычислений заносят в табл. 1.4. Сопоставляют результаты (влажность, плотность, пористость) образцов, проводят анализ полученных данных и делают вывод о влиянии влажности на коэффициент теплопроводности λ ТИМ.

Таблица 1.4

Результаты измерений и вычисления коэффициента
теплопроводности ТИМ во влажном состоянии

Измеряемые показатели, их обозначения и единицы измерения	Образцы материала								
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1. Влажность образца в момент испытаний W , %									
2. Температура материала R в начальный момент времени τ_0 , усл. ед.									
3. Температура материала R_i по показаниям прибора в фиксированный момент времени τ_i , мин, соответственно при:									
$\tau_0 = 0$									
$\tau_1 = 2$									
$\tau_2 = 2,5$									
$\tau_3 = 3$									
$\tau_4 = 4$									
$\tau_5 = 5$									
$\tau_6 = 6$									
4. Среднеарифметическое значение температуры, усл. ед. ($1/3 \sum \Delta R_i \cdot 10^3$)									
5. Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м · °С)									
6. Среднеарифметическое значение коэффициента теплопроводности λ , Вт/(м · °С)									

Заключение

Сделать вывод по результатам испытаний.

Контрольные вопросы для защиты выполненной лабораторной работы

1. Как влияет пористость на теплопроводность строительных материалов?
2. Как изменяется значение теплопроводности ТИМ в зависимости от их влажности?
3. По какой формуле вычисляется пористость ТИМ?
4. Как определить и вычислить влажность ТИМ? Формула для вычисления. Единица измерения.
5. По какой формуле рассчитывают пористость строительных материалов?
6. Какой принцип положен в основу определения коэффициента теплопроводности прибором ИТ-1 на лабораторном занятии?
7. В каких единицах измеряется прибором теплопроводность?
8. Где целесообразно использовать ТИМ? В чем их преимущества?

Литература

1. Домокеев, А.Г. Строительные материалы / А.Г. Домокеев. – М.: Высшая школа, 1989.
2. Горлов, Ю.П. Технология теплоизоляционных материалов / Ю.П. Горлов, А.П. Меркин, А.А. Устенко. – М.: Стройиздат, 1980.
3. Горчаков, Г.И. Строительные материалы / Г.И. Горчаков, Ю.М. Баженов. – М.: Стройиздат, 1986.
4. Строительная теплотехника: ТКП 45-2.04-43–2006. – Минск: Государственный комитет Республики Беларусь по архитектуре и строительству, 2006.

5. Материалы и изделия строительные. Методы определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме: ГОСТ 7076–87.

6. Проектирование и устройство тепловой изоляции ограждающих конструкций жилых зданий: пособие ПЗ-2000 к СНиП 3.03.01–87. – Минск.

Лабораторная работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ПОЛИМЕРЦЕМЕНТНОГО КЛЕЕВОГО СЛОЯ И ДЕКОРАТИВНО-ЗАЩИТНОГО СЛОЯ ШТУКАТУРНОГО СОСТАВА

Цель работы

Ознакомление с приборами и методикой определения водопоглощения при капиллярном подсосе и паропроницаемости защитных покрытий.

Вопросы для подготовки к выполнению лабораторной работы

1. Для чего нужно определять водопоглощение покрытия при капиллярном подсосе?
2. Чем характеризуется паропроницаемость? Единицы измерения.
3. Как паропроницаемость защитных покрытий влияет на микроклимат помещений?

Задания к лабораторной работе

Задание 1. Определить водопоглощение при капиллярном подсосе.

Задание 2. Определить паропроницаемость защитных покрытий.

Общие сведения

Полимерцементный клеевой и декоративно-защитный слой штукатурного состава применяются для устройства тепловой изоляции наружных стен зданий эффективными плитными ТИМ в легкой штукатурной системе (ЛШС).

Водопоглощение – свойство материала, характеризующее его способность самопроизвольно впитывать и удерживать воду при контакте с ней без приложения давления (при смачивании) за счет капиллярного подсоса. Величина водопоглощения определяется открытой пористостью материала.

Задание 1. Определить водопоглощение при капиллярном подсосе (по СТБ 1263–2001).

Водопоглощение при капиллярном подсосе определяют по количеству воды, поглощенной поверхностным слоем покрытия за 24 ч.

Приборы и материалы

1. Весы лабораторные по ГОСТ 24104.
2. Штангенциркуль по ГОСТ 166.
3. Емкость для насыщения образцов водой, обеспечивающая поддержание температуры воды плюс (20 ± 5) °С.
4. Водонепроницаемые составы (эпоксидная смола с отвердителем, парафин, битум).

Перед проведением испытаний готовят образцы-подложки 50×50×10 мм из цементно-песчаного раствора состава 1:3, при водоцементном отношении раствора 0,5. На подложку наносят слой полимерминерального покрытия (клеявого или штукатурного) толщиной не менее 3 мм. Способ нанесения и толщина слоя должны соответствовать указаниям в проектной (технологической) документации по применению конкретной композиции.

Образцы выдерживают в формах на воздухе в течение суток, затем распалубливают и 27 суток выдерживают в нормально-влажностных условиях.

Образцы выдерживают не менее 48 ч на воздухе при температуре (20 ± 5) °С и относительной влажности 60–70 %, поверхность обеспыливают и обезжиривают. Затем четыре боковые грани образцов покрывают водонепроницаемым составом (эпоксидная смола с отвердителем, несколько слоев парафина или битума).

Методика испытаний

Подготовленные образцы взвешивают с точностью до $\pm 0,01$ г. Штангенциркулем в средней части каждой грани измеряют с точностью до 0,1 мм линейные размеры поверхности образца с нанесенным покрытием.

Образцы помещают в ванну на сетчатую подставку поверхностью с нанесенным покрытием вниз. В ванну наливают воду с температурой (20 ± 5) °С таким образом, чтобы образец был погружен в воду не более чем на 2 мм. Уровень воды поддерживают постоянным.

Через 24 ч образцы извлекают из воды, удаляют ее избыток воды влажной тканью и взвешивают.

Обработка результатов

Водопоглощение при капиллярном подсосе W_t , кг/м², вычисляют по формуле

$$W_t = \frac{m_t - m_0}{S},$$

где m_t – масса образца после испытания, кг;

m_0 – масса образца до испытания, кг;

S – площадь увлажняемой поверхности, м².

Водопоглощение при капиллярном подсосе определяют как среднее арифметическое результатов испытаний трех образцов с точностью до $0,1 \text{ кг/м}^2$.

Результаты испытаний

Результаты испытаний заносятся в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Определение водопоглощения при капиллярном подсосе

Наименование показателей	Образцы		
	1	2	3
Площадь $S, \text{ м}^2$			
Масса до испытания $m_0, \text{ кг}$			
Масса после испытания $m_t, \text{ кг}$			
Водопоглощение $W_t, \text{ кг/м}^2$			
Среднее арифметическое значение $W_t, \text{ кг/м}^2$			

Задание 2. Определить паропроницаемость защитных покрытий.

Общие сведения

Паропроницаемость – способность материала пропускать водяной пар через капиллярные поры.

Паропроницаемость характеризуется:

– величиной коэффициента паропроницаемости μ – величина, численно равная количеству водяного пар, мг, кг, которое проходит за 1 ч (1с) через слой материала площадью 1 м^2 и толщиной 1 м, при условии, что температура у противоположных сторон одинакова, а разность парциального давления водяного пара составляет 1 Па.

Единица измерения $[\mu] = \text{мг}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$ или в системе СИ: $[\mu] = \text{кг}/(\text{м} \cdot \text{с} \cdot \text{Па})$.

– Сопротивлением паропроницаемости R при воздействии водяного пара – величина, численно равная разности парциального давления, Па, у противоположных сторон материала с плоскопараллельными сторонами, при которой через площадь 1 м^2 за 1 ч (1 с) проходит 1 мг (кг) водяного пара при условии, что температура и этих сторон одинакова.

Паропроницаемость и сопротивление паропроницаемости (R) связаны следующим соотношением:

$$\mu = \delta/R,$$

где δ – толщина материала, м.

$$[R] = (\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{мг} \text{ или в системе СИ } [R] = (\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{Па})/\text{кг}.$$

Приборы и материалы

1. Весы лабораторные по ГОСТ 24104.
2. Штангенциркуль по ГОСТ 166.
3. Набор стеклянных сосудов (внутренний диаметр не менее 50 мм) по ГОСТ 25336.
4. Психрометр аспирационный, гигрограф, термограф.
5. Герметизирующая паста (парафин, смесь парафина и ка-нифоли, пластилин и др.).
6. Стеклоткань (толщиной $0,5 \text{ мм}$ и размером ячеек $0,5 \times 0,5 \text{ мм}$).
7. Сорбент (влагопоглощающее вещество) – обезвоженные кальций хлористый по ГОСТ 450 или силикагель по ГОСТ 3956.
8. Дистиллированная вода по ГОСТ 6709.
9. Климатическая камера, обеспечивающая поддержание температуры $(20 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$ и относительной влажности $(80 \pm 3) \%$ и $(54 \pm 3) \%$, или шкаф для кондиционирования с температурой $(20 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$ и постоянной относительной влажностью.
10. Насыщенные растворы хлорида аммония и магния шестиводного азотнокислого для создания постоянной относительной влажности соответственно 80 и 54% .

Толщина образца должна не менее чем в два раза превышать размер самого крупного зерна наполнителя, но быть не менее 3 мм. Диаметр образца должен быть от 50 до 100 мм.

Поверхности образцов должны быть плоскопараллельны, очищены, обеспылены и без трещин.

Образец отделяют от антиадгезивной основы, толщину образца измеряют в четырех точках по периметру через 90° с точностью $\pm 0,1$ мм и определяют среднее арифметическое значение.

Испытания проводят на пяти образцах.

Методика испытаний

Для определения паропроницаемости защитно-отделочных покрытий существует два метода:

- сухой;
- мокрый.

Сущность этих методов заключается в создании стационарного потока водяного пара и определении величины этого потока.

Подготовленные образцы устанавливают на горловину сосуда, содержащего сорбент (сухой метод, относительная влажность в сосуде $\varphi = 0\%$) или дистиллированную воду (мокрый метод, $\varphi = 100\%$). Схема испытания приведена на рис. 2.1.

Расстояние между сорбентом (или дистиллированной водой) и нижней поверхностью образца должно быть от 10 до 15 мм. Количество сорбента (или дистиллированной воды) должно быть достаточным на все время испытания.

Промежутки между образцом и сосудом тщательно герметизируют. На верхнюю поверхность образца помещают шаблон, соответствующий открытой нижней поверхности образца. Незакрытые поверхности образца покрывают герметизирующим составом (парафин, пластилин). Необходимо тщательно следить за тем, чтобы герметизирующий состав не попал под шаблон. После отверждения герметизирующего состава шаблон удаляют.

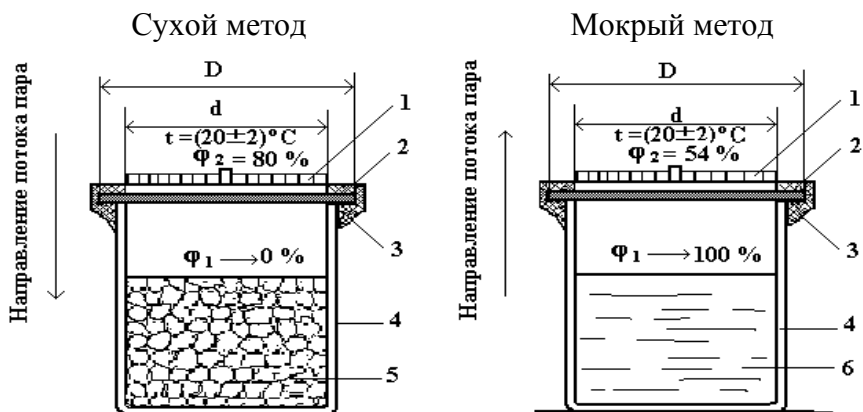


Рис. 2.1. Схема испытания на паропроницаемость:

1 – шаблон диаметром $(d \pm 0,1)$ мм; 2 – испытуемый образец диаметром D ;
3 – герметизирующая паста; 4 – стеклянный стакан с внутренним диаметром d ;
5 – сорбент; 6 – дистиллированная вода

Сосуды с подготовленными образцами взвешивают с погрешностью не более 0,01 г и помещают в камеру с температурой (20 ± 2) °С и постоянной относительной влажностью. Для сухого метода относительная влажность в камере должна быть (80 ± 3) %, для мокрого – (54 ± 3) %.

Сосуды взвешивают через 7 суток и определяют количество водяного пара, прошедшего через образцы.

Взвешивание повторяют до тех пор, пока изменение массы не будет постоянным. За время испытаний насыщение сорбента водой не должно превышать 5 % от исходного количества. При насыщении, превышающем 5 %, испытания образцов повторяют с новым количеством сорбента.

Обработка результатов

Коэффициент паропроницаемости μ , мг/(м · ч · Па), вычисляют по формуле

$$\mu = \frac{\delta \Delta m}{S \Delta t \Delta P}.$$

Сопrotивление паропроницаемости R , $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{мг}$, вычисляют по формуле

$$R = \frac{S\Delta t\Delta P}{\Delta m},$$

где S – площадь испытуемого образца, м^2 ;

δ – толщина образца, м ;

Δt – интервал времени между двумя взвешиваниями, ч ;

Δm – количество водяного пара, прошедшего через образец за интервал времени (Δt), мг ;

ΔP – разность парциального давления водяного пара на образце, Па , вычисляют по формулам:

для сухого метода $\Delta P = P_2$,

для мокрого – $\Delta P = P_1 - P_2$,

где P_1 – парциальное давление водяного пара в воздухе с относительной влажностью 100 % при данной температуре (при $t = 20$ °С) $P_1 = 2336,75$ Па;

P_2 – парциальное давление водяного пара в воздухе с температурой 20 °С и относительной влажностью φ_2 , Па, вычисляют по формуле

$$P_2 = \frac{2336,75\varphi_2}{100}.$$

За результат испытаний принимают среднее арифметическое значение результатов пяти определений одной серии испытаний, расхождение между которыми не превышает 10 %. Результаты испытаний заносят в табл. 2.2 и 2.3.

Таблица 2.2

Расчет паропроницаемости клеевого состава сухим методом

Наименование показателей	Образцы		
	1	2	3
Изменение массы Δm , мг			
Изменение времени Δt , ч			
Толщина образца δ , м			
Площадь образца S , м ²			
P_2 , при $\varphi = 80\%$			
μ , кг/(м · с · Па)			
μ , мг/(м · ч · Па)			
Среднее арифметическое значение			

Таблица 2.3

Расчет паропроницаемости штукатурки декоративно-защитного слоя в ЛШС сухим и мокрым методами

Наименование показателей	Метод					
	сухой			мокрый		
	1	2	3	1	2	3
Изменение массы Δm , мг						
Толщина образца δ , м						
Площадь образца S , м ²						
Изменение времени Δt , ч						
P_1 , при $t = 20\text{ }^\circ\text{C}$, Па						
P_2 , при $\varphi = 54\%$, Па						
P_2 , при $\varphi = 80\%$, Па						
Сопротивление паропроницаемости R , (м ² · ч · Па)/мг						
Коэффициент паропроницаемости μ , кг/(м · с · Па)						
Коэффициент паропроницаемости μ , мг/(м · ч · Па)						
Среднее арифметическое значение μ						

Контрольные вопросы для защиты выполненной лабораторной работы

1. Как определить водопоглощение покрытия при капиллярном подсосе?
2. Что такое коэффициент паропроницаемости и сопротивление паропроницаемости?
3. Какие существуют методы для определения паропроницаемости?
4. Почему в ЛШС утеплители, клеевой и декоративно-защитный слой должны пропускать пар?
5. Как определяют паропроницаемость мокрым методом?
6. Что будет происходить в ограждающей конструкции, если клеевые и декоративно-отделочные слои в системе теплоизоляции стены не будут пропускать пар?

Литература

1. Композиции защитно-отделочные строительные. Технические условия: СТБ 1263–2001.

Лабораторная работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАСТМАССОВЫХ АНКЕРНЫХ УСТРОЙСТВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ КРЕПЛЕНИЯ ПЛИТНОГО УТЕПЛИТЕЛЯ К ПОДОСНОВЕ ПРИ ТЕПЛОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ ЗДАНИЙ И ИСПЫТАНИЕ ИХ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Цель работы

Экспериментальное определение усилия вырыва статической нагрузкой анкерных устройств из бетонного основания и силикатного кирпича для трех видов анкеров-стержней; изучение влияния воздействия климатических факторов на усилие вырыва.

Вопросы для подготовки к выполнению лабораторной работы

1. Что такое тепловая изоляция зданий?
2. Какие климатические факторы воздействуют на наружные ограждающие конструкции зданий и сооружений?
3. Перечислите системы утепления ограждающих конструкций.

Задание к лабораторной работе

Провести испытания по определению усилия вырыва дюбеля.

Общие сведения

Тепловая модернизация зданий – такой вид преобразования здания, при котором производится экономически целесообразное повышение величины сопротивления теплопередаче R_T ограждающих конструкций с целью приведения эксплуатационных и архитектурно-художественных качеств в соответствие с современными функциональными и эстетическими требованиями (ПЗ-2000 к СНиП 3.03.01).

Наиболее предпочтительными и рациональными для повышения эксплуатационных характеристик здания являются системы наружного утепления, т.е. повышающие термическое сопротивление ограждающих конструкций R_T .

Наружное утепление имеет следующие преимущества:

- Создаются благоприятные температурно-влажностные условия работы изолируемых ограждающих конструкций.
- Стена надежно защищается от неблагоприятных внешних воздействий суточных и сезонных температурных колебаний, которые ведут к неравномерным деформациям элементов стен, что, в свою очередь, приводит к образованию трещин, раскрытию швов, отслоению штукатурки. Эти колебания воспринимает уже теплоизоляционный слой, выполненный из эффективных высококачественных утеплителей.

– При наружной теплоизоляции стена защищена от атмосферных осадков, появления микроорганизмов (грибков) на поверхности из-за избытка влажности, от образования льда в толще стены.

– В холодное время года наружная теплоизоляция препятствует охлаждению массивов ограждающих конструкций до температуры точки росы и выпадению конденсата на внутренних поверхностях или в конструкции стены.

– Наружные теплоизоляционные системы, выполненные с применением каменной ваты, не создают препятствия для существовавшего до изоляции «дыхания» стен (паропроницаемость).

При этом значение теплотеря уменьшается (минимизируется) до 10–15 % по сравнению с 35–45 % до утепления и одновременно улучшается качество здания, которое зачастую изначально не предназначено для проживания человека.

Дюбель-анкер представляет собой пластмассовую втулку диаметром 9 мм с прижимной шайбой диаметром от 60 мм и металлическим или пластмассовым сердечником диаметром 5,5 мм. Длина дюбель-анкера – 110 мм и более. Предназначен для механического крепления ТИМ к подоснове (ПЗ-2000 к СНиП 3.03.01).

В Республике Беларусь применяются следующие «штукатурные» системы теплоизоляции:

1. Легкие тонкослойные системы утепления стен – несущие функции выполняет теплоизоляционный слой системы, закрепляемый на подоснове (стене) с помощью полимерминерального слоя клея и анкерных устройств, а суммарная толщина армированного и декоративно-защитного слоя не превышает, как правило, 10 мм. Он воспринимает все нагрузки и воздействия, оказываемые на систему в процессе эксплуатации.

2. Тяжелые штукатурные системы (ТСШ) утепления стен – несущие функции выполняет металлическая оцинкованная сетка и связи, в качестве которых используются дюбели-анкеры с

двумя шайбами (в системах с горизонтальными связями) или специальные анкерные устройства с прижимными пластинами (в системах с наклонными связями). Толщина декоративно-защитных слоев в тяжелых штукатурных системах может достигать 50 мм. Отсутствует клеевой слой. Выполняются при температуре от +5 до +25 °С.

И в легких, и в тяжелых штукатурных системах армированный и декоративно-защитный слои располагаются непосредственно на утеплителе. Их называют также «закрытыми».

Приборы и материалы

1. Дюбель пластмассовый для крепления утеплителя.
2. Вид стержня (анкера): – пластмассовый;
– металлический;
– металлический со шляпкой оцинкованный.
3. Материал подосновы: – бетон класса В15–В45;
– кирпич силикатный М 200
4. Испытательное устройство или приспособление, обеспечивающее приложение усилия вырыва из подосновы строго вдоль оси анкерного устройства.
5. Разрывная машина для испытания типа FP-100/1 или прибор типа ПИБ-2.
6. Шкаф сушильный электрический.
7. Климатическая камера.

Задание. Провести испытание по определению усилия вырыва дюбеля.

Методика испытаний

Анкерное устройство (рис. 3.1) помещается в захват прибора и нагружается до вырыва из образца. Показания прибора

фиксируются по шкале силоизмерителя.

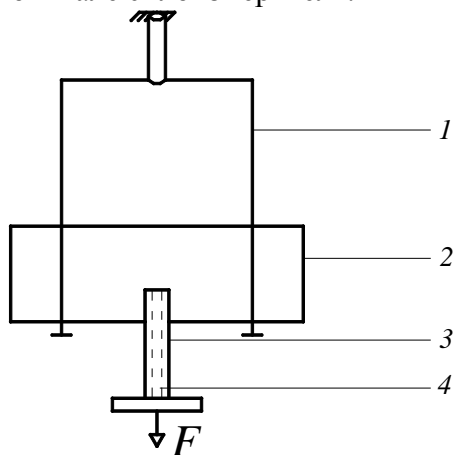


Рис. 3.1. Схема испытаний усилия вырыва дюбелей из основания:
1 – рамка для удержания образца; 2 – образец (кирпич, бетон);
3 – пластмассовый дюбель; 4 – анкер

В бетонном или кирпичном основании высверливают отверстие диаметром $(9 \pm 0,1)$ мм на глубину не менее 50 мм. Отверстие должно быть очищено от выработки перед введением дюбеля, который следует вводить ударом на глубину не менее 45 мм.

Глубина заделки дюбелей составляет:

- для ж/б панелей – 50 мм;
- для кирпичной кладки – 70 мм.

Исследования воздействия климатических факторов осуществляют в следующей последовательности:

- установленные в бетонный или кирпичный блоки дюбели с анкером (стержнем) помещают в камеру холода, температура в которой доводится до минус (50 ± 3) °С, и выдерживают в камере в течение двух часов;

- блоки с дюбелями в течение трех часов выдерживают в нормальных климатических условиях ГОСТ 15150;

- блоки с дюбелями помещают в камеру тепла, температура в которой доводится до плюс (50 ± 3) °С, и выдерживают в те-

чение двух часов;

– блоки с дюбелями в течение трех часов выдерживают в нормальных климатических условиях ГОСТ 15150;

– блоки с дюбелями помещают в камеру с влажностью $(100\pm 3)\%$ при температуре плюс $(25\pm 3)\text{ }^\circ\text{C}$ и выдерживают в течение 48 часов;

– проводят испытания по усилию вырыва при статической нагрузке, направленной вдоль оси дюбеля, из бетонного или кирпичного основания. Усилие должно быть не менее 300 Н (ПЗ-2000 к СНиП 3.03.01–87).

Результаты испытаний

Результаты испытаний заносят в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Контроль усилия вырыва

Вид подосновы	Вид сердечника (гвоздя) анкерного устройства	Усилие вырыва анкерного устройства из подосновы $F_{\text{в}}, \text{H}$	Нормируемая величина усилия вырыва $F_{\text{н}}, \text{H}$	$F_{\text{в}}/F_{\text{н}}$
Бетон тяжелый	пластмассовый			
	металлический			
	металлический со шляпкой			
Кирпич силикатный	пластмассовый			
	металлический			
	металлический со шляпкой			

Заключение

Оценить усилие вырыва $F_{\text{в}}$ из подосновы: больше или мень-

ше F_n .

Контрольные вопросы для защиты выполненной лабораторной работы

1. Для чего применяются пластмассовые анкера-дюбеля в строительстве?
2. Какие виды анкеров применяются при тепловой санации зданий?
3. От чего зависит усилие вырыва дюбелей из бетонного или кирпичного основания?
4. Как осуществляется контроль воздействия климатических факторов на дюбеля при испытании?

Литература

1. Змачинский, А.Э. Основы энергосбережения в строительстве. Курс лекций: учебно-методическое пособие / А.Э. Змачинский, О.Г. Галузо. – Минск: БНТУ, 2007. – 227 с.
2. Проектирование и устройство тепловой изоляции ограждающих конструкций жилых зданий: пособие ПЗ-2000 к СНиП 3.03.01-87.
3. Дюбели для крепления строительных изделий: ТУ РБ 100344537.002. – 2003.
4. Дюбели полиамидные для строительства. Технические условия: ГОСТ 26998–86.

Лабораторная работа № 4

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЛЕГКОЙ ШТУКАТУРНОЙ СИСТЕМЫ (ЛШС) УТЕПЛЕНИЯ ПО МЕТОДИКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО КОДЕКСА УСТАНОВИВШЕЙСЯ ПРАКТИКИ (ТКП 45-2.04-43-2006)

Цель работы

Вычисление термического сопротивления (сопротивление теплопередаче) R и необходимой толщины δ теплоизоляционного слоя для утепления наружной кирпичной стены здания

для различных ТИМ (полистиролбетона, пенополистирола, двух видов жесткой минераловатной плиты) для климатических условий Минской области; сравнение стоимости 1 м² материала утеплителя для наиболее применяемых видов; сравнение технических показателей качества утеплителей, использованных для расчета.

Вопросы для подготовки и выполнения лабораторной работы

1. Что следует предусматривать для сокращения расхода энергии при эксплуатации зданий и сооружений?
2. Какова должна быть расчетная температура воздуха в помещениях для расчета наружных ограждающих конструкций зданий и сооружений?
3. Напишите формулу для вычисления термического сопротивления однородной ограждающей конструкции.
4. Каково должно быть сопротивление теплопередаче заполнений наружных световых проемов?

Задания к лабораторной работе

Задание 1. Определить термическое сопротивление R_T и необходимую толщину δ теплоизоляционного слоя для различных ТИМ.

Задание 2. Сравнить эффективность и стоимость различных видов утеплителей (эффективность – по техническим характеристикам).

Общие сведения

Ограждающие конструкции совместно с системами отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха должны обеспечивать нормируемые параметры микроклимата помещений

при оптимальном энергопотреблении.

Для сокращения расхода энергии на создание нормируемых параметров микроклимата помещений в эксплуатируемых отапливаемых зданиях следует предусмотреть использование дополнительного теплоизоляционного слоя в наружных ограждающих конструкциях (стены, цоколи, подвалы). С этой целью проектируются и устраиваются системы утепления (легкие и тяжелые штукатурные (ЛШС и ТШС), вентилируемые).

Теплозащитные показатели систем утепления обеспечиваются теплоизоляционным слоем, который следует выполнять из эффективных ТИМ (волокнистые, ячеистые пластмассы, пеностекло), толщина которых определяется в проектной документации на основании теплотехнического расчета.

Конструктивное решение наружной стены (ограждающей конструкции) с ЛШС, т.е. толщина конструктивных слоев стены и расчетные технические характеристики использованных материалов (ρ_0 , λ) приведены на рис. 4.1 и в табл. 4.1.

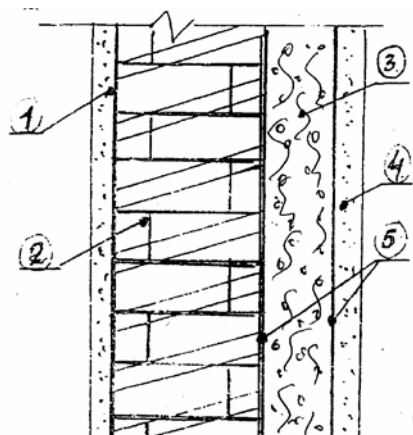


Рис. 4.1. Конструктивные слои стены

Таблица 4.1

Толщина конструктивных слоев стены и расчетные технические характеристики использованных материалов (ρ_0 , λ)

№ слоя согласно рисунку	Наименование материала конструктивных слоев системы и их толщины δ	Средняя плотность ρ_0 , (D) кг/м ³	Расчетный коэфф. теплопроводности каждого слоя λ , Вт/(м · °С)		
1	Известково-песчаный штукатурный раствор $\delta = 20$ мм (0,02 м)	1600	0,93		
2	Кладка из керамического рядового пустотелого кирпича на цементно-песчаном растворе (подоснова) $\delta = 510$ мм (0,50 м)	1600	0,47 0,78 (Б)		
Эффективные утеплители	3 ^I	Плита полистиролбетонная ПТПБ-300	300	0,10	
	3 ^{II}	Минераловатные жесткие плиты	Paroc FAS 4	130	0,039
			ПЖ-175	175	0,052
	3 ^{III}	Плита пенополистирольная ППТ-25-1 25Н-А	25	0,052	
3 ^{IV}	Пеноплэкс тип 35	35	0,03		
4	Декоративно-защитная композиция (полимер-минеральная штукатурка акриловая) $\delta = 5$ мм	1800	0,5		
5	Клеевые слои $\delta = 5 \times 2$ мм = 10 мм	1900	0,87		

Легкая штукатурная система (ЛШС) утепления – конструктивно-технологическое решение системы теплоизоляции, при котором теплоизоляционный слой является несущим и воспринимает все нагрузки и воздействия, оказываемые на систему в процессе эксплуатации.

ЛШС основана на использовании строительных материалов, сертифицированных в Республике Беларусь, а также эффективных утеплителей, соответствующих требованиям ПЗ-2000 к СНиП 3.03.01. ЛШС представляет собой многослойную конструкцию, состоящую из теплоизоляционного, армированного, декоративно-защитного слоев, анкерных устройств и специальных дополнительных изделий и материалов.

Армированный слой служит для защиты теплоизоляционных плит от механических повреждений в процессе эксплуатации, а также для обеспечения прочности и трещиностойкости декоративно-защитного слоя (нижняя часть фасадов по всему периметру на высоту 2,5 м от отметки уровня земли, участки стен на эксплуатируемых лоджиях и балконах, спуски в подвалы).

В качестве теплоизоляционного слоя в ЛШС применяются жесткие минераловатные плиты и панели, а также пенополистирольные и полистиролбетонные плиты, плиты из пеностекла.

ЛШС обеспечивает:

- повышение сопротивления теплопередаче R_t ограждающей конструкции;
- повышение звукоизоляции ограждающей конструкции;
- защиту ограждающей конструкции от атмосферных воздействий;
- выход водяного пара (диффузию) из толщи наружных стен;
- высокие архитектурно-декоративные качества;
- высокую надежность и долговечность

Задание 1. Теплотехнический расчет (упрощенный вариант) наружной ограждающей конструкции с ЛШС.

Задачей теплотехнического расчета является определение толщины утепления $\delta_{ут}$, необходимой для получения стены с сопротивлением теплопередаче R_t , не менее нормативного значения $R_{тн}$.

Нормативное (требуемое) значение сопротивления теплопередаче наружной стены (ограждающей конструкции) из

штучных материалов без учета теплопроводных включений $R_{\text{тн}} \geq 3,2 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ согласно табл. 5.1 ТКП 45-2.04-43–2006 «Строительная теплотехника»¹.

Последовательность расчета

Согласно табл. 4.1 ТКП 45-2.04-43–2006 расчетная температура воздуха в помещении $t_{\text{в}} = 18 \text{ °C}$, расчетная относительная влажность воздуха в помещении $\varphi = 55 \%$.

Влажностный режим помещений – нормальный, условия эксплуатации ограждающих конструкций – «Б» (табл. 4.2 ТКП 45-2.04-43–2006).

Значения расчетных коэффициентов теплопроводности λ указаны в табл. 4.1 (взяты из приложения А ТКП 45-2.04-43–2006).

Толщину утеплителя $\delta_{\text{ут}}$ следует вычислять по формуле

$$\delta_{\text{ут}} = R_{\text{тн}} \cdot \lambda_{\text{ут}},$$

где $R_{\text{тн}}$ – термическое сопротивление требуемого теплоизоляционного слоя ($\text{м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$;

$\lambda_{\text{ут}}$ – коэффициент теплопроводности материала утеплителя в условиях эксплуатации, $\text{Вт/(м} \cdot \text{°C)}$.

Теплотехнический расчет

Для вычисления необходимой толщины теплоизоляционного слоя δ сначала вычисляем термическое сопротивление отдельных слоев наружной стены в ($\text{м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ до выполнения дополнительной теплоизоляции по формуле 5.5 ТКП 45-2.04-43–2006:

– известково-песчаного раствора (штукатурки)

¹ Научно-технический совет Минстройархитектуры Республики Беларусь (протокол № 6-2 от 21.02.2007) признал целесообразным увеличить значение нормативного сопротивления ограждающих конструкций зданий до величины не менее $3,2 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ с 01.07.2009. Но в связи с мировым финансовым кризисом в 2009 г. отложил на неопределенный срок.

$$R_1 = \delta_{\text{ра}}/\lambda_{\text{ра}};$$

– кирпичной кладки

$$R_2 = \delta_{\text{кк}}/\lambda_{\text{кк}};$$

– наружного штукатурного декоративно-защитного слоя

$$R_4 = \delta_{\text{ш}}/\lambda_{\text{ш}};$$

– клеевого слоя (клеевых слоев)

$$R_5 = \delta_{\text{кл}}/\lambda_{\text{кл}}.$$

Далее принимаем нормативное сопротивление теплоотдаче $R_{\text{тн}}$.

Требуемое термическое сопротивление теплоизоляционно-го слоя из различных материалов $R_{\text{изол}}$ для обеспечения принятого $R_{\text{тн}}$ вычисляем по формуле

$$R_{\text{изол}} = R_{\text{т}} - (1/a_{\text{в}} + R_1 + R_2 + R_4 + R_5 + 1/a_{\text{н}}),$$

где $a_{\text{в}}$ и $a_{\text{н}}$ – коэффициенты теплоотдачи с внутренней и с наружной поверхностей утепленной ограждающей конструкции, принимаемые соответственно 8,7 Вт/(м² · °С) и 23,0 Вт/(м² · °С).

Далее вычисляем необходимую толщину δ плит слоя дополнительной теплоизоляции для получения стены с сопротивлением теплопередаче не менее нормативного значения (из условий энергосбережения) для различных утеплителей:

– из полистиролбетона

$$\delta_{\text{пб}} = \lambda_{\text{пб}} \cdot R_{\text{изол}};$$

– из минераловатных жестких плит (2 вида)

$$\delta_{\text{мв}} = \lambda_{\text{мв}} \cdot R_{\text{изол}};$$

$$\delta_{\text{мв}} = \lambda_{\text{мв}} \cdot R_{\text{изол}};$$

– из пенополистирола

$$\delta_{\text{пп}} = \lambda_{\text{пп}} \cdot R_{\text{изол.}}$$

Задание 2. Сравнить эффективность и стоимость различных видов утеплителей.

Сравниваем по стоимости 1 м² материала утеплителя при требуемой по расчету его толщине δ с учетом стоимости 1 м³ материала теплоизоляционного слоя, принимая другие равные условия (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Стоимость эффективных теплоизоляционных материалов (ТИМ)

Наименование ТИМ	Цена 1 м ² , руб. (усл. ед.)
Жесткая минераловатная плита (зарубежная)	
То же производства РБ	
Пенополистирол экспандированный (EPS-expandiertem Polystyrol)	
Полистиролбетон	
Пенополиуретан	

Таблица 4.3

Технические характеристики эффективных ТИМ

Наименование материала	Средняя плотность, ρ_0 , кг/м ³	Теплопроводность в сухом состоянии при температуре (25±5) °С $\lambda_{\text{сух}}$, Вт/(м · °С)	$\lambda_{\text{расч}}$, Вт/(м · °С) при условиях эксплуатации	
			А	Б
1	2	3	4	5
Плита пенополистирольная теплоизоляционная (ППС) СТБ 1437-2004	15	0,038	0,041	0,05
	25	0,039	0,042	0,051
	35	0,041	0,043	0,052
	50	0,043	0,045	0,054
Пенополиуретан (ППУ)	40	0,029	0,040	0,040
	60	0,035	0,041	0,041

	80	0,041	0,050	0,050
--	----	-------	-------	-------

Окончание табл. 4.3

1	2	3	4	5
Маты минераловатные	50	0,048	0,052	0,06
	75	0,052	0,06	0,064
	125	0,056	0,064	0,07
Плиты жесткие минераловатные	200	0,070	0,076	0,08
	300	0,084	0,087	0,09
	350	0,091	0,09	0,11
Плиты полистиролбетонные теплоизоляционные	230	0,068	0,075	0,085
	260	0,075	0,082	0,09
	300	0,080	0,092	0,10
СТБ 1102-2005	350	0,090	0,098	0,15

Примечание: А – влажностный режим помещений – сухой; Б – то же – нормальный (см. табл. 4.2. ТКП 45-2.04-43.2006).

Построить графики зависимости средней плотности (ρ_0 , кг/м³) от коэффициента теплопроводности ($\lambda_{\text{сух}}$, Вт/(м · °С)) для пяти утеплителей по данным табл. 4.3.

Литература

1. Технический кодекс установившейся практики. Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-2.04-43–2006 (02250). – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2007.

2. Технический кодекс установившейся практики. Тепловая изоляция наружных ограждающих конструкций зданий и сооружений. Система «Термошуба». Правила проектирования и устройства: ТКП 45-3.02-24–2006 (02250). – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2006.

3. Технический кодекс установившейся практики. Тепловая изоляция наружных ограждающих конструкций зданий и сооружений. Система «CERESIT (ЦЕРЕЗИТ)». Правила проектирования и устройства: ТКП 45-3.02-50–2006 (02250). – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Бе-

ларусь, 2006.

4. Проектирование и устройство тепловой изоляции ограждающих конструкций зданий и сооружений: пособие ПЗ-2000 к СНиП 3.03.01–87.

5. Устройство тепловой изоляции ограждающих конструкций зданий и сооружений. Система ПСЛ. НИИСМ. Белпроект: П2-04.02.96 к СНиП 3.03.01–87.

6. Несущие и ограждающие конструкции: СНиП 3.03.01.87.

7. Плиты пенополистирольные теплоизоляционные: СТБ 1437–2004.

8. Теплотехнический расчет ограждающих конструкций зданий: П1-04 к СНБ 2.04.01–97.

9. СТБ 1102-2005. Плиты теплоизоляционные полистиролбетонные. ТУ: СТБ 1102-2005.

Лабораторная работа № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИМЕРМИНЕРАЛЬНОГО КЛЕЕВОГО И ДЕКОРАТИВНО-ЗАЩИТНОГО СЛОЕВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ УСТРОЙСТВА В ЛЕГКОЙ ШТУКАТУРНОЙ СИСТЕМЕ УТЕПЛЕНИЯ СТЕН «ТЕРМОШУБА»

Цель работы

Ознакомление с ТНПА, методикой, приборами и оборудованием по определению адгезионной прочности с основанием (прочности сцепления) клеевого и полимерминерального декоративно-защитного слоев к подоснове, определение прочности сцепления клеевого слоя и полимерминеральной штукатурки с основанием, ударопрочности декоративно-защитного слоя в лаборатории и сравнение этих показателей с нормируемым значением.

Вопросы для подготовки и выполнения лабораторной работы

1. Какие материалы входят в систему утепления «ТЕРМО-ШУБА»?
2. Для чего определяется ударпрочность декоративно-защитного слоя наружных ограждающих конструкций зданий и сооружений?
3. Зависит ли прочность сцепления клеевого и штукатурного слоев с основанием от материалов, из которых сделано основание?

Задания к лабораторной работе

Задание 1. Определить прочность сцепления (адгезионную прочность) клеевого состава с теплоизоляционным слоем.

Задание 2. Определить прочность сцепления клеевого и штукатурного слоев с основанием (ГОСТ 28574-90, СТБ 1263-2001).

Задание 3. Определить стойкость к удару (динамическую прочность).

Приборы и материалы

1. Образцы пенополистирола и минеральной каменной ваты размером 100×100 мм – 3шт.
2. Цементно-песчаные образцы (подложки) размером 70×70×50 мм с нанесенным клеевым слоем диаметром 50 мм и высотой 2–3 мм – 5 шт.;
3. Образцы штукатурной системы утепления стен 100×100× h (h – толщина облицовки) – 3 шт.
4. Машина испытательная;
5. Металлическая линейка по ГОСТ 427.
6. Штангенциркуль по ГОСТ 166 с ценой деления 0,1 мм.
7. Металлические пластины размером (100×100)±1 мм и тол-

щиной $(5,0 \pm 0,1)$ мм с отверстием и резьбой в центре.

8. Клей эпоксидный по ТНПА.

9. Металлические диски высотой 25 мм и диаметром 50,6 мм с шарнирным соединением для передачи усилий растяжения.

10. Копер испытательный с массой груза 2 кг.

Задание 1. Определить прочность сцепления (адгезионной прочности) клеевого состава с теплоизоляционным слоем.

Методика испытаний

Сущность метода состоит в измерении усилия, необходимо-го для отрыва клеевого слоя от теплоизоляционного материала в направлении, перпендикулярном плоскости клеевого слоя.

Для проведения испытаний готовят образцы теплоизоляци-онного слоя размерами $(100 \times 100) \pm 1$ мм и толщиной, равной толщине материала или изделия (пенополистирол марки 35 Н, плита из минеральной ваты плотностью не менее 140 кг/м^3). Поверхность образцов очищают и обеспыливают. При помо-щи шпателя наносят клеевой слой на две противоположные стороны образца. Способ нанесения испытуемого клеевого слоя на поверхность теплоизоляционного материала, его тол-щина, время и условия отверждения определены в соответствии с СТБ 1621-2006.

Полученные образцы выдерживают на воздухе при темпе-ратуре $(23 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 7 суток. Испытания проводят на трех образцах.

Адгезионную прочность сцепления R клеевого слоя с теп-лоизоляционным материалом каждого образца в МПа, с точ-ностью до 0,001 МПа вычисляют по формуле

$$R = F/S,$$

где F – усилие отрыва, Н;

S – площадь металлической пластины, мм².

Для определения прочности сцепления клеевого слоя с теплоизоляционным материалом вычисляют среднее арифметическое значение R_{cp} по результатам трех испытаний.

Если разрушение образца произошло по приклеивающему слою, то результаты испытания этого образца аннулируют.

Задание 2. Определить прочность сцепления клеевого и штукатурного слоев с основанием (ГОСТ 28574–90, СТБ 1263–2001).

Методика испытаний

На цементно-песчаные образцы-подложки (рис. 5.1) наносят рабочий состав клеевого слоя толщиной 2 мм. Образцы выдерживают 28 суток при температуре равной (20 ± 5) °С и относительной влажности (65 ± 5) %. К ним приклеивают металлические диски эпоксидной смолой и после отвердевания определяют усилие их отрыва, рассчитывают значение адгезионной прочности в МПа.

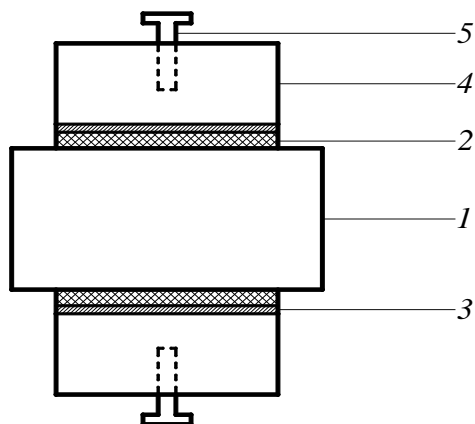


Рис. 5.1. Определение прочности сцепления клеевого и штукатурного состава с бетонным основанием:

1 – цементно-песчаные образцы подложки; 2 – клеевой или штукатурный

состав; 3 – клей эпоксидный; 4 – диск металлический; 5 – шарнирное соединение для передачи усилия растяжения

При отрыве покрытия от бетона величину адгезионной прочности R , МПа, вычисляют по формуле

$$R = F/S,$$

где F – значение силы, при которой произошел отрыв, Н;
 S – площадь отрыва, мм².

При обработке результатов испытаний пяти образцов-близнецов исключают экстремальные значения и определяют среднеарифметическое значение не менее чем по трем образцам. Результаты, отличающиеся от среднеарифметической величины более чем на 15 %, считаются недействительными – испытания повторяют.

Отрыв металлического диска по лакокрасочному покрытию или по бетону позволяет считать, что адгезия покрытия к бетону больше, чем адгезия в материале покрытия или прочность бетона на растяжение.

При отрыве диска по клею испытание необходимо повторить с использованием другой клеевой смеси с более высокими адгезионными характеристиками.

Задание 3. Определить стойкость к удару (динамическую прочность).

Декоративно-защитный наружный слой ЛШС теплоизоляции в цокольной части и на уровне 1-го этажа здания должен воспринимать ударные воздействия, действие нагрузок от лестниц или других приспособлений, применяемых при обслуживании и ремонте наружных стен зданий, а также обеспечивать амортизацию различных изгибающих нагрузок.

Динамическая (ударная) прочность – способность материала сопротивляться разрушению при ударных нагрузках (стойкость к удару). Ударным нагрузкам подвергаются также мате-

риалы дорожных покрытий, полы и т.п. Динамическую прочность хрупких строительных материалов определяют путем сбрасывания на испытываемый образец груза определенной массы. Высоту, с которой падает груз, последовательно увеличивают до тех пор, пока при очередном падении груза образец не разрушится (СТБ 1496-2004).

Метод устанавливает правила и порядок определения ударной прочности. Стойкость к удару характеризуется величиной работы $A_{уд}$, Дж, затраченной на разрушение образца.

Испытания выполняются в следующей последовательности:

– образцы устанавливаются на наковальню испытательного копра верхней плоскостью вверх и прижимаются подбабком, который должен соприкаться в центре с верхней плоскостью образца;

– подняв груз с помощью ручки и троса, производят первый удар груза по образцу с высоты 0,01 м, второй – с высоты 0,02 м, третий – 0,03 м и т.д. до появления на верхней плоскости образца признаков разрушений. Наличие трещин определяется визуально.

Стойкость к удару каждого из образцов $A_{уд}$ следует вычислять по формуле:

$$A_{уд} = mg [1 + 2 + 3 + \dots + (n - 1)] \cdot 0,01,$$

где m – масса падающего груза, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

n – номер удара, после которого появились признаки разрушения.

Стойкость к удару следует вычислять с точностью до 0,01 Дж.

Результаты испытаний

Результаты испытаний заносят в табл. 5.1.

Таблица 5.1

**Определение механических характеристик
полимерцементного штукатурного и клеевого составов**

Наименование показателя	Значение показателя состава и наименование ТНПА	Значения	
		опытные	среднее арифметическое
Прочность сцепления клеевого слоя с теплоизоляционным материалом, МПа – минераловатные плиты – пенополистирол	СТБ 1621-2006 табл. 1 Не менее предела прочности на отрыв слоев утеплителя Не менее предела прочности утеплителя при растяжении		
Прочность сцепления декоративно-защитного слоя с основанием, МПа – наружная полимерминеральная штукатурка – клеевой состав для наклеивания теплоизоляционных материалов и армирующей сетки	СТБ 1263-2001 табл. 1 не менее 0,8 СТБ 1621-2006 табл. 1 не менее 0,6		
Ударостойкость, Дж	Более 2,5		

Контрольные вопросы для защиты выполненной лабораторной работы

1. В чем сущность методики определения прочности сцепления клеевого слоя с теплоизоляционным материалом?
2. Как определить прочность сцепления клеевого и полимерминерального декоративно-защитного слоев с бетонным основанием?
3. Что такое адгезия и в каких единицах она измеряется?

Литература

1. Составы клеевые полимерминеральные. Технические условия: СТБ 1621–2006.
2. Композиции защитно-отделочные строительные. Технические условия: СТБ 1263–2001.
3. Защита от коррозии в строительстве. Конструкции бетонные и железобетонные. Методы испытаний адгезии защитных покрытий: ГОСТ 28574–90.
4. Композиции полимерминеральные для устройства пола. Технические условия: СТБ 1496–2004.

Лабораторная работа № 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИЭТИЛЕНОВОЙ ТРУБЫ-ОБОЛОЧКИ ДЛЯ ТРУБЫ, ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ТЕРМОИЗОЛИРОВАННОЙ ЖЕСТКИМ ПЕНОПОЛИУРЕТАНОМ

Цель работы

Ознакомление с техническими нормативными правовыми актами (ТНПА), а также методикой и оборудованием по определению изменения длины труб-оболочек в продольном

направлении после прогрева, относительного удлинения при раз-рыве образцов из полиэтилена, вырезанных из трубы-оболоч-ки, в лаборатории и сравнение с нормируемым значе-нием в технических требованиях.

Вопросы для подготовки к выполнению лабораторной работы

1. Какова цель тепловой изоляции труб?
2. Для чего предназначены предварительно изолированные трубы?
3. Из каких материалов могут изготавливаться трубы-обо-лочки для ПИ-труб?

Задания к лабораторной работе

Задание 1. Определить относительное удлинение при разрыве.

Задание 2. Определить изменение длины труб-оболочек после прогрева в воздушной среде.

Общие сведения

Предварительно утепленные пенополиуретаном стальные трубы в оболочке из полиэтилена предназначены для подземной и надземной прокладки тепловых сетей с температурой теплоносителя до 120 °С.

Находясь в подземной прокладке, они могут испытывать внешние усилия от грунта, зданий, сооружений и проходящих по шоссе автомобилей.

В качестве трубы-оболочки ПИ-труб, предназначенных для подземной прокладки тепловых сетей, применяется полиэтиленовая труба, изготовленная методом экструзии из полиэтилена низкого давления (ПЭНД), содержащего сажу.

Приборы и материалы

1. Испытательная машина для испытания материалов на растяжение.
2. Воздушный сушильный шкаф типа СНОЛ-3,5.
3. Штангенциркуль с погрешностью не более 0,01 мм.
4. Образцы термоизолированных труб (ПИ-труб).
5. Полиэтиленовые образцы длиной 150 мм для испытания на относительное удлинение при разрыве.
6. Образцы для определения изменения длины трубы-оболочки после прогрева.

Задание 1. Определить относительное удлинение при разрыве (по ГОСТ 11262-80 «Пластмассы. Методы испытания на растяжение»).

На образцах (рис. 6.1) на равном расстоянии от краев наносят две контрольные метки. При толщине стенки трубы до 6 мм испытания проводят с расстоянием между метками 25 мм, а при толщине стенки свыше 6 мм – 50 мм. Образцы испытывают при температуре (23 ± 2) °С. До начала испытания образцы выдерживают при данной температуре не менее 2 ч, затем закрепляют в зажимах испытательной машины и растягивают со скоростью (100 ± 10) мм/мин до разрыва. Измеряют расстояние между контрольными метками и рассчитывают относительное удлинение при разрыве ε_p , %, по формуле

$$\varepsilon_p = \frac{(l_k - l_0)}{l_0} \cdot 100 \%,$$

где l_k – расстояние между контрольными метками в момент разрыва образца, мм;

l_0 – расчетная длина между контрольными метками, мм.

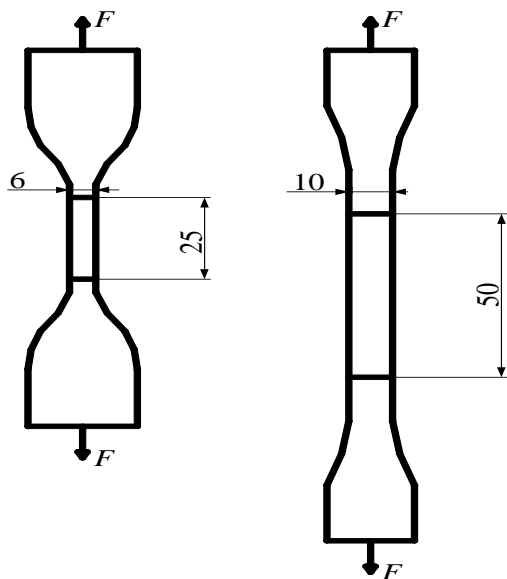


Рис. 6.1 Тип образца из полиэтилена для испытания на устойчивость к разрыву

Результаты испытаний записывают в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Определение относительного удлинения при разрыве

№ образца	Длина образца в момент разрыва l_k , мм	Начальная расчетная длина образца l_0 , мм	Относительное удлинение ε_p , %
1			
2			
3			
4			
5			

Среднее арифметическое значение для пяти определений	
--	--

Задание 2. Определить изменение длины труб-оболочек после прогрева в воздушной среде (по ГОСТ 27078–86 «Трубы из термопластов. Методы определения изменения длины труб после прогрева»).

Метод заключается в измерении расстояния между двумя метками на поверхности образца до и после выдержки его в воздушной среде при заданной температуре и времени.

Вырезанные из полиэтиленовой трубы-оболочки образцы 300×200 мм в количестве трех полос помещают в воздушный сушильный шкаф, снабженный герметизирующим устройством, обеспечивающим поддержание температуры 110 °С с отклонением ±2 °С в течение 60 мин при толщине стенки трубы до 8 мм и 120 мин при толщине от 8 до 16 мм.

На наружную поверхность каждого образца наносят три линии параллельно оси трубы на равном расстоянии по периметру или ширине образца. На каждой линии делают метки на расстоянии не менее 100 мм друг от друга и не менее 10 мм от торца образца.

На каждом образце измеряют расстояние между двумя метками (l_0) с погрешностью не более 0,25 мм при температуре (23±2) °С, значения заносят в табл. 6.2.

Таблица 6.2

Определение изменения длины труб после прогрева
в воздушной среде

№ образца	Расстояние до прогрева l_0 , мм	Расстояние после прогрева l , мм	$ l - l_0 $, мм	X, %
1				
2				
3				

Изменение длины между метками X на каждой линии, нанесенной на образце, вычисляют по формуле

$$X = \frac{|l - l_0|}{l_0} \cdot 100 \%,$$

где l – расстояние между метками после прогрева, мм;

l_0 – расстояние между метками до прогрева, мм;

$|l - l_0|$ – абсолютное значение изменения длины образца.

Результаты испытаний записывают в табл. 6.2.

В расчет принимаются максимальное абсолютное изменение длины образца $|l - l_0|$.

За результат измерения принимаются среднее арифметическое значение результатов испытаний трех образцов. Нормируемые величины (технические требования):

– относительное удлинение ПЭ трубы-оболочки при разрыве не менее 350 %;

– изменение длины труб-оболочек в продольном направлении после прогрева не более 3%.

Заключение

Испытанные образцы ПЭ трубы-оболочки ПИ-трубы по величине относительного удлинения и изменения длины труб-оболочек в продольном направлении после прогрева соответствуют / не соответствуют СТБ 1295–2001.

Контрольные вопросы для защиты выполненной лабораторной работы

1. Как определить относительное удлинение при разрыве ПЭ трубы-оболочки для ПИ-труб?

2. Как определить изменение длины ПЭ трубы-оболочки после разрыва в воздушной среде?
3. Почему ПЭ труба-оболочка в ПИ-трубе должна иметь высокое значение относительного удлинения?

Литература

1. Пластмассы. Методы испытания на растяжение: ГОСТ 11262-80.
2. Трубы из термопластов. Методы определения изменения размеров труб: ГОСТ 27078-86.
3. Трубы стальные предварительно термоизолированные пенополиуретаном: СТБ 1295-2001.

Лабораторная работа № 7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ИЗ ЖЕСТКОГО ПЕНОПОЛИУРЕТАНА, ПРИМЕНЯЕМОГО В ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ТЕРМОИЗОЛИРОВАННЫХ ТРУБАХ

Цель работы

Ознакомление с методиками определения средней плотности ρ_0 , водопоглощения по объему W_0 и напряжения при 10%-й деформации сжатия образцов из жесткого пенополиуретана, вырезанных из средней части изоляции ПИ-труб.

Вопросы для подготовки к выполнению лабораторной работы

1. Почему пенополиуретан применяется в трубах стальных, предварительно термоизолированных пенополиуретаном?
2. Какие есть способы изготовления жестких пенополиуретанов?

3. Перечислите основные области применения пенополиуретана.

Задания к лабораторной работе

Задание 1. Определить среднюю плотность ρ_0 средней части тепловой изоляции.

Задание 2. Определить водопоглощение по объему W_0 .

Задание 3. Определить напряжение при 10%-й деформации сжатия.

Общие сведения

В настоящее время наиболее эффективными теплоизоляционными материалами являются газонаполненные полимеры (пенопласты), из которых наиболее широкое распространение нашли пенополиуретаны (ППУ), обладающие наилучшими теплоизоляционными и эксплуатационными характеристиками, и которые, благодаря высокой технологичности, представляют для любой задачи в области теплоизоляции выгодное в стоимостном отношении и технически современное решение. Существующие пенообразователи и способы производства позволяют получать жесткий ППУ с преобладающим содержанием закрытых пор (92–98 %) и низкой средней плотностью ρ_0 . Эти важные эксплуатационные характеристики позволяют применять ППУ для решения задач проектирования и строительства теплоизолированных конструкций и систем.

Существующие два основных способа изготовления жестких ППУ – **заливка** и **напыление** – позволяют получать следующий ассортимент изделий:

- предварительно изолированные в заводских условиях трубы (ПИ-трубы);
- теплоизоляционные полуцилиндры и другие фасонные изделия для элементов трубопроводов и запорной арматуры;
- трехслойные панели и другие конструкционные строительные изделия;

– бесшовную изоляцию, получаемую нанесением теплоизоляционной ППУ-композиции **методом набрызга**.

Пенополиуретан содержит от 92 до 98 % закрытых пор, заполненных изоляционными газами. Только от 8 до 2 % объема ППУ содержит твердый полимер. Содержание твердого полимера определяется плотностью ППУ: чем выше плотность, тем выше процент твердого полимера. Закрытые поры заполнены газом, который образуется во время производства полиуретановой пены.

Жесткий ППУ наряду с высокой экономичностью и простой переработки характеризуется следующими техническими показателями:

- температурный диапазон эксплуатации: от -200 до $+165$ °С, выдерживает кратковременный нагрев до $+250$ °С;
- высокие показатели физико-механических характеристик;
- высокая стойкость к старению (формостабильность);
- химическая и биологическая стойкость;
- возможность заполнения узких пространств, т.е. технологичность.

Жесткие ППУ устойчивы к растворителям, пластификаторам и другим компонентам, применяемым в строительных работах и при устройстве гидроизоляционных оболочек. Химически устойчивы к минеральным маслам, различным видам топлива, разбавленным растворам кислот и щелочей, алифатическим и ароматическим углеводородам, к агрессивной промышленной атмосфере. Разрушают полимерную матрицу диметилформамид ($((\text{CH}_3)_2\text{NCHO})$) и концентрированные кислоты: соляная HCl , серная H_2SO_4 , азотная HNO_3 . При длительной эксплуатации пенополиуретанов в открытом состоянии происходит деструкция, связанная с воздействием УФ-излучения, что требует применения специальных защитных слоев.

Жесткий ППУ устойчив по отношению к плесневым грибкам, не подвержен разложению и гниению, физиологически

безвреден и разрешен к применению в жилищном строительстве, холодильной технике, изготовлении товаров культурно-бытового назначения. Имеет *высокую адгезию практически ко всем* материалам, за исключением отдельных полимеров, не вызывает коррозии, легко поддается механической обработке.

Таким образом, учитывая весь комплекс физико-механических и эксплуатационных характеристик, жесткий ППУ является материалом, характеристики которого удовлетворяют требованиям строительной теплофизики, экологическим и законодательным требованиям в трубопроводном и промышленном строительстве, для технологического оборудования, в криогенной, рефрижераторской и отопительной технике, а основное применение ППУ – это, безусловно, бесканальное, канальное и наземное строительство магистральных и коммунальных теплосетей, водоводов горячего и холодного водоснабжения, инженерных сетей химических и нефтехимических производств, газонефтепроводов рефрижераторного и криогенного оборудования с применением предварительно изолированных в заводских условиях трубопроводов и фасонных изделий отводов, тройниковых ответвлений, стартовых компенсаторов, запорной арматуры и других элементов.

Приборы и материалы

1. Образцы размером 25×25×25 мм для определения средней плотности средней части тепловой изоляции.
2. Образцы размером 25×25×25 мм для определения водопоглощения по объему W_0 .
3. Образцы размером 30×30×20 мм для определения напряжения при 10%-й деформации сжатия.
4. Весы типа ВЛТК-500.
5. Штангенциркуль ШЦ II-250.
6. Плитка электрическая.
7. Емкость с рамкой из нержавеющей стали.
8. Испытательная машина.

Задание 1. Определить среднюю плотность ρ_0 средней части тепловой изоляции (по ГОСТ 409–77).

Методика испытаний

Среднюю плотность средней части тепловой изоляций определяют на трех сухих образцах размером 25×25×25 мм.

Среднюю плотность ρ_0 в кг/м³ вычисляют по формуле

$$\rho = m \cdot 10^6 / V,$$

где m – масса образца, г;

V – объем образца, мм³.

Задание 2. Определить водопоглощение по объему (по СТБ 1295–2001).

Методика испытаний

Испытание на водопоглощение тепловой изоляции из жесткого ППУ выполняется на трех образцах 25×25×25 мм.

Масса M_0 образца определяется взвешиванием на весах с точностью до 0,01 г, а объем V_0 – по геометрическим размерам образца с точностью до 0,01 см³.

Образец помещают в рамку (корзину), изготовленную из нержавеющей стали. Чтобы исключить всплытие образца, к рамке прикрепляют груз.

Рамку с образцом погружают в кипящую дистиллированную воду так, чтобы расстояние между поверхностью воды и верхней гранью образца составляло не менее 50 мм. Время нахождения образца в кипящей воде должно составлять (90±5) мин. После извлечения из кипящей воды рамка с образцом сразу погружается в воду с температурой (23±5) °С на 1 ч. Затем рамка с образцом извлекается из воды. После удаления капель с образца определяется его масса M_1 с точностью до 0,01 г.

Водопоглощение W_0 , % рассчитывается с точностью до 1 % по формуле

$$W = \frac{(M_1 - M_0)}{V_0 \rho} \cdot 100, \% ,$$

где ρ – плотность воды при температуре (23 ± 5) °С составляет $0,99 \text{ г/см}^3$

Результат испытания определяется как среднее арифметическое значение результатов измерений.

Задание 3. Определить напряжение при 10%-й деформации сжатия (по ГОСТ 23206-77).

Методика испытаний

Напряжение при 10%-й деформации сжатия определяется на шести образцах, размер которых равен $(30 \times 30 \times 20) \pm 0,5$ мм.

Величина напряжения при 10%-й деформации сжатия вычисляется в МПа как среднее арифметическое значение результатов испытаний по формуле

$$\sigma_{10} = F_{10}/S,$$

где F_{10} – усилие при 10%-й деформации, Н;

S – площадь первоначального поперечного сечения образца, мм^2 .

Результаты определений

Результаты определений заносятся в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Результаты определения физико-механических характеристик

Определяемые показатели	Значения		
	нормируемые	опытные	среднее арифметическое

1	2	3			4
Средняя плотность средней части теплоизоляционной изоляции ρ_0 , кг/м ³	Не менее 80				

Окончание табл. 7.1

1	2	3			4
Водопоглощение по объему W_0 , %	Не более 10				
Напряжение при 10%-й деформации сжатия σ_{10} , МПа	Не менее 0,3				

Заключение

Тепловая изоляция из жесткого ППУ по измеренным показателям удовлетворяет / не удовлетворяет требованиям СТБ 1295–2001.

Контрольные вопросы для защиты выполненной лабораторной работы

1. Как определить среднюю плотность ρ_0 средней части пенополиуретановой изоляции ПИ-труб?
2. Как определить водопоглощение по объему термоизоляции из ППУ?
3. Как определить напряжение при 10%-й деформации сжатия образцов ППУ?
4. Почему водопоглощение по объему W_0 ППУ согласно СТБ определяется в кипящей воде?
5. Почему для тепловой изоляции (ППУ) невозможно определить предел прочности при сжатии $R_{сж}$?
6. Почему водопоглощение по объему W_0 ППУ должно быть не менее 10 %? Будет ли ППУ надежным теплоизолятором при 11 или 12 %?

Литература

1. Змачинский, А.Э. Основы энергосбережения в строительстве. Курс лекций: учебно-методическое пособие / А.Э. Змачинский, О.Г. Галузо. – Минск: БНТУ, 2007. – 227 с.

2. Пластмассы ячеистые и резины губчатые. Метод определения кажущейся плотности: ГОСТ 409–77.

3. Трубы стальные предварительно термоизолированных пенополиуретаном. Технические условия: СТБ 1295–2001.

4. Пластмассы ячеистые жесткие. Метод испытания на сжатие: ГОСТ 23206–78.

Задачи для практических занятий

Тема: «Теплофизические характеристики»

Задача 1

Кубический образец каменного материала размером $a = 10$ см имеет в воздушно-сухом состоянии массу $m = 2,2$ кг.

Вычислить ориентировочно коэффициент теплопроводности λ и возможное наименование материала.

Решение:

Известна формула В.П. Некрасова, связывающая теплопроводность λ [Вт/(м · °С)] с величиной относительной плотности d однородного каменного материала:

$$\lambda = 1,16\sqrt{0,0196 + 0,22d^2} - 0,16,$$

где d – относительная плотность, выражает отношение плотности материала $\rho_0^{\text{мат}}$ к плотности стандартного вещества ρ_0 при определенных физических условиях (безразмерная величина).

В качестве стандартного вещества удобно принять воду при 4 °С (точнее при $t = 3,98$ °С), имеющую при этой температуре плотность $\rho_0^{\text{H}_2\text{O}} = 1000$ кг/м³, или $\rho_0^{\text{H}_2\text{O}} = 1$ г/см³.

Средняя плотность данного кубического образца материала

$$\rho_0 = \frac{m}{V} = m/a^3 = 2200/1000 = 2,2 \text{ г/см}^3.$$

Относительная плотность d

$$d = \frac{\rho_0^{\text{мат}}}{\rho_0^{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{2,2}{1,0} = 2,2.$$

Ориентировочно коэффициент теплопроводности материала

$$\lambda = 1,16\sqrt{0,0196 + 0,22 \cdot (2,2)^2} - 0,16 = 1,048 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}.$$

По справочным данным устанавливаем, что возможный вид материала – тяжелый бетон. $\lambda = 0,9\text{--}1,6 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ (А.Г. Ко-мар. Строительные материалы и изделия, М., 1988 г.).

Задача 1а

Определить среднюю плотность ρ_0 и коэффициент теплопроводности λ , установить примерное название материала, если образец из него имеет форму куба с ребром 3 см и массу 32,4 г.

Решение:

Объем куба $V = 0,03 \times 0,03 \times 0,03 = 0,000027 \text{ м}^3$.

Средняя плотность кубического образца материала

$$\rho_0^{\text{мат}} = \frac{0,0324}{0,000027} = 1200 \text{ кг/м}^3.$$

$$\lambda = 1,16\sqrt{0,0196 + 0,22d^2} - 0,16,$$

$$d = \frac{\rho_0^{\text{мат}}}{\rho_0^{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{1200}{1000} = 1,2,$$

$$\begin{aligned}\lambda &= 1,16\sqrt{0,0196 + 0,22 \cdot (1,2)^2} - 0,16 = \\ &= 1,16\sqrt{0,3364} - 0,16 = 0,513 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}.\end{aligned}$$

Ответ: 1200 кг/м³; 0,513 Вт/(м · °C); легкий бетон.

Задача 1б

Образец каменного материала в форме куба со стороной 10 см имеет массу в сухом состоянии 1,7 кг. Вычислить ориентировочно коэффициент теплопроводности λ и возможное наименование этого материала.

Решение:

Объем образца материала

$$V_{\text{мат}} = 0,001 \text{ м}^3 \text{ или } V_{\text{мат}} = 1000 \text{ см}^3.$$

Средняя плотность образца материала

$$\rho_0^{\text{мат}} = \frac{m}{V} = \frac{1,7}{0,001} = 1700 \text{ кг/м}^3.$$

Относительная плотность

$$d = \frac{\rho_0^{\text{мат}}}{\rho_0^{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{1700}{1000} = 1,7.$$

Коэффициент теплопроводности материала

$$\begin{aligned}\lambda &= 1,16\sqrt{0,0196 + 0,22 \cdot d^2} - 0,16 = \\ &= 1,16\sqrt{0,0196 + 0,22 \cdot 2,89} - 0,16 = 0,779098 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}.\end{aligned}$$

Ответ: 0,779098 Вт/(м · °C); цементно-песчаный раствор.

Задача 1в

Образец каменного материала в форме куба со стороной 10 см имеет массу в сухом состоянии 1,5 кг. Определить ориентировочно коэффициент теплопроводности λ и возможное наименование этого материала.

Решение:

Объем образца материала

$$V_{\text{мат}} = 0,001 \text{ м}^3 \text{ или } V_{\text{мат}} = 1000 \text{ см}^3.$$

Средняя плотность образца материала

$$\rho_0^{\text{мат}} = \frac{m}{V} = \frac{1,5}{0,001} = 1500 \text{ кг/м}^3.$$

Относительная плотность

$$d = \frac{\rho_0^{\text{мат}}}{\rho_0^{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{1500}{1000} = 1,5.$$

Коэффициент теплопроводности материала

$$\begin{aligned} \lambda &= 1,16\sqrt{0,0196 + 0,22 \cdot d^2} - 0,16 = \\ &= 1,16\sqrt{0,0196 + 0,22 \cdot 2,25} - 0,16 = 0,672 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}. \end{aligned}$$

Ответ: 0,672 Вт/(м · °C); легкий бетон

Задача 2

Через наружную стену из кирпича площадью $A = 25,5 \text{ м}^2$ проходит за $\tau = 24 \text{ ч}$ $Q = 76000 \text{ кДж}$ теплоты. Толщина стены $\delta = 51 \text{ см}$. Температура внутренней (теплой) поверхности стены $t_1 = +15 \text{ °C}$, наружной (холодной) $t_2 = -12 \text{ °C}$.

Рассчитать теплопроводность λ кирпичной кладки.

Решение:

Теплопроводность кирпичной стены (кладки) λ , Вт/(м · °С)

$$\lambda = \frac{Q\delta}{A(t_1 - t_2)\tau},$$

где Q – количество теплоты, кДж;

δ – толщина стены, м;

A – площадь сечения, перпендикулярная направлению теплового потока, м²;

t_1, t_2 – температура поверхности соответственно теплой и холодной сторон стены, °С;

τ – время прохождения потока тепла, ч.

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{76000 \cdot 0,51}{25,5 \cdot 27 \cdot 24} = 2,346 \text{ кДж}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{°С}) \text{ или } 2,346 : 3,6 = \\ &= 0,65157 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°С}).\end{aligned}$$

Ответ: 0,65157 Вт/(м · °С).

1 Вт/(м · °С) = 0,86 ккал/(ч · м · °С) 1 кал = 4,1868 Дж
Вт = Дж/с. Ватт равен мощности, при которой работа 1 Дж производится за время 1 с. По размерности °С = К.

Задача 2а

Наружная поверхность стены из газобетона толщиной 300 мм имеет температуру $t_2 = -12$ °С, а внутренняя $t_1 = +18$ °С. Через стену площадью $A = 18$ м² проходит в течение $t = 6$ ч 7000 кДж тепла. Вычислить коэффициент теплопроводности λ газобетона.

Решение:

$$\lambda = \frac{Q \cdot \delta}{A(t_1 - t_2)\tau} = \frac{7000 \cdot 0,3}{18[18 - (-12)] \cdot 6 \cdot 3,6} = 0,18 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°С}).$$

Вт = Дж/с.

Ответ: 0,18 Вт/(м · °С).

Задача 26

Через наружную стену из кирпича площадью $A = 25,5 \text{ м}^2$ проходит за $\tau = 24 \text{ ч}$ $Q = 76000 \text{ кДж}$ теплоты. Толщина стены $\delta = 51 \text{ см}$. Температура внутренней поверхности стены $t_1 = +18 \text{ °С}$, наружной $t_2 = -12 \text{ °С}$.

Рассчитать теплопроводность λ кирпичной кладки.

Решение:

Теплопроводность кирпичной стены (кладки) λ , Вт/(м · °С)

$$\lambda = \frac{Q\delta}{A(t_1 - t_2)\tau},$$

где Q – количество теплоты, кДж;

δ – толщина стены, м;

A – площадь сечения, перпендикулярная направлению теплового потока, м^2 ;

t_1, t_2 – температура поверхности соответственно теплой и холодной стороны стены, °С;

τ – время прохождения потока тепла, ч.

$$\lambda = \frac{76000 \cdot 0,51}{25,5 \cdot 30 \cdot 24} = 2,11 \text{ кДж}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{°С}) \text{ °С} \text{ или}$$

$$2,11 : 3,6 = 0,5864 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°С}).$$

$1 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°С}) = 0,86 \text{ (ккал}/\text{ч} \cdot \text{м} \cdot \text{°С})$; $1 \text{ кал} = 4,1868 \text{ Дж}$.
Вт = Дж/с; ватт равен мощности, при которой работа 1 Дж производится за время 1 с. По размерности °С = К.

Ответ: 0,5864 Вт/(м · °С).

Задача 3

Теплопроводность фибролита со средней плотностью $\rho_0 = 400 \text{ кг/м}^3$ в сухом состоянии при $t = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ $\lambda_t^{\text{сух}} = 0,1 \text{ Вт/(м} \cdot \text{ }^\circ\text{C)}$.

Вычислить расчетное значение теплопроводности λ :

а) при $t = 0 \text{ }^\circ\text{C}$;

б) при $t = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ и влажности по массе $W_m = 20 \text{ } \%$.

Решение:

Для пересчета теплопроводности к нулевой температуре используем формулу

$$\lambda_t = \lambda_0(1 + 0,0025t),$$

где λ_0 – коэффициент теплопроводности при $0 \text{ }^\circ\text{C}$.

Эта формула справедлива только при температурах не выше $100 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$\lambda_0 = \frac{\lambda_t}{(1 + 0,0025t)} = \frac{0,1}{1 + 0,0025 \cdot 25} = 0,094 \text{ Вт/(м} \cdot \text{ }^\circ\text{C)}.$$

Для учета влияния влажности на теплопроводность λ можно использовать упрощенную формулу

$$\lambda_w = \lambda_t^{\text{сух}} + \Delta\lambda W_{\text{об}},$$

где $\lambda_t^{\text{сух}}$ – коэффициент теплопроводности при температуре t ;

λ_w – коэффициент теплопроводности влажного материала;

$\Delta\lambda$ – приращение коэффициента теплопроводности на $1 \text{ } \%$ увеличения объемной влажности W_0 , которое составляет:

– для неорганических материалов при положительной температуре – $0,0025 \text{ Вт/(м} \cdot \text{ }^\circ\text{C)}$;

– при отрицательной – $0,0047 \text{ Вт/(м} \cdot \text{ }^\circ\text{C)}$;

– для органических – соответственно $0,0035 \text{ Вт/(м} \cdot \text{ }^\circ\text{C)}$ и $0,0047 \text{ Вт/(м} \cdot \text{ }^\circ\text{C)}$;

$W_{об}$ – объемная влажность (влажность материала по объему).
Влажность по объему фибролита

$$W_0 = W_m \cdot \frac{m}{V \cdot \rho_B} = W_m \cdot \frac{\rho_0}{\rho_B},$$

$$W_0 = W_m \cdot d = 20 \cdot 0,4 = 8,0 \% .$$

Эффективная теплопроводность влажного фибролита

$$\lambda_w = 0,1 + 0,0035 \cdot 8,0 = 0,128 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}.$$

Ответ: 0,094 Вт/(м · °C); 0,128 Вт/(м · °C).

Задача 3а

Теплопроводность газосиликата со средней плотностью $\rho_0 = 360 \text{ кг/м}^3$ в сухом состоянии при $t = 25 \text{ °C}$ $\lambda_t^{сух} = 0,085 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$.

Вычислить расчетное значение теплопроводности λ :

а) при $t = 0 \text{ °C}$;

б) при $t = 25 \text{ °C}$ и влажности по массе $W_m = 20 \%$.

Решение:

Для пересчета теплопроводности к нулевой температуре используем формулу

$$\lambda_t = \lambda_0(1 + 0,0025t) .$$

Эта формула справедлива только при температурах не выше 100 °C .

Теплопроводность газосиликата при 0 °C

$$\lambda_0 = \frac{\lambda_t}{(1 + 0,0025t)} = \frac{0,085}{1 + 0,0025 \cdot 25} = 0,08 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)}.$$

Для учета влияния влажности на теплопроводность можно использовать упрощенную формулу

$$\lambda_w = \lambda_{\text{сух}} + \Delta\lambda W_{\text{об}},$$

Влажность по объему газосиликата

$$W_0 = W_m \cdot \frac{m}{V \cdot \rho_B} = W_m \cdot \frac{\rho_0}{\rho_B},$$

$$W_0 = W_m \cdot d = 20 \cdot 0,36 = 7,2 \% .$$

Коэффициент теплопроводности влажного газосиликата

$$\lambda_w = 0,085 + 0,0025 \cdot 7,2 = 0,103 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)}.$$

Ответ: 0,08 Вт/(м · °С); 0,103 Вт/(м · °С).

Задача 4

Необходимо заменить существующую теплоизоляцию из пенобетонных плит со средней плотностью $\rho_0 = 500 \text{ кг/м}^3$ и толщиной $\delta_{\text{пб}} = 100 \text{ мм}$ на теплоизоляцию из каменной ваты марки D 100.

Температура изолируемой поверхности $t_1 = 300 \text{ °С}$, а температура поверхности изоляции $t_2 = 25 \text{ °С}$. Вычислить толщину нового теплоизоляционного слоя из каменной ваты.

Решение:

Определяем среднюю температуру теплоизоляционного слоя

$$t_{cp} = (t_1 + t_2)/2 = (300 + 25)/2 = 162,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

По справочным данным вычисляем коэффициент теплопроводности изоляционного слоя из пенобетона при $\rho_0 = 500 \text{ кг/м}^3$ по следующей расчетной формуле:

$$\lambda_{пб}^{500} = 0,13 + 0,0003t_{cp} = 0,13 + 0,0003 \cdot 162,5 = 0,179 \text{ Вт/(м} \cdot \text{ } ^\circ\text{C)}.$$

Вычисляем коэффициент теплопроводности минераловатного утеплителя марки D 100 по расчетной формуле

$$\begin{aligned} \lambda_{мв} &= 0,047 + 0,00023t_{cp} = 0,047 + 0,00023 \cdot 162,5 = \\ &= 0,0844 \text{ Вт/(м} \cdot \text{ } ^\circ\text{C)}. \end{aligned}$$

При замене теплоизоляционного материала, предусмотренного проектом, на другой необходимо обеспечить сохранение термического сопротивления запроектированного изоляционного слоя

$$R = \delta / \lambda ,$$

где R – термическое сопротивление изоляционного слоя, $\text{м}^2 \cdot \text{ } ^\circ\text{C/Вт}$;

δ – толщина слоя, м;

λ – коэффициент теплопроводности изоляционного слоя, $\text{Вт/(м} \cdot \text{ } ^\circ\text{C)}$.

Термическое сопротивление существующей теплоизоляции из пенобетона

$$R_T = \delta_{пб} / \lambda_{пб}^{500} = 0,1 / 0,179 = 0,559 (\text{м}^2 \cdot \text{ } ^\circ\text{C})/\text{Вт}.$$

Толщина слоя из минеральной ваты при требуемом проектном термическом сопротивлении $R_T = 0,56 \text{ Вт/(м} \cdot \text{ } ^\circ\text{C)}$.

$$\delta_{\text{MB}} = R_{\text{T}} \lambda_{\text{MB}} = 0,559 \cdot 0,0844 = 0,047 \text{ м.}$$

Принимаем $\delta_{\text{MB}} = 5,0 \text{ см.}$

Ответ: 5,0 см.

Задача 5

Какое количество теплоты потребуется, чтобы нагреть от $t_2 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ до $t_1 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ стену из ячеистого бетона плотностью $\rho_0 = 550 \text{ кг/м}^3$, площадью $A = 20 \text{ м}^2$ и толщиной $\delta = 25 \text{ см}$ и такую же стену из древесины такой же средней плотности?

Решение:

Количество теплоты вычисляем по формуле

$$Q = cm (t_1 - t_2),$$

где m – масса нагреваемого материала, кг.

Удельная теплоемкость сухого ячеистого бетона $c_{\text{яб}}^{\text{сух}} = 0,838 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{ }^\circ\text{C)}$, удельная теплоемкость древесины $c_{\text{др}}^{\text{сух}} = 1,9 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{ }^\circ\text{C)}$.

Масса нагреваемых стен из ячеистого бетона и древесины одинакова

$$m = A \delta \rho_0 = 20 \cdot 0,25 \cdot 550 = 2750 \text{ кг.}$$

Количество теплоты, необходимое для нагрева ячеистого бетона,

$$Q_{\text{яб}} = 0,838 \cdot 2750 \cdot 20 = 46090 \text{ кДж.}$$

Количество теплоты, необходимое для древесины,

$$Q_{\text{др}} = 1,9 \cdot 2750 \cdot 20 = 104500 \text{ кДж.}$$

Ответ: 46090 кДж; 104 500 кДж.

Наряду с теплоизоляцией существенным для микроклимата помещений является способность к аккумуляции тепла.

Теплоемкость материалов является важной характеристикой в тех случаях, когда необходимо учитывать аккумуляцию тепла, например, при расчете и конструировании теплоустойчивости ограждений (стен, перекрытий и т.д.) с целью сохранения температуры в помещении без резких колебаний при изменении теплового режима.

$$c \cdot \rho_0 \cdot \delta_m = Q_s.$$

Древесина выравнивает колебания температуры t внутри здания и способствует тем самым созданию здорового для проживания и работы климата.

Задача 6

Какое количество теплоты, кДж, потребуется для нагрева газобетонной панели от $t_2 = 15$ °С до $t_1 = 95$ °С размером $3,1 \times 2,7 \times 0,3$ м со средней плотностью $\rho_0 = 500$ кг/м³ и влажностью по объему $W_0 = 20$ %.

Решение:

Удельная теплоемкость газобетона в сухом состоянии $c_{гб}^{сух} = 0,92$ кДж/(кг · °С).

Удельная теплоемкость газобетона во влажном состоянии

$$c_{газ}^w = c_{сух} + 0,042 \cdot W_m = 0,92 + 0,042 \cdot 40 = 2,6 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{°С}),$$

$$d = \frac{\rho_0}{\rho_{H_2O}} = \frac{500}{1000} = 0,5.$$

Влажность газобетона по массе

$$W_m = W_0 / d = 20 : 0,5 = 40 \text{ \%}.$$

Объем газобетонной панели и ее масса:

$$V_{\text{п}} = 3,1 \cdot 2,7 \cdot 0,3 = 2,511 \text{ м}^3,$$

$$M_{\text{п}} = V_{\text{п}} \cdot \rho_0 = 2,511 \cdot 500 = 1256 \text{ кг}.$$

Количество теплоты, необходимое для нагрева панели:

$$\begin{aligned} Q &= c_w \cdot M_{\text{п}} (t_1 - t_2) = 2,6 \cdot 1256 \cdot (95 - 15) = \\ &= 261248 \text{ Дж} = 261,248 \text{ кДж}. \end{aligned}$$

Ответ: 261,248 кДж.

Задача 6а

Какое количество теплоты, кДж, потребуется для нагрева газобетонной панели от $t_2 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ до $t_1 = 95 \text{ }^\circ\text{C}$ размером $3,1 \times 2,7 \times 0,3 \text{ м}$ со средней плотностью $\rho_0 = 360 \text{ кг/м}^3$ и влажностью по объему $W_0 = 20 \text{ \%}$?

Решение:

Удельная теплоемкость газобетона в сухом состоянии

$$c_{\text{гб}}^{\text{сух}} = 0,92 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{ }^\circ\text{C}),$$

Удельная теплоемкость газобетона во влажном состоянии

$$c_{\text{гб}}^w = c_{\text{сух}} + 0,042 W_m = 0,92 + 0,042 \cdot 55,56 = 3,253 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{ }^\circ\text{C}).$$

Влажность газобетона по массе

$$W_m = W_0/d = 20 : 0,36 = 55,56 \text{ \%}.$$

Объем газобетонной панели и ее масса

$$V_{\text{п}} = 3,1 \cdot 2,7 \cdot 0,3 = 2,511 \text{ м}^3,$$

$$M_{\text{п}} = V_{\text{п}} \cdot \rho_0 = 2,511 \cdot 360 = 903,96 \text{ кг}.$$

Количество теплоты, необходимое для нагрева панели:

$$Q = c_w \cdot M_{\text{п}} (t_1 - t_2) = 3,253 \cdot 903,96 \cdot (95 - 15) = 235246,55 \text{ кДж.}$$

Ответ: 235 246,55 кДж.

Задача 7

Какова скорость распространения температуры в ячеистом бетоне и в древесине, имеющих одинаковую среднюю плотность $\rho_0 = 500 \text{ кг/м}^3$?

Данная величина характеризует распределение температурного поля в материале и численно определяется коэффициентом температуропроводности α , представляющим собой скорость изменения температуры в материале при переменном во времени тепловом режиме. Размерность температуропроводности – $\text{м}^2/\text{с}$ или $\text{м}^2/\text{ч}$.

$$\alpha = \frac{\lambda}{c \cdot \rho_0}.$$

Теплопроводность ячеистого бетона $\lambda_{\text{яб}} = 0,5 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$, теплопроводность древесины (поперек волокон) $\lambda_{\text{др}} = 0,15 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$, удельная теплоемкость сухого ячеистого бетона $c_{\text{яб}}^{\text{сух}} = 0,838 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$, удельная теплоемкость древесины $c_{\text{др}}^{\text{сух}} = 1,9 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$.

Решение:

Скорость распространения температуры (температуропроводность) в ячеистом бетоне

$$\alpha_{\text{б}} = \lambda_{\text{б}} / (c_{\text{б}} \cdot \rho_0) = \frac{0,5 \cdot 3,6}{0,838 \cdot 500} = 0,0043 \text{ м}^2/\text{ч}.$$

Скорость распространения температуры в древесине

$$\alpha_{\text{др}} = \lambda_{\text{др}} / (c_{\text{др}} \cdot \rho_0) = \frac{0,15 \cdot 3,6}{1,9 \cdot 500} = 0,00057842 \text{ м}^2/\text{ч}.$$

Вт = Дж/сек.

Ответ: 0,0043 м²/ч; 0,00057 м²/ч.

Задача 8

Воспользовавшись формулой В.П. Некрасова, вычислить ориентировочно теплопроводность λ следующих строительных материалов со средней плотностью до:

- гранита ($\rho_0 = 2500 \text{ кг/м}^3$);
- песчаника ($\rho_0 = 1800 \text{ кг/м}^3$);
- известняка-ракушечника ($\rho_0 = 1100 \text{ кг/м}^3$);
- туфа ($\rho_0 = 800 \text{ кг/м}^3$);
- газосиликата ($\rho_0 = 360 \text{ кг/м}^3$);
- газостекла ($\rho_0 = 200 \text{ кг/м}^3$).

Решение:

$$\begin{aligned} \lambda_{\text{гран}} &= 1,16\sqrt{0,0196 + 0,22 \cdot (2,5)^2} - 0,16 = \\ &= 1,16\sqrt{0,3946} - 0,16 = 1,16 \cdot 1,18093 = 1,372 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda_{\text{пес}} &= 1,16\sqrt{0,0196 + 0,22 \cdot (1,8)^2} - 0,16 = \\ &= 1,16\sqrt{0,7324} - 0,16 = 0,8327 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda_{\text{изв}} &= 1,16\sqrt{0,0196 + 0,22 \cdot (1,1)^2} - 0,16 = \\ &= 1,16\sqrt{0,2858} - 0,16 = 0,46 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}; \end{aligned}$$

$$\lambda_{\text{туфа}} = 1,16\sqrt{0,0196 + 0,22 \cdot (0,8)^2} - 0,16 =$$

$$= 1,16\sqrt{0,0196 + 0,1408} - 0,16 = 1,16\sqrt{0,1604} - 0,16 = 0,3046 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)};$$

$$\lambda_{\text{газосиликата}} = 1,16\sqrt{0,0196 + 0,22 \cdot (0,36)^2} - 0,16 =$$

$$= 0,0944395 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)};$$

$$\lambda_{\text{газостекла}} = 1,16\sqrt{0,0196 + 0,22 \cdot (0,2)^2} - 0,16 = 0,035 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}.$$

Задача 9

Вычислить теплопроводность λ керамзитобетона в сухом состоянии при средней плотности $\rho_0 = 500, 600, 700, 900$ и 1100 кг/м^3 , воспользовавшись следующей эмпирической формулой:

$$\lambda_c = \frac{0,43 \cdot \rho_0}{1000} - 0,14 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}.$$

Решение:

$$\lambda_c^{500} = \frac{0,43 \cdot 500}{1000} - 0,14 = 0,075 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)};$$

$$\lambda_c^{600} = \frac{0,43 \cdot 600}{1000} - 0,14 = 0,118 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)};$$

$$\lambda_c^{700} = \frac{0,43 \cdot 700}{1000} - 0,14 = 0,161 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)};$$

$$\lambda_c^{900} = \frac{0,43 \cdot 900}{1000} - 0,14 = 0,247 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)};$$

$$\lambda_c^{1100} = \frac{0,43 \cdot 1100}{1000} - 0,14 = 0,333 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}.$$

Задача 10

Вычислить среднюю плотность ρ_0 керамзитобетона при теплопроводности $\lambda = 0,14; 0,2; 0,25; 0,35$ Вт/(м · °С), воспользовавшись следующей формулой:

$$\lambda_c = \frac{0,43 \cdot \rho_0}{1000} - 0,14.$$

Решение:

$$\rho_0 = \frac{100 \cdot \lambda_c + 0,14 \cdot 1000}{0,43};$$

$$\rho_0^{0,14} = \frac{1000 \cdot 0,14 + 0,14 \cdot 1000}{0,43} = \frac{140 + 140}{0,43} = 651,16 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_0^{0,2} = \frac{1000 \cdot 0,2 + 0,14 \cdot 1000}{0,43} = \frac{200 + 140}{0,43} = 790,7 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_0^{0,25} = \frac{1000 \cdot 0,25 + 0,14 \cdot 1000}{0,43} = \frac{250 + 140}{0,43} = 907,0 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_0^{0,35} = \frac{1000 \cdot 0,35 + 0,14 \cdot 1000}{0,43} = \frac{350 + 140}{0,43} = 1140,0 \text{ кг/м}^3.$$

Задача 11

Блок из теплоизоляционной пластмассы (пенополистирола ПСБ-С) имеет длину $l = 1000$ мм, ширину $\rho = 500$ мм, высоту $h = 300$ мм и массу $m = 3$ кг. При хранении его на открытом воздухе в течение 28 суток гигроскопическая влажность по массе составила $W_M = 85$ %.

Вычислить теплопроводность влажного пенополистирола λ_w , если теплопроводность его в сухом состоянии $\lambda_c = 0,042 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$.

Решение:

$$V_{\text{блока}} = 1,0 \cdot 0,5 \cdot 0,3 \text{ м} = 0,15 \text{ м}^3.$$

$$\rho_{\text{пено полистирола}} = \frac{m}{V} = \frac{3}{0,15} = 20 \text{ кг/м}^3.$$

Влажность по объему W_0 пенополистирола

$$W_0 = W_M \cdot \frac{\rho_0}{\rho_B} = 85 \cdot 0,02 = 1,7 \text{ \%}.$$

Теплопроводность влажного пенополистирола

$$\lambda_w = \lambda_c + \Delta\lambda \cdot W_0,$$

где $\Delta\lambda$ – приращение коэффициента теплопроводности на 1 % увеличения влажности по объему для органических материалов при положительной температуре составляет 0,0035.

$$\lambda_w = 0,042 + 0,0035 \cdot 1,7 = 0,048 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}.$$

Ответ: 0,048 Вт/(м · °C).

Задача 12

Обычный керамзитобетон на кварцевом песке имеет среднюю плотность $\rho_0 = 1100 \text{ кг/м}^3$, а поризованный (пеночерамзитовый) бетон – 450 кг/м^3 . Какой толщины следует изготовить стеновые блоки из пеночерамзитобетона, если равноценные по

термическому сопротивлению блоки из обычного керамзитобетона имеют толщину $\delta_{ок} = 500$ мм.

Решение:

Теплопроводность λ обычного керамзитобетона на кварцевом песке вычислим по эмпирической формуле:

$$\lambda_0 = \frac{0,43 \cdot \rho_0}{1000} - 0,14 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C}),$$

где ρ_0 – средняя плотность в $\text{г}/\text{см}^3$.

$$\lambda_{об} = \frac{0,43 \cdot 1100}{1000} - 0,14 = 0,333 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C}).$$

$$\lambda_{пк} = \frac{0,43 \cdot \rho_0}{1000} - 0,14 = \frac{0,43 \cdot 450}{1000} - 0,14 = 0,0535 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C}).$$

Зная $\lambda_{об}$ и $\delta_{ок}$ обычного керамзитобетона на кварцевом песке, определим термическое сопротивление стеновой панели

$$R = \frac{0,5}{0,333} = 1,5 (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}.$$

Коэффициент теплопроводности поризованного пенокерамзитобетона $\lambda_{пк}$

$$\delta_{пк} = R \cdot \lambda = 0,5 \cdot 0,0535 = 0,08 \text{ м}.$$

Ответ: 0,08 м.

Задача 13

При определении коэффициента теплопроводности материала λ с помощью малоинерционного тепломера используют об-

разцы-цилиндры диаметром $\varnothing = 250$ мм и высотой $h = 50$ мм.

Какой оказалась величина коэффициента теплопроводности материала λ , если при его нагреве от 25°C до 100°C через образец прошло $Q = 10,5$ кДж теплоты в течение 30 мин в направлении, перпендикулярном его поверхности?

Решение:

Вычисляем коэффициент теплопроводности материала

$$\lambda = \frac{Q \delta}{A(t_1 - t_2)\tau} = \frac{10,5 \cdot 0,05}{0,049(100 - 25) \cdot 0,5} = 0,28571 \text{ кДж}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}),$$

где A – площадь образца, равная $\frac{\pi d^2}{4} = 0,785d^2 = 0,7850,25^2 =$

$$= 0,049 \text{ м}^2.$$

Зная, что $\text{Вт} = \text{Дж}/\text{с}$, получаем

$$\lambda = 0,28571 : 3,6 = 0,079 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C}).$$

Ответ: $0,079 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$.

Задача 14

До какой температуры t_1 требуется нагреть образец материала диаметром $\varnothing = 250$ мм и высотой $h = 50$ мм с коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0,17 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$, чтобы в течение $\tau = 1$ ч через него прошло в направлении, перпендикулярном его поверхности, 20 кДж теплоты? Начальная температура $t_2 = 20^\circ\text{C}$.

Решение:

Преобразовав формулу $\lambda = \frac{Q \cdot \delta}{A(t_1 - t_2)\tau}$, получим

$$t_1 = \frac{Q\delta}{\lambda A \tau} + t_2 = \frac{20 \cdot 0,05}{0,17 \cdot 0,049 \cdot 1 \cdot 3,6} + 20 = 33 + 20 = 53 \text{ }^\circ\text{C},$$

где $A = \frac{\pi d^2}{4} = 0,785 \cdot d^2 = 0,049 \text{ м}^2$.

Ответ: 53 °С.

Задача 15

Вспученный вермикулит, перлитовые ГОСТ 10832-91 и совелитовые [асбест + водная углекислая соль магния (MgCO_3) и углекислого кальция (CaCO_3)] изделия при 0 °С имеют одинаковую величину коэффициента теплопроводности $\lambda_0 = 0,043 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{ }^\circ\text{C})$.

Какое значение теплопроводности λ_t будут иметь эти материалы при $t = 500 \text{ }^\circ\text{C}$, если значения коэффициента β для них в зависимости $\lambda_t = \lambda_0 + (1 + \beta/t)$, (где λ_0 коэффициент теплопроводности при 0 °С) будут соответственно 0,00027, 0,00019 и 0,00015? Охарактеризуйте возможность использования.

Решение:

$$\lambda_{500}^{\text{вермикулит}} = 0,043(1 + 0,00027 \cdot 500) = 0,049 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{ }^\circ\text{C});$$

$$\lambda_{500}^{\text{перлит}} = 0,043(1 + 0,00019 \cdot 500) = 0,047 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{ }^\circ\text{C});$$

$$\lambda_{500}^{\text{совелит}} = 0,043(1 + 0,00015 \cdot 500) = 0,1075 = 0,046 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{ }^\circ\text{C}).$$

Ответ: для теплоизоляции можно использовать перлит и совелит.

Задача 16

В районе строительства нормативное сопротивление теплопередаче стен жилых зданий $R_{т.норм} \geq 2,0$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$).

Какая толщина стен необходима для обеспечения требуемого сопротивления теплопередаче при применении:

а) рядового, полнотелого обыкновенного ($\rho_0 = 1500 \text{ кг/м}^3$) и пустотелого керамического кирпича ($\rho_0 = 1200 \text{ кг/м}^3$);

б) легкого ($\rho_0 = 1100 \text{ кг/м}^3$) и ячеистого (газосиликата) ($\rho_0 = 500 \text{ кг/м}^3$) бетонов;

в) газостекла ($\rho_0 = 200 \text{ кг/м}^3$) и газосиликата ($\rho_0 = 360 \text{ кг/м}^3$)

г) сосны ($\rho_0 = 500 \text{ кг/м}^3$) и $\lambda = 0,15 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$?

Укажите наиболее экономичный материал для утепления.

Решение:

Используя формулу $R_t = \frac{\delta}{\lambda}$, можно вычислить толщину

стен $\delta = R_t \cdot \lambda$.

Коэффициент теплопроводности рассчитываем для всех материалов по формуле Некрасова В.П.

$$\lambda = 1,16\sqrt{0,0196 + 0,22d^2} - 0,16 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C}).$$

а) – λ полнотелого =

$$= 1,16\sqrt{0,0196 + 0,22 \cdot 1,5^2} - 0,16 = 0,672 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C}),$$

$$\delta = 2,0 \cdot 0,672 = 1,35 \text{ м};$$

– λ пустотелого =

$$= 1,16\sqrt{0,0196 + 0,22 \cdot 1,2^2} - 0,16 = 0,5128 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C}),$$

$$\delta = 2,00 \cdot 0,5128 = 1,03 \text{ м};$$

б) – λ легкого = $1,16\sqrt{0,0196 + 0,22 \cdot 1,1^2} - 0,16 = 0,46 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C}),$

$$\delta = 2,0 \cdot 0,46 = 0,92 \text{ м};$$

$$- \lambda \text{ ячеистого} = 1,16 \sqrt{0,0196 + 0,22 \cdot 0,5^2} - 0,16 = 0,157 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)},$$

$$\delta = 2,0 \cdot 0,157 = 0,338 \text{ м};$$

$$\text{в) } - \lambda \text{ ячеистого стекла} = 1,16 \sqrt{0,0196 + 0,22 \cdot 0,2^2} - 0,16 = 0,036 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)},$$

$$\delta = 2,00 \cdot 0,036 = 0,07 \text{ м};$$

$$- \lambda \text{ сосны} = 0,15 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)},$$

$$\delta = 2,0 \cdot 0,15 = 0,3 \text{ м}.$$

Ответ: 1,35 м, 1,03 м, 0,338 м, 0,07 м, 0,3 м; утеплить деревянные стены ячеистым стеклом (пеностеклом).

Задача 17

Какими должны быть толщина δ и масса m сплошной наружной однослойной стеновой панели (без учета массы арматуры) размером $3,1 \times 1,2$ м при использовании легких бетонов со средней плотностью $\rho_0 = 700, 900$ и 1100 кг/м^3 и теплопроводностью соответственно $\lambda = 0,28; 0,32$ и $0,38 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$?

Необходимое минимальное термическое сопротивление стены $R_T = 2,5 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$.

Решение:

Толщина однослойной стеновой панели вычисляется по формуле

$$\delta = R_T \lambda,$$

масса сплошной наружной однослойной стеновой панели – по формуле $m = V \cdot \rho_0$

Для легкого бетона плотности $\rho_0 = 700 \text{ кг/м}^3$:

$$\delta = 2,5 \cdot 0,28 = 0,7 \text{ м};$$

$$3,1 \cdot 1,2 \cdot 0,7 \cdot 700 = 1822,8 \text{ кг.}$$

Для легкого бетона плотности $\rho_0 = 900 \text{ кг/м}^3$:

$$\delta = 2,5 \cdot 0,32 = 0,8 \text{ м;}$$

$$m = 3,1 \cdot 1,2 \cdot 0,8 \cdot 900 = 2678,4 \text{ кг.}$$

Для легкого бетона плотности $\rho_0 = 1100 \text{ кг/м}^3$:

$$\delta = 2,5 \cdot 0,38 = 0,95 \text{ м;}$$

$$m = 3,1 \cdot 1,2 \cdot 0,95 \cdot 1100 = 3887,4 \text{ кг.}$$

Ответ: 0,7 м, 1822,8 кг; 0,8 м, 2678,4 кг; 0,95 м, 3887,4 кг.

Задача 18

Однослойная стеновая панель из легкого бетона с коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0,32 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ имеет толщину $\delta = 400 \text{ мм}$.

Какую толщину может иметь равноценная в теплотехническом отношении 3-слойная панель с наружными слоями из легкого бетона с $\lambda = 0,32 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ толщиной по 10 см и заполнением из минеральной ваты с $\lambda = 0,047 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$?

Решение:

Термическое сопротивление стеновой панели из легкого бетона толщиной 400 мм

$$R_T = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,4}{0,32} = 1,25 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$$

и слоя толщиной 100 мм легкого бетона

$$R_T = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,1}{0,32} = 0,3125 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт.}$$

2 слоя из легкого бетона общей толщиной 200 мм обеспечивают

$$R_T = 0,625 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт.}$$

Слой минеральной ваты должен обеспечить

$$R_T = 1,25 - 0,625 = 0,625 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт.}$$

Толщина минеральной ваты будет равна

$$\delta = \lambda \cdot R_T = 0,625 \cdot 0,047 = 0,03 \text{ м.}$$

Трехслойная панель будет иметь толщину $10 + 10 + 3,0 = 23,0$ см.

Ответ: 23 см.

Задача 19

Сплошная однослойная стеновая панель размером $6 \times 2,6 \times 0,2$ м изготовлена из газобетона со средней плотностью $\rho_0 = 700 \text{ кг/м}^3$, а панель размером $7 \times 2,9 \times 0,2$ м – из газобетона с $\rho_0 = 500 \text{ кг/м}^3$. Сравнить количество теплоты, необходимое для нагрева панелей от 5 °C до 25 °C , если удельная теплоемкость газобетона со средней плотностью $\rho_0 = 500 \text{ кг/м}^3$ равна $0,63 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{°C)}$, а с $\rho_0 = 700 \text{ кг/м}^3$ – $1,05 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{°C)}$.

Решение:

Объем и масса однослойной стеновой панели из газобетона:

– со средней плотностью $\rho_0 = 700 \text{ кг/м}^3$

$$V = 6 \cdot 2,6 \cdot 0,2 = 3,12 \text{ м}^3, \quad m = 3,12 \cdot 700 = 2184 \text{ кг;}$$

– со средней плотностью $\rho_0 = 500 \text{ кг/м}^3$

$$V = 7 \cdot 2,9 \cdot 0,2 = 4,06 \text{ м}^3, \quad m = 4,06 \cdot 500 = 2030 \text{ кг;}$$

Количество теплоты соответственно:

– для $\rho_0 = 500 \text{ кг/м}^3$

$$Q = cm(t_1 - t_2) = 0,63 \cdot 2030 \cdot 20 = 25578 \text{ кДж};$$

– для $\rho_0 = 700 \text{ кг/м}^3$

$$Q = cm(t_1 - t_2) = 1,05 \cdot 2184 \cdot 20 = 45864 \text{ кДж.}$$

Ответ: $25\,578 < 45\,864 \text{ кДж.}$

Задача 20

Требуется заменить теплоизоляцию трубопровода ($D_{\text{н}} = 57 \text{ мм}$) состоящую из двух слоев вулканитовых полуцилиндров толщиной 50 мм каждый при теплопроводности $\lambda_{\text{из}}^{\text{вулк}} = 0,081 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ на аналогичные изделия из пенополиуретана с $\lambda_{\text{из}}^{\text{ппу}} = 0,041 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$.

Какой потребуется дополнительный слой мастики из севелита $\lambda_{\text{из}} = 0,12 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$, чтобы не изменилось общее термическое сопротивление теплоизоляционного слоя?

Решение:

Два слоя из вулканиста толщиной 50 мм каждый при теплопроводности $\lambda_{\text{из}}^{\text{вулк}} = 0,081 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ обеспечивают термическое сопротивление

$$R_{\text{T}} = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,1}{0,081} = 1,23 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт.}$$

Изделия из ППУ толщиной 0,1 м при $\lambda = 0,041 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ обеспечивают термическое сопротивление

$$R_T = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,1}{0,041} = 2,4390 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт.}$$

Ответ: Для теплоизоляции достаточно одного слоя из ППУ и точечного приклеивания мастикой полуцилиндров на трубе.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.	3
<i>Лабораторная работа № 1</i>	
Определение теплопроводности эффективных теплоизоляционных материалов (ТИМ).	4
<i>Лабораторная работа № 2</i>	
Определение эксплуатационных показателей качества полимерцементного клеевого и декоративно-защитного слоев штукатурного состава.	21
<i>Лабораторная работа № 3</i>	
Определение механических характеристик пластмассовых анкерных устройств, применяемых для крепления плитного утеплителя к подоснове при тепловой модернизации зданий и испытание их на воздействие климатических факторов.	30
<i>Лабораторная работа № 4</i>	
Теплотехнический расчет легкой штукатурной системы (ЛШС) утепления по методике технического кодекса установившейся практики (ТКП 45-2.04-43–2006).	36
<i>Лабораторная работа № 5</i>	
Определение механических характеристик полимерминерального клеевого и декоративно-защитного слоев, применяемых в легкой штукатурной системе утепления стен «термошуба».	45
<i>Лабораторная работа № 6</i>	
Определение деформативных характеристик полиэтиленовой трубы-оболочки для трубы, предварительно термоизолированной жестким пенополиуретаном.	52
<i>Лабораторная работа № 7</i>	
Определение физико-технических характеристик тепловой изоляции из жесткого пенополиуретана, применяемого в предварительно термоизолированных трубах.	58
<i>Задачи для практических занятий.</i>	65

Учебное издание

ОСНОВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Лабораторные работы (практикум)
для студентов строительных специальностей

С о с т а в и т е л и:

ЗМАЧИНСКИЙ Александр Эмильевич
ГАЛУЗО Олег Геннадьевич
ГАЛУЗО Геннадий Сергеевич

Редактор Е.О. Коржуева
Компьютерная верстка Н.А. Школьниковой

Подписано в печать 11.11.2009.
Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.
Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 5,35. Уч.-изд. л. 4,18. Тираж 100. Заказ 971.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский национальный технический университет.
ЛИ 02330/0494349 от 16.03.2009.
Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.