

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства»
(ПГУАС)

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Учебно-методическое пособие
по выполнению лабораторных работ

Пенза 2014

УДК 691.620.1:65826(075)

ББК 38.3я73

Э64

Разработано в рамках проекта по реализации дополнительных программ повышения квалификации, признанных победителями по результатам конкурсного отбора 2014 года, проведенного в рамках Президентской программы повышения квалификации инженерных кадров на 2012-2014 годы

Рекомендовано Редсоветом университета

Рецензент – кандидат технических наук, доцент Л.В. Макарова (ПГУАС)

Энергоэффективные строительные материалы: учеб.-метод. пособие по выполнению лабораторных работ / С.Н. Кислицына. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 36 с.

Даны рекомендации по выполнению лабораторных работ, связанных с изучением свойств теплоизоляционных материалов и исходных сырьевых композиций, используемых для их получения.

Пособие подготовлено на кафедре «Технологии строительных материалов и деревообработки» и предназначено для слушателей курсов повышения квалификации, обучающихся по программе «Энергоэффективные строительные материалы».

©Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2014

© Кислицына С.Н., 2014

ВВЕДЕНИЕ

Создание предприятий, производящих строительные материалы, изделия и конструкции по энерго- и ресурсосберегающим технологиям, – ключевая задача модернизации строительной отрасли. С учетом того что строительная индустрия является одной из наиболее ресурсоемких отраслей, разработка технологий, позволяющих использовать промышленные отходы в качестве сырья для производства строительных материалов, – одна из наиболее важных задач развития инновационной экономики.

Наша страна пока отстает в области разработки и использования энерго- и ресурсосберегающих технологий. Это обусловлено многими причинами, и в первую очередь наличием достаточных запасов природных минерально-сырьевых ресурсов, что делает переработку отходов и производство на их основе строительных материалов не всегда рентабельным, а также общим снижением научно-технического потенциала российской экономики. Не многие предприятия могут вкладывать средства в проведение дорогостоящих научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, направленных на создание ресурсосберегающих технологий, особенно с учетом того, что не всегда эти работы заканчиваются успехом.

Задачи, решаемые при разработке новых и совершенствовании существующих технологий, сложны и разнообразны. Они включают в себя проведение исследовательских работ, разработку проектной и технологической документации, технических условий и стандартов на продукцию, подготовку последней к сертификации. Несомненно, что на практике, в условиях узкой специализации, ни один специалист не будет решать все эти задачи, однако иметь представление обо всех этапах разработки новых технологий будет полезно специалистам.

Предлагаемые указания к лабораторным работам могут быть использованы в качестве вспомогательного материала при изучении курса «Энергоэффективные строительные материалы».

Лабораторная работа № 1
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДЯЩИХ СВОЙСТВ
МАТЕРИАЛОВ. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕЛИЧИНЫ
ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МАТЕРИАЛОВ
ДЛЯ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИЙ

Цель работы: изучить метод экспериментального определения величины теплопроводности различных материалов, применяемых в строительстве. Использовать найденные в ходе выполнения лабораторной работы величины теплопроводности для расчета термического сопротивления ограждающих конструкций.

Теплопроводность – способность строительного материала передавать сквозь свою толщину тепловой поток, образующийся вследствие разности температур на поверхностях, ограничивающих этот материал. Теплопроводность численно характеризуется величиной коэффициента теплопроводности, который равен количеству тепла в Дж, проходящему через стенку материала толщиной в 1 м и площадью в 1 м² за 1 ч (3600 с) при разности температур на противоположных поверхностях стенки в 1 °С:

$$\lambda = \frac{Q \cdot l}{S \cdot \Delta t \cdot z} \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)}, \quad (1)$$

где Q – количество тепла, прошедшее через стенку из испытуемого материала, Дж;

l – толщина стены из испытуемого материала (толщина образца);

S – площадь сечения, через которое передается тепло, м²;

z – время прохождения теплового потока;

Δt – разность температур на противоположных сторонах проводника тепла, °С.

От величины теплопроводности материала зависит термосопротивление тепловому потоку стенки из этого материала:

$$R = \frac{\delta}{\lambda} \text{ (м}^2 \cdot \text{°С)/Вт}, \quad (2)$$

где δ – толщина стенки, через которую проходит тепло, м;

λ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м · °С).

Низкое значение теплопроводности является положительной характеристикой для стеновых и теплоизоляционных строительных материалов, так как позволяет увеличить величину термосопротивления конструкций без увеличения их толщины.

Точный теплотехнический расчет общей толщины стены позволяет, с одной стороны, обеспечить санитарно-гигиенические и энергосберегаю-

щие требования, а с другой – не допустить перерасхода дорогостоящих строительных материалов. Необходимым условием получения достоверного расчетного результата является по возможности более точное определение теплофизических показателей материала конструкций ограждения.

1. Определение фактического коэффициента теплопроводности строительных материалов с использованием электронного измерителя теплопроводности ИТП–МГ4

Прибор “ИТП–МГ4” (РИС. 1) предназначен для оперативного определения теплопроводности строительных материалов в образцах путем измерения плотности теплового потока по ГОСТ 7076-87 и методом теплового зонда в изделиях.

Порядок выполнения работы

1. На первом этапе работы определяют величину средней плотности исследуемых материалов и заносят ее в табл.1.

2. С использованием справочных таблиц СНиП II-3-79 “Строительная теплотехника” находят нормативное значение величины удельной теплоемкости c соответствующей исследуемым материалам (для большинства строительных материалов значение удельной теплоемкости можно принять:

- для неорганических строительных материалов $c_{\text{неорг}} \approx 0,88$ кДж/(кг·°С);
- для полимерных строительных материалов $c_{\text{полимер}} \approx 1,34$ кДж/(кг·°С).

3. Переключателем “сеть” на блоке управления включают питание прибора “ИТП–МГ 4”, при этом на индикаторе появляется “0” с мигающим символом “°С”, что свидетельствует о готовности прибора к работе и необходимости ввода в память прибора необходимых данных.

4. Найденные ранее показатели свойств материала необходимо ввести в электронный блок прибора в следующем порядке:

- а) γ – средняя плотность материала, кг/м³;
- б) c – удельная теплоемкость материала, кДж/(кг·°С); α – коэффициент теплообмена в зоне контакта рабочей поверхности теплового зонда с исследуемым материалом. В зависимости от используемого материала смазки принять следующие значения коэффициента α : для глицерина – 3,630 см²/час, для вазелина и литола – 3,050 см²/час.

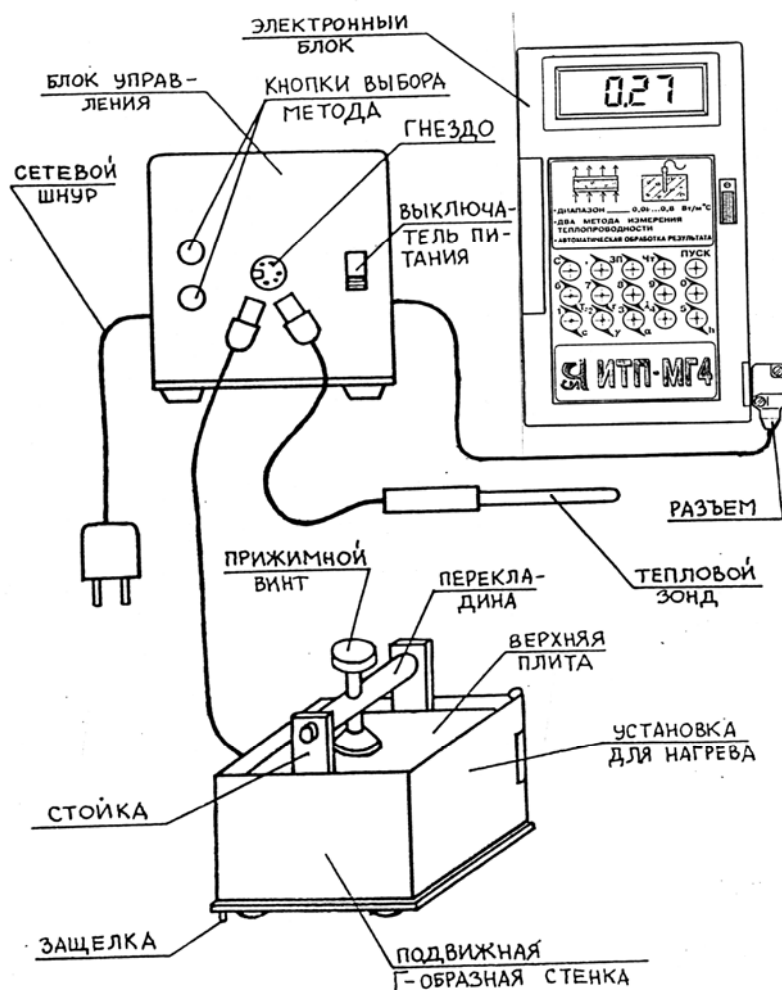


Рис. 1. Общий вид измерителя теплопроводности «ИТП – 4МГ»

После ввода всех необходимых значений производится непосредственное измерение коэффициента теплопроводности путем нажатия на кнопку “ПУСК”. По окончании цикла измерений (через 8–10 минут в зависимости от исследуемого строительного материала) прибор автоматически вычисляет коэффициент теплопроводности λ по формуле

$$\lambda = \frac{\ln 2}{\Delta T} \cdot (P - \alpha \cdot \gamma \cdot c), \quad (3)$$

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

P – удельная мощность нагрева зонда, определяемая прибором в зависимости от условий испытаний, Вт;

α – коэффициент температуропроводности в зоне контакта зонда, см²/час;

c – удельная теплоемкость материала, кДж/(кг·°С);

ΔT – приращение температуры зонда за фиксированный интервал времени, °С.

Результаты испытаний рекомендуется выполнять в виде таблицы (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Результаты определения коэффициента теплопроводности
строительных материалов

| № п/п | Плотность, кг/м ³ | Средняя плотность, кг/м ³ | λ , Вт/(м·°С) |
|-------|-------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|
| 1. | Пенополистирольный утеплитель (ППС) | | |
| 2. | Силикатный кирпич | | |
| 3. | Мипора («Пеноизол») | | |

С увеличением влажности теплопроводность строительных материалов существенно возрастает. Поэтому для *неорганических материалов*, поверхностные слои которых характеризуются достаточно высокой способностью к адсорбции водяного пара из окружающего воздуха, необходимо уточнить полученную величину теплопроводности с учетом их влажности:

$$\lambda_{\text{сух}} = \lambda_{\text{влаж}} - KW_{\text{эксп}}, \quad (4)$$

где $\lambda_{\text{сух}}$ – теплопроводность изделий в сухом состоянии, Вт/(м·°С);

$W_{\text{эксп}}$ – фактическое значение влажности материала в % по массе;

K – коэффициент приращения значения теплопроводности в зависимости от влажности материала,

$\lambda_{\text{влаж}}$ – теплопроводность экспериментально определенная при влажности материала $W_{\text{эксп}}^*$, %.

Для силикатных стеновых материалов значение коэффициента K выбирается в зависимости от средней плотности изделий:

$K = 0,009$ – для изделий средней плотностью от 1200 до 1500 кг/м³;

$K = 0,011$ – для изделий средней плотностью от 1500 до 1700 кг/м³;

$K = 0,013$ – для изделий средней плотностью от 1700 до 1900 кг/м³.

* *Примечание.* За величину влагосодержания материала, находившегося долгое время в воздушно-сухих условиях, можно принять равновесную влажность, равную величине его сорбционного увлажнения. Для кирпича силикатного $W_{\text{эксп}} \approx W_{\text{сорб}} \approx 4$ %.

2. Расчетный метод определения коэффициента теплопроводности силикатного кирпича

Теплопроводность, являясь структурно-чувствительной характеристикой строительного материала, интегрально зависит от множества факторов: плотности, дефектов структуры, фазового и минералогического составов вяжущего и заполнителей, гранулометрического состава, влагосодержания, пористости.

Рядом исследователей поддерживается концепция доминирующего влияния плотности материала на его теплопроводящие свойства. На основании этого предположения были получены расчетные эмпирические зависимости для определения теплопроводности строительных материалов (табл.2). Средняя плотность большинства строительных материалов и изделий является справочной величиной, что значительно упрощает использование последней в теплотехнических расчетах

Т а б л и ц а 2

Расчетные формулы для определения теплопроводности строительных материалов *

| | |
|---------------|---|
| Некрасов В.П. | $\lambda=1,16 \cdot \sqrt{0,0196 + 0,22 \cdot \gamma^2} - 0,16$ |
| Спектор Б.В. | $\lambda=0,029 + 2,19 \cdot 10^{-4} \cdot \gamma$ |
| Власов О.Е. | $\lambda=0,2 \cdot \gamma + 0,05 \cdot \gamma^2$ |
| Кауфман Б.Н. | $\lambda=0,11 \cdot \gamma^{1,1} + 1,68 \gamma + 0,022$ |
| Бужевич Г.А. | $\lambda = \frac{0,38 \cdot \gamma_6}{1000} - 0,12$ |

* П р и м е ч а н и е . В формулах табл. 2 γ – относительная плотность материала, равная отношению средней плотности исследуемого строительного материала к плотности стандартного вещества, в качестве которого принимается вода при температуре +4 °С.

Анализ вычислений по формулам табл. 2 показывает большой разброс величины теплопроводности материала при одинаковой плотности. Поэтому, для использования в инженерных расчетах большинства формул, приведенных в табл. 2, необходимо более точно определить, для какого конкретно материала подходит та или иная формула.

Студентам предлагается выполнить расчеты и выяснить какая из формул, приведенных в табл. 2, подходит для прогнозирования величины теплопроводности исследованного силикатного кирпича.

Пример расчета коэффициента теплопроводности силикатного кирпича.

Данные для расчета: силикатный кирпич средней плотностью 1700 кг/м^3 и влажностью (по объему) 10% . Необходимо найти коэффициент теплопроводности полнотелого и эффективного силикатного кирпича с объемом технологических пустот, равным 31% .

По формуле проф. В.П. Некрасова рассчитываем коэффициент теплопроводности сухого кирпича:

$$\begin{aligned} \lambda_{\text{кирп}} &= 1,16 \cdot \sqrt{0,0196 + 0,22 \cdot \gamma^2} - 0,16 = \\ &= 1,16 \cdot \sqrt{0,0196 + 0,22 \cdot 1,7^2} - 0,16 = 0,78 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{С}}. \end{aligned}$$

Находим водопоглощение силикатного кирпича по массе:

$$W_0 = W_m \cdot \gamma \Rightarrow W_m = W_0 / \gamma = 10 / 1,7 = 5,9 \%$$

За окончательный результат необходимо принять значение теплопроводности изделий с учетом их влажности

$$\lambda_{\text{влаж}} = \lambda_{\text{сух}} + K \cdot W_m = 0,78 + 5,9 \cdot 0,013 = 0,857 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{С}},$$

где $\lambda_{\text{сух}}$ – теплопроводность изделий в сухом состоянии, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{С})$;

$W_{\text{эксп}}$ – фактическое значение влажности материала по массе, %;

K – коэффициент приращения значения теплопроводности в зависимости от влажности материала.

Для определения коэффициента теплопроводности эффективного силикатного кирпича можно использовать формулы, учитывающие термосопротивление от воздушных включений

$$\lambda_{\text{эф}}^{\text{кирп}} = \frac{\lambda_{\text{кирп}} \cdot \lambda_{\text{возд}}}{\lambda_{\text{возд}} \cdot (1 - \sqrt[3]{V_{\text{возд}}}) + \lambda_{\text{кирп}} \cdot \sqrt[3]{V_{\text{возд}}}} \cdot V_{\text{возд}}^{\frac{2}{3}} + \lambda_{\text{кирп}} \cdot (1 - V_{\text{возд}}^{\frac{2}{3}}), \quad (5)$$

где $\lambda_{\text{кирп}}$ – коэффициент теплопроводности полнотелого силикатного кирпича;

$\lambda_{\text{возд}}$ – коэффициент теплопроводности воздуха, принимаемый равным $0,025 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{С})$;

$V_{\text{возд}}$ – относительный объем технологических пустот в эффективном силикатном камне, отн. ед.

После подстановки данных в зависимость (1) получим:

$$\lambda_{\text{эф}}^{\text{кирп}} = \frac{\lambda_{\text{кирп}} \cdot \lambda_{\text{возд}}}{\lambda_{\text{возд}} \cdot (1 - \sqrt[3]{V_{\text{возд}}}) + \lambda_{\text{кирп}} \cdot \sqrt[3]{V_{\text{возд}}}} \cdot V_{\text{возд}}^{\frac{2}{3}} + \lambda_{\text{кирп}} \cdot (1 - V_{\text{возд}}^{\frac{2}{3}}) =$$

$$= \frac{0,78 \cdot 0,025}{0,025 \cdot (1 - \sqrt[3]{0,31}) + 0,78 \cdot \sqrt[3]{0,31}} \cdot 0,31^{\frac{2}{3}} + 0,78 \cdot (1 - 0,31^{\frac{2}{3}}) = 0,44 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C}).$$

3. Порядок выполнения теплотехнического расчета ограждающей конструкции из силикатного кирпича с дополнительным теплоизоляционным слоем

При выполнении теплотехнического расчета прежде всего необходимо убедиться в том, что исследуемая конструкция обеспечит требуемое термосопротивление тепловому потоку $R_0^{\text{тр}}$.

Для этого на первом этапе расчета определим величину $R_0^{\text{тр}}$ исходя из соблюдения *санитарно-гигиенических* норм по формуле

$$R_0^{\text{тр}} = \frac{(t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot n}{\Delta t_{\text{н}} \cdot \alpha_{\text{в}}}, \quad (6)$$

где $t_{\text{в}}$ – расчетная температура внутреннего воздуха, $^\circ\text{C}$, принимаемая по нормам проектирования соответствующих зданий (для жилых зданий $t_{\text{в}} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$);

$t_{\text{н}}$ – расчетная зимняя температура, $^\circ\text{C}$, принимаемая в зависимости от климатических условий строительства (для г. Пенза $t_{\text{н}} = -29 \text{ }^\circ\text{C}$);

n – коэффициент, принимаемый в зависимости от положения ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху (для стен $n = 1$);

$\Delta t_{\text{н}}$ – нормативный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и внутренней поверхности ограждения (для стен жилых зданий $\Delta t_{\text{н}} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$);

$\alpha_{\text{в}}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции ($\alpha_{\text{в}} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$).

На втором этапе, используя фактические величины коэффициентов теплопроводности, а также толщины силикатного кирпича и утеплите-

ля, находим величину суммарного термосопротивления для данного вида конструкции ограждения:

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_B} + \frac{\delta_K}{\lambda_K} + \frac{\delta_{\text{ТИМ}}}{\lambda_{\text{ТИМ}}} + \frac{1}{\alpha_H}, \quad (7)$$

где α_B – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждения (для наружных стен $\alpha_H = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С})$);

δ_K – толщина кирпичной кладки ограждающей конструкции;

λ_K – фактический коэффициент теплопроводности кирпича;

$\delta_{\text{ТИМ}}$ – толщина слоя теплоизоляционного материала (ТИМ);

$\lambda_{\text{ТИМ}}$ – фактический коэффициент теплопроводности ТИМ.

На последнем этапе сравнивают полученные в ходе расчета величины $R_{\text{тр}}$ и R_0 . При выполнении условия $R_{\text{тр}} \leq R_0$ конструкция соответствует санитарно-гигиеническим и комфортным условиям проживания.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое теплопроводность строительного материала? Приведите размерность и математическую зависимость, характеризующую физический смысл этой величины.

2. Чем, по-вашему мнению, можно обосновать доминирующее влияние средней плотности материала на его теплопроводность?

3. Что такое термосопротивление строительной конструкции? Как эта характеристика строительных конструкций зависит от физических свойств материалов?

4. Почему в теплотехнических расчетах для стеновых и теплоизоляционных материалов необходимо учитывать их сорбционное увлажнение?

5. Какими положительными и отрицательными качествами характеризуются полимерные теплоизоляционные материалы и их неорганические аналоги?

Лабораторная работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: изучение методик определения основных физических свойств теплоизоляционных материалов.

Общие положения

Теплоизоляционные материалы предназначены для защиты от проникновения тепла или холода. Это пористые материалы, имеющие плотность не более 600 кг/м^3 и низкую теплопроводность (не более $0,18 \text{ Вт/м} \cdot ^\circ\text{C}$).

Теплоизолирующая способность материала зависит не только от количества, но и от характера пор, их распределения, размеров, открыты они или замкнуты. Наиболее высокими теплоизоляционными свойствами обладают материалы, содержащие большое количество мелких закрытых пор. Стремление к замкнутой пористости отличает структуру теплоизоляционных материалов от структуры звукопоглощающих.

Плотность материала оказывает решающее значение на теплопроводность. По величине средней плотности (кг/м^3) теплоизоляционные материалы делят на марки:

- особо легкие: 15, 25, 35, 50, 75, 100;
- легкие: 125, 150, 175, 200, 250, 300, 350;
- тяжелые: 400, 450, 500, 600.

1. Определение средней плотности жестких материалов (ГОСТ 17177-94)

Высушенный образец взвешивают с точностью до $0,1 \text{ г}$ и измеряют.

Измерение толщины может производиться штангенциркулем или специальным прибором – толщиномером (рис. 2). Толщиномер применяют для измерения толщины торфяных, жестких минераловатных и теплоизоляционных древесноволокнистых плит.

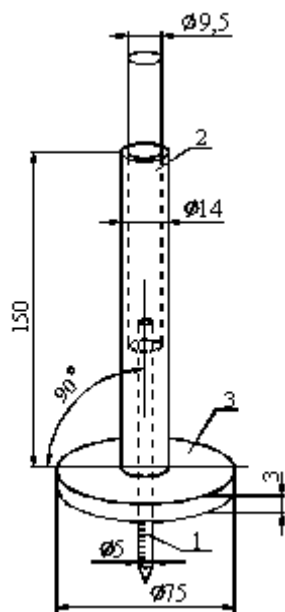


Рис. 2. Толщиномер:
1 – игла с делениями; 2 – трубка;
3 – опорный диск

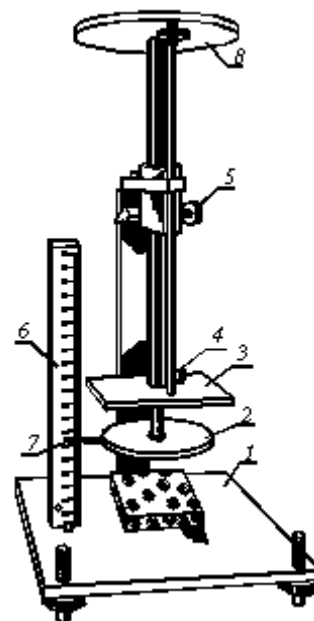


Рис.3. Прибор для определения
толщины эластичных материалов
под нагрузкой:
1 – стрелка; 2 – шкала; 3 – подвижная
пластина; 4, 5 – винт; 6, 7 – пластинки

Объем образца или изделия вычисляют как среднюю арифметическую величину всех проведенных измерений.

Среднюю плотность партии материала ρ_m (кг/м³) вычисляют как среднюю арифметическую величину не менее чем трех определений по формулам:

– для штучных изделий и рулонных материалов без обкладки

$$\rho_m = \frac{m}{V}, \quad (8)$$

где m – масса сухого образца, кг;

V – объем образца, м³.

– для штучных изделий с плоской поверхностью с обкладками

$$\rho_m = \frac{(m_1 - m_2)}{V}, \quad (9)$$

где m_1 – масса сухого образца с обкладками, кг;

m_2 – масса обкладок после отделения от них теплоизоляционного слоя, кг.

– для шнуровых материалов

$$\rho_m = \frac{4(m_3 - m_4 \cdot l)}{\pi d^2 \cdot l}, \quad (10)$$

где m_3 – масса сухого образца с оплёткой, кг;

m_4 – масса оплетки на один погонный метр шнура, кг/м;

l – длина шнура, м;

d – диаметр шнура.

Результаты определения заносят в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Определение средней плотности штучных изделий

| Показатели | Единицы измерения | Образец без обкладки | Образец с обкладкой | Шнуровой материал |
|---|-------------------|----------------------|---------------------|-------------------|
| Масса образца без обкладки, m | кг | | | |
| Масса образца с обкладками, m_1 | кг | | | |
| Масса обкладок, m_2 | кг | | | |
| Масса образца в оплетке, m_3 | кг | | | |
| Масса оплетки на 1 пог. метр шнура, m_4 | кг/м | | | |
| Длина шнура, l | м | | | |
| Диаметр шнура, d | м | | | |
| Средняя плотность, ρ_m | кг/м ³ | | | |

По результатам определений делается заключение о марке теплоизоляционного материала.

2. Определение средней плотности мягких теплоизоляционных материалов

Из разных мест каждого из трех полотнищ войлока, отобранных для испытаний, вырезают по три образца размером 100×100 мм. Взвешенный с точностью до 0,01 г образец укладывают на основание специального прибора (рис. 3). Пластинку 7 массой 0,5 кг подводят вплотную к пластинке 6 и закрепляют винтом 5. Затем пластинки 7 и 6 опускают вниз, не доводя нижнюю поверхность пластинки 7 на 1–2 см до поверхности образца, и закрепляют их винтом 4. Ослабив винт 5, опускают пластинку 7 на поверхность образца, оставляют ее в этом положении на 5 мин, после чего с помощью стрелки 1 производят отсчет по шкале 2 и определяют толщину образцов войлока под давлением 0,0005 МПа. Подвижная пластина 3 используется и при других испытаниях минераловатных изделий.

Среднюю плотность войлока ρ_m , кг/м³, вычисляют по формуле

$$\rho_m = \frac{m}{V(1 + 0,01W)}, \quad (11)$$

где W – влажность образца, %.

3. Определение средней плотности рыхлых волокнистых материалов (ГОСТ 17177-94)

Пробу материала (минвата или стекловата) массой (500±10)г взвешивают на технических весах и укладывают горизонтальными слоями в металлический цилиндр 1 прибора (рис. 4). На материал опускают при помощи подъемного устройства 4 металлический диск 2, создающий удельное давление 2000 Па (0,02 кгс/см²).

Через 5 минут высоту h сжатого слоя материала в цилиндре определяют по шкале 3, находящейся на стержне 5, с погрешностью не более 0,5 мм.

Объем рыхлого волокнистого материала под удельной нагрузкой 2000 Па (0,02 кгс/см²) вычисляют по формуле

$$V = \pi r^2 \cdot h, \quad (12)$$

где r – радиус цилиндра, см;

h – высота сжатого слоя материала в цилиндре, см.

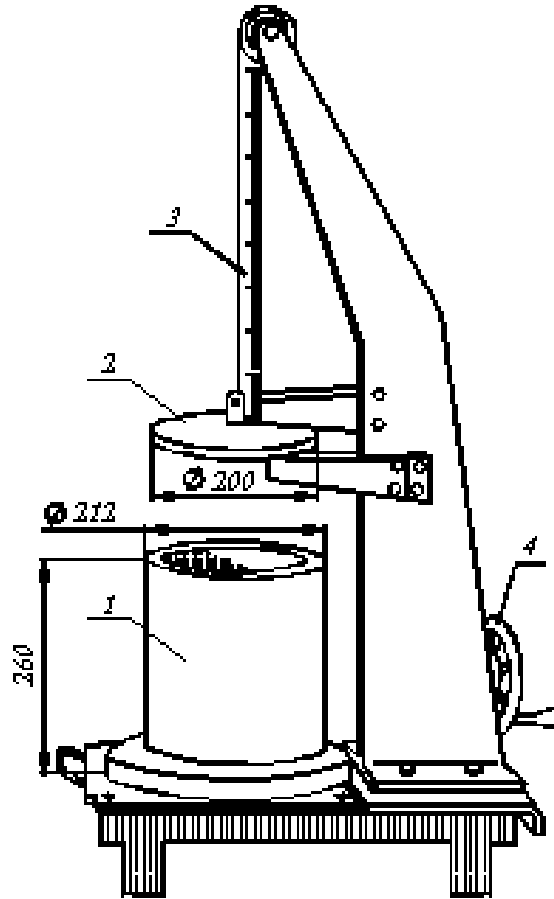


Рис. 4. Прибор для определения плотности рыхлых волокнистых материалов:
1 – цилиндр; 2 – металлический диск; 3 – шкала; 4 – подъемное устройство

Плотность материала ρ_m , г/см³, под удельной нагрузкой 2000 Па (0,02 кгс/см²) вычисляют по формуле

$$\rho_m = \frac{m}{V(1 + 0,01W)} \quad (13)$$

Результаты испытаний заносят в табл. 4 и делают вывод о марке тепло-изоляционного материала.

Т а б л и ц а 4

Определение средней плотности рыхлых волокнистых материалов

| Наименование показателя | Единицы измерения | Значение показателя |
|---------------------------------------|--|---------------------|
| Масса волокнистого материала, m | г | |
| Высота сжатого слоя, h | см | |
| Радиус цилиндра, R | см | |
| Объем материала, V | см ³ | |
| Влажность материала, W | % | |
| Средняя плотность материала, ρ_m | г/см ³ (кг/м ³) | |

4. Определение водопоглощения (ГОСТ 17177-94)

Определение водопоглощения при полном погружении образца в воду

Из изделия вырезают образец размером в плане 100x100 мм и толщиной, равной толщине изделия, высушивают его до постоянной массы и взвешивают.

Образец 3 (рис. 5) помещают в ванну 1 на сетчатую подставку 2 и фиксируют положение сетчатым пригрузом. Затем заливают в ванну воду температурой $(22\pm 5)^\circ\text{C}$ так, чтобы образец был погружен не более чем до половины толщины. Через 3 часа в ванну доливают воду в таком количестве, чтобы уровень воды был выше пригруза на 20–40 мм. Через 24 часа после залива первой порции воды образцы переносят на сетчатую подставку и через 30 с взвешивают. Массу воды, вытекающей из образца во время взвешивания, включают в массу насыщенного водой образца.

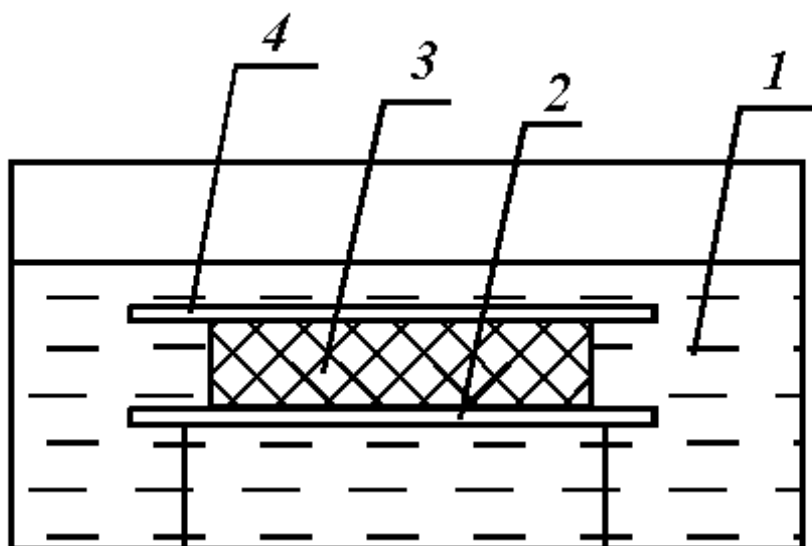


Рис.5. Схема определения водопоглощения при полном погружении образца в воду:

1 – ванна; 2 – сетчатая подставка; 3 – образец; 4 – сетчатый пригруз

Водопоглощение при полном погружении образца W , %, вычисляют по формуле

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100\%, \quad (14)$$

где m_1 – масса образца после насыщения водой, г;

m_2 – масса сухого образца, г.

Определение водопоглощения при частичном погружении образца в воду

Из изделия вырезают образец размером в плане 100×100 мм и толщиной 30 мм. Если толщина изделия больше 30 мм, то излишек срезают с одной стороны. Образец высушивают до постоянной массы, взвешивают и помещают несрезанной плоскостью в ванну 1 на сетчатую подставку 2 (рис.6).

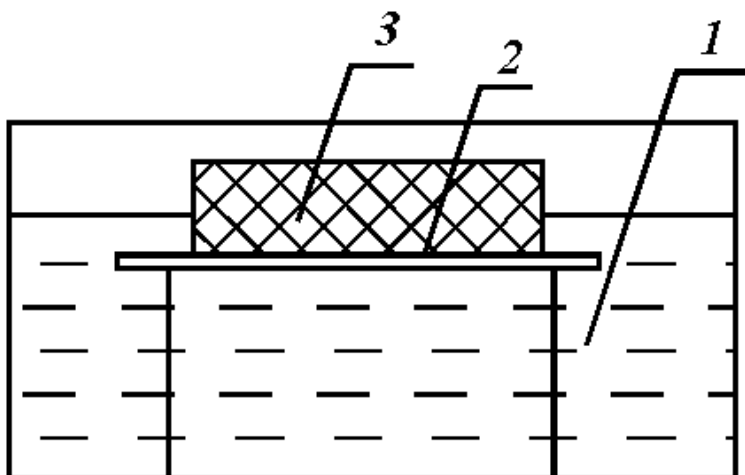


Рис.6. Схема определения водопоглощения при частичном погружении образца в воду:

1 – ванна с постоянным уровнем воды; 2 – сетчатая подставка; 3 – образец

Затем заливают в ванну воду с температурой $(22+5)^\circ\text{C}$ так, чтобы образец был погружен в воду примерно на 5 мм. При этом уровень воды в ванне поддерживается постоянным. После выдержки в течение 4 часов образец вынимают из воды и переносят на сетчатую подставку из проволоки, через 30 секунд взвешивают. Массу воды, вытекающей из образца во время взвешивания, включают в массу насыщенного водой образца.

Водопоглощение, %, при частичном погружении образца в воду вычисляют по формуле (14).

Результаты определений заносят в табл. 5.

Т а б л и ц а 5

Определение водопоглощения.

| Показатели | Единицы измерения | Длительность выдержки в воде, час | Водопоглощение % | |
|--|-------------------|-----------------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| | | | при полном погружении в воду | при частичном погружении в воду |
| Масса сухого образца, m_2 | г | | | |
| Масса образца после насыщения водой, m_1 | г | | | |

5. Определение содержания органических веществ (ГОСТ 17177-94)

В предварительно прокаленный и взвешенный тигель помещают пробу массой около 5 г и высушивают до постоянной массы, взвешивают. До проведения испытания пробу хранят в эксикаторе над хлористым кальцием.

Тигель с пробой помещают в камерную электропечь и при температуре $(600+50)^{\circ}\text{C}$ выдерживают в течение 2 часов. Затем тигель с пробой охлаждают в эксикаторе до температуры $(22+5)^{\circ}\text{C}$ и взвешивают с погрешностью не более 0,0002 г.

Содержание органических веществ Z_0 , %, вычисляют по формуле

$$Z_0 = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_3} \cdot 100\%, \quad (15)$$

где m_1 – масса предварительно прокаленного тигля с пробой, высушенной до постоянной массы, г;

m_2 – масса тигля с пробой после прокаливания, г;

m_3 – масса прокаленного тигля, г.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие материалы и изделия называют теплоизоляционными?
2. Сырье, применяемое в производстве теплоизоляционных материалов и изделий.
3. Виды пористого строения.
4. Классификация теплоизоляционных материалов.
5. Способы получения пористой структуры.
6. Основные свойства теплоизоляционных материалов.
7. Какие связующие применяют в производстве теплоизоляционных материалов?
8. Виды теплоизоляционных материалов и изделий.
9. Какие преимущества имеют неорганические теплоизоляционные материалы перед органическими?
10. Что называют маркой теплоизоляционных материалов?

Лабораторная работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: изучение методик определения основных механических свойств теплоизоляционных материалов.

1. Определение прочности на сжатие при 10 %-й деформации (ГОСТ 17177-94)

Сущность метода заключается в определении величины сжимающих усилий, вызывающих деформацию образца по толщине на 10 % при соответствующих условиях испытания.

Из изделия выпиливают образец размером в плане 100x100 мм и толщиной, равной толщине изделия. Линейкой измеряют длину и ширину образца, затем его помещают в прибор и определяют нагрузку, при которой он уплотняется (деформируется) на 10 %.

Прочность на сжатие при 10 %-й деформации $R_{сж}$, Па (кгс/см²), вычисляют по формуле

$$R_{сж} = \frac{P}{ab}, \quad (16)$$

где P – нагрузка, при которой образец уплотняется на 10 %, Н (кгс);

a – длина образца, см;

b – ширина образца, см.

Результаты испытаний заносят в табл.6.

2. Определение предела прочности при сжатии (ГОСТ 17177-94)

Сущность метода заключается в определении величины сжимающих усилий, вызывающих разрушение образца при соответствующих условиях испытаний.

Из изделия выпиливают образец в форме куба с размером ребра (100+1) мм. Если толщина изделия не позволяет вырезать куб указанного размера, из изделия вырезают 2 образца в форме прямоугольного параллелепипеда высотой (50+0,5) мм, путем наложения которых друг на друга составляют куб указанного размера.

Две половины составленного образца притирают друг к другу и измеряют длину каждого ребра штангенциркулем с погрешностью не более 0,2 мм. Затем целый или составной по высоте образец устанавливают в прибор и определяют разрушающую нагрузку.

Предел прочности на сжатие $R_{сж}$, МПа (кгс/см²), вычисляют по формуле 16 и результаты заносят в табл. 6.

3. Определение предела прочности при изгибе (ГОСТ 17177-94)

Сущность метода заключается в определении величины усилий при изгибе образца, вызывающих его разрушение или прогиб при соответствующих условиях испытания.

Из изделия выпиливают образец квадратного сечения со стороной ребра (40+2) мм и длиной (200+3) мм, если в стандартах или ТУ на конкретные материалы и изделия не указаны другие размеры. При толщине изделия менее 40 мм из него выпиливают образец шириной 40 мм и максимально возможной толщины.

Образец укладывают на 2 цилиндрические опоры диаметром 10 мм. Расстояние между осями опор должно быть (160+1) мм. Нагрузка на образец должна передаваться через валик диаметром 10 мм. Разрушающей считают максимальную нагрузку, отмеченную при испытании образца при его разрушении или прогибе в середине пролета.

Предел прочности при изгибе $R_{изг}$, МПа (кгс/см²), определяют по формуле

$$R_{изг} = \frac{3Pl}{2bh^2}, \quad (17)$$

- где P – разрушающая нагрузка, Н (кгс);
 l – расстояние между осями опор, см;
 b – ширина образца, см;
 h – высота образца, см.

Результаты испытаний заносят в табл. 6.

Т а б л и ц а 6

Определение механических свойств

| Наименование показателя | Единицы измерения | Значение показателя | | |
|-------------------------------|-------------------|--|---------------------------------------|--|
| | | $R_{сж}$ при 10 % деформации, МПа (кгс/см ²) | $R_{сж}$, МПа (кгс/см ²) | $R_{изг}$, МПа (кгс/см ²) |
| Длина образца, a | см | | | |
| Ширина образца, b | см | | | |
| Высота образца, h | см | | | |
| Расстояние между опорами, l | см | | | |
| Разрушающая нагрузка, P | кгс | | | |

Вопросы для самоконтроля

1. Какие показатели механических свойств определяют для теплоизоляционных материалов?
2. Как определяют предел прочности при сжатии?
3. Как определяют предел прочности при изгибе?

Лабораторная работа № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МИНЕРАЛЬНОЙ ВАТЫ

Цель работы: изучить методики определения физико-технических свойств марки минеральной ваты.

Минеральная вата представляет собой высокопористый материал, состоящий из тонких и гибких стекловидных волокон и неволоконистых включений «корольков» в виде капель затвердевшего силикатного расплава и микроскопических обломков волокон.

Теплоизоляционные свойства минеральной ваты обусловлены содержанием в ней воздушных пустот (до 95...97 % общего объема ваты), заключенных между волокнами, которые расположены в вате во всевозможных направлениях.

Основными свойствами минеральной ваты являются: малая средняя плотность, низкий коэффициент теплопроводности, а также несгораемость и биостойкость.

Минеральная вата применяется непосредственно в качестве теплоизоляционного материала при температуре изолируемых поверхностей до 600°C, а также для изготовления теплозвукоизоляционных изделий.

Сырьем для получения расплава при производстве минеральной ваты служат различные горные породы, металлургические шлаки и отходы промышленности строительных материалов. Качество минеральной ваты зависит от свойств расплава, определяемых, в свою очередь, химическим свойством сырья, вязкостью и поверхностным натяжением расплава, а также от способа превращения расплава в минеральное волокно.

Существуют три основных разновидности промышленных способов переработки расплава в волокно: дутьевые, механические и комбинированные. При этом способ получения оказывает влияние на количество «корольков», диаметр волокон, среднюю плотность и другие свойства, что, в целом, определяет качество минеральной ваты.

При всех способах первоначально струя расплава разделяется на частицы (струйки) центробежными или гравитационными силами, а окончательно волокна образуются под воздействием одного из видов энергоносителя.

Комбинированные способы обеспечивают получение волокна высокого качества, допускают переработку более вязких расплавов, снижают расход относительно дорогого энергоносителя, и, следовательно, более экономичны.

Независимо от способа получения минеральная вата должна удовлетворять требованиям ГОСТ 4640-93.

1. Определение влажности

Испытание производится путем испарения влаги из материала в лабораторном сушильном шкафу.

Общая проба минеральной ваты должна быть не менее 15 г и состоять из трех навесок по $5,0 \pm 0,1$ г каждая. Навески помещают в предварительно взвешенный фарфоровый тигель (или стаканчик), взвешивают и высушивают в сушильном шкафу при температуре $105 \pm 5^\circ\text{C}$ до постоянной массы. Перед повторным взвешиванием тигли (или стаканчики) закрывают крышками и охлаждают до комнатной температуры в эксикаторе над безводным хлористым кальцием. Взвешивание производится с погрешностью до $\pm 0,01$ г.

Влажность W , % вычисляют с погрешностью до 0,1 % по формуле

$$W = \frac{m - m_1}{m} \times 100\%, \quad (18)$$

где m – масса пробы до высушивания, г;

m_1 – масса пробы, высушенной до постоянной массы, г.

Затем по результатам трех опытов определяется среднее арифметическое значение влажности минеральной ваты.

2. Определение средней плотности минеральной ваты

Испытание проводят на приборе для определения объемной массы (рис. 7). Вату массой 0,5 кг укладывают горизонтальными слоями в металлический цилиндр 4. На вату подъемным устройством 5 опускают металлический диск 3 массой 7 кг, что соответствует нагрузке 2000 ± 30 Па ($0,02$ кгс/см²). Под нагрузкой вату выдерживают в течение 5 мин. Высоту сжатого слоя ваты в цилиндре с точностью до 1 мм определяют по шкале 2, находящейся на стержне 1.

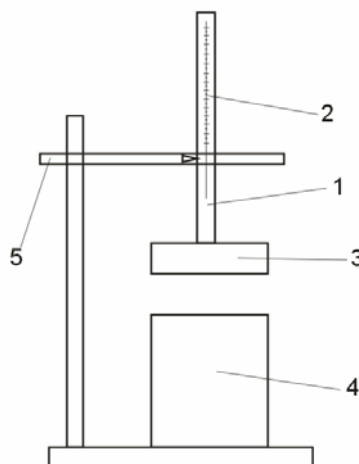


Рис. 7. Прибор для определения объемной массы минеральной ваты

Среднюю плотность ваты ρ , кг/м^3 , под стандартной нагрузкой вычисляют по формуле

$$\rho = \frac{m_{\text{сух}}}{V}, \quad (19)$$

где $m_{\text{сух}}$ – масса предварительно высушенной ваты, кг;
 V – объем ваты, м^3

Если для испытания берется вата в состоянии естественной влажности, то среднюю плотность ρ , кг/м^3 , определяют по формуле

$$\rho = \frac{m_{\text{сух}}}{V(1 + 0,01W)}, \quad (20)$$

где $m_{\text{вл}}$ – масса ваты в состоянии естественной влажности, кг;
 V – объем, ваты, м^3 ;
 W – влажность ваты, %.

Результат определения округляют до 1 кг/м^3 .

3. Определение содержания «корольков»

Определение содержания «корольков» в минеральной вате производят на стандартном специальном приборе для отделения неволоконистых включений.

Из любых пяти упаковочных мест отбирают по одной навеске минеральной ваты массой 50 г каждая, взвешивание производят с точностью $\pm 0,1$ г. Отобранные навески ваты прокаливают в муфельной печи при температуре 700°C в течение 30 мин, охлаждают до комнатной температуры на воздухе.

Подготовленную таким образом вату помещают в цилиндр 1 прибора (рис.8) и оставляют на 15 мин.

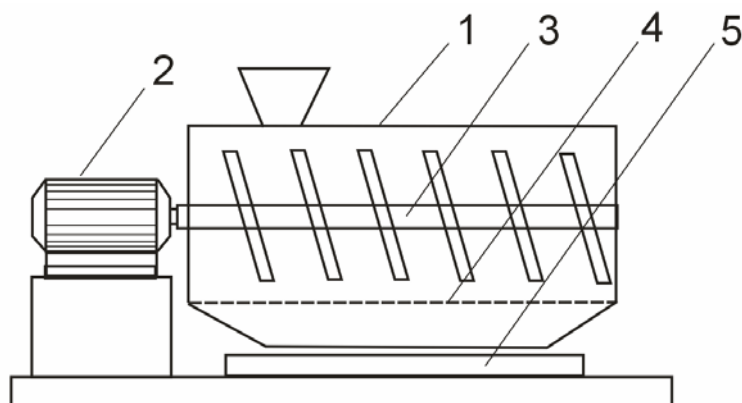


Рис. 8. Прибор для отделения неволоконистых включений

Включают двигатель 2 прибора, вращающий вал с билами 3. При вращении вала вата, попадая между билами и ножами, расположенными на корпусе цилиндра, разрывается и гранулируется (скатывается в комочки). Гранулированная часть ваты остается в цилиндре. Другая часть ваты в виде измельченных волокон и корольков проходит через отверстия 4 в стенках цилиндра и собирается в приемнике 5 под цилиндром. Измельченные волокна ваты удаляют из приемника струей воздуха, а корольки выгружают, просеивают через сито с отверстиями 0,25 мм. Остаток на сите взвешивают с точностью до 0,01 г.

Масса остатка корольков на сите представляет собой содержание в навеске ваты корольков размером свыше 0,25 мм. Выражая массу остатка в процентах от массы навески ваты, взятой для опыта, определяют процентное содержание корольков в минеральной вате.

Содержание корольков в минеральной вате данной партии вычисляют как среднее арифметическое из пяти определений.

4. Определение среднего диаметра волокна

Средний диаметр волокна минеральной ваты определяют под микроскопом при увеличении в 450...720 раз (микроскоп МИН-8).

Для определения линейных размеров предметов, рассматриваемых с помощью микроскопа, в окуляр устанавливается линза с делениями (линеечка). Цену деления предварительно определяют по объект-микрометру, на стекле которого нанесена шкала с делением через 0,01 мм.

Объект-микрометр устанавливают в зажимы предметного столика микроскопа. С помощью регулировочных винтов добиваются такой установки микроскопа, при которой получается отчетливое изображение делений объект-микрометра и линейки окуляра, наложенных друг на друга, и определяют цену деления линейки λ в мкм. Для этого на условном интервале A , границы которого определяются совпадением делений объект-микрометра и линейки, подсчитывают количество делений объект-микрометра N и линейки n . Цену деления линейки определяют по формуле

$$\lambda = 0,01 \frac{N}{n} \times 1000. \quad (21)$$

После этого из 10 различных мест пробы минеральной ваты отбирают навески в 1 г каждая, помещают их в картонную коробку и перемешивают легким встряхиванием. Полученную усредненную пробу равномерно укладывают на 10 предметных стеклах так, чтобы волокна испытуемой ваты располагались по возможности в одном направлении.

Для предотвращения возможного сдвига волокон на предметное стекло вначале наносят каплю 5 %-го раствора кедрового либо пихтового бальза-

ма, либо канифоли в этиловом спирте, которая закрепляет вату на стекле. Затем предметные стекла с образцами ваты выдерживают 30...40 минут в сушильном шкафу при температуре 70...105°C.

Образцы поочередно помещают на столик микроскопа, поворачивая их таким образом, чтобы волокна были расположены перпендикулярно шкале окулярной измерительной линейки. На каждом предметном стекле измеряют диаметр не менее 10 произвольно выбранных волокон. Диаметр волокон вычисляют с точностью до 1 мкм как среднее арифметическое значение 100 волокон.

По результатам испытаний составляется общее заключение о типе исследуемой минеральной ваты и соответствии показателей свойств требованиям ГОСТ 4640-93 (с изм. 1997) (табл. 7).

Т а б л и ц а 7

Характеристики минеральной ваты по ГОСТ 4640-93 (с изм. 1997)
«Вата минеральная. Технические условия»

| Наименование показателя | Норма для типов | | |
|---|-----------------|-----|-----|
| | А | Б | В |
| Модуль кислотности, не менее | 1,4 | 1,2 | 1,2 |
| Средний диаметр волокон, мкм, не более | 7 | 8 | 12 |
| Плотность, кг/м ³ , не более | 80 | 100 | 100 |
| Содержание «корольков» размером свыше 10...25 мм, %, не более | 12 | 20 | 25 |
| Влажность, %, не более | 1 | 1 | 2 |

Вопросы для самоконтроля

1. Что служит сырьем для производства минеральной ваты?
2. Какие свойства минеральной ваты зависят от среднего диаметра волокон?
3. Какие материалы используются в качестве связующих при производстве минераловатных изделий?
4. Как определяется содержание «корольков» в минеральной вате?
5. Как определить среднюю плотность минеральной ваты?

Лабораторная работа № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВСПУЧЕННОГО ВЕРМИКУЛИТА

Цель работы: определить характеристики вспученного вермикулита.

Вспученный вермикулит отличается пластинчатым строением с множеством пор расположенных между пластинками слюды. Поры сообщаются между собой и имеют неправильную линзовидную вытянутую форму, т.е. вспученный вермикулит практически не имеет замкнутых, изолированных друг от друга пор.

Вермикулит применяют в качестве теплоизоляционной засыпки при температуре изолируемых поверхностей от -260 до 1100°C для изготовления теплоизоляционных изделий, а также в качестве заполнителя легких бетонов и для приготовления огнезащитных, теплоизоляционных и звукопоглощающих штукатурных растворов.

Сырьем для производства вермикулита служит природный вермикулит, представляющий собой минерал из горных гидрослюд.

Свойством вермикулита является способность его зерен при быстром нагреве расщепляться на отдельные слюдяные пластинки с сохранением частичного их скрепления между собой. В результате такого расщепления зерна вермикулита значительно увеличивают свой объем.

Причиной вспучивания является энергичное выделение паров воды, которые действуют перпендикулярно плоскости спайности, раздвигают пластинки слюды и увеличивают тем самым объем их зерен в 15...20 раз и более. Чем больше воды в природном вермикулите, тем сильнее происходит вспучивание.

Степень вспучивания вермикулита характеризуется коэффициентом вспучивания. Различают:

– коэффициент вспучивания вермикулита K_v , равный отношению средней плотности природного вермикулита до вспучивания к средней плотности того же вермикулита после вспучивания. Значения K_v достигают 10 и более;

– коэффициент вспучивания отдельных зерен вермикулита $K_{во}$, представляющий собой отношение толщины зерна после вспучивания S_2 к толщине зерна до вспучивания S_1 . $K_{во}$ колеблется от 15 до 40.

Технологический процесс производства вспученного вермикулита состоит из измельчения, классификации по фракциям и обжига сырья.

Выбор режима обжига и типа печи зависит от свойств исходного сырья. Первичными показателями качества вспученного вермикулита являются размер зерен и показатели средней плотности.

Основные физико-механические свойства вспученного вермикулита регламентированы ГОСТ 12865-67(1988).

1. Определение средней насыпной плотности

Средняя насыпная плотность вермикулитовой породы определяется по общепринятой методике (ГОСТ 17177). При этом определяется масса материала, насыпанного с высоты 5 см через специальную стандартную воронку в мерный сосуд объемом 1 л. Среднюю насыпную плотность ρ пробы вермикулитовой породы вычисляют по формуле

$$\rho = \frac{m_1 - m_2}{V}, \quad (22)$$

где m_1 – масса мерного сосуда;

m_2 – масса мерного сосуда с пробой материала;

V – объем мерного сосуда с испытуемым материалом.

Каждая бригада выполняет по одному определению показателя средней насыпной плотности и, учитывая результаты, полученные другими бригадами, вычисляет среднюю величину.

2. Определение гранулометрического состава

Грансостав вермикулитовой породы определяется ситовым методом путем определения массы остатков на ситах с заданными размерами ячеек. Используют сита с размерами ячеек 5 мм и 0,6 мм. Взвешивание массы остатков на ситах производится с точностью до 0,1 г.

Дальнейшие исследования проводятся на вермикулитовой породе с размером зерен от 0,6 до 5 мм (средняя фракция), поэтому студенты всех бригад должны отсеять пробу вермикулитовой породы указанной фракции в количестве 3 кг. По заданию преподавателя возможно проведение дальнейших опытов на вермикулитовой породе большей или меньшей фракции, при этом необходимо также иметь не менее 3 кг вермикулитовой породы заданных фракций.

Результаты определения гранулометрического состава и насыпной плотности исходного вермикулита заносятся в таблицу.

Вопросы для самоконтроля

1. Что служит сырьем для производства вермикулита?
2. Где применяется вспученный вермикулит?
3. Что является причиной вспучивания природного вермикулита при его термообработке?
4. Каким показателем характеризуется степень вспучивания вермикулита?
5. Какие первичные показатели характеризуют качество вспученного вермикулита?

Лабораторная работа № 6
УИРС. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ
КОЭФФИЦИЕНТА ВСПУЧИВАНИЯ ВЕРМИКУЛИТА
ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Цель работы: выявить зависимость свойств вспученного вермикулита от технологических факторов.

Каждая бригада студентов берет пять проб вермикулитовой породы весом по 50 г. Каждую пробу подвергают вспучиванию при пяти различных температурах, отличающихся друг от друга на 20°С. За исходную температуру берут 800°С. Продолжительность обжига для всех проб устанавливают одинаковую – 3 мин. Вспучивание вермикулита производят в муфельной печи на поддонах с бортиками из специальной жаростойкой стали. Температура в печи измеряется термопарой. Время обжига измеряется секундомером.

За оптимальную температуру вспучивания вермикулита принимается та, при которой получается наименьший показатель средней насыпной плотности вспученного вермикулита.

По результатам, полученным всеми звеньями, каждое звено производит обработку результатов эксперимента и устанавливает зависимости параметров режима тепловой обработки в связи с гранулометрическим составом вермикулитовой породы. Строятся соответствующие графики, и проводится их анализ.

Лабораторная работа № 7

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕРМООБРАБОТКИ НА ПЛОТНОСТЬ ПЕНОПОЛИСТИРОЛА

Цель работы: исследовать влияние параметров термообработки пенополистирола на его плотность.

Пенополистирол представляет собой теплоизоляционный поропласт, получаемый вспучиванием полистирола при нагревании под действием газообразователя. Вспученный полистирол имеет вид гранул размером 5–15 мм. Иногда гранулы полистирола используют в теплоизоляционных засыпках и в качестве лёгкого заполнителя в производстве теплоизоляционных штучных материалов с применением различных связующих. Большой же частью зернистый пенополистирол перерабатывается в изделия без применения каких-либо вяжущих. Формирование такого материала происходит под действием повышенной температуры за счёт спекания гранул друг с другом.

Для изготовления пенополистирола вначале получают так называемый бисерный полистирол, представляющий собой полуфабрикат, необходимый для изготовления этого материала. Для его получения в автоклав, снабжённый мешалкой, заливают дистиллированную воду и раствор стабилизатора (сольвар). Мешалку включают на 10–15 минут. Затем вливают нагретый жидкий стирол. После перемешивания смесь охлаждают и вводят газообразователь – изопентан. При перемешивании образуется эмульсия стирола в воде. Её обрабатывают паром под давлением 0,5 МПа в течение 16–18 часов. В результате полимеризации из капель стирола образуются гранулы полистирола размером 0,5–1 мм с растворённым в них газообразователем, то есть бисерный полистирол. Его обезвоживают на центрифуге и сушат при 20°C до влажности не более 2 %.

Бисерный полистирол загружают в ванны с водой, нагретой до 100°C, или обрабатывают в барабанах паром с температурой до 90–100°C в течение 2–3 минут. Под действием высокой температуры полистирол переходит в вязко-пластичное состояние и вспучивается газами, образующимися в результате разложения изопентана. Кратковременная тепловая обработка необходима для того, чтобы изопентан полностью не разложился, и имело бы место лишь частичное вспучивание полистирола.

Частично вспученный полистирол загружают в металлические формы, снабженные крышками и прогретые до 75...85°C. Окончательное вспучивание гранул в формах и спекание их с образованием изделия производят в автоклавах или прогревом токами высокой частоты. Температура тепловой

обработки – 95...120°C, продолжительность – от 2 до 10 минут. Полученные блоки режутся разогретой проволокой на плиты.

По указанной выше так называемой «блочной» технологии работает большинство предприятий, выпускающих пенополистирольную теплоизоляцию.

1. Определение средней насыпной плотности бисерного полистирола

Средняя насыпная плотность вермикулитовой породы определяется по общепринятой методике (ГОСТ 17177). При этом определяется масса материала, насыпанного с высоты 5 см через специальную стандартную воронку в мерный сосуд объемом 1 л. Среднюю насыпную плотность ρ пробы вермикулитовой породы вычисляют по формуле

$$\rho = \frac{m_1 - m_2}{V}, \quad (23)$$

где m_1 – масса мерного сосуда;

m_2 – масса мерного сосуда с пробой материала;

V – объем мерного сосуда с испытуемым материалом.

Каждая бригада студентов выполняет по одному определению показателя средней насыпной плотности и, учитывая результаты, полученные другими бригадами вычисляет среднюю величину.

2. Вспучивание полистирола и определение коэффициента вспучивания

Бисерный полистирол загружают в ванну, наполненную водой с температурой 100 °С, и выдерживают: 1 звено – 30 сек, 2 звено – 1 минуту, 3 звено – 2 минуты. После этого пенополистирол извлекают из ванны и определяют насыпную плотность по методике, изложенной в п.1. Коэффициент вспучивания вычисляют по формуле

$$k_{\text{в}} = \frac{\rho_{\text{вс}}}{\rho}, \quad (24)$$

где $\rho_{\text{вс}}$ – плотность вспученного полистирола;

ρ – плотность бисерного полистирола.

После этого строится зависимость коэффициента вспучивания от времени термообработки.

По результатам, полученным всеми звеньями, каждое звено производит обработку результатов эксперимента и устанавливает зависимость плотно-

сти пенополистирола от параметров режима тепловой обработки. Строятся соответствующие графики и проводится их анализ.

3. Изготовление образцов плит

Приборы и материалы: форма 7×12×2 см с хомутами, проба предварительно вспученного полистирола, сосуд с горячей водой на электроплитке, щипцы.

Каждая бригада изготавливает по две плиты размером 12×7×2 см. В разборные металлические формы плотно укладывают вспученные гранулы полистирола и объем фиксируют путем наложения накладок с винтами (рис.9).

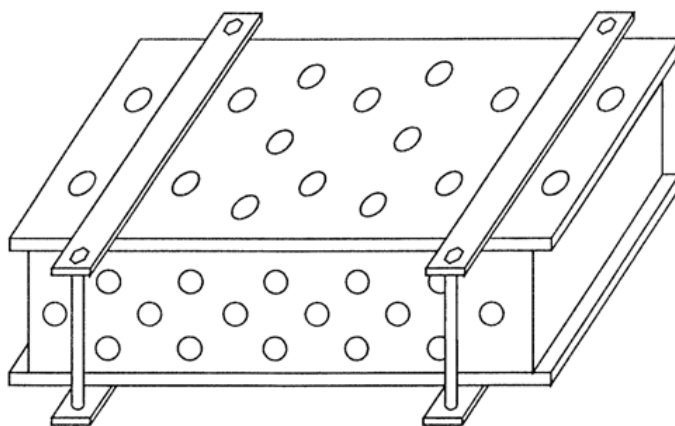


Рис.9. Форма для изготовления плит из пенополистирола

На дно и сверху (под крышку) укладывают сетчатые прокладки. Затем формы опускают в кипящую воду на 8-15 минут. В результате нагревания гранулы полистирола, увеличиваясь в объеме, сначала заполняют все межзерновое пространство, а затем, сплавляясь между собой, образуют сплошную массу затвердевшей плиты.

После вспенивания плиты охлаждаются в формах в течение 10-30 минут и извлекаются из формы.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите основные виды теплоизоляционных пластмасс.
2. Основные свойства пенопластов.
3. С какой целью проводят предварительное вспенивание бисерного полистирола?
4. Какое оборудование применяют для предварительного и окончательного вспенивания?
5. В чем особенности непрерывного и блочного способов производства пенополистирола?

Лабораторная работа № 8

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОЛИСТИРОЛЬНЫХ ПЛИТ

Цель работы: определить основные показатели качества полистирольных плит.

1. Определение средней плотности пенополистирольных плит

Плиты пенополистирола высушивают в сушильном шкафу до постоянной массы при температуре не выше 60 °С, затем взвешивают на технических весах с точностью до 0,1 г и с помощью металлической линейки измеряют размеры. Плотность (кг/см³) вычисляют по формуле

$$\rho = \frac{1000m}{V}, \quad (25)$$

где m – масса образца, г;
 V – объем образца, см³;

Значение средней плотности плит определяют как среднее арифметическое результатов испытания всех образцов. По показателю средней плотности устанавливается марка изделия.

2. Определение водопоглощения пенополистирольных плит

Для определения водопоглощения используют полистирольные плиты, на которых определяли среднюю плотность. Три плиты, масса и объем которых известны из предыдущего испытания, помещают в сосуд с водой. Уровень воды над образцами должен быть не менее 3 см. Для погружения плит в воду на них следует положить груз. Образцы выдерживают (при отсутствии вакуум-камеры) 24 часа под водой, затем их вынимают, вытирают мягкой тканью и взвешивают. Объемное водопоглощение, %, вычисляют по формуле

$$W_0 = \frac{100(m_1 - m)}{V}, \quad (26)$$

где m – масса сухого образца, г;
 m_1 – масса образца в насыщенном водой состоянии, г;
 V – объем образца, см³.

Водопоглощение вычисляют как среднее арифметическое значение из результатов испытаний трех образцов.

3. Определение предела прочности пенополистирольных плит при изгибе

Для определения предела прочности при изгибе пользуются гидравлическим прессом. Образец укладывают на опоры с таким расчетом, чтобы расстояние между ними было 10 см.

Предел прочности при изгибе вычисляют с точностью до 0,01 МПа по формуле 17. Предел прочности плит при изгибе вычисляют как среднее арифметическое значение из результатов испытаний не менее трех образцов.

Полученные в лабораторной работе характеристики плит пенополистирола сравнивают с требованиями стандарта, приведенными в табл. 8, после чего делают заключение об их соответствии требованиям ГОСТ 15588-86.

Т а б л и ц а 7

Технические условия на плиты пенополистирола ПСБ (ГОСТ 15588-86)

| Показатели | Марка | | | | | | | |
|--|--------------------|-------|-------|----------|--------|-------|-------|-------|
| | 15 | 25 | 35 | 50 | 15 | 25 | 35 | 50 |
| | Категория качества | | | | | | | |
| | высшая | | | | первая | | | |
| Предел прочности не менее, при: сжатии при 10 %-й линейной деформации | 0,05 | 0,1 | 0,16 | 0,2 | 0,04 | 0,08 | 0,14 | 0,16 |
| изгибе | 0,07 | 0,18 | 0,25 | 0,3 5 | 0,06 | 0,16 | 0,20 | 0,30 |
| Водопоглощение за 24 ч, % по объему, не более | 3 | 2 | 2 | 2 | 4 | 3 | 2 | 2 |
| Теплопроводность, при температуре (25±5) °С, Вт/(м °С), не более | 0,042 | 0,039 | 0,037 | 0,04 | 0,043 | 0,041 | 0,038 | 0,041 |

Вопросы для самоконтроля

1. По каким показателям оценивается качество полистирольных плит?
2. Какие марки полистирольных плит Вы знаете?
3. Марка полистирольной плиты 15. Что это означает?
4. Какие категории качества полистирольных плит Вы знаете?
5. Как определить водопоглощение полистирольных плит?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горлов, Ю.П. Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий [Текст] / Ю.П. Горлов. – М.: Высшая школа, 1989. – 384 с.
2. Горяйнов, К.Э. Технология теплоизоляционных материалов и изделий [Текст] / К.Э. Горяйнов, С.К. Горяйкова. – М.: Стройиздат, 1982. – 376 с.
3. Горлов, Ю.П. Лабораторный практикум по технологии теплоизоляционных материалов [Текст] / Ю.П. Горлов. – М.: Высшая школа, 1982.
4. Жестков, В.М. Основы технологии теплоизоляционных, акустических, гидроизоляционных и отделочных материалов для индустриального строительства [Текст]: учебное пособие / В.М. Жестков, Г.П. Кожухова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2000. – 52 с.
5. Крамар Л.Я. Технология изоляционных и стеновых материалов [Текст]: методические указания к лабораторным работам / Л.Я. Крамар, Т.Н. Черных. – Сатка: Филиал ЮУрГУ в г. Сатка, 2007. – 33 с.
6. Кузнецов Ю.С. Технология изоляционных строительных материалов и изделий [Текст]: практикум / Ю.С. Кузнецов, М.О. Коровкин, В.И. Калашников. – Пенза: ПГУАС, 2012. – 108 с.
7. Редько Л.Т. Теплоизоляционные, акустические материалы и системы [Электронный ресурс]: методические указания к лабораторному практикуму / Л.Т. Редько. – Режим доступа: http://kf.osu.ru/old/bibl/lib_books/doc_gsh/26.pdf.
8. ГОСТ 17177–94. Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Методы испытаний [Текст]. – М., 1994. – 49 с.
9. ГОСТ 4640–93. Вата минеральная. Технические условия [Текст]. – М.: Издательство стандартов, 1993.
10. ГОСТ 9573–96. Плиты из минеральной ваты на синтетическом связующем. Теплоизоляционные технические условия [Текст]. – М.: Издательство стандартов, 1996. – 9 с.
11. ГОСТ 12865–67. Вермикулит вспученный [Текст]. – М.: Издательство стандартов, 1980. – 3 с.
12. ГОСТ 15588–86. Плиты пенополистирольные. Технические условия [Текст]. – М.: Издательство стандартов, 1986. – 7 с.

О Г Л А В Л Е Н И Е

| | |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 3 |
| Лабораторная работа № 1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДЯЩИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИЙ | 4 |
| 1. Определение фактического коэффициента теплопроводности строительных материалов с использованием электронного измерителя теплопроводности ИТП–МГ4 | 5 |
| 2. Расчетный метод определения коэффициента теплопроводности силикатного кирпича | 8 |
| 3. Порядок выполнения теплотехнического расчета ограждающей конструкции из силикатного кирпича с дополнительным теплоизоляционным слоем | 10 |
| Вопросы для самоконтроля | 11 |
| Лабораторная работа № 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ | 12 |
| 1. Определение средней плотности жестких материалов (ГОСТ 17177-94) | 12 |
| 2. Определение средней плотности мягких теплоизоляционных материалов | 15 |
| 3. Определение средней плотности рыхлых волокнистых материалов (ГОСТ 17177-94) | 15 |
| 4. Определение водопоглощения (ГОСТ 17177-94) | 17 |
| 5. Определение содержания органических веществ (ГОСТ 17177-94) | 19 |
| Вопросы для самоконтроля | 19 |
| Лабораторная работа № 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ | 20 |
| 1. Определение прочности на сжатие при 10 %-й деформации (ГОСТ 17177-94) | 20 |
| 2. Определение предела прочности при сжатии (ГОСТ 17177-94)..... | 20 |
| 3. Определение предела прочности при изгибе (ГОСТ 17177-94)..... | 21 |
| Вопросы для самоконтроля | 22 |
| Лабораторная работа № 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МИНЕРАЛЬНОЙ ВАТЫ..... | 23 |
| 1. Определение влажности | 24 |

| | |
|---|----|
| 2. Определение средней плотности минеральной ваты | 24 |
| 3. Определение содержания «корольков»..... | 25 |
| 4. Определение среднего диаметра волокна..... | 26 |
| Вопросы для самоконтроля | 27 |
| Лабораторная работа № 5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВСПУЧЕННОГО ВЕРМИКУЛИТА..... | 28 |
| 1. Определение средней насыпной плотности | 29 |
| 2. Определение гранулометрического состава..... | 29 |
| Вопросы для самоконтроля | 30 |
| Лабораторная работа № 6 УИРС. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ВСПУЧИВАНИЯ ВЕРМИКУЛИТА ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ | 31 |
| Лабораторная работа № 7 ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕРМООБРАБОТКИ НА ПЛОТНОСТЬ ПЕНОПОЛИСТИРОЛА..... | 32 |
| 1. Определение средней насыпной плотности бисерного полистирола..... | 33 |
| 2. Вспучивание полистирола и определение коэффициента вспучивания | 33 |
| 3. Изготовление образцов плит | 34 |
| Вопросы для самоконтроля | 34 |
| Лабораторная работа № 8 ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОЛИСТИРОЛЬНЫХ ПЛИТ | 35 |
| 1. Определение средней плотности пенополистирольных плит | 35 |
| 2. Определение водопоглощения пенополистирольных плит | 35 |
| 3. Определение предела прочности пенополистирольных плит при изгибе | 36 |
| Вопросы для самоконтроля | 36 |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК | 37 |

Учебное издание

Кислицына Светлана Николаевна

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Учебно-методическое пособие

по выполнению лабораторных работ

Редактор Н.Ю. Шалимова

Верстка Н.А. Сазонова

Подписано в печать 12.12.14. Формат 60×84/16.

Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.

Усл. печ. л. 2,3. Уч.-изд. л. 2,5. Тираж 80 экз.

Заказ №477.

Издательство ПГУАС.
440028, г.Пенза, ул. Германа Титова, 28.