

Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

ТЕХНОЛОГИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

Учебное пособие

*Рекомендовано редакционно-издательским советом
Воронежского государственного архитектурно-строительного университета
в качестве учебного пособия для студентов,
обучающихся по специальности 270106
«Производство строительных материалов, изделий и конструкций»*

Воронеж 2009

Авторский коллектив:
А.А. Суслов, В.В. Власов,
А.М. Усачев, А.Е. Турченко,
А.С. Деревщикова

УДК 691:699.86 (07)
Т381

Суслов, А.А.
Т381 **Технология теплоизоляционных строительных материалов и изделий:** лаб. практикум / А.А. Суслов [и др.]; Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т. – Воронеж, 2009. – 64 с.

Содержит общие теоретические сведения, порядок выполнения лабораторных работ по основным видам современных теплоизоляционных материалов, их свойствам и технологиям.

Предназначено для студентов всех форм обучения специальности 270106 «Производство строительных материалов, изделий и конструкций».

Табл. 31. Библиогр.: 11 назв.

УДК 691:699.86 (07)

Рецензенты: кафедра строительного материаловедения Московского института коммунального хозяйства и строительства,
А.Н.Бобрышев, член-корреспондент РААСН, член-корреспондент РАИИ, д-р техн. наук, профессор кафедры технологии вяжущих веществ, бетонов и керамики Пензенского государственного университета архитектуры и строительства

© Суслов А.А. и др., 2009
© Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, 2009

ВВЕДЕНИЕ

Настоящий лабораторный практикум подготовлен в соответствии с учебным планом специальности 270106 «Производство строительных материалов, изделий и конструкций» и государственным общеобразовательным стандартом по этой специальности.

Лабораторные работы, представленные в практикуме, охватывают все основные разделы дисциплины, начиная с изучения основных физико-механических свойств теплоизоляционных материалов и заканчивая изучением конкретных видов и технологией их изготовления.

Каждая лабораторная работа включает: цель работы, общие теоретические сведения, порядок выполнения работы, описание используемого оборудования, приборов, инструментов и сырьевых материалов. В конце каждой работы приведены аттестационные вопросы для оценки остаточных знаний студентов и последующей защиты результатов работы.

Подготовка к лабораторным работам предусматривает самостоятельное изучение студентами отдельных теоретических вопросов по рекомендованным литературным источникам, конспектам лекций, справочной и нормативной литературе.

Выполнение некоторых лабораторных работ предусматривает знание студентами отдельных вопросов, касающихся определения основных физико-механических свойств теплоизоляционных строительных материалов, таких как средняя плотность, пористость, пустотность и др. Эти свойства подробно изучались при прохождении дисциплин «Строительные материалы и изделия», «Материаловедение», «Технология конструкционных материалов» и др., поэтому в лабораторном практикуме методика их определения изложена в краткой форме.

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУРЫ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

1.1. Цель работы - изучение методики определения структурных параметров и показателей основных физико-механических свойств теплоизоляционных материалов.

1.2. Оборудование, приборы, инструменты и сырьевые материалы: весы технические по ГОСТ 16474, сушильный шкаф по ГОСТ 13474, весы торговые по ГОСТ 16474, мерный цилиндр вместимостью 100 или 250 мл, пикнометр по ГОСТ 6427, стандартная воронка для определения насыпной плотности материалов, мерный сосуд вместимостью 1 л, 10 л, 20 л, штангенциркуль по ГОСТ 166, гидравлический пресс по ГОСТ 8905, приспособления для испытания образцов-балочек на изгиб, испытательная машина МИИ-100, сушильный шкаф, образцы теплоизоляционных строительных материалов.

1.3. Общие теоретические сведения

Основными свойствами теплоизоляционных материалов являются: теплопроводность, средняя плотность, пористость, влажность, прочность и др.

Теплопроводность – важнейшая характеристика теплоизоляционных материалов. Процесс переноса теплоты через материал под действием градиентов температуры называется теплопроводностью, которая характеризуется коэффициентом теплопроводности λ , Вт/(м·°С).

Средняя плотность – физическая величина, по которой можно приближенно оценить теплопроводность материала.

Пористость – одна из важнейших характеристик теплоизоляционных материалов, позволяющая оценивать процентное содержание газовой (воздушной) фазы в объеме материала. Пористость разделяют на общую, открытую и закрытую. Для зернистых материалов введено понятие межзерновой пористости (пустотности).

Объем общей пористости определяется содержанием в материале каркасообразующих элементов (волокон, зерен, мембран), прочностью этих элементов и образованного ими каркаса. Для материалов с волокнистой и зернистой структурой значения общей пористости не являются величинами постоянными, так как даже при небольших нагрузках они способны уплотняться.

Открытая пористость ухудшает эксплуатационные свойства теплоизоляционных материалов, являясь причиной проникновения влаги и газов в глубь изделия, что способствует резкому повышению коэффициента теплопроводности. Закрытая пористость обеспечивает повышенную эксплуатационную стойкость строительной теплоизоляции.

В табл. 1.1 приведены значения пористости для теплоизоляционных ма-

териалов различной структуры.

Таблица 1.1

Значения пористости некоторых теплоизоляционных материалов

Структура	Материалы	Пористость, %		
		общая	открытая	закрытая
Волокнистая	Минераловатные	85...92	85...92	0
Ячеистая	Ячеистый бетон	85...90	40...50	40...45
	Пеностекло	85...90	2...5	83...85
	Пенопласты	92...99	1...55	45...98
Зернистая	Перлитовые	85...88	60...65	22...25

Форма пор оказывает влияние на прочность теплоизоляционного материала. Наилучшие показатели по прочности имеют ячеистые и зернистые материалы со сферическими пораами и зернами.

Наличие **влаги** в теплоизоляционных материалах всегда ухудшает их функциональные и строительно-эксплуатационные свойства. У влажных материалов резко повышается теплопроводность, а также снижаются физико-механические показатели. Увлажнение материалов может происходить при контакте с водой (водопоглощение) или влажным воздухом (сорбция).

Величина влажности материала зависит от его природы, характера пористой структуры, смачиваемости твердой фазы.

Для предотвращения увлажнения теплоизоляционных материалов используют специальные гидрофобизирующие добавки или защитные покрытия.

Прочность теплоизоляционных материалов невелика и зависит от следующих факторов: вида пористой структуры, формы и пространственного расположения каркасообразующих элементов структуры и др.

Показатели наиболее распространенных теплоизоляционных материалов приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Физико-механические показатели теплоизоляционных материалов

Материалы	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	Средняя плотность, кг/м ³	Прочность, МПа	
			при сжатии	при изгибе
Ячеистый бетон	0,093...0,104	350	0,6	-
Пеностекло	0,052...0,084	200	1,0	0,7
Минераловатные плиты	0,045...0,056	200	-	0,1
Асбестосодержащие	0,079...0,084	350	-	0,17...0,3
Перлитобитумные	0,076...0,087	300	-	0,15
Перлитоцементные	0,065...0,081	300	0,8	0,25
Керамические	0,076...0,105	400	0,8	-
Древесноволокнистые плиты	0,05...0,09	300	-	0,12
Фибролит	0,08...0,10	400	-	0,7
Пенопласты	0,038...0,04	25	0,07	0,1
		50	0,1	0,1
		100	0,2...0,4	-

1.4. Методика и порядок выполнения работы

По заданию звену студентов выдается несколько образцов различных теплоизоляционных материалов, для которых они должны определить следующие физико-механические свойства.

1.4.1. Определение истинной плотности

Истинная плотность – это масса единицы объема материала в абсолютно плотном состоянии, то есть без пор и пустот.

Истинную плотность материала ρ , кг/м³ (г/см³), определяют по формуле

$$\rho = \frac{m}{V_{m.ф.}}, \quad (1.1)$$

где m – масса твердой фазы в данном объеме, кг (г);

$V_{m.ф.}$ – объем, занимаемый твердой фазой материала, м³ (см³).

Объем материала в абсолютно плотном состоянии (в твердой фазе) определяется по объему вытесненной инертной жидкости. Для этого пробу материала предварительно высушивают при температуре 105⁰С до постоянной массы и измельчают до полного прохождения через сито № 0,063 (размер отверстий 0,063 мм). Объем вытесненной жидкости оценивают с помощью мерного цилиндра, прибора Ле-Шателье или пикнометра. Наиболее точным является пикнометрический способ.

При использовании пикнометрического способа навеску порошка материала массой 10...15 г высыпают в предварительно взвешенный пикнометр. Пикнометр взвешивают вместе с навеской, заполняют инертной жидкостью до метки и вновь взвешивают. Затем пикнометр освобождают от содержимого, промывают, заполняют той же жидкостью до метки и взвешивают.

Истинную плотность материала ρ , г/см³, вычисляют по формуле

$$\rho = \frac{(m_2 - m_1) \cdot \rho_{жид}}{(m_4 - m_1) - (m_3 - m_2)}, \quad (1.2)$$

где m_1 – масса пустого пикнометра, г;

m_2 – масса пикнометра с навеской материала, г;

m_3 – масса пикнометра с навеской материала и жидкостью, г;

m_4 – масса пикнометра с жидкостью, г;

$\rho_{жид}$ – плотность жидкости, г/см³.

Для определения плотности проводят не менее двух испытаний и вычисляют среднее арифметическое из полученных результатов. Результаты эксперимента заносят в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Результаты определения истинной плотности теплоизоляционных материалов

Наименование теплоизоляционного материала	Вид структуры	Масса, г				Истинная плотность, ρ , г/см ³ (кг/м ³)
		m_1	m_2	m_3	m_4	

1.4.2. Определение средней плотности

Средняя плотность – это масса единицы объема материала в естественном состоянии, то есть с порами и пустотами.

Среднюю плотность материала ρ_m , кг/м³ (г/см³), определяют по формуле

$$\rho_m = \frac{m}{V} = \frac{m}{V_{m.ф.} + V_{пор}}, \quad (1.3)$$

где m – масса материала, кг (г);

V – объем материала, м³ (см³);

$V_{m.ф.}$ – объем твердой фазы, м³ (см³);

$V_{пор}$ – объем газовой фазы (пор и пустот), м³ (см³).

Средняя плотность находится в обратной зависимости от пористости материала. Для теплоизоляционных материалов средняя плотность всегда меньше их истинной плотности.

Среднюю плотность теплоизоляционных материалов определяют на изделиях или образцах правильной геометрической формы в высушенном состоянии. Образцы в виде куба, параллелепипеда или цилиндра должны иметь размер по наименьшему измерению не менее 50 мм.

Размеры образцов определяют металлической линейкой или штангенциркулем. Затем взвешиванием определяют массу образцов. Среднюю плотность материала вычисляют по формуле

$$\rho_m = \frac{m}{V_{обр}}, \quad (1.4)$$

где m – масса образца (материала), г;

$V_{обр}$ – объем образца (материала), см³.

Результаты определения средней плотности заносят в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Результаты определения средней плотности теплоизоляционных материалов

Наименование теплоизоляционного материала	Масса Образца, m , г	Размеры образца, см	Объем образца, $V_{обр}$, см ³	Средняя плотность, ρ_m , г/см ³ (кг/м ³)

Теплоизоляционные материалы по величине средней плотности подразделяются на марки.

1.4.3. Определение теплопроводности

Для определения величины коэффициента теплопроводности λ пользуются формулой В.П. Некрасова, связывающей теплопроводность с относительной плотностью материала d_m

$$\lambda = 1,16\sqrt{0,0196 + 0,22d_m^2} - 0,16, \quad (1.5)$$

где d_m – относительная плотность (безразмерная величина), равная отношению средней плотности материала к плотности воды.

Для расчета коэффициента теплопроводности можно также использовать следующую формулу:

$$\lambda = \lambda_v + 2,44 \cdot 10^{-4} \cdot \rho_m, \quad (1.6)$$

где λ_v – теплопроводность воздуха, равная 0,023 Вт/(м·°С).

ρ_m – средняя плотность материала, кг/м³.

Полученные результаты записывают в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Результаты определения коэффициента теплопроводности

Наименование теплоизоляционного материала	Средняя плотность, ρ_m , кг/м ³	Относительная плотность, d_m	Коэффициент теплопроводности, λ , Вт/(м·°С), рассчитанный по формулам	
			(1.5)	(1.6)

1.4.4. Определение насыпной плотности

Насыпная плотность – это масса единицы объема зернистого материала в насыпном состоянии. Этот показатель характерен для сыпучих теплоизоляционных материалов (перлитовый песок, вермикулит, керамзитовый гравий и песок, др.).

Насыпную плотность ρ_n , кг/м³ (г/см³), определяют по формуле

$$\rho_n = \frac{m}{V_n} = \frac{m}{V_{m.ф.} + V_{пор} + V_{пуст}}, \quad (1.7)$$

где m – масса зернистого материала, кг (г);

V_n – весь объем, занимаемый этой массой, м³ (см³);

$V_{пор}$ – объем пор в зернах материала, м³ (см³);

$V_{пуст}$ – объем межзерновых пустот, м³ (см³).

Испытание заключается в том, что мерный сосуд с известным объемом заполняют рыхло-зернистым материалом.

В зависимости от крупности частиц материала используют сосуды различной вместимости. Если размер частиц материала составляет 0...5 мм, то объем сосуда должен быть 1...2 л, если размер частиц 5...40 мм, то объем сосуда – 10 л, и если размер частиц более 40 мм, то объем сосуда – 20 л.

Насыпную плотность мелкозернистых сыпучих материалов определяют с помощью воронки в виде конуса с заслонкой в нижней части. Под воронку устанавливают заранее взвешенный мерный сосуд с вышеуказанной емкостью. В воронку засыпают сухой материал, открывают заслонку и с высоты 10 см заполняют сосуд с избытком. Металлической линейкой срезают излишек материала вровень с краями сосуда (без уплотнения) и взвешивают. Насыпную плотность, ρ_n , г/см³, рассчитывают по формуле

$$\rho_n = \frac{m_2 - m_1}{V}, \quad (1.8)$$

где m_1 – масса сосуда, г;

m_2 – масса сосуда с материалом, г;

V – объем сосуда, см³.

Результаты определения насыпной плотности заносят в табл. 1.6.

Таблица 1.6

Результаты определения насыпной плотности
сыпучих теплоизоляционных материалов

Наименование теплоизоляционного материала	Масса сосуда, m_1 , г	Масса сосуда с материалом, m_2 , г	Объем сосуда, V , см ³	Насыпная плотность, ρ_n , г/см ³ (кг/м ³)

1.4.5. Определение пористости материала

Пористость – это процентное содержание в материале пор и пустот.

Различают общую, открытую и закрытую пористость. Общая пористость P включает в себя открытую P_o и закрытую P_z пористость. Открытыми считаются поры, сообщающиеся с внешней средой, при помещении материала в воду они заполняются ею. Закрытые поры не сообщаются с внешней средой и не заполняются водой.

Общую пористость P , %, рассчитывают по формуле

$$P = \left(1 - \frac{\rho_m}{\rho} \right) \cdot 100, \quad (1.9)$$

где ρ – истинная плотность материала, кг/м³ (г/см³);

ρ_m – средняя плотность материала, кг/м³ (г/см³).

Открытую пористость P_o , %, можно приближенно определить по величине водопоглощения по объему

$$P_o \approx V_v. \quad (1.10)$$

Закрытую (замкнутую) пористость P_z , %, определяют по формуле

$$P_z = P - P_o. \quad (1.11)$$

Результаты определения пористости заносятся в табл. 1.7.

Таблица 1.7

Результаты определения пористости теплоизоляционных материалов

Наименование теплоизоляционного материала	Пористость, %		
	общая P	открытая P_o	закрытая P_z

1.4.6. Определение межзерновой пустотности

Межзерновая пустотность – это объемное содержание в рыхлозернистом материале межзерновых пустот.

Межзерновую пустотность $P_{мз}$, %, для рыхлозернистых и порошкообразных материалов рассчитывают по формуле

$$P_{мз} = \left(1 - \frac{\rho_n}{\rho_m} \right) \cdot 100, \quad (1.12)$$

где ρ_n – насыпная плотность материала, кг/м³ (г/см³);

ρ_m – средняя плотность зерен материала, кг/м³ (г/см³).

Результаты определения межзерновой пустотности представляют в форме табл. 1.8.

Таблица 1.8

Результаты определения межзерновой пустотности сыпучих теплоизоляционных материалов

Наименование теплоизоляционного материала	Плотность, г/см ³		Межзерновая пустотность, $P_{мз}$, %
	насыпная	средняя	

1.4.7. Определение равновесной влажности материалов

Влажность – процентное содержание влаги в порах материала при естественных условиях его эксплуатации.

Для определения влажности образцы взвешивают, затем высушивают в сушильном шкафу при температуре 105⁰С до постоянной массы. После охлаждения до комнатной температуры образцы снова взвешивают.

Различают влажность абсолютную $W_{абс}$ и относительную $W_{отн}$, определяемую в процентах по формулам

$$W_{абс} = \frac{m_{вл} - m_{сух}}{m_{сух}} \cdot 100, \quad (1.13)$$

$$W_{отн} = \frac{m_{вл} - m_{сух}}{m_{вл}} \cdot 100, \quad (1.14)$$

где $m_{вл}$ – масса образца во влажном состоянии, г;

$m_{сух}$ – масса высушенного образца, г.

Влажность оказывает значительное влияние на долговечность материалов, их теплоизоляционные, электрические и др. свойства. В зависимости от окружающих условий влажность может меняться от 0 % до полного насыщения влагой воздуха.

Результаты определения влажности заносят в табл. 1.9.

Таблица 1.9

Результаты определения влажности теплоизоляционных материалов

Наименование теплоизоляционного материала	Масса высушенного образца, $m_{сух}$, г	Масса образца в естественном состоянии, $m_{вл}$, г	Влажность, %	
			$W_{абс}$	$W_{отн}$

1.4.8. Определение водопоглощения материалов

Водопоглощение - это способность материала впитывать и удерживать в своих порах воду.

Водопоглощение определяют не менее чем на трех образцах материала. Образцы предварительно высушивают в сушильном шкафу при температуре 105⁰С до постоянной массы, охлаждают до комнатной температуры, взвешивают, обмеряют и вычисляют объем. Затем помещают в емкость с водой, имеющей температуру 20⁰С. В воде образцы выдерживают в течение 48 ч, затем вынимают, обтирают влажной мягкой тканью и взвешивают.

Различают водопоглощение по массе и объему. Водопоглощение образцов в процентах по массе B_m и объему B_V вычисляют по формулам

$$B_m = \frac{m_{нас} - m_{сух}}{m_{сух}} \cdot 100, \quad (1.15)$$

$$B_V = \frac{m_{нас} - m_{сух}}{V \cdot \rho_{воды}} \cdot 100, \quad (1.16)$$

где $m_{нас}$ – масса насыщенного водой образца, г;

$m_{сух}$ – масса высушенного образца, г;

V – объем образца, см³;

$\rho_{воды}$ – плотность воды, равная 1 г/см³.

Результаты определения водопоглощения заносятся в табл. 1.10.

Таблица 1.10

Результаты определения водопоглощения

Наименование теплоизоляционного материала	Масса высушенного образца, $m_{сух}$, Г	Масса насыщенного водой образца, $m_{нас}$, г	Объем образца, V , см ³	Водопоглощение, %	
				B_m	B_V

1.4.9. Определение предела прочности при сжатии

Пределом прочности при сжатии характеризуется способность теплоизоляционного материала сопротивляться разрушению от действия сжимающих нагрузок. Сущность испытания заключается в разрушении образца материала сжимающей нагрузкой F , действующей на единицу площади A .

Предел прочности при сжатии определяют путем испытания серии образцов (не менее трех) на гидравлических и механических прессах. Образцы могут иметь различную правильную форму (куб, цилиндр, призма, половинка балочки) и размеры.

Перед испытанием образцы осматривают, выбирают опорные грани. Они должны быть ровными, гладкими, параллельными. Определяют их линейные размеры штангенциркулем. По результатам измерений определяют площадь опорных граней A , м² (см²). Затем поочередно каждый образец устанавливают в центр нижней плиты пресса, опускают верхнюю плиту, после чего включают пресс и материал подвергается действию сжимающих сил, приводящих к его разрушению. С манометра пресса снимают значение разрушающей нагрузки P_p , кгс. Для некоторых видов теплоизоляционных материалов, таких как изделия из пористых пластмасс, изделия из минеральной ваты и др., разрушающая нагрузка P_p определяется при 10-процентной деформации образца.

Предел прочности при сжатии для каждого образца, кгс/см² (МПа), вычисляют по формуле

$$R_{сж} = \frac{P_p}{A}. \quad (1.17)$$

Результаты определения предела прочности при сжатии заносят в табл. 1.11.

Таблица 1.11

Результаты определения предела прочности при сжатии

Наименование теплоизоляционного материала	Форма и размеры образцов	Площадь, A , см ²	Разрушающая сила, P_p , кгс	Предел прочности при сжатии, $R_{сж}$, кгс/см ² (МПа)

1.4.10. Определение предела прочности при изгибе

Предел прочности при изгибе характеризует способность материала сопротивляться разрушению от действия изгибающей нагрузки. Определение предела прочности при изгибе осуществляется на гидравлических прессах или на установке МИИ-100 (при испытании образцов-балочек размером 4×4×16 см).

Опытные образцы-балочки изготавливают путем выпиливания из конструкций или специально изготавливают формованием.

При испытаниях с использованием пресса образцы предварительно осматривают, обмеряют. С помощью стальных стержней диаметром 10 мм на нижней плите пресса составляют испытательную схему, опускают верхнюю плиту и нагружают образец до разрушения. С манометра пресса снимают значение разрушающей нагрузки P_p , кгс.

Предел прочности при изгибе $R_{изг}$ вычисляют по формуле

$$R_{изг} = \frac{3}{2} \frac{P_p l}{b \cdot h^2}, \quad (1.18)$$

где P_p – разрушающая нагрузка, кгс;
 l – расстояние между опорами, см;
 b – ширина образца, см;
 h – высота образца, см.

При использовании испытательной машины МИИ-100 показатель предела прочности при изгибе (кгс/см²) считывается непосредственно по счетчику машины. Как правило, оставшиеся после испытания на изгиб половинки балочек испытывают затем на сжатие.

Результаты определения прочности при изгибе заносят в табл. 1.12.

Таблица 1.12

Результаты определения предела прочности при изгибе

Наименование теплоизоляционного материала	Тип установки	Расстояние между опорами, l , см	Ширина образца, b , см	Высота образца, h , см	Разрушающая сила, P_p , кгс	Предел прочности при изгибе, $R_{изг}$, кгс/см ² , (МПа)

Аттестационные вопросы

1. Перечислите основные свойства теплоизоляционных материалов.
2. Что называется истинной, средней и насыпной плотностью материала и в каких единицах они измеряются?
3. Как определяется истинная плотность материала?
4. Как определяется средняя плотность материала?
5. Опишите методику определения насыпной плотности материала.
6. Как рассчитывается пористость материала? Виды пористости.
7. Как рассчитывается межзерновая пустотность материала?
8. Опишите методику определения влажности?
9. Опишите методику определения водопоглощения?
10. Описать методику определения предела прочности при сжатии строительных материалов.
11. В чем заключается методика определения прочности при изгибе?

Литература: [1, 2, 11].

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРЫ И СОСТОЯНИЯ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ИХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ СВОЙСТВА

2.1. Цель работы – ознакомление с методикой измерения теплопроводности строительных материалов и исследование влияния пористой структуры и влажности материалов на их теплозащитные свойства.

2.2. Оборудование, приборы, инструменты и сырьевые материалы: лабораторная установка для определения коэффициента теплопроводности методом регулярного теплового режима, весы аналитические, весы технические по ГОСТ 164, сушильный шкаф по ГОСТ 134, штангенциркуль по ГОСТ 166, секундомер, образцы теплоизоляционных строительных материалов, эксикатор, хлористый кальций, серная кислота различной концентрации.

2.3. Общие теоретические сведения

Большинство свойств строительных материалов определяется их структурой. Структура материала в первую очередь характеризуется наличием пор, их видом, распределением. Пористость материала влияет на его прочность, водопоглощение, морозостойкость, теплопроводность и другие свойства.

Главной особенностью строения теплоизоляционных материалов является их высокая пористость. неподвижный воздух в порах плохо проводит теплоту. Следовательно, чем больше его объем в теле материала, тем выше будут теплоизоляционные свойства самого материала. При этом необходимым условием является наличие мелкой равномерно распределенной замкнутой пористости.

Теплопроводность материала оценивается по величине коэффициента теплопроводности λ (Вт/(м·°С) или Вт/(м·К), вычисляемого по формуле

$$\lambda = \frac{Q \cdot \delta}{F \cdot \Delta t \cdot \tau}, \quad (2.1)$$

где Q – количество теплоты, прошедшее через образец, Дж;

F – площадь поперечного сечения образца материала, перпендикулярная направлению теплового потока, м²;

Δt – разность температур на противоположных поверхностях образца, °С;

δ – толщина образца, м

τ – время прохождения теплового потока, с.

Теплопроводность строительных материалов зависит от целого ряда факторов:

1) физического состояния и строения, определяющихся фазовым состоянием вещества, степенью кристаллизации и размерами кристаллов; анизотропией кристаллов и направлением теплового потока; содержанием пор и характеристиками пористой структуры;

2) химического состава и наличия примесей, особенно влияющих на теплопроводность кристаллических материалов;

3) условий эксплуатации материала, которые определяются температурой, давлением, влажностью, наличием радиоактивного облучения, интенсивностью отвода теплоты с холодной поверхности материала.

Влияние каждого из перечисленных факторов не равнозначно. Наибольшее влияние на теплопроводность оказывают физическое состояние и строение материала.

Значение теплопроводности того или иного строительного материала позволяет оценить его теплозащитные свойства и рассчитать толщину ограждающих конструкций из этого материала по формуле

$$\delta = \lambda \cdot R, \text{ м} \quad (2.2)$$

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

R – требуемое термическое сопротивление строительной конструкции, м²·°С/Вт.

Для большинства материалов теплопроводность является линейной функцией температуры, то есть

$$\lambda_t = \lambda_0(1 + \beta \cdot t), \quad (2.3)$$

где λ_t – теплопроводность материала при данной температуре, °С;

λ_0 – теплопроводность при 0°С;

t – средняя температура материала, °С;

β – коэффициент, учитывающий изменение теплопроводности при изменении температуры на 1°С (коэффициент $\beta = 0,0025$ при температуре до 100°С).

Для большинства материалов β является величиной положительной. Однако некоторые материалы характеризуются понижением теплопроводности с увеличением температуры, например магнезитовые и корундовые огнеупорные изделия.

Большое влияние на теплопроводность материалов, особенно пористых, оказывает их влажность, так как $\lambda_{\text{воды}} = 0,59$ Вт/(м·°С) больше теплопроводности воздуха $\lambda_{\text{воздуха}} = 0,023$ Вт/(м·°С). Зависимость теплопроводности материалов от их влажности может быть выражена формулой

$$\lambda_w = \lambda_c + \delta \cdot W_0, \quad (2.4)$$

где λ_w – теплопроводность влажного материала;

λ_c – теплопроводность сухого материала;

δ – приращение теплопроводности на 1 % объемной влажности, которое составляет для неорганических материалов при положительной температуре – 0,002 Вт/(м·°С), при отрицательной – 0,004 Вт/(м·°С); для органических соответственно 0,003 и 0,004 Вт/(м·°С);

W_0 – объемная влажность материала, %.

В настоящее время для определения теплопроводности материалов используют в основном методы нестационарного регулярного теплового режима. Большинство методов регулярного теплового режима базируются на экспериментальном определении «темпа охлаждения».

В соответствии с поставленной в работе целью необходимо ознакомиться с методикой измерения теплопроводности строительных материалов по методу регулярного теплового режима с использованием бикалориметра (прил. 1), а также определить влияние средней плотности, характера пористости и влажности материала на его теплопроводность.

2.4. Методика и порядок выполнения работы

2.4.1. Изучение влияния средней плотности и характера пористости материала на его теплопроводность

В работе используется серия образцов в количестве 2...4 штук из одного и того же строительного материала, но с различной средней плотностью. Для каждого образца определяется теплопроводность и строится график зависимости $\lambda = f(\rho_m)$ при $W = \text{const}$.

Для изучения влияния характера пористости подбираются образцы с одинаковой средней плотностью, но разным размером и характером строения пор. Для этой цели предварительно изготавливаются образцы из одного и того же сырья, но разными способами образования пористости.

Размер и характер пористости можно определять оптическим или фотоэлектронным методами, описанными в [3]. В результате обработки данных о пористости методом математической статистики следует определить средний диаметр пор, размах варьирования и стандартное отклонение.

2.4.2. Изучение влияния влажности материала на его теплопроводность

Для определения влияния влажности материала на его теплопроводность используются образцы одного и того же материала одинаковой средней плотности в количестве 2...4 штук с различной относительной влажностью. По полученным данным строится график зависимости теплопроводности от влажности при постоянной средней плотности.

Для проведения экспериментальной части данной лабораторной работы предварительно по заданию преподавателя каждой группой студентов изготов-

ливаются образцы теплоизоляционного строительного материала в виде дисков диаметром 150...160 мм и толщиной 12...20 мм. В качестве таких материалов могут быть использованы газобетон, пенобетон, газогипс и другие, имеющие среднюю плотность 350, 400, 500 кг/м³. Для обеспечения одинаковой влажности образцы должны храниться в эксикаторе, на дно которого помещен прокаленный хлористый кальций (CaCl₂). Данные образцы используются для изучения влияния средней плотности материала на его теплопроводность.

Для изучения влияния характера пористости материала на его теплопроводность используются образцы из одного и того же материала, но полученные различными способами порообразования. Например, ячеистый бетон, полученный способами пенообразования и газообразования; керамические теплоизоляционные материалы, полученные способами выгорающих добавок, пенообразования и газообразования и др.

Три серии образцов из одного и того же материала (по 2...3 образца) с одинаковой средней плотностью, но различной относительной влажностью используются для изучения влияния влажности на теплопроводность материала. Заданная относительная влажность материала создается выдержкой его в эксикаторе, в нижнюю часть которого наливается серная кислота определенной концентрации.

Данные, полученные при изучении влияния средней плотности, характера пористости и влажности, заносятся в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Результаты изучения влияния строения и влажности теплоизоляционных материалов на их теплопроводность

Наименование материала	Способ порообразования	Средняя плотность, кг/м ³	Характеристика пористости				Влажность, %	Теплопроводность, Вт/м·°С
			общая, %	кажущаяся, %	средний диаметр пор, мм	размах варьирования, мм		

Полученные экспериментальные данные анализируются с целью оценки влияния средней плотности, характера пористой структуры и влажности материала на его теплоизоляционные свойства. Одновременно делаются выводы и рекомендации, направленные на изменение структурных показателей свойств материала с целью повышения эффективности его теплозащитных характеристик.

Аттестационные вопросы

1. Что называется теплопроводностью материала?
2. От чего зависят величина теплопроводности материала?
3. Какие существуют методы определения теплопроводности материалов?
4. Опишите методику измерения теплопроводности строительных материалов по методу регулярного теплового режима.
5. Охарактеризуйте виды и основные показатели пористой структуры материала.
6. Перечислите основные пути повышения пористости и совершенствования пористой структуры материала.
7. Опишите современные представления о механизме передачи тепла в твердых телах, жидкостях и газах.

Литература: [2, 3, 4].

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИДА И КОЛИЧЕСТВА СВЯЗУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ НА ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА МИНЕРАЛОВАТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

3.1. Цель работы – изучение влияния вида и количества связующих веществ на основные строительные-технические свойства твердых минераловатных изделий.

3.2. Оборудование, приборы, инструменты и сырьевые материалы: металлические чаши со сферическим дном, весы технические по ГОСТ 164, мерные стеклянные цилиндры на 0,25 и 0,5 л, металлические формы с перфорированными днищами, поддонами и пуансонами, лабораторная мешалка емкостью 5...10 л, сушильный шкаф по ГОСТ 134, гидравлический пресс по ГОСТ 8905, металлическая линейка по ГОСТ 425, минеральная вата, глиняная и глиняно-битумная паста, мочевино- и фенолоформальдегидная смола, поливинилацетатная эмульсия, растворимое стекло плотностью 1,5 г/см³, тонкомолотые каолин, бентонит, диатомит.

3.3. Общие теоретические сведения

Минеральная вата представляет собой волокнистый теплоизоляционный материал, получаемый из силикатных расплавов. Основным сырьем для производства минеральной ваты служат различные горные породы (доломиты, сие-

ниты, базальты, габбро, диориты), отходы металлургической промышленности (преимущественно доменные шлаки), а также отходы промышленности строительных материалов (бой керамического и силикатного кирпича) и др.

Необходимый химический состав сырьевой смеси, позволяющий получать минеральную вату с высокими эксплуатационными свойствами, регулируют введением в шихту корректирующих добавок так, чтобы модуль кислотности M_k был не менее 1,2:

$$M_k = \frac{\%SiO_2 + \%Al_2O_3}{\%CaO + \%MgO} \geq 1,2 \dots 1,5. \quad (3.1)$$

В производственных условиях при составлении шихты необходимо, с одной стороны, не допускать слишком большой вязкости расплава, с другой – низкого содержания в шихте кислых оксидов в ущерб долговечности минеральной ваты.

Минеральная вата, являясь высокоэффективным теплоизоляционным материалом, имеет ряд существенных недостатков: уплотняемость (слеживаемость) во времени, что приводит к образованию пустот в строительных конструкциях; невозможность применения промышленных методов при производстве теплоизоляционных работ; запыленность воздуха, вредно влияющая на здоровье людей и требующая специальных мер по охране труда. В связи с этим в настоящее время минеральную вату используют в основном для производства различных изделий: матов, войлока, полужестких и жестких плит, скорлуп, сегментов.

Для получения мягких (М), полужестких (ПП), жестких (Ж), повышенной жесткости (ППЖ) и твердых (Т) изделий применяют различного рода связующие вещества, назначение которых - скреплять между собой контактирующие волокна минеральной ваты. В зависимости от количества связующего вещества, введенного в вату, получают изделия с различными свойствами. На свойства изделий значительное влияние оказывают также вид связующего вещества и способ его введения в минеральную вату.

Для производства минераловатных изделий используют связующие органического (нефтяные битумы, синтетические смолы) и неорганического происхождения (растворимое стекло, цемент, диатомиты, глины). Неорганические связующие, несмотря на такие положительные качества, как невысокая стоимость и нетоксичность, широкого распространения не получили вследствие незначительной адгезионной способности к волокнам минеральной ваты, низкой механической прочности и повышенной средней плотности изделий.

Получение изделий из минеральной ваты состоит из трех основных технологических операций: 1) смешивание волокон ваты со связующим веществом; 2) формование изделий из полученной массы с подпрессовыванием или вакуумированием; 3) тепловой обработки отформованных изделий.

Изделия из минеральной ваты широко применяют для изоляции строительных конструкций и промышленного оборудования. В жилищном строительстве минераловатные изделия используют в качестве утеплителя ограждающих конструкций. Для утепления стеновых панелей в основном применяют полужесткие и жесткие плиты на синтетическом связующем. В промышленном строительстве минераловатные изделия применяют для утепления покрытий производственных зданий, в частности покрытий из металлического профилированного настила; для теплоизоляции трубопроводов горячей воды, пара, воздуха и газов, а также для изоляции горячих поверхностей промышленного и энергетического оборудования.

3.4. Методика и порядок выполнения работы

Данная лабораторная работа выполняется группой студентов (3...4 чел.). Каждая группа изготавливает образцы твердых минераловатных изделий, используя одно из связующих веществ с разным его содержанием в формовочной смеси согласно заданию, варианты которого представлены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Варианты рабочих зданий

Вид связующего вещества	Массовая доля связующего по сухому веществу, %*			
	1	2	3	4
А. Органического происхождения (битумное связующее, мочевино- или фенолоформальдегидная смола, поливинилацетатная эмульсия)	10	14	18	22
Б. Неорганического происхождения (растворимое стекло, глиняное связующее, диатомитовое связующее)	10	14	18	22

Примечание. Вид связующего вещества для каждой группы студентов устанавливает преподаватель.

В задачу каждой группы студентов входит:

- 1) приготовление водного раствора связующего вещества;
- 2) смешивание волокон минеральной ваты со связующим веществом;
- 3) формование трех образцов из полученной массы заданного состава с последующим подпрессовыванием;
- 4) тепловая обработка отформованных образцов;
- 5) испытание образцов с определением средней плотности и прочности при изгибе;
- 6) обработка полученных результатов.

Ниже представлена методика изготовления лабораторных образцов минераловатных изделий.

3.4.1. Изготовление образцов на битумном связующем

В начале приготавливают связующее вещество. Из-за сложности получения чистой битумной эмульсии в лабораторных условиях готовят вначале глиняно-битумную пасту 25-процентной концентрации по битуму. Для этого используют молотую глину (лучше каолиновую марки 4-1), битум марок БН или БНД и подогретую воду. Состав битумно-глиняной пасты 1:1:2 (битум - глина - вода). Приготовление глиняно-битумной пасты осуществляется следующим образом. В лабораторную мешалку вливают 25 % подогретой до 80...90⁰С воды, затем постепенно всыпают молотую глину. После тщательного перемешивания глины с водой и получения глиняного теста в мешалку тонкой струей выливают разогретый до температуры 140...160⁰С битум, одновременно с битумом для поддержания постоянной сметанообразной консистенции массы постепенно вливают подогретую оставшуюся воду. После тщательного перемешивания всех компонентов и равномерного распределения битума в массе, что характеризуется равномерным ее цветом, паста считается готовой.

Получение из пасты битумной эмульсии производится добавлением воды с таким расчетом, чтобы концентрация битума в эмульсии составляла 10 %. При этом масса подвергается интенсивному непрерывному перемешиванию. Для приготовления 10-процентной битумной эмульсии добавляется вода в битумную пасту 25-процентной концентрации из расчета 1:1,5 (битумная паста - вода).

Исходя из известной средней плотности минеральной ваты и размеров образцов отweighивается необходимое количество ваты. При этом учитывают количество связующего вещества, которое будет введено в вату согласно заданию.

Расход материалов на замес определяется следующим образом:

- количество минеральной ваты (*М.В.*), кг

$$M.B. = \frac{V_{обр} \cdot \rho_{мв} \cdot K_{упл} \cdot K_n}{1000}, \quad (3.2)$$

где $V_{обр}$ – объем изготавливаемого образца, см³;

$\rho_{мв}$ – средняя плотность минеральной ваты, г/см³;

$K_{упл}$ – коэффициент уплотнения формовочной массы, принимают равным 1,5...2;

K_n – коэффициент потерь, равный 1,1.

- количество битумного связующего (*Б.С.*), кг, рассчитывают по формуле

$$B.C. = \frac{M.B. \cdot \%B.C.}{100}, \quad (3.3)$$

где %*Б.С.* – массовая доля битумного связующего в смеси, %.

Объемная доля битумного связующего (см³) может быть подсчитана по формуле

$$V_{б.с.} = \frac{B.C. \cdot 1000}{\rho_{бс}}, \quad (3.4)$$

где $\rho_{бс}$ - ареометрическая плотность битумной 10-процентной эмульсии, г/см³.

Вначале изготавливают три образца с количеством связующего 10 % от массы ваты. Для этого отвешивают три навески ваты, рассчитанные по формуле (3.2) с точностью до 1 г, и каждую навеску смешивают с битумно-глиняной эмульсией, которую берут согласно формулам (3.3) и (3.4). Вату, равномерно пропитанную глиняно-битумной эмульсией, укладывают в подготовленную форму, стараясь распределить ее ровным слоем. Поверх ваты устанавливают пуансон с грузом, обеспечивающим давление 0,005 МПа. Для получения необходимой толщины образца на форме предусмотрен ограничитель.

Под действием груза часть воды удаляется из массы в поддон, а битум осаждается на волокнах минеральной ваты и скрепляет их между собой. Обычно влажность образца после формования составляет 65...70 %.

После этого производят тепловую обработку отформованных образцов путем высушивания их в сушильном шкафу при температуре 110...120⁰С в течение 5...6 ч.

Изготовление образцов с большим количеством связующего вещества производят аналогичным путем. При этом сохраняют неизменным количество ваты и увеличивают количество связующего вещества.

3.4.2. Изготовление образцов на мочевино-фенолформальдегидных смолах или поливинилацетатном связующем

Вначале приготавливают 10-процентную водную дисперсию полимера, разбавляя водой дисперсию полимерного связующего заводской (известной) концентрации. Количество водной дисперсии полимера 10-процентной концентрации рассчитывают по формуле

$$ВДП_{10} = \frac{ВДП_c \cdot C}{10}, \quad (3.5)$$

где $ВДП_{10}$ – количество водной дисперсии полимера 10-процентной концентрации, кг;

$ВДП_c$ – количество дисперсии полимерного связующего известной концентрации (С), кг.

Затем рассчитанное количество минеральной ваты (по формуле 3.2) перемешивают с водной дисперсией полимерного связующего, которое берется в соответствии с заданием (табл. 3.1).

Остальная часть работы выполняется, как и в случае изготовления образцов на битумном связующем.

3.4.3. Изготовление образцов на глиняном и диатомитовом связующих

В случае использования глиняного или диатомитового связующих вначале приготавливают водную суспензию глины или диатомита в количестве, необходимом для изготовления трех образцов. При этом количество связующего вещества берут в соответствии с заданием (табл. 3.1), а количество воды - из расчета 1:9 (глина (диатомит):вода). Приготовленную глиняную (диатомитовую) суспензию делят на три равные части и каждую часть тщательно перемешивают с навеской минеральной ваты, рассчитанной по формуле (3.2).

Тщательно перемешанную массу помещают в форму и производят формирование образцов путем нагружения их грузом, обеспечивающим давление 0,005 МПа. Изменение количества связующего вещества (при изготовлении образцов с большим его содержанием) обеспечивается путем увеличения его концентрации в суспензии.

Тепловую обработку отформованных образцов осуществляют в сушильном шкафу при температуре 130...150⁰С до постоянной массы.

3.4.4. Изготовление образцов с применением растворимого стекла

Вначале приготавливают водный раствор жидкого стекла в количестве, необходимом для формирования трех образцов. При этом количество жидкого стекла с модулем 2...3 и плотностью 1,5 г/см³ берут в соответствии с заданием (табл. 3.1), а количество воды из условия 1:5 (растворимое стекло:вода).

Дальнейшая часть работы выполняется, как и в случае с применением глиняного связующего.

Полученные после тепловой обработки минераловатные образцы на различных видах связующего вещества и при различной его концентрации подвергаются испытанию по определению средней плотности и прочности при изгибе. Результаты исследований заносятся в табл. 3.2 и по полученным данным строятся графические зависимости изменения средней плотности и прочности при изгибе минераловатных изделий от содержания и вида связующего вещества. Одновременно расчетным путем по величине относительной плотности (формула 1.5) определяют коэффициент теплопроводности изготовленных теплоизоляционных материалов.

Таблица 3.2

Результаты определения свойств минераловатных изделий

Вид связующего вещества	Массовая доля связующего вещества в изделии, %	Показатели свойств изделий		
		средняя плотность, кг/м ³	предел прочности при изгибе, МПа	расчетная величина коэффициента теплопроводности, Вт/(м· ⁰ С)

По полученным экспериментальным данным устанавливается эффективность вида и массовой доли связующего вещества на основные свойства минераловатных изделий.

Аттестационные вопросы

1. Перечислите общие требования, предъявляемые к сырью для производства минеральной ваты.
2. Расскажите о получении силикатного расплава и его свойствах. Назовите основные разновидности плавильных печей для получения силикатных расплавов.
3. Опишите способы переработки силикатного расплава в волокно: дутьевой, центробежный и комбинированный. Какие виды энергоносителей используют при раздуве силикатного расплава?
4. Перечислите виды изделий из минеральной ваты и опишите основные показатели их свойств.
5. Какие виды связующих веществ используют для получения изделий из минеральной ваты?
6. Опишите конвейерный и прессовый способы формования изделий из минеральной ваты.
7. Перечислите способы тепловой обработки минераловатных изделий.
8. Что представляют собой автоматизированные конвейерные линии по производству минераловатных изделий?
9. Область применения минераловатных изделий в гражданском и промышленном строительстве.

Литература: [2, 4, 5].

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЦЕПТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ПЕНОСТЕКЛА

4.1. Цель работы – изучение влияния вида газообразователя, его количества и температуры спекания на основные строительно-технические свойства пеностекла (среднюю плотность, водопоглощение, предел прочности при сжатии и коэффициент теплопроводности).

4.2. Оборудование, приборы, инструменты и сырьевые материалы: фарфоровые ступки с пестиками, технические весы по ГОСТ 164, огнеупорные тигли, лабораторная муфельная печь типа «Снол», пресс гидравлический

ПСУ-10, ванна с водой для определения водопоглощения, штангенциркуль по ГОСТ 166, пила по металлу, тонкомолотый стеклобой с удельной поверхностью 2500 см²/г, порошки мела, известняка, перманганата калия, антрацита, кокса, сажи и натриевой селитры с удельной поверхностью 6000 см²/г.

4.3. Общие теоретические сведения

Пеностеклом (другое название «ячеистое стекло» или «газостекло») называют ячеистый материал, представляющий собой затвердевшую стеклянную пену. Пеностекло получают обычно спеканием смеси стекольного порошка и газообразователя с последующим отжигом вспененной массы.

Пеностекло обладает высокой прочностью, водостойкостью, биостойкостью, химической стойкостью, несгораемостью, морозостойкостью, хорошим звукопоглощением, легкостью в обработке режущим инструментом. Коэффициент конструктивного качества пеностекла в три и более раз выше, чем у ячеистых бетонов, керамических и асбестосодержащих теплоизоляционных материалов. Показатели основных физико-технических свойств пеностекла приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Основные физико-технические свойства пеностекла

Средняя плотность, кг/м ³	Предел прочности при сжатии, МПа	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	Водопоглощение по объему, %
100	0,5...0,8	0,031	6...9
200	1,5...2,0	0,052	не более 5
300	3,0...3,5	0,071	то же
400	5,0...6,0	0,090	то же
500	9,0...10,0	0,124	то же
600	12,5...15,0	0,150	то же

В зависимости от назначения различают два вида пеностекла: теплоизоляционное и звукопоглощающее.

Теплоизоляционное пеностекло имеет преимущественно замкнутые поры. Предназначается такое стекло для тепловой изоляции стен и перекрытий, тепловой изоляции промышленного оборудования и трубопроводов с температурой изолируемой поверхности не более 400⁰С, а также для изоляции холодильников.

Звукопоглощающее пеностекло имеет преимущественно сообщающиеся поры и обуславливает хорошее звукопоглощение (коэффициент звукопоглощения его в пределах частот от 600 до 1200 Гц составляет 0,55...0,65), но вместе с тем и высокое водопоглощение (60...70 % по объему).

Пеностекло может быть изготовлено или из отходов стекольной промышленности (стеклобой), или из специально приготовленного стеклянного гранулянта, для получения которого применяет те же сырьевые материалы, что

и для обычного стекла: кварцевый песок, известняк, соду и сульфаты.

В качестве пенообразователей при производстве пеностекла служат вещества, выделяющие при нагревании углекислый газ (антрацит, каменноугольный кокс, известняк, мел), кислород (пиролюзит MnO_2), оксид азота (натриевая селитра $NaNO_3$). Для производства пеностекла с преимущественно замкнутыми порами применяет углесодержащие пенообразователи (антрацит, кокс). Для получения пеностекла с преимущественно сообщающимися порами обычно применяют мрамор, известняк, пиролюзит.

При спекании стекольной шихты последовательно происходят следующие физико-химические процессы: размягчение и спекание отдельных частиц шихты; разложение или сгорание газообразователя и взаимодействие его с компонентами стекольной шихты, сопровождающиеся выделением рабочего газа; вспучивание выделившимся газом вязкой стекломассы и образование пор в материале; закрепление образовавшейся пористой структуры и придание материалу твердости и прочности путем отжига, то есть постепенного снижения температуры материала.

Основными технологическими факторами, влияющими на формирование пористой структуры пеностекла, являются: вязкость; поверхностное натяжение и интервал размягчения стекломассы; зерновой состав стекольного порошка и газообразователя; количество и природа газообразователя; температурный режим вспенивания и отжига пеностекла.

Для получения хорошей ячеистой структуры пеностекла стекломасса во время выделения газовой фазы должна иметь относительно высокую вязкость для предотвращения разрыва ячеек и низкое поверхностное натяжение во избежание объединения образующихся ячеек в более крупные (самопроизвольный процесс снижения поверхностной энергии системы). Для обычного оконного стекла в интервале температур $760...880^{\circ}C$ вязкость достигает $2800...3500 \text{ Па}\cdot\text{с}$, а поверхностное натяжение - $(3...5)\cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$. Снизить поверхностное натяжение стекла, стабилизировать образующуюся пену и получить хорошую ячеистую структуру пеностекла с замкнутыми порами удастся за счет применения таких газообразователей, которые имеют малое химическое сродство к жидкой фазе стекла. Это объясняется тем, что применение углеродистых газообразователей создает наиболее качественное пеностекло с замкнутыми порами и низким водопоглощением. Большинство же минеральных газообразователей и, прежде всего, карбонаты, характеризуются значительным химическим сродством стеклу и поэтому не могут оказать на стекольную пену стабилизирующего действия. Этим объясняется открытый вид пористости и значительное водопоглощение пеностекла, изготовленного с применением карбонатных газообразователей.

Стекломассы с широким интервалом размягчения – так называемые «длинные» стекла – легче вспенить, чем «короткие» стекла. Применение «длинных» стекол в большей степени позволяет установить соответствие между скоростями процесса размягчения стекломассы и процесса выделения газа

при разложении газообразователя. Кроме того, «длинные» стекла характеризуются более низким поверхностным натяжением, чем «короткие». Поэтому для производства пеностекла предпочтительно применять «длинные» стекла. К «длинным» стеклам относятся, например свинцовые стекла, а к «коротким» - высокоглиноземистые малощелочные.

Зерновой состав стекольного порошка и газообразователя влияет на структуру пеностекла следующим образом: чем меньше размер зерен, тем выше их реакционная способность, тем более полно и равномерно происходит процесс вспенивания, меньше средняя плотность материала и лучше его структура. Однако слишком тонкое измельчение стеклопорошка и газообразователя нежелательно, так как это приводит к значительному удорожанию пеностекла.

Повышение до определенного предела содержания газообразователя в шихте приводит к уменьшению средней плотности пеностекла. Однако при этом, как правило, повышается диаметр пор. Поэтому введение газообразователя в количестве более 3...5 % не рекомендуется.

Вид применяемого газообразователя должен согласовываться с целым рядом факторов: температурой спекания стеклопорошка; интервалом вязкости стекломассы при температурах выделения газа; требуемым видом пористости (замкнутой или сообщающейся); требуемой окраской; доступностью и стоимостью.

Газообразователь не должен выделять газовую фазу при температуре ниже, чем температура размягчения стекла, что исключило бы возможность вспенивания стекломассы. Температура выделения рабочего газа должна быть приблизительно на 100⁰С выше температуры размягчения стекольного порошка.

Средняя плотность пеностекла уменьшается с повышением температуры и уменьшением продолжительности спекания. Однако следует учитывать, что с увеличением продолжительности спекания количество сообщающихся пор обычно возрастает и тем быстрее, чем мельче стеклопорошок.

К образованию сообщающихся пор может привести также недостаточный отжиг пеностекла. Неправильный режим отжига приводит к возникновению внутренних неравномерных напряжений, достаточных для образования мельчайших трещин в стенках пор, что приводит к снижению прочности пеностекла. Правильное сочетание всех перечисленных рецептурно-технологических факторов предопределяет получение качественного пеностекла.

4.4. Порядок выполнения работы

Изучение влияния рецептурно-технологических факторов на основные свойства пеностекла производится согласно рабочему заданию, представленному в табл. 4.2. Каждая бригада студентов на заданных ей составах готовит шихту для получения пеностекла, изготавливает лабораторные образцы и после отжига и охлаждения образцов подвергает их испытанию, определяя среднюю плотность, водопоглощение, предел прочности при сжатии (по общепринятой

методике) и коэффициент теплопроводности (расчетным путем по величине относительной плотности пеностекла (см. лаб. работу № 1).

Таблица 4.2

Варианты рабочих заданий

Вид газообразователя	Массовая доля газообразования, %			Температура спекания, °С
	1	2	3	
Пиролюзит (MnO_2) или перманганат калия ($KMnO_4$)	1	3	5	680...720
Натриевая селитра ($NaNO_3$)	1	3	5	680...720
Известняк, мрамор, мел ($CaCO_3$)	0,5	1,0	1,5	750...800
Антрацит	1,0	2,0	3,0	750...800
Кокс	0,5	1,5	2,5	720...800
Сажа	0,3	0,6	0,9	720...800

Стекольный порошок предварительно просеивается через сито с 2500 отверстий на 1 см^2 , а газообразователь – через сито с 6400 отверстий на 1 см^2 .

Тщательным перетиранием в фарфоровой ступке стекольного порошка с газообразователем готовят шихту определенного состава в соответствии с данными табл. 4.2. После этого шихта (40...60 г) помещается в лабораторные тигли, заранее смазанные внутри меловой пастой и подсушенные. Для равномерного распределения и уплотнения тигли со смесью подвергают кратковременной вибрации на лабораторной виброплощадке. Затем тигли помещают в муфельную печь, предварительно нагретую до требуемой температуры спекания или на 50°C выше ее, что предпочтительней.

Для получения равномерной структуры пеностекла по всей высоте температурный градиент по высоте тигля должен составлять не более, $20...30^\circ\text{C}$, иначе из-за гидростатического давления расплавленной стекломассы размеры ячеек пеностекла будут возрастать от дна к верху формы. По окончании спекания, которое будет характеризоваться прекращением увеличения высоты вспененной стекломассы, печь резко охлаждают до температуры 600°C , при которой происходит отжиг образцов в течение часа. Затем печь отключают от электросети, и образец постепенно охлаждается до температуры 30°C .

После охлаждения из вспененной стекломассы выпиливают не менее 3 кубиков размером $2\times 2\times 2$ или $5\times 5\times 5$ см (в зависимости от размера формы) и на них определяют среднюю плотность, предел прочности при сжатии, водопоглощение по объему и рассчитывают величину коэффициента теплопроводности. Результаты испытаний заносятся в табл. 4.3.

Результаты испытаний пеностекла

Вид газообразователя	Температура спекания, °С	Массовая доля газообразователя в шихте, %	Основные свойства пеностекла			Расчетная величина коэффициента теплопроводности, Вт/(м·°С)
			средняя плотность, кг/м ³	предел прочности при сжатии, МПа	водопоглощение по объему, %	

На основании полученных данных строятся графические зависимости изменения средней плотности; предела прочности при сжатии, водопоглощения по объему и коэффициента теплопроводности пеностекла в зависимости от температуры спекания, вида и количества газообразователя с целью выбора рациональных рецептурно-технологических факторов его изготовления.

Аттестационные вопросы

1. Назовите виды и основные свойства ячеистого стекла.
2. Какие сырьевые материалы используются при производстве ячеистого стекла?
3. Какие газообразователи применяет при производстве ячеистого стекла?
4. В чем отличие теплоизоляционного и звукопоглощающего пеностекла?
5. Опишите физико-химические процессы, происходящие при спекании и вспучивании стекольной массы.
6. Какие условия обеспечивают получение хорошей структуры пеностекла?
7. Какие технологические факторы влияют на формирование пористой структуры пеностекла?
8. Какова особенность технологии получения пеностекла из стекольного гранулянта, отходов стекольного производства и горных пород?
9. Назовите типы печей для вспучивания и отжига пеностекла.
10. Для каких целей используют ячеистое стекло в строительстве?

Литература: [3, 6]

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА

5.1. Цель работы – определение состава теплоизоляционного ячеистого бетона с заданными свойствами.

5.2. Оборудование, приборы, инструменты и сырьевые материалы: лабораторная пенобетономешалка, металлические чашки со сферическим дном, весы технические по ГОСТ 164, весы торговые по ГОСТ 164, мерные сосуды, вискозиметр Суттарда, лабораторная пропеллерная мешалка, металлические формы размером 10×10×10 см, лабораторная пропарочная камера, лабораторный автоклав, сушильный шкаф по ГОСТ 134, пресс гидравлический по ГОСТ 8905, штангенциркуль по ГОСТ 166, металлическая линейка по ГОСТ 421, портландцемент, молотая негашеная известь, кремнеземистый компонент с удельной поверхностью $S_{уд} = 2000 \text{ см}^2/\text{г}$, молотый двуводный гипс, различные виды порообразователей.

5.3. Общие теоретические сведения

Ячеистые бетоны представляет собой искусственные каменные материалы, состоящие из затвердевшего вяжущего вещества с равномерно распределенными в нем воздушными ячейками (порами).

По способу получения ячеистые бетоны делятся на пенобетоны и газобетоны.

Ячеистые бетоны по виду вяжущего вещества могут быть на основе: цементных вяжущих (пенобетон и газобетон); известковых вяжущих (пеносиликат и газосиликат); гипсовых вяжущих (пеногипс и газогипс). Кроме того, при получении ячеистых бетонов могут быть использованы гипсоцементно-пуццолановые и смешанные вяжущие, состоящие из портландцемента, извести и активных минеральных добавок.

Пористую структуру при получении пенобетонов создают путем перемешивания растворов с предварительно приготовленной пеной или путем введения пенообразователя непосредственно в раствор, что способствует вовлечению пузырьков воздуха внутрь раствора при интенсивном его перемещении с применением вибрационной обработки или без нее.

Для получения стойкой пены применяют следующие виды пенообразователей: а) клееканифольный, б) смолосапониновый, в) алюмосульфонафтенный, г) КИСК, состоящий из канифоли, извести, ЛСТМ (лигносульфонат модифицированный) и казеинового клея, д) синтетические ПАВ (вещество «Прогресс», ПО-1 и др.).

При производстве газобетонов и газосиликатов пористая структура фор-

мируется в результате выделения газа при взаимодействии газообразователя с компонентами пластично-вязкой массы (газообразователь - алюминиевая пудра) или при выделении газа из газообразователя (технический пергидроль – 30-процентный раствор перекиси водорода в воде) без взаимодействия с массой (применяется значительно реже в технологии ячеистых бетонов).

В качестве мелкого заполнителя в ячеистых бетонах наиболее широко применяют молотый кварцевый песок. При этом предпочтение отдается пескам, содержащим не менее 90 % кремнезема. Можно использовать пески с меньшим содержанием кремнезема, например барханные (полиминеральные) пески. В качестве кремнеземистого компонента применяют также золу-унос от сжигания бурых и каменных углей, кислые металлургические шлаки, отходы глиноземного производства.

Ячеистые бетоны в зависимости от способа твердения подразделяется на неавтоклавные и автоклавные. Основные физико-механические свойства изделий из теплоизоляционных ячеистых бетонов представлены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Показатели физико-механических свойств изделий
из теплоизоляционных ячеистых бетонов

Материал	Средняя плотность, кг/м ³ , не менее	Предел прочности при сжатии, МПа, не менее	Коэффициент теплопроводности в сухом состоянии при температуре 25±5 °С, Вт/(м·°С), не более
Автоклавные плиты, скорлупы и сегменты пенобетонные, газобетонные, пеносиликатные и газосиликатные	300	0,4	0,093
	350	0,6	0,101
	400	0,8	0,110
	500	1,2	0,128
То же неавтоклавные	400	0,5	0,110
	500	0,8	0,128

Теплоизоляционные ячеистые бетоны предназначены для строительной теплоизоляции: утепления по железобетонным плитам покрытий и чердачных перекрытий; в качестве теплоизоляционного слоя многослойных стеновых конструкций зданий различного назначения. Также теплоизоляционные ячеистые бетоны служат для теплозащиты поверхностей оборудования и трубопроводов при температуре до 400°С. Жаростойкие ячеистые бетоны используют для теплоизоляции оборудования с температурой поверхности до 700°С.

5.4. Порядок выполнения работы

Исходными данными для подбора состава ячеистого бетона являются заданные средняя плотность образцов в сухом состоянии, кубиковая прочность их на сжатие, а также вид порообразователя и сырьевых материалов.

Для получения ячеистого бетона с заданными показателями свойств опытным путем последовательно устанавливаются: количественное соотношение между кремнеземистым компонентом и вяжущим веществом ($P_k:P_{\text{вяж}} = C$), водо-твердое отношение (В/Т) и расход порообразователя.

Для пробных замесов ячеистого бетона соотношение между кремнеземистым компонентом и вяжущим веществом принимают по табл. 5.2.

Таблица 5.2

Соотношение между кремнеземистым компонентом и вяжущим веществом (С) для различных видов ячеистых бетонов

Вид ячеистого бетона	Значение С				
	1	2	3	4	5
Автоклавный с применением извести активностью 70 %	2,4	2,7	3,0*	3,3	3,6
То же, с применением портландцемента или известково-шлакового цемента	0,75	1,0*	1,25	1,5	1,75
То же, с применением смешанного вяжущего или нефелинового цемента	1,0	1,25	1,5*	1,75	2,0
Неавтоклавный с применением портландцемента или смешанного вяжущего	0,5	0,75*	1,0	1,25	1,5

Примечания.

1. Значения С, отмеченные* принимаются за исходные.
2. Для извести с активностью А% варианты С находят умножением табличных данных на величину А/70.
3. Исходную долю извести (n) в смешанном цементно-известковом вяжущем принимают для автоклавных бетонов равной 50 %, а для неавтоклавных – 25 %.

Работа по подбору состава ячеистого бетона состоит из следующих этапов (прил. 2):

- 1) определение исходного водо-твердого отношения (В/Т);
- 2) расчет расхода материалов на один замес;
- 3) приготовление пробных замесов и формование образцов;
- 4) тепловлажностная обработка образцов по заданному режиму;
- 5) испытание образцов и расчет окончательного состава ячеистого бетона.

5.4.1. Определение исходного В/Т-отношения

За исходное В/Т-отношение принимают такую величину, которая соответствует значению текучести раствора, приведенному в табл. 5.3.

Текучесть раствора определяют по его расплыву (L, см), используя вискозиметр Сутгарда.

Для определения текучести раствора требуется 0,4 кг сухой смеси исходного состава (с заданным соотношением вяжущего вещества и кремнеземистого компонента) и 0,16...0,28 л воды. Воду затворения для газобетона предварительно нагревают до температуры 70...80⁰С. В/Т-отношение принимают за исходное, если полученная текучесть раствора отклоняется от данных, приведенных в табл. 5.3 не более чем на ± 1 см.

Таблица 5.3

Значение текучести раствора для определения исходного В/Т-отношения

Средняя плотность ячеистого бетона в сухом состоянии, кг/м ³	Пенобетон на цементе, извести, смешанном вяжущем	Газобетон на			
		портландцементе и смешанном вяжущем	извести	нефелиновом цементе	известково-шлаковом цементе
		Диаметр расплыва раствора, см			
400	34	34	25	42	26
500	30	30	23	28	24
600	26	26	21	32	22
700	24	22	19	26	20
900	20	15	15	18	14

Примечание. Температура раствора для газобетона должна находиться в интервале от 37 до 43⁰С, для газосиликата – от 30 до 45⁰С, для пенобетона – от 20 до 40⁰С.

Результаты по определению исходного В/Т для растворной массы заносят в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Результаты определения исходного В/Т-отношения

Наименование материалов	Расход материалов, кг	Расход воды, л	В/Т	Диаметр расплыва, см	Фактическая средняя плотность раствора, кг/л
Портландцемент					
Известь					
Кремнеземистый компонент					

5.4.2. Расчет расхода материалов на 1 замес исходного состава

Расход минеральных составляющих растворной смеси и воды (кг) на один замес ячеистобетонной массы определяют по следующим формулам:

$$P_{\text{вяж}} = \frac{\rho_{\text{сух}} \cdot V}{\kappa_c (1 + C)} - \text{вяжущего}, \quad (5.1)$$

$$P_{И} = P_{вяж} \cdot n \text{ - извести,} \quad (5.2)$$

$$P_{Ц} = P_{вяж} - P_{И} \text{ - цемента,} \quad (5.3)$$

$$P_{К} = P_{вяж} \cdot C \text{ - кремнеземистого компонента,} \quad (5.4)$$

$$P_{Г} = P_{И} \cdot 0,03 \text{ - гипса молотого двухводного,} \quad (5.5)$$

$$B = (P_{вяж} + P_{К}) \cdot B/T \text{ - воды,} \quad (5.6)$$

где $\rho_{сух}$ – заданная средняя плотность ячеистого бетона в сухом состоянии, кг/л;
 κ_c – коэффициент увеличения массы сухой смеси в результате твердения вяжущего за счет связанной воды, $\kappa_c = 1,1$;

V – объем замеса, л, равный объему форм, заполняемых из одного замеса, умноженному на коэффициент избытка смеси, принимаемый равным 1,05 для пенобетона и 1,1...1,15 для газобетона (при изготовлении лабораторных образцов коэффициент избытка смеси в обоих случаях принимают равным не менее 1,5);

C – число частей кремнеземистого компонента, приходящихся на 1 часть вяжущего;

n – доля извести в вяжущем.

При расчете порообразователя (пенообразователя или газообразователя) предварительно находят величину пористости, которая должна создаваться порообразователем для получения ячеистого бетона заданной плотности:

$$P_{Г} = \frac{1 - \rho_{сух} (W + B/T)}{\kappa_c}, \quad (5.7)$$

где $P_{Г}$ – величина пористости ячеистого бетона заданной средней плотности в долях единицы;

W – удельный объем сухой смеси, л/кг.

Количество газообразователя или пены теоретически должно быть таким, чтобы выделенный объем газа или введенный объем пены соответствовал пористости, найденной по формуле (5.7).

В действительности порообразователь не полностью используется на создание пористости в растворе, поэтому расход его ($P_{П}$) принимают больше, чем теоретически необходимый, и рассчитывают по формуле

$$P_{II} = \frac{\Pi_{Г} \cdot V}{\kappa \cdot \alpha}, \quad (5.8)$$

где κ – выход пор (отношение объема пены или газа к массе порообразователя), л/кг;

α – коэффициент использования порообразователя.

Исходные величины α , κ , W принимают следующие: $\alpha = 0,85$; $\kappa = 20$ л/кг при использовании пенообразователя и $\kappa = 1390$ л/кг при использовании алюминиевой пудры; W – определяют на основании опытного замеса и рассчитывают по формуле

$$W = \frac{(1 + B/T)}{\rho_p^\phi} - B/T, \quad (5.9)$$

где ρ_p^ϕ – фактическая средняя плотность растворной смеси при исходном В/Т, кг/л.

Алюминиевую пудру вводят в раствор в виде водно-алюминиевой суспензии. Для ее приготовления на 1 массовую часть алюминиевой пудры расходуется 0,05 массовых частей сухого поверхностно-активного вещества (канифоли, мыла, ЛСТМ или др.) и 10...15 массовых частей воды. Эту воду учитывают в общем количестве воды затворения.

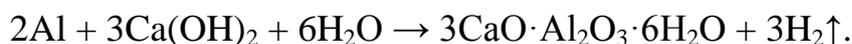
Пена по своему качеству должна удовлетворять следующим требованиям: выход пор (κ) – не ниже 15; стойкость, характеризуемая коэффициентом использования порообразователя α , – не ниже 0,8.

Для получения пены требуемого качества опытным путем определяют соотношение «вода-пенообразователь» (по объему). Исходные значения этого соотношения для различных пенообразователей следующие: смолосапониновый – 8, клееканифольный – 5, пенообразователь КИСК – 9. Пределы изменения соотношения «вода-пенообразователь» составляют: для клееканифольного ± 1 , для остальных ± 2 .

Из рабочего водного раствора пенообразователя каждого состава в пенобетонешалке приготавливают опытные замесы пены и определяют выход пор (κ), а из каждого второго замеса ячеистой смеси определяют коэффициент использования порообразователя (α). В качестве оптимального соотношения воды и пенообразователя принимают то, при котором получают максимальный коэффициент использования пенообразователя (α).

Выход пены для пенообразователя определяют из соотношения объема пены к ее массе. Объем пены измеряют в полном цилиндре с прозрачными стенками. Диаметр цилиндра 5...7 см и высота 10...15 см.

Выход пор при использовании алюминиевой пудры устанавливается расчетным путем:



Из этого следует, что при реакции 54 г алюминия с известью выделяется 6 г водорода. Одна грамм-молекула газа занимает при нормальных условиях объем 22,4 л, следовательно, 1 г алюминия выделяет при нормальных условиях $3 \cdot 22,4/54 = 1,244$ л водорода.

При температуре смеси t , °С, объем водорода, выделяемого 1 г алюминия, вычисляют по закону Гей-Люссака:

$$K = 1,244(1 + t/273), \text{ л/г.}$$

5.4.3. Приготовление пробных замесов и формование образцов

После расчета исходного состава приступают к приготовлению замесов с целью выявления рационального В/Т. Для этого готовят 5 замесов из исходного состава, отличающихся друг от друга В/Т на $\pm 0,02$ и $\pm 0,04$. Из каждого замеса формируют три образца.

В этих и последующих замесах определяют плотность раствора (ρ^{ϕ}_p , кг/л), контролируют его температуру (при изготовлении газобетона), а также определяют среднюю плотность ячеистобетонной смеси ($\rho^{\phi}_я$, кг/л). По полученным значениям ρ^{ϕ}_p и $\rho^{\phi}_я$ в каждом замесе вычисляют фактическую величину пористости, создаваемую порообразователем:

$$P^{\phi}_Г = 1 - \left(\frac{\rho^{\phi}_я - P_{II}/V}{\rho^{\phi}_p} \right), \quad (5.10)$$

где P_{II}/V – расход порообразователя на 1 л ячеистого бетона (для газобетона этой величиной можно пренебречь), кг.

Водотвердое отношение состава, не имеющего осадки после его поризации и показывающего наибольшую величину $P^{\phi}_Г$, принимают за рациональное.

Результаты по подбору рационального водо-твердого отношения В/Т заносят в табл. 5.5.

Таблица 5.5

Результаты по подбору рационального В/Т-отношения для ячеистобетонной смеси

Расход сухих материалов на 2л замеса, кг	В/Т	Расход воды, л	Величина расчетной пористости, P_{II}	Расход порообразователя, P_{II} , кг	Средняя плотность раствора, ρ^{ϕ}_p , кг/л	Средняя плотность ячеистобетонной смеси, $\rho^{\phi}_я$, кг/л	Фактическая величина пористости ячеистобетонной смеси, $P^{\phi}_Г$

Для выявления рациональной температуры раствора (при подборе состава газобетона) готовят еще 5 замесов с рациональным В/Т, изменяя температуру раствора в пределах ± 3 и $\pm 7^{\circ}\text{C}$ от исходной (40°C).

Рациональное соотношение между кремнеземистым компонентом и вяжущим веществом находят изменением числа C , в процессе приготовления 5 замесов с рациональными значениями В/Т и температуры раствора.

Расход порообразователя (P^{ϕ}_{Π}) для этих замесов уточняют путем умножения расчетного расхода его (P_{Π}) на поправочный коэффициент k , вычисляемый из соотношения требуемой пористости ($\Pi_{Г}$) к пористости ($\Pi^{\phi}_{Г}$), фактически получившейся в замесе, по которой принято рациональное В/Т и рациональная температура. Расход порообразователя вычисляют по формуле

$$P^{\phi}_{\Pi} = P_{\Pi} \cdot \frac{\Pi_{Г}}{\Pi^{\phi}_{Г}}. \quad (5.11)$$

Из каждого замеса формуют 3 образца размером 10×10×10 см. Перед формованием образцов необходимо тщательно очистить и смазать формы, а при формовании газобетонных образцов еще подогреть их до температуры 40...45⁰С.

Высоту заполнения формы газобетонной смесью h (см) следует рассчитывать по формуле

$$h = K_{Г} \cdot h_0 \cdot \frac{\rho_{я}}{\rho_{р}}, \quad (5.12)$$

где $K_{Г}$ – коэффициент, учитывающий высоту «горбушки» после вспучивания (при литьевом способе формования принимают $K_{Г} = 1,1$, а при вибрационном $K_{Г} = 1,05$);

h_0 – высота формы, см;

$\rho_{я}$ – средняя плотность газобетонной смеси, кг/л;

$\rho_{р}$ – средняя плотность растворной смеси, кг/л.

Пенобетонную смесь готовят в следующем порядке. В пеновзбиватель лабораторной пенобетономешалки вливают приготовленный заранее водный раствор пенообразователя и включают мотор. Время взбивания пены обычно не превышает 5...6 мин. Затем отвешивают определенное расчетом количество пены и вводят его в раствор при непрерывном перемешивании, которое заканчивается после получения однородной массы.

Среднюю плотность пеномассы ($\rho_{ян}$) определяют путем взвешивания ее в сосуде емкостью 1 л.

Газобетонную смесь готовят следующим образом. Сначала приготавливают водно-алюминиевую суспензию, а затем ее вводят в уже приготовленный раствор при непрерывном перемешивании массы в течение 2...2,5 мин.

Для определения средней плотности газобетонной смеси ($\rho_{яг}$) производят ее укладку в заранее подготовленные сосуды кубической формы и емкостью 1 л на высоту, определенную предварительным расчетом. После окончания вспу-

чивания, примерно через 1 ч, ножом или металлической линейкой удаляют избыток вспученной массы («горбушки»), взвешивают сосуды с оставшейся массой и вычисляют ее среднюю плотность.

5.4.4. Тепловлажностная обработка образцов из ячеистого бетона

После формования образцы выдерживают при температуре 20...25 °С в течение 6...8 ч для пенобетона и 4...6 ч для газобетона (через 3...4 ч выдерживания срезают «горбушку»), после чего производят их тепловлажностную обработку в лабораторном автоклаве или в пропарочной камере.

Общий цикл автоклавной обработки складывается из трех периодов: 1 – подъем температуры и давления; 2 – изотермическая выдержка при максимальных температуре и давлении; 3 – снижение температуры и давления до атмосферного.

Рекомендуемые режимы автоклавной обработки образцов:

1) для теплоизоляционного ячеистого бетона со средней плотностью до 500 кг/м³ – (3 + 8 + 3) ч при максимальном давлении пара 0,9 МПа и (3 + 6 + 3) ч при давлении 1,3 МПа;

2) для теплоизоляционно-конструкционного бетона со средней плотностью более 500 кг/м³ – (6 + 8 + 6) ч при давлении 0,9 МПа и (6 + 6 + 6) ч при давлении 1,3 МПа.

Режим пропаривания при атмосферном давлении обычно принимают следующий: подъем температуры от 30 до 90 °С – 3 ч, изотермическая выдержка при 90 °С – 14 ч и снижение температуры до 50 °С – 2 ч.

5.4.5. Испытание образцов и расчет окончательного состава ячеистого бетона

После тепловлажностной обработки образцы вынимают из форм, высушивают при температуре 105...110 °С до постоянной массы и испытывают (определяют среднюю плотность и предел прочности при сжатии).

Результаты работы по подбору состава ячеистого бетона рекомендуется записывать в табл. 5.6.

Таблица 5.6

Результаты подбора состава ячеистого бетона

Заданная средняя плотность ячеистого бетона, кг/м ³	Соотношение между кремнеземистым компонентом и вяжущим, С	Доля известки в вяжущем веществе, п	В/Т	Фактический расход порообразователя, R ^ф _п , кг/л	Температура раствора, °С	Средняя плотность раствора, ρ ^ф _р , кг/л	Средняя плотность ячеистобетонной смеси, ρ ^ф _я , кг/л	Фактическая величина пористости, P ^ф _г	Фактическая средняя плотность ячеистого бетона, ρ ^ф _{сж} , кг/м ³	Предел прочности при сжатии, R ^{сж} _{сж} , МПа

Состав шихты, при котором образцы показали наибольшую прочность, при заданной средней плотности, принимают как рациональный.

Для расчета окончательного расхода материалов на 1 м³ или на один замес для получения ячеистого бетона заданной средней плотности необходимо уточнить принятые при расчете исходные величины k , W , k_c и α .

Выход пор K_ϕ , см²/г, для пенообразователя находят из отношения объема пены ($V_{пены}$) к ее массе ($m_{пены}$), а выход пор газообразователя не уточняют:

$$K_\phi = \frac{V_{пены}}{m_{пены}}, \text{ см}^2/\text{г}. \quad (5.13)$$

Коэффициент увеличения массы сухой смеси за счет связываемой воды (k_c) уточняют по фактическим значениям ($\rho_{сух}^\phi$) и ($\rho_{я}^\phi$) и используют формулу

$$K_{\phi c} = \rho_{сух}^\phi \frac{(1 + B/T)}{(\rho_{я}^\phi - P_{II}/V)}, \quad (5.14)$$

где $\rho_{сух}^\phi$ – фактическая средняя плотность ячеистого бетона в сухом состоянии, кг/л;

$\rho_{я}^\phi$ – фактическая средняя плотность ячеистобетонной смеси, кг/л;

P_{II}/V – расход порообразователя на 1 л ячеистобетонной смеси (для газобетона пренебрегают), кг.

Затем уточняют коэффициент использования порообразователя (α), для чего предварительно вычисляют фактический объем ячеистобетонной смеси по ее массе и средней плотности по формуле

$$V_\phi = \frac{(P_{вяж}^\phi + P_K^\phi + P_B^\phi)}{\rho_{я}^\phi}, \quad (5.15)$$

где V_ϕ – фактический объем ячеистобетонной смеси, л;

$P_{вяж}^\phi$ – фактический расход вяжущего, кг;

P_K^ϕ – фактический расход кремнеземистого компонента, кг;

P_B^ϕ – фактический расход воды, л.

Коэффициент использования порообразователя (α^ϕ) находят по фактическим величинам Π_Γ^ϕ , K_ϕ , V_ϕ путем расчета по формуле

$$\alpha^\phi = \frac{\Pi_\Gamma^\phi \cdot V_\phi}{K_\phi \cdot P_{II}}. \quad (5.16)$$

По уточненным значениям K^{ϕ}_c , W^{ϕ} , $\Pi^{\phi}_Г$, α^{ϕ} производят окончательный расчет расхода порообразователя.

Требуемая величина пористости $\Pi^{TP}_Г$ составит

$$\Pi^{TP}_Г = 1 - \rho_{\text{сух}} \frac{(W^{\phi} + B/T)}{K^{\phi}_c}. \quad (5.17)$$

Расход порообразователя на 1 замес по уточненным данным составит

$$P_{\Pi} = \frac{\Pi^{TP}_Г \cdot V_{\phi}}{K^{\phi}_c \cdot \alpha^{\phi}}. \quad (5.18)$$

Окончательные данные по подбору состава ячеистого бетона рекомендуется записывать в табл. 5.7.

Таблица 5.7

Результаты проектирования состава ячеистого бетона

Наименование материалов	Расход материалов, кг	
	на 1 замес	на 1 м ³
Вяжущее		
Известь		
Портландцемент		
Кремнеземистый компонент		
Молотый двуводный гипс		
Вода		
Газообразователь, г		
Пенообразователь (рабочий раствор)		
Поверхностно-активное вещество для приготовления водно-алюминиевой суспензии (РП·0,05 г)		

Пример подбора состава ячеистого бетона приведен в прил. 2.

Аттестационные вопросы

1. Перечислите разновидности ячеистых бетонов в зависимости от способов поризации, вида вяжущих веществ, условий твердения.
2. Перечислите основные виды сырья и порообразователей для производства ячеистых бетонов.
3. Каким путем создается пористая структура ячеистого бетона?
4. Каковы области и условия использования ячеистых бетонов для строительных целей?
5. Каковы оптимальные условия процессов газовыделения и газодержания в газобетонной смеси?

6. Перечислите способы интенсификации технологических процессов получения ячеистых бетонов.

7. Назовите технологические схемы производства газобетонных и пенобетонных изделий и виды основного технологического оборудования.

8. Перечислите способы гидротермальной обработки при производстве ячеистых бетонов и опишите физико-химические процессы, происходящие при этом.

9. Каковы современные пути оптимизации пористой структуры ячеистых бетонов?

10. Опишите последовательность проектирования состава ячеистого бетона с заданными свойствами.

Литература: [2, 5]

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЦЕПТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТЕКЛОПЕРЛИТОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

6.1. Цель работы – исследование зависимости физико-механических свойств стеклоперлитовых изделий от насыпной плотности вспученного перлита и его массовой доли в формовочной шихте.

6.2. Оборудование, приборы, инструменты и сырьевые материалы: металлические чаши со сферическим дном, весы технические по ГОСТ 164, весы торговые, мерные стеклянные цилиндры на 0,25 и 0,5 л, трехячейковые формы с размером ячеек 4×4×16 см, лабораторная виброплощадка, сушильный шкаф или муфельная печь, гидравлический пресс по ГОСТ 8905, испытательная машина МИИ-100, вспученный перлитовый песок с насыпной плотностью 100 и 150 кг/м³, жидкое стекло с плотностью 1,3...1,5 г/см³, кремнефтористый натрий.

6.3. Общие теоретические сведения

Стеклоперлитовые изделия являются эффективными теплоизоляционными материалами, которые применяют в виде теплоизоляционных вкладышей, плит, для непосредственной укладки стеклоперлитовой массы в асбестоцементных изделиях, совмещенных кровлях и других строительных конструкциях, а также в виде плит, скорлуп и сегментов для теплоизоляции промышленных холодильников и теплоэнергетических установок.

Сырьем для производства стеклоперлитовых изделий служат: вспученный перлитовый песок с насыпной плотностью не более 200 кг/м^3 и с крупностью зерен до 3 мм, жидкое стекло плотностью $1,3 \dots 1,5 \text{ г/см}^3$.

Технология изготовления стеклоперлита сводится к следующим операциям: рассчитанное количество жидкого стекла, добавки (инициатор твердения силикатных масс Na_2SiF_6) и воды перемешивают между собой и затем вводят путем распыления в растворомешалку, заполненную соответствующим количеством вспученного перлитового песка. Дозировка компонентов может производиться по объему и по массе. Перемешивание шихты в растворомешалке длится $25 \dots 30 \text{ с}$, после чего готовая масса поступает на формование. Формование изделий можно производить горячим и холодным прессованием, вибрацией с пригрузом и прокатом. Сформованные изделия поступают на сушку. Продолжительность сушки зависит от толщины изделия, температуры и степени вентилируемости сушилки. Изделия позволяют вести сушку в широких пределах температур – от $+20$ до $+400^\circ\text{C}$.

Выбор метода изготовления стеклоперлитовых изделий зависит от того, где будет использован теплоизоляционный материал и каким требованиям он должен соответствовать.

Методом прессования можно получить изделия со свойствами (средняя плотность, прочность, коэффициент теплопроводности), изменяющимися в широких пределах.

Для изготовления изделий с более низкой или более высокой плотностью потребуется соответственно меньшее или большее количество исходных материалов. Меняя давление прессования от $0,05 \text{ МПа}$ до $4,5 \text{ МПа}$, можно получить стеклоперлитовые изделия со следующими физико-механическими свойствами:

- средняя плотность $150 \dots 400 \text{ кг/м}^3$;
- коэффициент теплопроводности $0,05 \dots 0,094 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$;
- предел прочности при сжатии $0,52 \dots 3,22 \text{ МПа}$;
- предел прочности при изгибе $0,25 \dots 1,51 \text{ МПа}$;
- предел температуростойкости $600 \dots 900^\circ\text{C}$;
- морозостойкость от 5 до 25 циклов попеременного замораживания и оттаивания.

При формовании изделий методом вибрации и проката требуется шихта, хорошо увлажненная жидким стеклом. При малом увлажнении жидким стеклом стеклоперлитовые изделия получают с невысокой прочностью и трудны в изготовлении. Изделия из таких составов будут характеризоваться следующими физико-техническими свойствами:

- средняя плотность $250 \dots 400 \text{ кг/м}^3$;
- коэффициент теплопроводности $0,067 \dots 0,10 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$;
- предел прочности при сжатии $0,51 \dots 1,1 \text{ МПа}$;
- предел прочности при изгибе $0,28 \dots 0,57 \text{ МПа}$;
- температуростойкость $550 \dots 600^\circ\text{C}$;
- морозостойкость 25 циклов попеременного замораживания и оттаивания.

ния.

Существенно повышается прочность изделий, изготовляемых вибрацией с пригрузом, при использовании крупнозернистого перлита с прочными зернами. Предел прочности при сжатии достигает в данном случае 1,2...1,5 МПа при средней плотности изделий 300 кг/м³.

Установлено, что на прочностные показатели стеклоперлита изменение модуля жидкого стекла в пределах от 1,5 до 3,0 не влияет, но изменяется водостойкость изделий, которая при применении жидкого стекла с модулем 3,0 повышается до 0,89 и падает до 0,65 при использовании стекла с модулем – 1,5.

Увеличение количества жидкого стекла в шихте вызывает рост средней плотности стеклоперлита от 260 до 390 кг/м³, предела прочности при сжатии от 0,8 до 2,8 МПа, коэффициента теплопроводности от 0,05 до 0,096 Вт/(м·°С).

Таким образом, при выборе рационального содержания жидкого стекла в составе стеклоперлитовой шихты необходимо учитывать заданный коэффициент теплопроводности.

Легкий крупнозернистый перлитовый песок с насыпной плотностью 70...100 кг/м³ позволяет получать наиболее легкие изделия достаточно высокой прочности ($\rho_m = 160$ кг/м³ и $R_{сж} = 0,5...0,6$ МПа). Легкий пылевидный перлит с насыпной плотностью 90...100 кг/м³ также позволяет получать изделия с невысокой плотностью, но несколько меньшей прочностью при сжатии (0,3...0,4 МПа). Коэффициент теплопроводности ниже у изделий из пылевидного перлита и выше у изделий из зернистого перлита. При увеличении количества вспученного перлитового песка в составе шихты требуется повышенное давление прессования, что приводит к повышению температуростойкости изделий и уменьшению их коэффициента теплопроводности.

Таким образом, свойства стеклоперлитовых изделий в основном зависят от качества вспученного перлитового песка (насыпной плотности, гранулометрического состава) и применяемого жидкого стекла, а также от соотношения этих компонентов в формовочной шихте.

6.4. Порядок выполнения работы

Лабораторная работа выполняется бригадой студентов 3...4 человека согласно вариантам заданий, представленным в табл. 6.1.

При применении мелкозернистого перлитового песка и при больших количествах его в составе можно добавлять в шихту воду из расчета 10...20 % от массы перлита.

Таблица 6.1

Варианты рабочих заданий

Варианты	Насыпная плотность перлита, кг/м ³	Состав шихты, массовая доля компонентов, %			
		перлитовый песок	жидкое стекло $\rho_m = 1,5 \text{ г/см}^3$	кремнефтористый натрий	вода
1	100	40	60	10*	50*
2		50	50		
3		60	40		
1	150	40	60	10	50
2		50	50		
3		60	40		

*Примечание. Расход кремнефтористого натрия и воды определяется от массы жидкого стекла.

Последовательность выполнения работы включает:

- приготовление формовочной шихты заданного состава;
- формование трех образцов размером 4×4×16 см;
- тепловую обработку изделий в сушильном шкафу;
- испытание образцов с определением средней плотности, прочности при сжатии и изгибе;
- обработку полученных результатов.

6.4.1. Приготовление формовочной массы

Для изготовления трех образцов размером 4×4×16 см рекомендуется дозировать материалы на замес с учетом коэффициента уплотнения массы $K_{упл} = 1,5 \dots 2,0$ и коэффициента потерь $K_n = 1,1$.

Расход материалов на замес определяется следующим образом:

- количество вспученного перлитового песка (*П.П*) рассчитывается по формуле

$$П.П = \frac{3(4 \times 4 \times 16) \cdot K_{упл} \cdot K_n \cdot \rho_{пм}}{1000}, \text{ кг}, \quad (6.1)$$

где $\rho_{пм}$ – насыпная плотность перлитового песка, г/см³;

- расход жидкого стекла (*Ж.С*) рассчитывается по формуле

$$Ж.С = \frac{П.П \cdot Ж.С}{ЖП.П}, \text{ кг} \quad (6.2)$$

где *Ж.С* – массовая доля жидкого стекла в шихте, %;

ЖП.П – массовая доля перлитового песка в шихте, %;

- объемный расход жидкого стекла составит

$$V_{ж.с} = Ж.С \cdot \frac{1000}{\rho_{ж.с}}, \text{ см}^3, \quad (6.3)$$

где $\rho_{ж.с}$ – ареометрическая плотность жидкого стекла, г/см³;

- расход кремнефтористого натрия ($K_{фн}$) составит

$$K_{фн} = 0,1 \cdot Ж.С, \text{ кг}, \quad (6.4)$$

- расход воды затворения (B) составит

$$B = 0,5 Ж.С, \text{ л}. \quad (6.5)$$

Отмеренное количество жидкого стекла, воды и кремнефтористого натрия выливают в сферическую чашу, после чего при непрерывном перемешивании добавляют вспученный перлитовый песок и продолжают перемешивание примерно 1...1,5 мин до получения однородной массы. Продолжительность перемешивания увеличивать не рекомендуется, так как при этом происходит разрушение зерен перлита, что ведет к повышению средней плотности шихты, а в последующем и самих изделий.

6.4.2. Формование изделий

Формование образцов осуществляется на лабораторной виброплощадке следующим образом. Металлическую форму с тремя ячейками, предварительно очищенную и смазанную, жестко крепят на виброплощадке. В каждую ячейку формы укладывают приготовленную формовочную массу вровень с краями и включают вибростол. По мере уплотнения массы и ее оседания в форме добавляют некоторое количество стеклоперлитовой смеси, чтобы ее уровень был вровень с краями формы.

6.4.3. Тепловая обработка

Тепловая обработка образцов проводится в сушильном шкафу (или в муфельной печи) при максимальной температуре 350...400⁰С в течение 4...6 ч. Образцы вынимают из сушильного шкафа после их предварительного охлаждения до температуры 40...50⁰С.

6.4. Испытание образцов и обработка результатов

Высушенные образцы подвергают испытанию на определение средней плотности и предела прочности при сжатии и изгибе согласно общепринятой методике. Полученные результаты заносят в табл. 6.2.

Таблица 6.2

Результаты оценки физико-механических свойств стеклоперлита

Варианты	Насыпная плотность перлита, кг/м ³	Соотношение Ж.С/П.П	Показатели свойств стеклоперлитовых изделий		
			средняя плотность, кг/м ³	предел прочности при сжатии, МПа	предел прочности при изгибе, МПа
1	100	40/60			
2		50/50			
3		60/40			
1	150	40/60			
2		50/50			
3		60/40			

На основании результатов, представленных в табл. 6.2, строят графические зависимости изменения основных свойств стеклоперлитовых изделий от насыпной плотности и массовой доли вспученного перлитового песка и жидкого стекла в шихте. Анализируют построенные графические зависимости и делают вывод о рациональном соотношении между вспученным перлитовым песком (при определенной его насыпной плотности) и жидким стеклом в формовочной шихте с учетом требований к средней плотности и прочности, предъявляемых к теплоизоляционным стеклоперлитовым изделиям.

Аттестационные вопросы

1. Что является сырьем для получения стеклоперлитовых изделий?
2. Охарактеризуйте физико-химические основы процесса вспучивания перлита.
3. Какова технология получения вспученного перлитового песка?
4. Перечислите физико-технические свойства вспученного перлита.
5. В чем заключается технология получения стеклоперлитовых теплоизоляционных изделий?
6. Каковы физико-технические свойства стеклоперлитовых изделий?
7. От чего зависят свойства стеклоперлитовых изделий?
8. Назовите области применения вспученного перлита и стеклоперлитовых изделий.
9. В чем заключается экономическая эффективность производства и применения изделий на основе вспученного перлита.

Литература: [2, 7, 8, 11]

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НА СВОЙСТВА ПЕНОПОЛИСТИРОЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

7.1. Цель работы – изучение влияния продолжительности вспенивания полистирольного пенопласта на его физико-технические свойства.

7.2. Оборудование, приборы, инструменты и сырьевые материалы: весы технические по ГОСТ 164, сушильный шкаф по ГОСТ 134, формы с перфорированными стенками, металлическая емкость на 5 л, электроплитка с закрытой спиралью, измерительная линейка с ценой деления 0,5 мм, бисерный пенополистирол.

7.3. Общие теоретические сведения

Полимерные теплоизоляционные материалы по характеру пористости разделяют на ячеистые или пенные пластмассы (пенопласты), характеризующиеся преимущественно замкнутыми порами ячеистого строения; пористые пластмассы (поропласты), пористая структура которых сложена в виде системы сообщающихся ячеек или полостей; сотовые пластмассы (сотопласты), пористость которых представлена геометрически правильными пустотами (сотами), получаемыми целенаправленной переработкой исходного пластического материала без его вспенивания.

По способу получения газонаполненные пластмассы подразделяют на две большие группы: прессовые, изготавливаемые в условиях обжатия (давления) извне, и беспрессовые, получаемые без воздействия внешнего давления.

Специфические особенности газонаполненных пластмасс определяют техническую направленность и экономическую эффективность их применения в различных отраслях промышленности. Благодаря низкой средней плотности, высоким теплоизоляционным свойствам, повышенной удельной прочности, а также ряду ценных технологических и эксплуатационных свойств пенопласты не имеют аналогов среди традиционных строительных материалов.

Однако большинству газонаполненных пластмасс свойственны определенные недостатки, существенно ограничивающие возможности их применения. К этим недостаткам, прежде всего, следует отнести низкую огнестойкость, теплостойкость и температуростойкость. Кроме того, все еще высокая себестоимость и ограниченность сырьевой базы обуславливают экономическую целесообразность применения пенопластов в основном для высокоэффективной теплоизоляции: в мелких кровельных конструкциях, легких стеновых панелях и монтажной теплоизоляции трубопроводов.

Среди всех видов пенопластов наиболее широкое применение в строи-

тельстве нашли полистирольные пенопласты. Полистирольные пенопласты получают беспрессовыми методами, с использованием которых выпускают изделия марок ПСБ и ПСБС (пенополистирол беспрессовый и пенополистирол беспрессовый самозатухающий). Физико-механические свойства пенополистирольных изделий представлены в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Физико-механические свойства пенополистирольных изделий

Показатели	Нормы для марок со средней плотностью в сухом состоянии, кг/м ³			
	20	25	30	40
Прочность при статическом изгибе, МПа, не менее	0,07	0,10	0,13	0,18
Прочность на сжатие при 10-процентной деформации, МПа, не менее	0,05	0,07	0,10	0,15
Теплопроводность в сухом состоянии при 25±5 °С, Вт/(м·°С), не более	0,035	0,038	0,038	0,038
Водопоглощение за 24 ч, % по объему, не более	5	4	3	2

Производство пенополистирольных изделий состоит в следующем. Бисерный полистирол при нагревании выше 80⁰С переходит из стеклообразного состояния в эластичное, а газообразователь изопентан, который равномерно распределен в массе полистирола, при температуре выше 28⁰С переходит в газообразное состояние. Вследствие этого размягченные гранулы полистирола размером 0,5...1 мм вспучиваются и увеличиваются в объеме в 10...12 раз. Скорость вспучивания и степень увеличения объема гранул полистирола зависят от температуры нагревания. Температуру нагревания гранул полистирола подбирают исходя из величины внутреннего давления газообразного изопентана и степени вязкости размягченного полистирола. При температуре 95...96⁰С начинается наиболее интенсивное вспучивание полистирола.

Сокращение продолжительности вспучивания бисерного полистирола в формах может быть достигнуто в результате применения двухстадийного его вспенивания, то есть предварительного вспучивания без форм и окончательного вспучивания в формах. Предварительное вспучивание гранул полистирола продолжается от 1 до 5 мин в зависимости от размера гранул бисерного полистирола и способа их нагрева. Продолжительность окончательного вспучивания гранул и спекания изделий при температуре 95...120⁰С составляет от 2 мин до 1 ч и зависит от способа нагревания.

Каждой партии бисерного пенополистирола должно соответствовать при определенной температуре оптимальное время вспучивания, при котором устанавливается равновесие между парциальным давлением внутри гранулы и внешним давлением среды. Более длительное время вспучивания ведет к разрушению гранул и повышению средней плотности изделий.

7.4. Порядок выполнения работы

7.4.1. Изучение влияния продолжительности одностадийного вспенивания гранул пенополистирола на среднюю плотность полистирольного пенопласта

Одностадийное вспенивание гранул применяется для получения пенополистирола средней плотностью более 40 кг/м^3 . Предварительно отвешивают навеску (m_n) гранул полистирола, которую рассчитывают по формуле

$$m_n = V \cdot \rho_{m, \text{ср}}^n, \quad (7.1)$$

где V – объем формы, см^3 ;

$\rho_{m, \text{ср}}^n$ – требуемая средняя плотность изделия из пенополистирола, г/см^3 .

Навеску помещают в перфорированную форму, которую закрывают и помещают в кипящую воду. Изменяя время выдержки формы в кипящей воде от 5 до 30 мин, определяют среднюю плотность изделий из пенополистирола на охлажденных и высушенных образцах. Результаты исследований заносят в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Результаты определения средней плотности изделий из пенополистирола в зависимости от продолжительности вспенивания

Время вспенивания, мин	5	10	15	20	25	30
Средняя плотность пенополистирольных изделий, г/см^3						

По полученным данным строится графическая зависимость средней плотности пенополистирольных изделий от продолжительности (времени) одностадийного вспенивания гранул пенополистирола.

7.2. Изучение влияния продолжительности двухстадийного вспенивания гранул пенополистирола на коэффициент предварительного вспучивания гранул и среднюю плотность полистирольного пенопласта

Двухстадийное вспенивание применяется для получения пенополистирольных изделий со средней плотностью менее 30 кг/м^3 .

Первичное вспенивание гранул пенополистирола осуществляется в кипящей воде. Время вспенивания не превышает 1...5 мин. Вспененные гранулы высушивают при температуре не выше 40°C и производят определение коэффициента предварительного вспучивания (K) по формуле

$$K = \frac{V_1}{V_0}, \quad (7.2)$$

где V_1 – объем исходных гранул полистирола, см^3 ;

V_0 – объем вспененных гранул, см^3 .

Величину K подбирают в каждом отдельном случае так, чтобы было обеспечено заполнение вспененными гранулами всего объема формы и пенопласт имел заданную среднюю плотность.

Окончательное вспучивание вспененных гранул полистирола и формование изделий из них производят в перфорированной форме, которую помещают в кипящую воду на 5...25 мин.

Для определения оптимального режима двухстадийного вспенивания пенополистирола используют математический метод Д-оптимального планирования двухфакторного эксперимента. Условия проведения эксперимента представлены в табл. 7.3, а матрица планирования и результаты эксперимента – в табл. 7.4.

Таблица 7.3

Условия проведения эксперимента

Наименование варьируемых параметров	Математический символ	Значения на уровнях			Интервал варьирования
		-1	0	+1	
Время первичного вспенивания, мин	X_1	1	3	5	2
Время окончательного вспенивания (спекания), мин	X_2	5	15	25	10

Таблица 7.4

Матрица планирования и результаты эксперимента

Номер опыта	Матрица		Результаты эксперимента				
	X_1	X_2	$Y_1 (\rho_m), \text{г/см}^3$	Y_{cp}	$(Y_1 - Y_{cp}), \text{г/см}^3$	$\sigma_y, \text{г/см}^3$	$C_V = \sigma_y 100 / Y_{cp}$
1	+	+					
2	+	-					
3	-	+					
4	-	-					
5	+	0					
6	-	0					
7	0	+					
8	0	-					
9	0	0					

Готовые пенополистирольные образцы (не менее трех штук на каждую серию эксперимента) взвешивают, измеряют, и вычисляют их среднюю плотность. Результаты определений заносят в табл. 7.4. Затем с использованием бланка-алгоритма (прил. 3), выполняют расчеты для получения уравнения регрессии в виде полинома:

$$Y(\rho_m) = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_{11} X_1^2 + B_{22} X_2^2 + B_{12} X_1 X_2. \quad (7.3)$$

После чего осуществляют построение геометрической поверхности полученной математической модели.

Для определения оптимального режима двухстадийного вспенивания пенополистирола находят производные полинома (7.3):

$$Y^1(X_1) = 0 \text{ и } Y^1(X_2) = 0, \quad (7.4)$$

где Y^1 – производная изучаемого параметра.

Решая систему из двух уравнений, определяют искомые значения X_1 и X_2 , обеспечивающие минимальное значение средней плотности пенополистирола.

Полученные экспериментальные данные анализируют с целью оценки влияния продолжительности одностадийного и двухстадийного вспенивания пенополистирола на среднюю плотность пенопласта, а также для определения оптимального режима двухстадийного вспенивания, обеспечивающего наименьшую плотность полистирольного пенопласта.

Аттестационные вопросы

1. Как подразделяются полимерные теплоизоляционные материалы по характеру пористости и способу получения?

2. Охарактеризуйте положительные и отрицательные свойства газонаполненных пластмасс.

3. Что представляет собой пенополистирольный пенопласт и каковы его физико-технические свойства?

4. Опишите технологию получения пенополистирола.

5. Охарактеризуйте область применения газонаполненных пластмасс.

6. Назовите технико-экономические показатели применения теплоизоляционных полимерных изделий в индустриальном строительстве.

Литература: [2, 9]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Лабораторный практикум по «Технологии теплоизоляционных материалов и изделий» позволит студентам закрепить теоретические знания, полученные на лекционных занятиях, а также ознакомиться с методикой определения основных физико-механических свойств и технологией изготовления материалов, применяемых для теплоизоляции зданий и сооружений.

В приложениях к лабораторному практикуму изложена методика определения теплопроводности строительных материалов и приведен пример подбора состава ячеистого бетона.

Лабораторный практикум в целом направлен на повышение качества подготовки студентов, обучающихся по специальности «Производство строительных материалов, изделий и конструкций».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соков, В.Н. Лабораторный практикум по технологии отделочных, теплоизоляционных и гидроизоляционных материалов: учеб. пособие / В.Н. Соков, Ю.В. Лабзина, Г.П. Федосеев. – М.: Высшая школа, 1991. – 112 с.
2. Горлов, Ю.П. Технология теплоизоляционных и акустических материалов изделий: учебник / Ю.П. Горлов. – М.: Высшая школа, 1989. – 384 с.
3. Горлов, Ю.П. Технология теплоизоляционных материалов: учебник / Ю.П. Горлов, А.П. Меркин, А.А. Устенко. – М.: Стройиздат, 1980. – 400 с.
4. Горлов, Ю.П. Лабораторный практикум по технологии теплоизоляционных материалов: учеб. пособие / Ю.П. Горлов. – М.: Высшая школа, 1982. – 239 с.
5. Горяйнов, К.Э. Технология минеральных теплоизоляционных материалов и легких бетонов: учебник / К.Э. Горяйнов, К.Н. Дубенецкий, С.Г. Васильков и др. М.: Стройиздат, - 1976. – 536 с.
6. Демидович, Б.К. Пеностекло: учебник / Б.К. Демидович. – Минск: Наука и техника, 1975. – 248 с.
7. Полинковская, А.И. Вспученный перлит – заполнитель легких бетонов: учеб. пособие / А.И. Полинковская, Н.И. Сергеев, О.А. Чернова. – М.: Стройиздат, 1971. – 105 с.
8. Бабушкина, М.И. Жидкое стекло в строительстве: учебник / М.И. Бабушкина. – Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1971. – 223 с.
9. Воробьев, В.А. Технология полимеров: учебник / В.А. Воробьев, Р.А. Андрианов. – М.: Высшая школа, 1971. – 360 с.
10. Суслов, А.А. Технология отделочных и изоляционных материалов: лаб. практикум / А.А. Суслов, О.А. Чернушкин, А.В. Малинов. – Воронеж: ВГАСА, 1997. – 120 с.
11. Попов, Л.Н. Лабораторные работы по дисциплине «Строительные материалы и изделия»: учеб. пособие /Л.Н. Попов, Н.Л. Попов. – М.: ИНФРА-М, 2003. – 219 с.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ
МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ РЕГУЛЯРНОГО ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЛОСКОГО БИКАЛОРИМЕТРА ПБ-63

Плоский бикалориметр ПБ-63 предназначен для измерения теплового сопротивления материала (R , $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$) и теплопроводности (λ , $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$) твердых материалов с плотностью до $1000 \text{ кг}/\text{м}^3$ и сыпучих материалов независимо от плотности. Нормальные условия работы прибора предусматривают комнатную температуру ($15 \dots 30 \text{°C}$). Схема прибора приведена на рис. П.1, а общая схема установки включения прибора показана на рис. П.2.

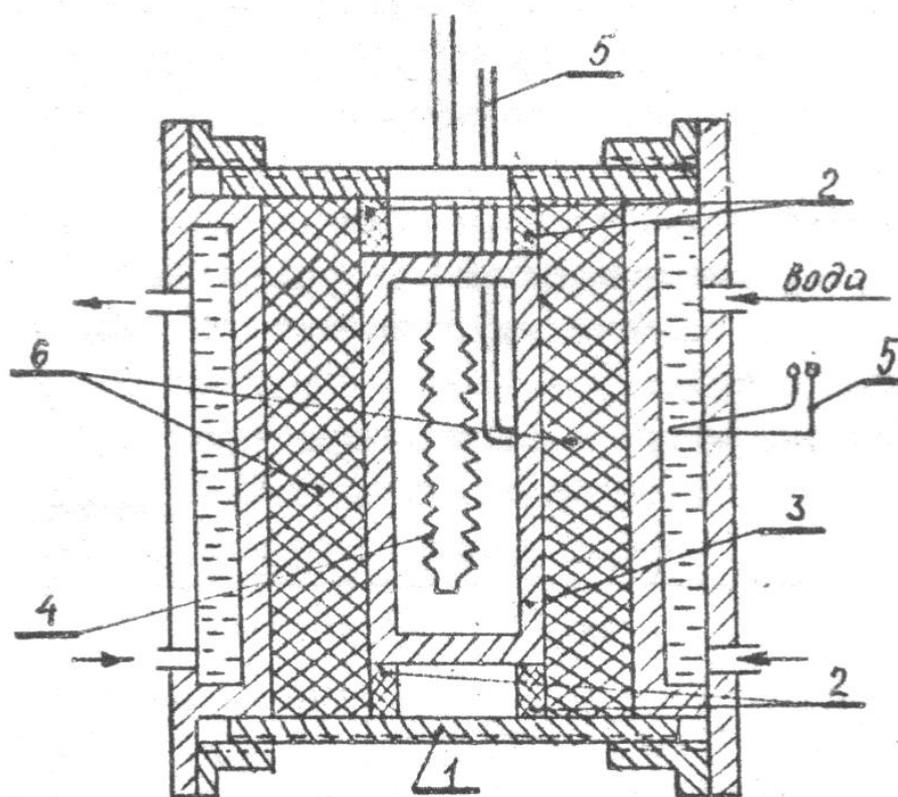


Рис. П.1. Устройство бикалориметра ПБ-63:

- 1 – корпус; 2 – торцевая изоляция сердечника;
- 3 – сердечник; 4 – нагреватель; 5 – термопары;
- 6 – испытываемый материал

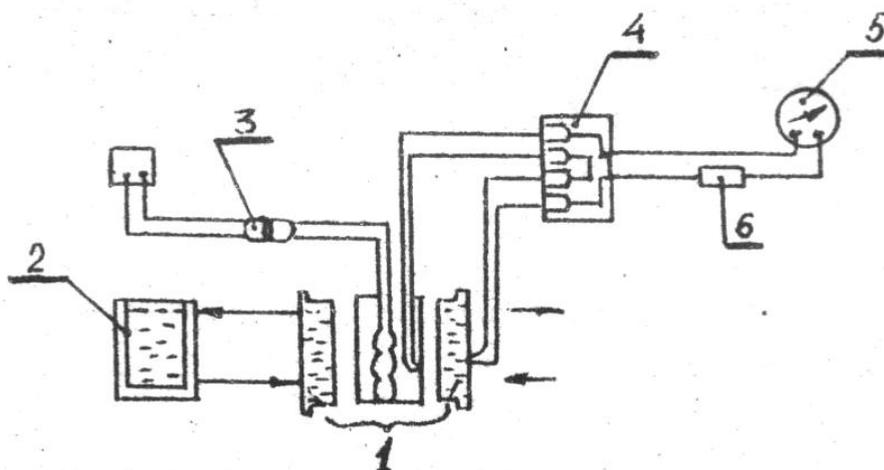


Рис. П.2. Схема установки:

1 – бикалориметр; 2 – термостат охлаждающей воды; 3 – автотрансформатор; 4 – блок холодных спаев термопары; 5 – гальванометр; 6 – добавочное сопротивление

Подготовка прибора к работе

Концы электродов термопар сердечника и охлаждаемого блока подводят к блоку холодных спаев, который подключают к гальванометру. В цепь гальванометра включают добавочное сопротивление. Величину добавочного сопротивления выбирают таким образом, чтобы гальванометр работал в режиме, близком к критическому. При этом следует стремиться к тому, чтобы при перегреве образца на заданную величину ($20...30^{\circ}\text{C}$ выше температуры охлаждающей воды) стрелка гальванометра отклонялась на всю шкалу. Ток для разогрева сердечника подводят от сети переменного тока через автотрансформатор.

Условия выполнения измерений

После проверки измерительной схемы и установления стабильной температуры воды в термостате в бикалориметр помещают два образца испытуемого материала в виде дисков диаметром $150...160$ мм и толщиной от 5 до 20 мм. Толщина образцов определяется с помощью отсчетного приспособления бикалориметра.

При испытании сухих материалов сердечник прибора нагревается до температуры, превышающей температуру окружающей среды на $20...30^{\circ}\text{C}$, при испытании влажных материалов – на $3...4^{\circ}\text{C}$. По достижении сердечником заданной температуры (температуры нагрева) отключается питание прибора и начинается процесс его естественного охлаждения, о чем будет свидетельствовать перемещение стрелки гальванометра в сторону нуля.

Запись показаний гальванометра начинается с температуры перегрева $10...15^{\circ}\text{C}$ при испытании сухих материалов и $1...2^{\circ}\text{C}$ при испытании влажных.

Достаточно зафиксировать 8...10 точек, связанных с показанием секундомера. Показания гальванометра и секундомера заносят в табл. П.1.1.

Таблица П.1.1

Результаты показаний гальванометра и времени охлаждения

Опыт 1			Опыт 2		
Деления шкалы, N	Время, τ , с	$\ln N$	Деления шкалы, N	Время, τ , с	$\ln N$
$N_0 = 60$	$\tau_0 = 0$	4,09	$N_0 = 60$	$\tau_0 = 0$	4,09
$N_1 = 55$	$\tau_1 =$	4,01	$N_1 = 55$	$\tau_1 =$	4,01
$N_2 = 50$	$\tau_2 =$	3,91	$N_2 = 50$	$\tau_2 =$	3,91
$N_3 = 45$	$\tau_3 =$	3,81	$N_3 = 45$	$\tau_3 =$	3,81
$N_4 = 40$	$\tau_4 =$	3,69	$N_4 = 40$	$\tau_4 =$	3,69
$N_5 = 35$	$\tau_5 =$	3,56	$N_5 = 35$	$\tau_5 =$	3,56
$N_6 = 30$	$\tau_6 =$	3,40	$N_6 = 30$	$\tau_6 =$	3,40
$N_7 = 25$	$\tau_7 =$	3,22	$N_7 = 25$	$\tau_7 =$	3,22
$N_8 = 20$	$\tau_8 =$	2,99	$N_8 = 20$	$\tau_8 =$	2,99

Опыт повторяется два раза без разборки схемы прибора, и по результатам опыта строится графическая зависимость

$$\ln N = f(\tau), \quad (\text{П.1.1})$$

где N – число делений шкалы гальванометра;

τ – время охлаждения, с.

Эта зависимость описывается прямой линией, тангенс угла наклона которой m и называется темпом охлаждения и вычисляется по формуле

$$m = \frac{(\ln N_1 - \ln N_n)}{(\tau_n - \tau_1)} 3600, \quad \text{ч}^{-1}, \quad (\text{П.1.2})$$

где N_1 и N_n – показания прибора в момент времени τ_1 и τ_n .

Если расхождения в темпах охлаждения двух опытов менее 5 %, то ограничиваются только двумя опытами. Если расхождение более 5 %, испытание повторяют.

Расчет теплового сопротивления и теплопроводности испытуемого материала

1. Вычисляется критерий H по формуле

$$H = \delta \cdot C_x \cdot \rho_m, \quad \text{кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}), \quad (\text{П.1.3})$$

где δ – толщина образца, м;

C_x – удельная теплоемкость испытуемого материала, кДж/кг·°С. В расчетах можно принять $C_x = 1,68$ кДж/кг·°С для материалов органического происхождения и $C_x = 0,84$ кДж/кг·°С – для материалов неорганического происхождения;
 ρ_m – средняя плотность испытуемого материала, кг/м³.

2. Определяется безразмерный параметр B по формуле

$$B = \frac{1}{(1 + 0,0239H)}. \quad (\text{П.1.4})$$

3. Вычисляется критерий Φ_0 по формуле

$$\Phi_0 = \Phi\left(0,4 + \frac{0,6}{(1 + 2\delta/D)^2}\right), \text{ кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С}), \quad (\text{П.1.5})$$

где $\Phi = C/S = 14,2$ кДж/(м²·°С);

$C = 0,322$ кДж/°С – полная теплоемкость сердечника;

$S = 2,26 \cdot 10^{-2}$ м² – полная поверхность касания сердечника с материалом;

$D = 0,12$ м – диаметр сердечника.

4. Определяется тепловое сопротивление слоя (R) по формуле

$$R = \frac{3,6}{\Phi_0} \left(\frac{m}{B} - 0,32\right) - 4,3 \cdot 10^{-3}, \text{ м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт}. \quad (\text{П.1.6})$$

5. Вычисляется теплопроводность (λ) испытуемого материала

$$\lambda = \frac{\delta}{R}, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°С}). \quad (\text{П.1.7})$$

ПРИМЕР ПОДБОРА СОСТАВА ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА

Пример задания

Требуется получить ячеистый бетон с применением смешанного (цементно-известкового) вяжущего со средней плотностью 500 кг/м^3 с возможно большей прочностью. Объем замеса – 10 л.

Характеристика исходных материалов

Портландцемент марки 500; молотая негашеная известь активностью 70 %; зола-унос ($\rho_m = 2,06 \text{ г/см}^3$); порообразователь – алюминиевая пудра или КИСК; поверхностно-активное вещество – мылонафт; замедлитель скорости гидратации негашеной извести – молотый двуводный гипс.

Расчет состава ячеистого бетона

1. Пользуясь соответствующими формулами, подсчитывают расход материалов на 1 замес с учетом следующих исходных величин: $\kappa_c = 1,1$; $C = 1,5$ и $n = 0,5$.

По табл. 5.3 находят, что расплыв массы (текучесть раствора) должен быть равен 30 см. Опытным путем устанавливают, что такая текучесть раствора имеет место при $B/T = 0,64$.

Расчетно-экспериментальным путем находят, что при применении данных материалов $W = 0,48 \text{ л/кг}$; для газобетона $\kappa = 1,39 \text{ л/г}$, а для пенобетона $\kappa = 18 \text{ л/кг}$ или $0,018 \text{ л/г}$; $\alpha = 0,85$.

Установив эти величины, производят расчет расхода материалов:

$$P_{\text{вяж}} = \frac{\rho_{\text{сух}} \cdot V}{\kappa_c (1 + C)} = \frac{0,5 \cdot 10}{1,1(1 + 1,5)} = 1,8 \text{ кг} - \text{вяжущего}$$

$$P_{\text{И}} = P_{\text{вяж}} \cdot n = 1,8 \cdot 0,5 = 0,9 \text{ кг} - \text{извести}$$

$$P_{\text{Ц}} = P_{\text{вяж}} - P_{\text{И}} = 1,8 - 0,9 = 0,9 \text{ кг} - \text{цемента}$$

$$P_{\text{К}} = P_{\text{вяж}} \cdot C = 1,8 \cdot 1,5 = 2,7 \text{ кг} - \text{кремнеземистого компонента}$$

$$P_{\text{Г}} = P_{\text{И}} \cdot 0,03 = 0,9 \cdot 0,03 = 0,027 \text{ кг} - \text{молотого двуводного гипса}$$

$$B = (P_{\text{вяж}} + P_{\text{К}}) \cdot B/T = (1,8 + 2,7) \cdot 0,64 = 2,88 \text{ л} - \text{воды.}$$

Пористость, которую необходимо создать с помощью порообразователя для получения заданной средней плотности ячеистого бетона, рассчитывают по формуле

$$P_{\Gamma} = \frac{1 - \rho_{\text{сух}}(W + B/T)}{\kappa_c} = \frac{1 - 0,5(0,48 + 0,64)}{1,1} = 0,51.$$

Зная пористость, определяют расход порообразователей:

алюминиевой пудры

$$P_{a.n.} = \frac{P_{\Gamma} \cdot V}{\kappa \cdot \alpha} = \frac{0,51 \cdot 10}{1,39 \cdot 0,85} = 4,32z;$$

мылонафта для приготовления алюминиевой суспензии

$$P_m = P_{a.n.} \cdot \% = 4,32 \cdot 0,05 = 0,22z;$$

водного раствора пенообразователя (пены) для пенобетона

$$P_{\text{КИСК}} = \frac{P_{\Gamma} \cdot V}{\kappa \cdot \alpha} = \frac{0,51 \cdot 10}{18 \cdot 0,85} = 0,333\text{кг}.$$

2. Готовят пять замесов с В/Т, равным 0,60; 0,62; 0,64; 0,66 и 0,68. Допустим, что В/Т = 0,64 оказалась рациональным.

Приготовив еще пять замесов с различной температурой, определяют, что при температуре 40⁰С наблюдалось максимальное вспучивание массы.

3. С целью установления рационального соотношения между кремнеземистым компонентом и вяжущим веществом готовят пять замесов при В/Т = 0,64 и при температуре раствора 40⁰С, при этом принимают величину С в следующих пределах: 1,0; 1,25; 1,5; 1,75 и 2,0.

Предположим, что после испытания образцов на прочность состав с С = 1,5 показал наибольшую прочность.

4. По фактическим значениям после проведения соответствующих измерений уточняют величины W, κ_c и α .

Допустим, что фактические замеры, показали:

- плотность раствора $\rho_p = 1,45$ кг/л;
- средняя плотность газобетонной смеси $\rho_{\text{я}}^{\Gamma} = 0,775$ кг/л;
- средняя плотность пенобетонной смеси $\rho_{\text{я}}^{\Pi} = 0,808$ кг/л;
- средняя плотность бетона в сухом состоянии $\rho_{\text{сух}} = 0,544$ кг/л.

Поскольку ячеистый бетон получился тяжелее заданного, то в его состав необходимо внести коррективы.

Величину удельного объема сухой смеси (W) уточняют по фактической

плотности раствора

$$W = \frac{(1 + B/T)}{\rho_p^\phi} - B/T = \frac{(1 + 0,64)}{1,45} - 0,64 = 0,49 \text{ л/кг.}$$

Фактически полученную пористость (Π^ϕ) рассчитывают по фактической плотности раствора и по средней плотности полученной ячеистобетонной смеси за вычетом массы пенообразователя:

$$\Pi_{\Pi}^\phi = 1 - \left(\frac{\rho_{\text{я}}^{\Pi} - \frac{P_{\Pi}}{V}}{\rho_p^\phi} \right) = 1 - \left(\frac{0,808 - \frac{0,333}{10}}{1,45} \right) = 0,47 - \text{ для пенобетона}$$

$$\Pi_{\Gamma}^\phi = 1 - \frac{\rho_{\text{я}}^{\Gamma}}{\rho_p^\phi} = 1 - \frac{0,775}{1,45} = 0,47 - \text{ для газобетона.}$$

Затем уточняют коэффициент использования порообразователя. Определяют α для газобетона, для чего предварительно вычисляют фактический объем газобетонной смеси по ее массе и средней плотности:

$$V_\phi = \frac{(P^\phi_{\text{вяж}} + P^\phi_{\text{К}} + P^\phi_{\text{В}})}{\rho_{\text{я}}^\phi} = \frac{(1,8 + 2,7 + 2,88)}{0,775} = 9,562 \text{ л.}$$

Тогда коэффициент использования порообразователя (алюминиевой пудры ПАК-3)

$$\alpha_{\Gamma} = \frac{\Pi_{\Gamma}^\phi \cdot V_\phi}{K_\phi \cdot P_{\Pi}} = \frac{0,47 \cdot 9,52}{1,39 \cdot 4,32} = 0,75.$$

Определяют α для пенобетона, предварительно вычислив объем пенобетонной смеси без учета объемов пены:

$$V_\phi = \frac{(P^\phi_{\text{вяж}} + P^\phi_{\text{К}} + P^\phi_{\text{В}})}{\rho_{\text{я}}^{\Pi}} = \frac{7,38}{0,808} = 9,13 \text{ л;}$$

$$\alpha_{\Pi} = \frac{\Pi_{\Pi}^\phi \cdot V_\phi}{K_\phi \cdot P_{\Pi}} = \frac{0,47 \cdot 9,13}{18 \cdot 0,333} = 0,72.$$

Уточняют величину коэффициента связанной воды:

- для газобетона

$$K_c = \frac{\rho_{\text{сух}}(1+B/T)}{\rho_{\text{я}}^{\Gamma}} = \frac{0,544(1+0,64)}{0,755} = 1,15;$$

- для пенобетона

$$K_c = \frac{\rho_{\text{сух}}(1+B/T)}{\rho_{\text{я}}^{\Pi}} = \frac{0,544(1+0,64)}{0,808} = 1,104.$$

5. По уточненным значениям K_c , W , Π_{Γ} и α производят окончательный расчет расхода порообразователей.

Требуемая величина пористости составит:

$$\Pi_{\Gamma}^{TP} = 1 - \rho_{\text{сух}} \frac{(W^{\phi} + B/T)}{K_c^{\phi}} = 1 - 0,5 \frac{(0,49 + 0,64)}{1,15} = 0,495 \text{ - для газобетона}$$

$$\Pi_{\Pi}^{TP} = 1 - \rho_{\text{сух}} \frac{(W^{\phi} + B/T)}{K_c^{\phi}} = 1 - 0,5 \frac{(0,49 + 0,64)}{1,104} = 0,488 \text{ - для пенобетона.}$$

Расход алюминиевой пудры ПАК-3 на 1 замес по уточненным данным:

$$P_{\text{а.п.}} = \frac{\Pi_{\Gamma} \cdot V}{\kappa \cdot \alpha^{\Gamma}} = \frac{0,495 \cdot 10}{1,39 \cdot 0,75} = 4,75 \text{ г.}$$

Расход рабочего раствора КИСК (пены) по уточненным данным:

$$P_{\text{КИСК}}^{\text{н.}} = \frac{\Pi_{\Pi} \cdot V}{\kappa \cdot \alpha^{\Pi}} = \frac{0,488 \cdot 10}{18 \cdot 0,72} = 0,377 \text{ кг.}$$

Окончательные данные по составу теплоизоляционного ячеистого бетона рекомендуется записывать в виде табл. П.2.1.

Таблица П.2.1

Результаты подбора состава теплоизоляционного ячеистого бетона

Наименование материалов	Расход материалов, кг	
	на 1 замес (10 л)	на 1 м ³
Вяжущее	1,8	180
Известь	0,9	90
Портландцемент	0,9	90
Кремнеземистый компонент	2,7	270
Молотый двухводный гипс	0,027	2,7
Вода	2,88	288
Газообразователь (ПАК-3), г	4,75	475
Пенообразователь (рабочий раствор), кг	0,377	37,7
Поверхностно-активное вещество для приготовления водно-алюминиевой суспензии (РП-0,05 г)	0,24	24

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

БЛАНК-АЛГОРИТМ Д-ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ДВУХФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Номер	$X_0 = Y_0$	Расчетная матрица				
		X_1	X_2	X_1^2	X_2^2	$X_1 X_2$
1		+	+	+	+	+
2		+	-	+	+	-
3		-	+	+	+	-
4		-	-	+	+	+
5		-	0	+	0	0
6		-	0	+	0	0
7		0	+	0	+	0
8		0	-	0	+	0
9		0	0	0	0	0
	$(0Y)=$	Σ^+	Σ^+	$(11y)$	$(22y)$	Σ^+
	$\rho_1 = 1/3(0Y)$	Σ^-	Σ^-			Σ^-
	$\rho_2 = 0,55556(0Y)$	$(1Y)$	$(2Y)$	$\Sigma(iiY)=$		$(12Y)$
	$b_0 = \rho_2 + \rho_3$			$\rho_3 = -1/3\Sigma(iiY)$		
		$b_1 = 1/6(iY)$		$1/2(iiY)$		$b_{12} = 1/4(12Y)$
		b_1	b_2			
				$1/2(iiY) + \rho_1$		
				b_{11}	b_{22}	

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	3
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. Оценка параметров структуры и физико-механических свойств теплоизоляционных материалов	4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. Изучение влияния структуры и состояния пористых материалов на их теплоизоляционные свойства	15
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. Изучение влияния вида и количества связующих веществ на основные свойства минераловатных изделий	19
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. Изучение влияния рецептурно-технологических факторов на основные свойства пеностекла	25
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5. Проектирование состава теплоизоляционного ячеистого бетона	31
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6. Изучение влияния рецептурно-технологических факторов на физико-механические свойства стеклоперлитовых изделий	42
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7. Изучение влияния технологических режимов изготовления на свойства пенополистирольных изделий	48
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	53
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	
РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	53
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Методика определения теплопроводности строительных материалов методом регулярного теплового режима с использованием плоского бикалориметра ПБ-63	54
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Пример подбора состава ячеистого бетона	58
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Бланк-алгоритм Д-оптимального планирования двухфакторного эксперимента	62

Учебное издание

Суслов Александр Александрович

Власов Виктор Васильевич

Усачев Александр Михайлович

Турченко Алла Евгеньевна

Деревщикова Алла Сергеевна

ТЕХНОЛОГИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

Лабораторный практикум

для студентов, обучающихся по специальности «Производство строительных материалов, изделий и конструкций»

Редактор Аграновская Н.Н.

Подписано в печать 2009. Формат 60×84 1/16. Уч.- изд.л. 4,0
Усл. -печ.л. 4,1. Бумага писчая. Тираж 100 экз. Заказ № _____

Отпечатано: отдел оперативной полиграфии Воронежского
государственного архитектурно-строительного университета
394006 Воронеж, 20-летия Октября, 84