

Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Владимирский государственный университет  
Кафедра строительного производства

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ТЕХНОЛОГИЯ  
ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ»

Владимир 2010

УДК 699.36  
ББК 31.36-038  
М54

Составители:

*Б. Г. Ким, Н. Н. Тур, К. М. Кузнецов, Ю. В. Баранова*

Рецензент:

Доктор технических наук, профессор  
кафедры строительного производства  
Владимирского государственного университета  
*А.С. Жив*

Печатается по решению редакционного совета  
Владимирского государственного университета

**Методические** указания к лабораторным работам по дисциплине «Технология теплоизоляционных материалов» / Владим. гос. ун-т; сост. : Б. Г. Ким [и др.]. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2010. – 36 с.

Содержат методические указания к лабораторным работам, а также библиографический список.

Предназначены для подготовки студентов 2-го курса всех форм обучения специальностей 270102 – промышленное и гражданское строительство, 270105 – городское строительство и хозяйство, 270106 – производство строительных материалов, изделий и конструкций, 270205 – автомобильные дороги и аэродромы, 270115 – экспертиза и управление недвижимостью, а также бакалавров и магистров по направлению «Строительство» в рамках инновационной программы.

Ил. 1. Табл. 3. Библиогр.: 4 назв.

УДК 699.36  
ББК 31.36-038

## Введение

*Теплоизоляционными* называют такие строительные материалы, которые имеют малую теплопроводность и благодаря этому используются для тепловой изоляции строительных конструкций зданий, а также для горячих и холодных поверхностей различного оборудования и трубопроводов.

Высокая пористость теплоизоляционных материалов – основное отличие их от других видов строительных материалов.

Многообразие видов теплоизоляционных материалов, в значительной степени отличающихся друг от друга строением и свойствами, обуславливает и многообразие методов определения показателей их качества. Например, среднюю плотность минеральной ваты определяют методом, отличающимся от метода, с помощью которого определяется эта же характеристика ячеистого бетона или другого твердого теплоизоляционного материала. Аналогичные различия в методах существуют и при определении других свойств теплоизоляционных материалов. Имеются и такие методы, которые применяются только для одного вида материала (например, содержание «корольков» в минеральной вате).

Несмотря на все многообразие методов, применяющихся при изучении свойств теплоизоляционных материалов, основная их цель – определение их качества и соответствия свойств материалов требованиям стандартов.

К основным показателям свойств теплоизоляционных материалов относят среднюю плотность, прочность, пористость, влажность, теплопроводность, температуроустойчивость, биостойкость, морозостойкость и некоторые другие показатели свойств, характерные для определенных видов теплоизоляционных материалов (например, огнеупорность, деформацию под нагрузкой при высоких температурах, дополнительную усадку, термостойкость).

**Подготовка образцов для испытаний.** При испытании крупноразмерных теплоизоляционных изделий на прочность, среднюю плотность, теплопроводность, влажность, температуроустойчивость, биостойкость, морозостойкость и т.д. из них обычно выпиливают, высверливают или вырезают образцы определенных размеров и формы, которые зависят от вида теплоизоляционного материала и характера испытания.

*Подготовка образцов из теплоизоляционных ячеистых бетонов.* Испытание изделий из ячеистых бетонов производят на образцах, выпиливаемых из отобранных для испытания плит или панелей. Обычно испытание на прочность при сжатии, морозостойкость, водопоглощение и среднюю плотность производят на образцах размером  $10 \times 10 \times 10$  или  $7 \times 7 \times 7$  см. Образцы выпиливают в количестве трех штук для каждого вида испытания из разных частей изделия. Выпиливание образцов следует производить таким образом, чтобы поверхность изделия не являлась поверхностью образца. Это делается потому, что при изготовлении изделий в местах соприкосновения с формой ячеистый бетон уплотняется и на расстоянии 7 – 10 мм от поверхности его свойства отличаются от свойств внутренних слоев.

*Подготовка образцов при испытании минераловатных плит.* Определение средней плотности минераловатных плит производят на целых изделиях. Для определения прочности при разрыве из изделия (вдоль волокон) вырезают три образца размером  $260 \times 50$  мм.

Величину уплотнения плит под нагрузкой определяют на образцах размером  $100 \times 100$  мм, которые вырезают по три штуки из каждой отобранной для испытания плиты по диагонали.

Влажность плит и содержание связующего вещества определяют на образцах в виде цилиндров диаметром 10 мм, которые высверливают пробочным сверлом в количестве 12 штук из разных мест изделия.

Испытание всех жестких и полужестких теплоизоляционных материалов на теплопроводность производят на образцах-дисках диаметром 250 мм и толщиной не менее 10 мм.

*Подготовка образцов при испытании древесноволокнистых плит.* Контроль качества древесноволокнистых плит путем определе-

ния их физико-механических свойств производят на образцах, которые вырезают из плиты, отступая от края 150 мм.

Образцы в виде квадрата предназначены для определения средней плотности, влажности, водопоглощения, коэффициента теплопроводности, образцы в виде балочек – для определения прочности плит при изгибе в продольном и поперечном направлениях.

*Подготовка образцов при испытании торфяных изоляционных плит.* Для испытания физико-механических свойств торфяных изоляционных плит производят их разрезку на образцы таким образом: образцы 1, 2 и 3 предназначены для определения влажности; 4, 5 и 6 – водопоглощения; 7 – коэффициента теплопроводности, а 8 и 9 – предела прочности при изгибе.

*Подготовка образцов для испытания мелких штучных теплоизоляционных материалов.* Все мелкогабаритные теплоизоляционные материалы в виде кирпича, небольших плит и блоков испытывают в основном на целых изделиях, а сыпучие и рыхлые – путем отбора и испытания средней пробы.

## Лабораторная работа № 1

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИСПЕРСНОСТИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Дисперсность сырьевых материалов и вяжущих веществ при производстве некоторых видов теплоизоляционных материалов оказывает решающее влияние на прочностные показатели готовых изделий, а в ряде случаев – на их среднюю плотность, пористую структуру и коэффициент теплопроводности. Поэтому знание дисперсности применяющегося сырья и вяжущих веществ позволяет регулировать технологический процесс производства и направлять его на получение изделий повышенного качества.

В зависимости от вида материала его дисперсность определяют *ситовым, седиментационным* анализами или измерением его *удельной поверхности*.

**Определение удельной поверхности.** Ситовый анализ может дать лишь приближенное представление о гранулометрическом составе мелкодисперсных материалов. Например, при определении дисперсности цемента теоретически, пользуясь самым мелким ситом (№ 008), можно было бы измерить суммарное количество зерен, величина которых меньше 0,04 мм. На самом же деле размеры этих зерен и их поверхность ситовым анализом установить не удастся. Чтобы иметь представление о суммарной поверхности мелкодисперсных сыпучих материалов, измеряют их удельную поверхность.

*Удельной поверхностью* дисперсного вещества называется сумма поверхностей всех зерен, содержащихся в 1 г этого вещества, исключая поверхность мест контакта зерен между собой.

Для определения удельной поверхности мелкодисперсных зерновых материалов предложен ряд методов. Наиболее распространенными являются методы с применением поверхностномера ПСХ-2.

В основу этого метода определения удельной поверхности мелкозернистых материалов положено измерение сопротивления, которое оказывает уплотненный слой испытуемого материала определенной толщины и площади поперечного сечения воздуху, просасываемому под некоторым постоянным давлением через этот слой.

*Определение удельной поверхности прибором ПСХ-2.* Способ определения удельной поверхности сыпучих материалов при помощи прибора ПСХ-2 является наиболее простым и поэтому наиболее распространенным. Однако некоторые конструктивные недостатки при-

бора не позволяют проводить испытание тонкодисперсных порошков. Результаты, получаемые при этом способе, не отличаются высокой точностью, но вполне обеспечивают необходимую в производственных условиях точность при испытании материалов средней степени дисперсности.

Принцип действия прибора основан на зависимости воздухопроницаемости слоя порошка от величины его удельной поверхности.

Прибор состоит из кюветы, плунжера, манометра, крана, резиновой груши и соединительных стеклянных трубок. Весь прибор помещен в деревянный футляр. Стеклянные части прибора смонтированы на панели, которая крепится к внутренней стенке футляра.

Кювета предназначена для укладки в нее испытуемого материала. Она представляет собой металлическую камеру цилиндрической формы, перегороденную на некоторой высоте металлическим перфорированным диском. Под диском имеется штуцер, посредством которого через резиновую трубку нижняя часть кюветы соединяется с жидкостным манометром. На внешней поверхности кюветы нанесена миллиметровая шкала.

Плунжер, при помощи которого производится уплотнение материала, находящегося в кювете, выполнен в виде цилиндра с упорным диском. В теле плунжера просверлены канал и отверстия для выхода воздуха. Цилиндр подогнан к кювете с просветом не более 0,15 мм. К вырезу упорного диска прикреплена металлическая планка с нониусом, которая вместе со шкалой делений, нанесенной на поверхности кюветы, позволяет измерять толщину слоя испытуемого материала с точностью до 1 мм.

Стеклянный одноколенный манометр длиной около 300 мм заполняется подкрашенной водой. Он предназначен для измерения давления воздуха под слоем испытуемого материала и в сочетании с секундомером дает возможность определять воздухопроницаемость слоя испытуемого материала.

Резиновая груша с клапанами служит для создания разрежения под слоем материала.

В комплект прибора входят секундомер и аптекарские весы с разновесами.

Испытание материала производят следующим образом. Высушивают испытуемый материал до постоянного веса при температуре 105 – 110 °С и затем охлаждают его до комнатной температуры в эк-

сикаторе. Пробу материала взвешивают с точностью до 0,01 г. Количество материала берут в соответствии с соотношением  $P = 3,33\gamma$  г, где  $\gamma$  – удельный вес испытуемого материала.

В тех случаях, когда определению подлежит смесь материалов, величина навески вычисляется по формуле

$$P = 3,33(A\gamma_1 + B\gamma_2 + C\gamma_3),$$

где А, В и С – количества весовых частей компонентов смеси, г;  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$  и  $\gamma_3$  – соответственно их удельные веса, г/см<sup>3</sup>.

На перфорированный диск укладывают кружок фильтрованной бумаги и высыпают в кювету испытуемый материал. Постукиванием выравнивают поверхность порошка, накрывают его кружком фильтровальной бумаги и уплотняют порошок при помощи плунжера, нажимая на него рукой.

Пользуясь нониусом на планке плунжера и шкалой на поверхности кюветы, определяют высоту слоя уплотненного материала L.

После удаления плунжера из кюветы открывают кран и при помощи груши создают разрежение под слоем материала. Это разрежение должно быть таким, чтобы жидкость в манометре поднялась до уровня верхней колбочки.

Затем закрывают кран и, пользуясь секундомером, замеряют время T, в течение которого мениск жидкости манометра пройдет между двумя соседними рисками. При быстром опускании столба жидкости замер времени лучше производить во время прохождения мениска жидкости между рисками в середине шкалы, а при медленном – в начале.

В журнал записывают температуру воздуха, при которой производилось определение.

Вычисление удельной поверхности испытуемого материала производят по формуле

$$S_0 = K \frac{M\sqrt{T}}{P},$$

где K – постоянная прибора (указывается в паспорте прибора для каждой пары рисок); T – время прохождения мениска жидкости между двумя рисками манометра, с; P – величина навески материала, г; M – величина, зависящая от высоты слоя материала и вязкости воздуха:

$$M = \left( 0,14\sqrt{120} \frac{1}{L} (4,9L - 3,33)^{\frac{3}{2}} \sqrt{\frac{1}{\eta}} \right).$$

Для ускорения проведения расчетов составляют таблицы, в которых указывают значение  $M$  в зависимости от температуры опыта и толщины слоя испытуемого материала и  $\sqrt{T}$  в зависимости от величины  $T$ . Обычно такие таблицы имеются в инструкции к прибору.

При проведении опытов необходимо следить за тем, чтобы количество жидкости в манометре было нормальным, т.е. чтобы ее уровень приходился против нижней риски. Уровень жидкости в манометре проверяют при пустой и открытой кювете.

Прибор должен быть герметичным. Для проверки герметичности кювету плотно закрывают резиновой пробкой, создают разрежение в приборе с помощью груши и наблюдают за поведением жидкости в манометре. Если прибор герметичен, то уровень жидкости остается одинаковым.

Так как высота слоя испытуемого материала в значительной степени влияет на правильность результатов испытания, то необходимо проверить точность измерительного устройства. С этой целью в кювету на перфорированный диск укладывают два кружочка фильтровальной бумаги, опускают плунжер в кювету и проверяют точность совпадения нулевых давлений нониуса и шкалы. Если имеется какое-либо несоответствие, то его необходимо устранить или учитывать при измерении высоты слоя материала.

Если отсутствует паспорт прибора или в нем нет данных о величине постоянной прибора  $K$ , то производят ее определение. Для этого необходимо иметь порошкообразный материал с известной удельной поверхностью. С этим порошком производят такой же опыт, как и при испытании материала с неизвестной удельной поверхностью и вычисляют постоянную прибора по формуле

$$K = \frac{S_0 P}{M \sqrt{T}},$$

где  $S_0$  – известная для данного материала величина удельной поверхности;  $P$ ,  $M$  и  $T$  – величины, определяемые при проведении опыта.

Определяя величину  $T$  во время прохождения мениска жидкости между рисками 1 – 2, 3 – 4, 1 – 3, и 1 – 4, вычисляют величины постоянных прибора:  $K_{1-2}$ ;  $K_{2-3}$ ;  $K_{1-3}$  и  $K_{1-4}$ .

Для определения удельной поверхности грубодисперсных порошков (с удельной поверхностью менее 1500 см<sup>2</sup>/г) следует брать навеску материала, численно равную удесятеренному удельному весу

этого материала и замерять время падения столба жидкости в манометре между рисками 3 и 4.

Величина  $M$  в этом случае определяется по таблице для одной трети измеренной высоты слоя материала, а расчет удельной поверхности производится по формуле

$$S_0 = 1,73K \frac{M\sqrt{T}}{P}, \text{ см}^2/\text{г}.$$

## Лабораторная работа № 2

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МИНЕРАЛЬНОЙ ВАТЫ

Минеральная вата представляет собой волокнистый материал, получаемый из силикатных расплавов. Сырьем для производства минеральной ваты служат многие горные породы, металлургические шлаки и отходы промышленности строительных материалов (бой глиняного и силикатного кирпича). При производстве ваты из того или иного сырья нередко возникает необходимость введения в состав шихты добавки, имеющей другой химический состав, для получения более качественного волокна.

Для характеристики химического состава сырья и самой ваты используют величину модуля кислотности, который представляет собой отношение суммы кислотных окислов ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ ), содержащихся в сырье или вате, к сумме основных окислов.

В зависимости от величины средней плотности минеральная вата делится на следующие марки: 75, 100, 125 и 150.

Наряду со стандартными определениями средней плотности, коэффициента теплопроводности при определении качества минеральной ваты проводят ряд специфических определений: устанавливают количество «корольков», измеряют толщину волокон, определяют содержание битума или минеральных масел, а также количество серы.

Знание этих характеристик позволяет полнее оценивать качество ваты, определять области ее применения.

**Определение средней плотности рыхлых теплоизоляционных материалов.** Средняя плотность рыхлых теплоизоляционных материалов волокнистого строения зависит от многих факторов. На-

пример, на среднюю плотность минеральной ваты оказывают влияние толщина волокон, количество корольков (стекловидных, невытянувшихся в волокна включений шаровидной или грушевидной формы размером более 0,25 мм), степень уплотнения ваты. Для получения сравнимых результатов средней плотности волокнистых материалов их определяют под постоянной нагрузкой. Так, например среднюю плотность минеральной ваты определяют под нагрузкой 0,02 кг/см<sup>2</sup>. С этой целью берут пять навесок ваты по 0,5 кг каждая. Взвешивание навески производят с точностью до 1 мг. Вата для каждой навески отбирается как средняя проба (из пяти упаковочных мест отбирают по 500 г ваты).

Навеску ваты слоями укладывают в металлический цилиндр. Сверху на вату при помощи подъемного устройства опускают металлический диск весом 7 кг, что соответствует давлению на вату 0,02 кг/см<sup>2</sup>. Под нагрузкой вату выдерживают пять мин и затем определяют высоту слоя ваты при помощи шкалы, нанесенной на стержне.

Зная массу ваты, вычисляют ее объем и определяют среднюю плотность по известной формуле. Объемный вес ваты данной партии вычисляют как среднее арифметическое значение по результатам определения пяти проб.

#### **Определение влажности теплоизоляционных материалов.**

Теплопроводность теплоизоляционных материалов резко возрастает при их увлажнении. Влияние влажности на теплопроводность материалов объясняется тем, что коэффициенты теплопроводности воздуха и воды отличаются друг от друга примерно в 20 раз. Поэтому определение влажности теплоизоляционных материалов и конструкций является одним из основных испытаний, которым подвергают теплоизоляционные материалы.

Влажность характеризует степень увлажнения материала и обычно выражается в процентах по весу или объему.

При весовом выражении влажности различают абсолютную и относительную влажность.

*Абсолютная влажность* ( $W_a$ ) – отношение веса влаги, содержащейся в материале, к весу самого материала в абсолютно сухом состоянии:

$$W_a = \frac{m_2 - m_1}{m_1} 100 \%,$$

где  $m_2$  – масса влажного вещества, г;  $m_1$  – масса сухого вещества, г.

*Относительная влажность* ( $W_{от}$ ) – отношение веса влаги, содержащейся в материале, к весу этого материала во влажном состоянии:

$$W_{от} = \frac{m_2 - m_1}{m_2} 100 \%$$

Для пересчета абсолютной влажности в относительную и обратно применяют следующие формулы:

$$W_{от} = \frac{100W_a}{100 + W_a}; W_a = \frac{100W_{от}}{100 - W_{от}}$$

Обычно влажность теплоизоляционных материалов характеризуют абсолютной весовой влажностью, реже – относительной.

Существуют несколько способов определения влажности теплоизоляционных материалов – это методы, основанные на нагревании (высушивании) материалов в сушильном шкафу, ускоренные методы и методы косвенного определения влажности, например, основанные на изменении электропроводности материалов в зависимости от степени их увлажнения.

**Метод нагревания материалов.** Обычно влажность того или иного теплоизоляционного материала определяют путем испарения из него воды в лабораторных сушильных шкафах. Методика такого определения заключается в следующем.

Отобранную пробу материала помещают в герметически закрытый сосуд и взвешивают с точностью до 0,1 г. Затем пробу высушивают в сушильном шкафу до постоянного веса при температуре 105 – 110 °С. Содержание влаги в материале вычисляют по формуле определения абсолютной влажности.

Отбор проб и установление средней влажности партии материала производят следующим образом.

1. Для *рыхлых* теплоизоляционных материалов (минеральная, стеклянная вата, вспученные перлит и вермикулит и т.п.) общая проба должна быть не менее 30 г и состоять из трех навесок не менее чем по 10 г каждая, взятых из отобранных для испытаний любых трех упаковочных мест.

2. Для определения влажности *гибких* материалов (например, минераловатного войлока) общая проба должна быть не менее 15 г и состоять из трех навесок по 5 г каждая, взятых из трех различных

мест отобранного для испытания полотнища (изделия). Влажность такой пробы принимают за среднюю влажность одного изделия, а влажность партии вычисляют как среднюю арифметическую величину по результатам испытания всех отобранных для этой цели изделий.

3. Для определения влажности жестких теплоизоляционных материалов (совелитовых, вулканитовых, диатомитовых, фибролитовых изделий, изделий из ячеистых бетонов и т.п.) общая проба должна быть не менее 20 г и состоять из двух навесок по 10 г каждая, взятых из каждого изделия, отобранного для испытания. Среднюю влажность партии вычисляют как среднюю арифметическую величину по результатам испытания трех отобранных для этой цели изделий.

**Определение содержания корольков в минеральной вате.** На свойства минеральной ваты большое влияние оказывает качество переработки расплава в минеральное волокно. В процессе переработки, в силу различных причин, не весь расплав превращается в волокна. Часть расплава не вытягивается в нити, а застывает в виде включений шаровидной, грушевидной или гантелеобразной формы. Эти включения, называемые «корольками», в значительной мере ухудшают свойства минеральной ваты, увеличивая ее среднюю плотность и коэффициент теплопроводности.

Опыт проводят следующим образом. Из любых пяти упаковочных мест отбирают по одной навеске минеральной ваты весом 50 г каждая; взвешивание производят с точностью до 1 г. Навеску ваты прокалывают в муфельной печи при температуре 700 – 800 °С в течение 30 мин, а затем помещают в цилиндр прибора и приводят прибор во вращение на 15 мин.

В процессе работы прибора часть ваты гранулируется (скатывается в комочки) и остается в цилиндре прибора, другая часть (в виде измельченных волокон и корольков) проходит через отверстия в стенках цилиндра и собирается в приемнике, расположенном под цилиндром. Измельченные волокна ваты удаляют из приемника струей воздуха (при помощи мехов), а «корольки» выгружают, просеивают через сито с отверстиями 0,25 мм. Остаток на сите взвешивают с точностью до 0,1 г. Вес остатка «корольков» на сите (в граммах) представляет собой содержание в навеске ваты «корольков» размером более 0,25 мм (в процентах).

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

**Определение диаметра волокон минеральной ваты.** Свойства минеральной ваты в значительной степени зависят от среднего диаметра волокон. Вата с диаметром волокон от 2 до 10 мк имеет меньший объемный вес и коэффициент теплопроводности. При более тонких волокнах вата слеживается, уплотняется, а при слишком толстых волокнах снижаются теплотехнические качества минеральной ваты и увеличивается ее объемный вес.

Диаметр волокон минеральной ваты определяют с помощью микроскопа при увеличении в 450 – 600 раз. Удобно пользоваться микроскопом МБ-9 (биологическим): он позволяет получать различное увеличение, так как в комплекте имеется набор объективов и окуляров различной степени увеличения. Комбинируя номера объективов и окуляров, можно получать необходимую степень увеличения.

Для определения линейных размеров предметов, рассматриваемых с помощью микроскопа, в окуляр вкладывается линза с делениями (линеечка). Сравнивая размеры исследуемого предмета с делениями этой линеечки, определяют размеры предмета.

Для определения толщины волокна минеральной ваты в микронах необходимо вначале определить цену делений линеечки. В каждом микроскопе имеется приспособление для определения цены деления линеечки окуляра, называемое объект-микрометр. Оно представляет собой металлическую пластинку с вмонтированным в нее стеклышком, на котором нанесены деления размером 0,01 мм.

Объект-микрометр устанавливают в зажимы предметного столика микроскопа. Затем, добившись с помощью регулировочных винтов такой установки микроскопа, при которой получается отчетливое изображение делений объект-микрометра и линеечки окуляра, наложенных друг на друга, определяют цену делений линеечки. Для этого на условном интервале  $a$ , границы которого определяются совпадением делений объект-микрометра и линеечки, подсчитывают количество делений объект-микрометра  $N$  и линеечки  $n$ . Цену делений определяют по формуле

$$l = \frac{N}{n} 0,01 \text{ мм}; \quad l = \frac{0,01N}{n} 1000 \mu.$$

После этого от каждого из пяти упаковочных мест из различных частей берут по четыре навески ваты весом около 1 г. Все отобранные навески перемешивают, а затем разделяют на 10 примерно равных частей. Каждую часть рассматривают под микроскопом, определяя диаметр волокон. Средний диаметр волокон ваты вычисляют как среднее арифметическое по результатам 100 определений.

Каждое определение производят следующим образом. На предметное стекло микроскопа помещают испытуемый образец ваты. Для предотвращения возможного сдвига волокон на предметное стекло вначале наносят каплю эмерсионной жидкости, которая закрепляет вату на стекле. Вату разравнивают иглой, укладывая ее тонким слоем и, пользуясь окуляром, цена делений линейки которого известна, производят измерения.

**Определение содержания органических связующих веществ или минеральных масел в минеральной вате и изделиях из нее.** Допускается содержание битума или минеральных масел в минеральной вате не более 1 %. Повышенное содержание этих веществ делает вату непригодной для применения при высоких температурах, так как в этом случае минеральные масла или битум могут возгораться. Качество минераловатных изделий во многом зависит от содержания в них органических веществ.

Определение органических веществ или минеральных масел в минеральной вате и в изделиях из нее производят следующим образом.

Из трех упаковочных мест берут по три навески минеральной ваты по 5 г. Навеску ваты высушивают до постоянного веса при температуре 105 – 110 °С и определяют вес, взвешивая с точностью до 0,01 г. Затем навеску прокаливают в муфельной печи при температуре 450 °С до полного выгорания битума или минеральных масел и снова взвешивают, определяя вес ваты после прокаливания.

Содержание связующих веществ в минераловатных изделиях определяют, используя те образцы, на которых производилось определение влажности изделий. Их прокаливание производят так же, как прокаливание навесок минеральной ваты. Испытание считается законченным, если результаты взвешивания после повторного прокаливания совпадут с предыдущими результатами или разница результатов будет составлять не более 0,02 %.

Содержание органических связующих или минеральных масел вычисляют по формуле

$$C = \frac{G_1 - G_2}{G_2} 100 \%,$$

где  $G_1$  - вес высушенной навески ваты или партии образцов, г;  
 $G_2$  - вес навески ваты или партии образцов поле прокаливания, г.

Содержание битума или минеральных масел в партии ваты вычисляют как среднее арифметическое по результатам девяти определений, а содержание органических связующих веществ в минераловатных изделиях – как среднее арифметическое по результатам двух определений (двух партий образцов).

**Определение уплотнения минераловатных плит под нагрузкой** помогает установить их пригодность для эксплуатации. Если величина уплотнения плит превышает допускаемую, установленную ГОСТом, то такие плиты бракуют, так как они в условиях эксплуатации не имеют нужных теплотехнических качеств.

Степень уплотнения плит под нагрузкой определяют на специальном приборе. Из каждого изделия, по которым определялся объемный вес данной партии плит, вырезают по диагонали по три образца размером  $100 \times 100$  мм. Образец укладывают на основание прибора. Подвижную часть прибора общим весом 1,7 кг подводят к поверхности образца и закрепляют стопорным винтом. Затем ослабляют винт и создают удельную нагрузку на образец, равную  $0,017$  кг/см<sup>2</sup>. Под этой нагрузкой образец выдерживают при температуре  $18 - 20$  °С. Время выдерживания для плит на битумной связке составляет 30 мин, а на фенольной – 15 мин.

Затем с помощью стрелки-указателя и шкалы измеряют высоту образца. Уплотнение изделия вычисляют (в процентах) по формуле

$$K_y = \frac{h_n - h_1}{h_n} 100,$$

где  $h_n$  - толщина образца до уплотнения, мм;  $h_1$  - толщина образца после уплотнения, мм.

Величину уплотнения плит данной партии вычисляют как среднее арифметическое по результатам девяти (или трех) определений.

**Определение коэффициента теплопроводности.** Все теплоизоляционные материалы вследствие высокой пористости имеют малый коэффициент теплопроводности, который является важнейшим показателем качества этих материалов. Он имеет сложную размерность, которая может быть получена из уравнения основного закона распространения тепла путем теплопроводности, установленного Фурье.

Коэффициент теплопроводности  $\lambda$  выражается следующей зависимостью:

$$\lambda = \frac{\delta Q}{F\tau \cdot \Delta t},$$

где  $Q$  – количество тепла, ккал;  $F$  – площадь сечения, перпендикулярная направлению теплового потока,  $m^2$ ;  $\tau$  – время прохождения теплового потока, ч;  $\Delta t$  – разность температур на противоположных поверхностях материала,  $^{\circ}C$ ;  $\delta$  – толщина материала, м.

Величина коэффициента теплопроводности представляет собой количество тепла (Вт), проходящее через  $1 m^2$  поверхности материала при толщине его в 1 м за время в 1 ч при разности температур на противоположных поверхностях материала в  $1^{\circ}C$ .

Размерность коэффициента теплопроводности –  $Вт/м \cdot ^{\circ}C$ .

Коэффициент теплопроводности определяют по формуле Некрасова

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

где  $d$  – относительная плотность материала по отношению к плотности воды, равной  $1 г/см^3$  при  $4^{\circ}C$ .

**Определение средней плотности гибких теплоизоляционных материалов.** Среднюю плотность гибких теплоизоляционных материалов (например, минераловатного войлока или матов) определяют следующим образом. Из разных мест каждого из трех полотнищ войлока, отобранных для испытаний, вырезают по три образца размером  $100 \times 100$  мм. Взвешенный с точностью до  $0,01$  г образец укладывают на основание специального прибора. Пластинку весом  $500$  г подводят вплотную к другой пластинке и закрепляют винтом. Затем пластинки опускают вниз, не доводя нижнюю поверхность пластинки на  $1 - 2$  см до поверхности образца, и закрепляют их винтом. Ослабив винт, опускают пластинку на поверхность образца, оставляют ее в этом

положении 5 мин, после чего при помощи стрелки производят отсчет по шкале и определяют толщину образца войлока под нагрузкой 0,005 кг/см<sup>2</sup>.

### **Лабораторная работа № 3**

#### **ЯЧЕИСТЫЕ БЕТОНЫ**

Ячеистые бетоны представляют 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.

По виду вяжущего вещества ячеистые бетоны подразделяют на следующие разновидности:

1. На цементе: пенобетон и газобетон.
2. На известковом вяжущем: пеносиликат и газосиликат.
3. На гипсовом вяжущем: пеногипс и газогипс.

Кроме этого, при получении ячеистых бетонов могут быть использованы гипсоцементнопуццолановые вяжущее и смешанное вяжущее, состоящее из портландцемента и извести.

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 перемешивании с применением вибрационной обработки или без нее.

В качестве порообразователя при производстве газобетонов и газосиликатов применяют алюминиевую пудру марок ПАК-3 и ПАК-4 значительно реже – технический пергидроль, представляющий собой 30 %-й раствор перекиси водорода в воде.

В качестве мелкого заполнителя в ячеистых бетонах чаще всего применяют молотый кварцевый песок и золу-унос, получаемую при сжигании твердого пылевидного топлива.

В процессе работы каждая подгруппа выполняет следующие операции:

- 1) производит расчет состава ячеистого бетона заданного состава;

- 2) приготавливает порообразователь;
- 3) формует контрольные образцы;
- 4) производит испытание образцов на объемный вес и прочность при сжатии, вносит коррективы в состав ячеистого бетона и производит подсчет расхода материалов на  $1 \text{ м}^3$  готовых изделий.

### **Подбор состава ячеистого бетона.**

Цель данной работы – научить студентов определять состав теплоизоляционного ячеистого бетона в зависимости от заданных свойств, применяющихся сырьевых материалов и порообразователей.

*Приготовление водно-алюминиевой суспензии.* С целью активизации алюминиевой пудры и лучшего перемешивания с раствором производят ее обработку поверхностно-активными веществами. Не прокаленную алюминиевую пудру ПАК-3 и ПАК-4 смешивают с раствором сульфитно-спиртовой барды (ССБ), канифольного мыла и т.п.

Смешивание производят в следующем порядке. В сосуд емкостью 7 – 10 л (при лабораторных исследованиях 0,5 – 1 л) осторожно всыпают необходимое количество пудры, затем вливают раствор поверхностно-активного вещества в количестве 5 % (из расчета на сухое вещество) от веса алюминиевой пудры и 1 – 3 л (при лабораторных исследованиях 0,3 – 0,5 л) воды. После тщательного перемешивания в течение 2 – 4 мин, когда все частицы пудры будут смочены раствором, суспензия считается готовой.

Подбор состава теплоизоляционного ячеистого бетона производят для получения изделий заданного объемного веса и прочности при возможно меньшем расходе вяжущего и порообразователей.

Исходными данными для подбора являются средняя плотность образцов в сухом состоянии и кубиковая прочность их при сжатии, а также вид порообразователей и сырьевых материалов.

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

Для пробных замесов ячеистого бетона соотношение между кремнеземистым компонентом и вяжущим веществом принимают по табл. 1.

Работа по подбору состава ячеистого бетона состоит из следующих этапов:

- а) определение исходного водотвердого отношения (В/Т);

- б) расчет расхода материалов на один замес массы исходного состава;
- в) приготовление пробных замесов и формование образцов;
- г) тепловлажностная обработка образцов по заданному режиму;
- д) испытание образцов и расчет окончательного состава ячеистого бетона.

*Определение исходного В/Т.* За исходные В/Т принимают такие величины, которые соответствуют значениям текучести раствора, приведенным в табл. 1.

Таблица 1

*Текучесть раствора (для определения В/Т), см*

Плотность ячеистого бетона в сухом состоянии, кг/м <sup>3</sup>	Пенобетон на цементе, извести, смешанном вяжущем	Газобетон на основе			
		портланд-цемента и смешанном вяжущем	извести	нефелинового цемента	известково-шлакового цемента
400	34	34	25	42	26
500	30	30	23	38	24
600	26	26	21	32	22
700	24	22	19	26	20
900	20	15	15	18	14

Текучесть раствора определяют по его расплыву (см), используя прибор Суттарда, который состоит из медного или латунного полого цилиндра с внутренним диаметром 5 см и высотой 10 см, стеклянного листа квадратной формы со стороной 45 см и листа бумаги с нанесенными на нем концентрическими окружностями через каждые 0,5 или 1 см, который во время проведения опыта подкладывают под стекло.

Перед испытанием цилиндр и стекло протирают мягкой тканью, смоченной чистой водой. Стекло кладут в строго горизонтальном положении и ставят на него цилиндр так, чтобы внешний контур цилиндра совпал с окружностью диаметром 6 см. Испытуемый раствор наливают в цилиндр доверху и выравнивают поверхность раствора ножом или шпателем. Затем быстрым движением поднимают цилиндр снизу вверх; раствор при этом растекается по стеклу в виде лепешки, диаметр которой обуславливается консистенцией смеси.

Для приготовления раствора требуются 0,4 кг сухой смеси (исходного состава) и 0,16 – 0,28 л воды.

Воду затворения для газобетона предварительно нагревают до температуры 70 – 80 °С. Сухую смесь помещают в чашку и приливают к ней воду отдельными порциями до получения хорошо перемешанной сметанообразной массы.

Водотвердое отношение, как отношение веса воды затворения к весу сухой смеси принимают за исходное, если полученная текучесть раствора отклоняется от данных табл. 1 не более, чем на ± 1 см.

*Расчет расхода материалов на один замес исходного состава.* Расход минеральных составляющих ячеистой смеси и воды в килограммах на один замес определяют по следующим формулам:

$$\text{вяжущего: } P_{\text{вяж}} = \frac{\gamma_{\text{сух}}}{K_c(1+C)} v;$$

$$\text{извести: } P_{\text{и}} = P_{\text{вяж}} n;$$

$$\text{цемента: } P_{\text{ц}} = P_{\text{вяж}} - P_{\text{и}};$$

$$\text{кремнеземистого компонента: } P_{\text{к}} = P_{\text{вяж}} C;$$

$$\text{гипса молотого двуводного: } P_{\text{г}} = P_{\text{и}} 0,33;$$

$$\text{воды: } V = (P_{\text{вяж}} + P_{\text{и}}) V/T,$$

где  $\gamma_{\text{сух}}$  - заданный объемный вес ячеистого бетона в сухом состоянии, кг/л;  $C$  – число весовых частей кремнеземистого компонента, приходящихся на 1 весовую часть вяжущего;  $K_c$  - коэффициент увеличения веса сухой смеси в результате твердения вяжущего;  $v$  - объем замеса в литрах, 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 не менее 1,5);  $n$  – весовая доля извести в вяжущем;  $V/T$  – водотвердое отношение.

При расчете расхода порообразователя (пенообразователя или газообразователя) предварительно находят величину пористости, которая должна создаваться порообразователем для получения ячеистого бетона заданного объемного веса ( $P_{\Gamma}$ ):

$$P_{\Gamma} = 1 - \frac{\gamma_{\text{сух}}}{K_c} (W + V/T),$$

где  $W$  – удельный объем сухой смеси, л/кг.

Количество газообразователя или пены теоретически должно быть таким, чтобы выделенный объем газа или введенной пены соответствовал получению пористости, найденной по формуле.

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

$$P_{\Pi} = \frac{\Pi_{\Gamma}}{K_{\alpha}} \nu,$$

где  $K$  – выход пор (количество газа или объем пены, получаемые из 1 кг порообразователя), л/кг;  $\alpha$  – коэффициент использования порообразователя.

Исходные величины  $K_c$ ,  $W$ ,  $K$  и  $\alpha$  принимают следующие:  $K_c=1,1$ ;  $\alpha = 0,85$ ;  $K = 18 - 20$  л/кг (при использовании пенообразователя) и  $K = 1390$  л/кг (при использовании алюминиевой пудры);  $W$  принимают по табл. 2 в зависимости от вида кремнеземистого компонента, вида вяжущего вещества и их весового соотношения.

Алюминиевую пудру вводят в раствор в виде водно-алюминиевой суспензии. Для ее приготовления на 1 весовую часть алюминиевой пудры расходуется 0,05 весовой части сухого поверхностно-активного вещества (канифольного мыла, гидролизованной боенской крови, ССБ или др.) и 10 – 15 весовых частей воды. Эту воду учитывают в общем количестве воды затворения.

Таблица 2

*Значения удельного объема сухой смеси для расчета состава ячеистого бетона*

Вид кремнеземистого компонента	Вид вяжущего							
	Портланд-цемент		Смешанное вяжущее, нефелиновый цемент		Известь		Известково-шлаковый цемент	
	С	W	С	W	С	W	С	W
Песок ( $\gamma_{уд} = 2,65$ )	1	0,34	1,5	0,36	3	0,38	1	0,32
Зола ( $\gamma_{уд} = 2,36$ )	1	0,38	1,5	0,40	3	0,40	1	0,36
Легкая зола ( $\gamma_{уд} = 2$ )	1	0,44	1,5	0,48	3	0,48	1	0,42

*Примечание:* Соотношение цемента и извести – 1:1.

Выход пор при использовании алюминиевой пудры устанавливают расчетным путем.



Отсюда следует, что при реакции 54 г алюминия с известью выделяется 6 г водорода. Одна грамм-молекула газа занимает при нормальных условиях объем в 22,4 л, следовательно, 1 г алюминия выделяет при нормальных условиях

$$\frac{3 \cdot 22,4}{54} = 1,244, \text{ л.}$$

При температуре смеси  $t^\circ$  объем водорода, выделяемого 1 г алюминия, вычисляют по закону Гей-Люссака, используя формулу

$$K = 1,244 \left( 1 + \frac{t^\circ}{273} \right), \text{ л/г.}$$

*Приготовление пробных замесов и формование образцов.* После расчета исходного состава приступают к приготовлению замесов с целью выявления оптимального В/Т. Для этого готовят пять 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 объемный вес раствора ( $\gamma_p$ , кг/л), контролируют его температуру (при изготовлении газобетона), а также определяют среднюю плотность ячеистой смеси ( $\gamma_y$ , кг/л). По полученным значениям  $\gamma_p$  и  $\gamma_y$  в каждом замесе вычисляют фактическую величину пористости, создаваемую порообразователем:

$$P_\Gamma = \frac{\gamma_p - P_\Pi}{\gamma_y},$$

где  $P_\Pi$  - расход порообразователя на 1 л ячеистого бетона (для газобетона этой величиной можно пренебречь), кг.

Водотвердое отношение состава (В/Т), не имеющего осадки после его поризации и показавшего наибольшую величину  $P_\Gamma$ , принимают за оптимальное.

Для выявления оптимальной температуры раствора (при подборе состава газобетона) готовят еще пять замесов с оптимальным

В/Т, изменяя температуру раствора в пределах  $\pm 3$  и  $\pm 7^\circ\text{C}$  от исходной ( $40^\circ\text{C}$ ).

Оптимальное соотношение между кремнеземистым компонентом и вяжущим веществом находят изменением числа весовых частей, приготавливая пять замесов по данным табл. 2 с оптимальными значениями В/Т и температуры раствора.

Расход порообразователя для этих замесов уточняют путем умножения расчетного расхода его (по исходным величинам  $\alpha$  и  $K$ ) на поправочный коэффициент  $K'$ , вычисляемый из отношения требуемой пористости ( $\Pi_r$ ) к пористости, фактически получившейся в замесе, по которой приняты оптимальное В/Т и оптимальная температура.

Из каждого замеса формуют четыре-шесть образцов размером  $7 \times 7 \times 7$  или  $10 \times 10 \times 10$  см.

Перед формованием образцов необходимо хорошо очистить и смазать формы, а при формовании газобетонных образцов еще и подогреть их до температуры  $40 - 45^\circ\text{C}$ .

Степень заполнения форм газобетонной смесью устанавливают расчетом по весу или по объему. В первом случае определяют вес газобетонной смеси ( $P_{CM}$ ), укладываемой в форму, по формуле

$$P_{CM} = 1,1(1 - \Pi_r) \gamma_p v_{\Phi},$$

где  $v_{\Phi}$  - объем формы, л.

Во втором случае определяют высоту заливки ( $h$ ) в долях или в процентах от высоты формы  $h = 1,1(1 - \Pi_r)$ .

*Испытание образцов и расчет окончательного состава ячеистого бетона.* После автоклавной обработки образцы вынимают из форм, сушат при температуре  $105 - 110^\circ\text{C}$  до постоянного веса и испытывают (определяют объемный вес и предел прочности при сжатии). При испытании на прочность образцов размером  $7 \times 7 \times 7$  см необходимо полученные результаты привести к показателям образцов с размером ребра 10 см путем умножения числового значения предела прочности образца с ребром 7 см на поправочный коэффициент, который в данном случае будет равен 0,9.

Результаты работы по подбору состава ячеистого бетона рекомендуется записывать по следующей форме:

Заданный объемный вес ячеистого бетона, кг/м <sup>3</sup>	Соотношение между кремнеземистым компонентом и вяжущим	Доля извести в вяжущем веществе	В/Т	t раствора, °С	$\gamma_p$ , кг/м <sup>3</sup>	$\gamma_y$ , кг/м <sup>3</sup>	Фактический объемный вес ячеистого бетона, кг/м <sup>3</sup>	$R_{сж}$ , кг/см <sup>2</sup>

Состав шихты, при котором образцы показали наибольшую прочность, но не менее заданной, принимают за оптимальный.

Для расчета окончательного расхода материалов на 1 м<sup>3</sup> или на один замес для получения ячеистого бетона заданного объемного веса необходимо уточнить принятые при расчете исходные величины  $K$ ,  $W$ ,  $K_c$  и  $\alpha$ .

Выход пор ( $K$ ) для пенообразователя находят из отношения объема пены к ее весу, а выход пор газообразователя не уточняют.

Удельный объем сухой смеси ( $W$ ) находят по средней плотности раствора и водотвердому отношению по формуле

$$W = \frac{1 + B/T}{\gamma_p} - B/T.$$

Коэффициент увеличения массы сухой смеси за счет связанной воды ( $K_c$ ) уточняют по фактическим значениям  $\gamma_{сух}$  и  $\gamma_y$  по формуле

$$K_c = \frac{\gamma_{сух}}{\gamma_y - P_{II}} (1 + B/T),$$

где  $P_{II}$  - расход порообразователя на 1 л ячеистого бетона (для газобетона этой величиной пренебрегают), кг.

Коэффициент использования порообразователя ( $\alpha$ ) находят по фактическим величинам  $P_{Г}$ ,  $K$  и  $v$  путем расчета по формуле

$$\alpha = \frac{P_{Г}}{K P_{II}} v.$$

**Пример расчета состава ячеистого бетона.** Требуется получить ячеистый бетон с применением смешанного (цементно-

известкового) вяжущего объемного веса  $500 \text{ кг/м}^3$  с возможно большей прочностью. Объем одного замеса – 10 л.

Исходные материалы: портландцемент марки 500, молотая известь-кипелка активностью 70 %, зола-унос ( $\gamma_{\text{уд}} = 2,06 \text{ г/см}^3$ ), порообразователь – алюминиевая пудра или ГК, поверхностно-активное вещество – мылонафт, замедлитель скорости гидратации извести-кипелки – молотый двуводный гипс.

1. Используя соответствующие формулы, подсчитываем расход материалов на один замес с учетом следующих исходных величин:  $K_c = 1,1$ ;  $C = 1,5$  и  $n = 0,5$  (см. табл. 1,2).

По табл. 1 находим, что распыл массы (текучесть раствора) должен быть равен 30 см. Опытным путем устанавливаем, что такая текучесть раствора имеет место при  $B/\Gamma = 0,64$ .

По табл. 2 находим, что при применении данных материалов  $W = 0,48 \text{ л/кг}$ ; для газобетона  $K = 1,39 \text{ л/кг}$ , а для пенобетона  $K = 18 \text{ л/кг}$ , или  $0,018 \text{ л/г}$ ;  $\alpha = 0,85$ .

Установив эти величины, производим расчет расхода материалов:

- вяжущего  $P_{\text{вяж}} = \frac{0,5}{1,1(1+1,5)} \cdot 10 = 1,8 \text{ кг}$ .
- извести  $P_{\text{И}} = 1,8 \cdot 0,5 = 0,9 \text{ кг}$ ;
- цемента  $P_{\text{Ц}} = 1,8 - 0,9 = 0,9 \text{ кг}$ ;
- кремнеземистого компонента  $P_{\text{К}} = 1,8 \cdot 1,5 = 2,7 \text{ кг}$ ;
- молотого двуводного гипса  $P_{\text{Г}} = 0,9 \cdot 0,03 = 0,027 \text{ кг}$ ;
- воды  $B = (1,8+2,7)0,64 = 2,88 \text{ л}$ .

Пористость, которую необходимо создать при помощи порообразователя, для получения заданного объемного веса

$$P_{\Gamma} = 1 - \frac{0,5}{1,1} (0,48 + 0,68) = 0,51.$$

Зная пористость, определяем расход порообразователей:

- алюминиевой пудры  $P_{\text{П}} = \frac{0,51}{1,39 \cdot 0,85} \cdot 10 = 4,32 \text{ г}$ ;
- мылонафта для приготовления водно-алюминиевой суспензии:  
 $P_{\text{М}} = 4,32 \cdot 0,05 = 0,22 \text{ г}$ ;

- водного раствора пенообразователя (пены) для пенобетона:

$$P_{\Pi} = \frac{0,51}{18 \cdot 0,85} \cdot 10 = 0,333 \text{ кг.}$$

2. Готовим пять замесов с В/Т, равным 0,60; 0,62; 0,64; 0,66 и 0,68. Допустим, что В/Т = 0,64 оказалось оптимальным.

Приготовив еще пять замесов с различной температурой, определяем, что при температуре 40 °С наблюдалось максимальное вспучивание массы.

3. С целью установления оптимального соотношения между кремнеземистым компонентом и вяжущим веществом готовим пять замесов при В/Т = 0,64 и при температуре раствора 40 °С, при этом принимаем число весовых частей кремнеземистого компонента (С) в следующих пределах: 1,0; 1,25; 1,5; 1,75; 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 уточняем величины W, K<sub>с</sub> и α.

Допустим, что фактические замеры показали:

- средняя плотность раствора  $\gamma_p = 1,45$  кг/л;
- средняя плотность газобетонной смеси  $\gamma_{я} = 0,775$  кг/л;
- средняя плотность пенобетонной смеси  $\gamma_{я} = 0,808$  кг/л;
- средняя плотность бетона в сухом состоянии  $\gamma_{сух} = 0,544$  кг/л.

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

Величину удельного (абсолютного) объема сухой смеси (W) уточняем по фактическому объемному весу раствора:

$$W = \frac{1 + В/Т}{\gamma_p} - В/Т = \frac{1 - 0,64}{1,45} - 0,64 = 0,49 \text{ л/кг.}$$

Фактически полученную пористость (П<sub>Г</sub>) рассчитываем по фактическому объемному весу полученной ячеистой смеси за вычетом веса пенообразователя, т.е. если объемный вес пенобетонной смеси равен 0,808, то без учета веса пенообразователя он будет равен 0,808 – 0,333 = 0,775:

$$\Pi_{\Gamma} = 1 - \frac{0,775}{1,45} = 0,47 \text{ – для пенобетона (газобетона).}$$

Затем уточняем коэффициент использования порообразователя. Определяем  $\alpha$  для газобетона, для чего предварительно вычисляем фактический объем газобетонной смеси по ее массе и средней плотности:

$$v = \frac{P_{\text{вяж}} + P_{\text{К}} + P_{\text{В}}}{\gamma_{\text{я}}} = \frac{7,41}{0,775} = 9,562 \text{ л.}$$

Тогда коэффициент использования порообразователя (ПАК-3) будет равен

$$\alpha_{\Gamma} = \frac{\Pi_{\Gamma}}{P_{\text{ПК}}} v = \frac{0,47}{1,39 \cdot 4,32} \cdot 9,562 = 0,75.$$

Определяем  $\alpha$  в пенобетоне, предварительно вычислив объем пенобетонной смеси без учета объема пены:

$$v = \frac{7,41}{0,775} = 9,562 \text{ л, } \alpha_{\text{П}} = \frac{0,47}{18 \cdot 0,333} \cdot 9,562 = 0,75.$$

Уточняем величину коэффициента связанной воды

$$K_{\text{с}} = \frac{\gamma_{\text{сух}}}{\gamma_{\text{я}}} (1 + \text{В/Т}) = \frac{0,544}{0,755} \cdot 1,64 = 1,15.$$

5. По уточненным значениям  $K_{\text{с}}$ ,  $W$ ,  $\Pi_{\Gamma}$  и  $\alpha$  производим окончательный расчет расхода порообразователей.

Требуемая величина пористости составит

$$\Pi_{\Gamma} = 1 - \frac{\gamma_{\text{сух}}}{K_{\text{с}}} (W + \text{В/Т}) = 1 - \frac{0,5}{1,15} (0,49 + 0,64) = 0,495.$$

Расход ПАК-3 на один замес по уточненным данным составит

$$P_{\text{П}} = \frac{\Pi_{\Gamma}}{K} v = \frac{0,495}{1,39 \cdot 0,75} \cdot 10 = 4,75 \text{ г.}$$

Расход рабочего раствора ГК по уточненным данным составит

$$P_{\text{П}} = \frac{0,495}{18 \cdot 0,75} \cdot 10 = 0,367 \text{ кг.}$$

Окончательные данные по составу ячеистого бетона представлены в табл. 3.

Таблица 3

## Состав ячеистого бетона

Материал	Расход материала	
	на один замес	на 1 м <sup>3</sup>
Вязущее, кг	1,8	180
Известь, кг	0,9	90
Портландцемент, кг	0,9	90
Кремнеземистый компонент, кг	2,7	270
Молотый двухводный гипс, кг	0,027	2,7
Вода (общее количество), кг	2,88	288
Газообразователь (ПАК-3), г	4,75	475
Пенообразователь (рабочий раствор), кг	0,367	36,7
Поверхностно-активное вещество для приготовления водно-алюминиевой суспензии (РП·0,05), г	0,24	24

*Определение средней плотности жестких теплоизоляционных материалов.* Среднюю плотность жестких теплоизоляционных материалов определяют либо измерением линейных размеров и взвешиванием самих изделий, либо измерением и взвешиванием образцов, выпиливаемых, высверливаемых или вырезаемых из различных частей изделий. При этом обычно образцы предварительно высушивают до постоянного веса при температуре 105 – 110 °С.

Среднюю плотность вычисляют по формуле

$$\gamma_0 = \frac{m}{v},$$

где  $m$  – масса образца или изделия, кг;  $v$  – объем образца или изделия, м<sup>3</sup>.

При определении средней плотности материала в естественно влажном состоянии применяют формулу

$$\gamma_0 = \frac{m}{v(1 + 0,01W)},$$

где  $W$  – весовая влажность материала, %.

Определение размеров образцов и изделий производят при помощи металлического измерительного инструмента (линейки, штангенциркуля). Длину и ширину изделий измеряют не менее, чем в трех

местах – у краев и в середине, а толщину – в пяти-шести местах. Например, толщину фибролитовых плит измеряют в шести точках: на расстоянии 100 мм от каждого края (посередине) и в двух местах по продольной осевой линии плиты.

Измерение толщины может производиться штангенциркулем или специальным прибором – толщиномером, который применяют для измерения толщины торфяных, жестких минераловатных и древесноволокнистых плит. Точность измерения толщины плит при использовании штангенциркуля и толщиномера составляет 0,1 мм, а при использовании линейки – 1 мм.

Размер образца или изделия (длину, ширину и толщину) вычисляют как среднюю арифметическую величину всех проведенных измерений.

Взвешивание образцов производят с точностью до 0,1 г, а изделий – до 1 г.

Среднюю плотность партии материала вычисляют как среднее арифметическое значение не менее чем трех определений.

**Определение прочности.** Прочность теплоизоляционных материалов – важный показатель, обеспечивающий транспортабельность изделий и их службу в теплоизоляционных конструкциях. Обычно прочность теплоизоляционных материалов невелика и чаще всего колеблется в пределах от 3 – 5 до 10 – 15 кг/см<sup>2</sup>; некоторые материалы обладают прочностью до 50 кг/см<sup>2</sup> и лишь отдельные – до 100 кг/см<sup>2</sup> и выше.

Прочность теплоизоляционных материалов характеризуется показателями пределов прочности при сжатии  $R_{СЖ}$ , при изгибе  $R_{ИЗГ}$  и при растяжении (разрыве)  $R_{РАСТ}$ .

Обычно при определении прочности теплоизоляционных материалов ячеистого строения ограничиваются одним показателем прочности – величиной  $R_{СЖ}$ .

**Определение предела прочности при сжатии** производят следующим образом. Из изделий выпиливают кубические образцы с размером ребра 10 или 7 см (иногда, когда толщина изделия не позволяет получить такие размеры ребер, то ограничиваются величиной ребра образца в 5 см). Образцы высушивают до постоянного веса при температуре 105 – 110 °С. Две противоположные грани образцов, соответствующие верхней и нижней поверхностям изделия, выравнивают,

шлифуя на абразивном круге. Образцы устанавливают на прессе таким образом, чтобы направление прилагаемой нагрузки было перпендикулярно отшлифованным поверхностям образца. Нагрузка на образец должна возрастать плавно, без толчков и сотрясений, со скоростью не более  $1 \text{ кг/см}^2 \cdot \text{с}$ , вплоть до разрушения образца.

Для испытания образцов теплоизоляционных материалов на прочность при сжатии может быть использован любой пресс, позволяющий измерять приложенную нагрузку с точностью до 1 %.

Величину предела прочности при сжатии ( $\text{кг/см}^2$ ) вычисляют по формуле

$$R_{\text{СЖ}} = \frac{P}{F},$$

где  $P$  – разрушающая нагрузка, кг;  $F$  – площадь сечения образца, перпендикулярного направлению разрушающей силы,  $\text{см}^2$ .

За величину предела прочности при сжатии принимают среднее арифметическое значение не менее чем шести определений. Результаты, полученные при проведении опытов, записывают по следующей форме:

*Пресс (система и мощность) – ... .*

*Наименование материала – ... .*

*Размер образца:  $a = \dots \text{ см}$ ;  $b = \dots \text{ см}$ ;  $v = \dots \text{ см}$ .*

*Площадь сечения  $F = \dots \text{ см}^2$*

*Разрушающая нагрузка  $P_{\text{РАЗР}} = \dots \text{ кг}$ .*

*Предел прочности при сжатии*

$$R_{\text{СЖ}} = \frac{P}{F} = \dots \text{ кг/см}^2.$$

**Определение предела прочности при изгибе.** Предел прочности при изгибе определяют на образцах в виде балочек, выпиленных из изделий, или на целых изделиях.

Если предел прочности при изгибе определяют на натуральных крупноразмерных изделиях, то испытание производят следующим образом.

Каждую из трех плит, по которым определялась средняя плотность, устанавливают на две горизонтальные параллельные опоры, находящиеся на одном уровне. Расстояние между осью опоры и краем плиты должно составлять 50 мм. Плиту нужно опирать на опору по всей ее ширине.

На середину плиты устанавливают платформу с двумя пуансонами так, чтобы расстояния от осей соответствующих опор были равны. Расстояние между осями пуансонов принимают равным 200 мм. Длина пуансонов должна быть равна ширине плиты. Загружают плиту с помощью пресса. Загружение ведут до начала потрескивания плиты. Если после двухминутного перерыва плита не ломается, то загрузку продолжают до полного ее разрушения.

Предел прочности при изгибе при такой схеме загрузки вычисляют по формуле

$$R_{\text{изг}} = \frac{3Pa + 0,75ml}{bh^2},$$

где  $P$  – разрушающий груз (с платформой и пуансонами), кг;  $m$  – масса целой плиты, кг;  $l$  – расстояние между опорами;  $a$  – расстояние от оси опоры до оси пуансона, см;  $b$  – ширина плиты, см;  $h$  – толщина плиты, см.

Результаты определения записывают следующим образом:

*Наименование материала: ... .*

*Схема нагружения образца: ... .*

*Размер образца: длина ... см; ширина ... см; толщина ... см.*

*Расстояние между осями опор: ... см.*

*Расстояние между осью опоры и осью соответствующего пуансона ... см.*

*Величина разрушающей нагрузки ... кг.*

*Предел прочности при изгибе ... кг/см<sup>2</sup>.*

**Ультразвуковой импульсный метод определения прочности.**

Этот метод контроля качества строительных материалов находит все более широкое применение на заводах и строительных площадках, так как позволяет сравнительно несложным путем с достаточной точностью производить измерение прочности и однородности структуры строительных материалов в процессе их изготовления и во время службы в строительных конструкциях без разрушения.

Этот метод применим для штучных или монолитных твердых материалов. Сущность его заключается в измерении скорости распространения ультразвуковых импульсов в материале, которая зависит от плотности данного материала и связана определенной зависимостью с его прочностью.

При импульсном ультразвуковом методе оценки прочности материала производят замер скорости прохождения продольных ультразвуковых волн в этом материале.

Генератор импульсов подает кратковременный сигнал на пьезоэлектрический излучатель, в котором этот импульс превращается в ультразвуковые механические волны, поступающие в образец. Пройдя через материал, ультразвуковые волны воздействуют на приемник, в котором механические колебания превращаются в электрические импульсы, усиливаемые затем блоком. В приборе смонтировано специальное устройство, называемое «ждушей задержанной разверткой», которое дает возможность наблюдать на экране осциллографа изображение ультразвуковых импульсов, как поступающих в материал (в левой части экрана), так и прошедших через него (в правой части экрана). Особое электронное устройство создает на нижней строчке экрана изображение шкалы времени с малыми отметками (в микронах), соответствующими микросекундам, и кратными им большими отметками через 10 мк.

Прибор смонтирован в металлическом ящике, на передней панели которого имеются ручки управления и экран индикатора электроннолучевой трубки. Излучатель и приемник вделаны в специальные щупы, которые присоединяются к прибору экранированными кабелями длиной 5 м каждый, что дает возможность производить измерения на базе до 6 – 7 м.

На скорость распространения ультразвуковых волн в материале влияет ряд факторов, важнейшими из которых являются плотность материала и его влажность. Так, например, результаты многочисленных исследований показывают, что при снижении объемного веса обычного бетона (при уменьшении его плотности) на 2 % скорость распространения ультразвуковых волн в нем снижается на 1 %, а при изменении объемного веса газобетона с 1100 до 400 кг/м<sup>3</sup> скорость ультразвуковых волн изменяется в пределах от 2,5 до 1,5 км/с.

Увеличение влажности материала приводит к некоторому снижению скорости распространения ультразвуковых волн.

Значительное влияние на скорость распространения ультразвука в изделии или образце оказывают упруго-пластичные свойства сырьевых материалов, из которых изготовлено данное изделие или образец. Поэтому для каждого материала (например, для газо-

бетона, ячеистого стекла, вулканита и т.д.) необходимо строить свою тарировочную кривую.

Построение тарировочного графика «скорость ультразвука – прочность материала» производят следующим образом.

Формуют образец из той же формовочной массы, из которой изготавливают изделия, подлежащие испытанию. Желательно, чтобы технологические параметры изготовления образцов и изделий были идентичными. Образцы изготавливаются двух видов: кубические с размером ребра 10 см и в виде балочек размером 10 × 10 × 30 см. Кубические образцы используют для построения тарировочной кривой, по которой будет определяться прочность изделий при сжатии, а балочки – для построения тарировочной кривой, используемой при определении прочности при изгибе.

Для каждого объемного веса формуют (или вырезают из изделий) по три образца-близнеца обоих видов. Например, при испытании изделий из газобетона изготавливают образцы с объемным весом 400, 500, 600, 700 кг/м<sup>3</sup> и т.д.

Готовые образцы высушивают до заданной влажности и затем прозвучивают.

Прозвучивание производят по трем точкам в направлении, перпендикулярном направлению укладки формовочной смеси в формы. При испытании между датчиками (щупами) и поверхностью образца должен быть акустический контакт, который достигается путем смазывания торцевой поверхности щупов тонким слоем технического вазелина.

По шкале, изображенной на экране осциллографа, определяют время прохождения ультразвукового импульса через слой материала в микросекундах. Слой материала, расположенный между щупами, равен размеру образца (замеряется перед испытанием) и соответствует длине распространения ультразвука в материале (в миллиметрах).

Скорость распространения ультразвука в материале определяют по формуле

$$v = \frac{S}{t}, \text{ км/с,}$$

где  $S$  – длина распространения ультразвука в материале, мм;  $t$  – время прохождения ультразвукового импульса через материал, мкс.

По трем измерениям выводят среднее арифметическое значение скорости ультразвука для одного образца. Среднее арифметическое значение по испытанию трех образцов принимают за скорость ультразвука в данном материале при данном его объемном весе.

По окончании ультразвуковых измерений для определения прочности контрольных образцов на сжатие и изгиб производят их испытание на прессе.

По результатам параллельных ультразвуковых и механических испытаний контрольных образцов строят тарировочный график «скорость ультразвука – прочность материала» (рисунок).

При определении прочности материала в изделии прозвучивание производят тем же прибором, которым испытывались контрольные образцы. Места, в которых производится определение прочности материала, устанавливают в зависимости от конструктивных особенностей изделия.



*Рисунок. Тарировочный график «скорость ультразвука – прочность газобетона»: I – кубиковая прочность при сжатии; II – прочность при изгибе*

### **Библиографический список**

1. Рыбьев, И.А. Строительное материаловедение / И.А. Рыбьев. – М.: Высш. шк., 2002. – 701 с. – ISBN 5-06-004059-3.
2. Горлов, Ю.И. Лабораторный практикум по технологии теплоизоляционных материалов / Ю.И. Горлов. – М.: Высш. шк., 1969. – 239 с.
3. Справочник по производству теплоизоляционных и акустических материалов / под. ред. В.А. Китайцева. – М.: Госстройиздат, 1964. – 369 с.

## Оглавление

Введение.....	3
Лабораторная работа № 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИСПЕРСНОСТИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ.....	6
Лабораторная работа № 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МИНЕРАЛЬНОЙ ВАТЫ.....	10
Лабораторная работа № 3. ЯЧЕИСТЫЕ БЕТОНЫ.....	18
Библиографический список.....	36

### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ТЕХНОЛОГИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ»

Составители

КИМ Борис Григорьевич

ТУР Наталия Николаевна

КУЗНЕЦОВ Клавдий Михайлович

и др.

Ответственный за выпуск – зав. кафедрой профессор Б.Г. Ким

Подписано в печать 01.07.10.

Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 2,09. Тираж 50 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета.

600000, Владимир, ул. Горького, 87.