

Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

**СПЕЦИАЛЬНЫЕ, КОНСТРУКЦИОННЫЕ  
И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ  
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

Лабораторный практикум

*к выполнению лабораторных работ для студентов  
обучающихся по направлению  
«Химия, физика и механика материалов»*

Воронеж 2013

Составители: А.М. Усачев

**Специальные, функциональные и специальные строительные материалы :**  
лабораторный практикум к выполнению лабор. работ для студентов направле-  
ния «Химия, физика и меха-ника материалов» / Воронеж. гос. арх. – строит. ун-  
т; сост.: А.М. Усачев - Воронеж, 2013.- 85 с.

Лабораторный практикум предназначены для изучения студентами направле-  
ния «Химия, физика и механика материалов» состава, структуры и свойств ком-  
позиционных строительных материалов и факторов управления их свойствами  
последовательно по масштабным уровням структуры.

Электронная версия для обсуждения состава и содержания методических ука-  
заний

## ВВЕДЕНИЕ

Настоящие лабораторный практикум подготовлен в соответствии с учебным планом направления «Химия, физика и механика материалов» и государственным общеобразовательным стандартом.

Лабораторные работы представленные в практикуме, охватывают все основные разделы дисциплины, начиная с изучения свойств конструкционных материалов и заканчивая изучением особенностей получения функциональных и специальных строительных материалов.

Ряд лабораторных работ выполняется с использованием методов математического планирования эксперимента с обработкой результатов на ЭВМ. Результатом выполнения таких работ является получение уравнения регрессии, описывающего зависимости в системах «рецептура – свойства», «технологические параметры – свойства» или в более сложных системах типа «рецептура – технологические параметры – свойства» с построением графических интерпретаций полученных математических моделей.

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. Лабораторный практикум содержит приложения, облегчающие выполнение практической части лабораторных работ.

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

## ИЗУЧЕНИЕ АДГЕЗИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕКОРАТИВНО-ОТДЕЛОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ

**1.1. Цель работы** – изучение технологических особенностей изготовления различных видов и способов отделки фасадных поверхностей стеновых изделий в заводских условиях и оценка прочности сцепления их с материалом основания (бетонной поверхностью).

**1.2. Оборудование, приборы, инструменты и сырьевые материалы:** индикаторы для измерения деформаций, обоймы для крепления индикаторов, металлические опоры-пластинки размером 8×10×2 см, гидравлический пресс по ГОСТ 8905-92, бетонные образцы-призмы размером 10×10×30 см с различными видами отделки.

### 1.3. Общие теоретические сведения

В настоящее время применяется достаточно широкий ассортимент декоративно-защитных материалов и покрытий для фасадной отделки зданий.

Одним из важнейших качеств отделочных покрытий является их способность сохранять первоначальные декоративные и защитные свойства в течение необходимого срока службы. Это определяет и экономическую эффективность фасадной отделки зданий.

В соответствии с эксплуатационными свойствами наружные декоративно-отделочные покрытия должны обладать необходимым сцеплением с основанием, исключающим их отслоение в процессе эксплуатации; не должны препятствовать удалению влаги из стеновых конструкций; должны защищать последние от увлажнения атмосферными осадками; способствовать предотвращению образования трещин в поверхностном слое стен; быть достаточно прочными и долговечными.

Отслоение отделочного слоя может происходить за счет его сдвига по основанию вследствие усадки покрытия и стенового материала или в результате накопления и замерзания влаги на границе отделочного слоя и основания. Сдвигающие напряжения, возникающие вследствие разности усадки отделочного слоя и основания, могут быть определены по формуле

$$\tau_{\max} = \varepsilon \sqrt{HE\delta} \cdot th\left(l \sqrt{\frac{\delta}{2}} \sqrt{H \cdot E}\right), \quad (1.1)$$

где  $\tau_{\max}$  – максимальное сдвигающее напряжение на концах слоя, Па;

$\varepsilon = \varepsilon_1 - \varepsilon_2$  – разность деформации отделочного слоя и основания, см;

$H$  – толщина отделочного слоя, см;  
 $E$  – модуль упругости отделочного слоя, Па;  
 $\delta$  – модуль сдвига материала отделочного слоя, Па;  
 $l$  – длина отделочного слоя, см.

Таким образом, величина максимальных сдвигающих напряжений в основном возрастает с увеличением разности деформаций отделочного слоя и основания, а также протяженности контакта отделочного слоя с основанием.

Отслаивания отделочного слоя от усадки не произойдет, если будет соблюдаться условие:

$$\tau_{\max} < R_{\text{сц}}, \quad (1.2)$$

где  $R_{\text{сц}}$  – предел прочности сцепления отделочного слоя с основанием, Па.

Отслаивание отделочного слоя за счет накопления и замерзания влаги на границе слоя и основания обычно происходит у конструкции с пористым паропроницаемым основанием и более плотным отделочным покрытием. Отслоение отделочного слоя в этом случае может происходить по материалу основания, если  $R_p > R_{\text{сц}}$ , или по плоскости контакта, если  $R_p < R_{\text{сц}}$ . Отслоение будет отсутствовать, если  $\sigma_0 < R_p$  при  $R_p > R_{\text{сц}}$ , или если  $\sigma_0 < R_{\text{сц}}$  при  $R_p < R_{\text{сц}}$  (где  $\sigma_0$  – давление, оказываемое замерзающей водой на границе основания и отделочного слоя или в порах материала основания). В данном случае необходимо знать прочность отделочного материала на растяжение ( $R_p$ ).

В связи со сложностью определения сдвигающих напряжений и давления замерзающей воды сравнительной характеристикой эксплуатационного срока службы отделочного покрытия принято считать адгезионную прочность (прочность сцепления отделки с основанием).

При выборе материала для фасадной отделки зданий следует исходить из структуры (пористости), вида и формы отделочного материала и некоторых других его свойств.

В данной лабораторной работе оценку адгезионных свойств отделочно-декоративных покрытий производят по величине коэффициента сцепления ( $K_{\text{сц}}$ ) по специально разработанной для этих целей методике (прил. 1).

#### 1.4. Порядок выполнения работы

Изучение адгезионных свойств определенного вида отделки, изготовленного различными способами, производится на бетонных образцах с заранее нанесенными на них отделочными покрытиями. Методика определения степени сцепления декоративно-отделочных покрытий с бетонной частью образцов представлена в прил. 1. Результаты проведенных исследований заносятся в табл. 1.1.

Таблица 1.1

**Результаты определения степени сцепления отделочных покрытий  
с бетонным основанием**

Вид и краткая характеристика отделочного покрытия	Способ отделки бетонных изделий	Вид и краткая характеристика бетона	Нагрузка, Н	Деформации, мм/м	Коэффициент сцепления отделки с бетоном, $K_{сц}$
Плиточные материалы (керамическая или стеклянная плитка, размеры)	«лицом вниз», «лицом вверх», после ТВО	Ячеистый бетон или керамзитобетон ( $\rho_m, R_{сц}$ )			
Дробленый камень (искусственный или естественный, плотный или пористый, фракции)	«лицом вниз», «лицом вверх», после ТВО	Ячеистый бетон или керамзитобетон ( $\rho_m, R_{сц}$ )			
Декоративный бетон или раствор (цвет, состав)	«лицом вниз», «лицом вверх», после ТВО	Ячеистый бетон или керамзитобетон ( $\rho_m, R_{сц}$ )			

На основании рассчитанного коэффициента сцепления устанавливают, какой вид отделки, и способ ее нанесения будут обеспечивать надежную согласованную работу с конкретным видом бетона в конструкции.

### Аттестационные вопросы

1. Перечислите виды, назначение и основные свойства декоративно-защитной отделки фасадов зданий.
2. Назовите основные требования, предъявляемые к отделочным материалам для наружной облицовки зданий.
3. Перечислите виды и способы индустриальной отделки стеновых изделий из легких бетонов.
4. В чем заключается сущность новых способов декоративной отделки фасадных поверхностей (глазурование, оплавление, металлизация)?
5. В чем смысл химических методов защиты лицевой поверхности (флюатирование, гидрофобизация)? Опишите процессы, происходящие при этом.
6. В чем причины отслоения отделочных покрытий от фасадных поверхностей зданий?
7. Назовите условия, обеспечивающие надежную и долговечную совместную работу отделочного покрытия с бетонным основанием в конструкции.
8. Перечислите методы и критерии оценки эксплуатационно-технических свойств отделочных покрытий.
9. В чем заключается методика оценки коэффициента сцепления отде-

лочного слоя с основанием?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

### ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛИЦЕВЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

**2.1. Цель работы** – изучение различных способов изготовления лицевого керамического изделия из легкоплавких глин.

**2.2. Оборудование, приборы, инструменты и сырьевые материалы:** гидравлический пресс по ГОСТ 164-74, бегуны тонкого помола, сушильный шкаф по ГОСТ 134-74, муфельная печь, морозильная камера, пресс-формы, фарфоровые ступки с пестиками, мерные цилиндры на 0,25...0,5 л, весы технические по ГОСТ 154-74, прибор Васильева для определения пластичности глин, прибор Вика, прибор для определения прочности сцепления лицевого и основного глинистых слоев, ванна с водой для определения водопоглощения, штангенциркуль, металлическая линейка по ГОСТ 421, тонкомолотые и просеянные через сито № 0063 тугоплавкая светложгущаяся и легкоплавкая темножгущаяся глины, известняк, марганцевая руда, тонкомолотые бой стекла, нефелин-сиенитовый концентрат, перлит, ортофосфорная кислота и др., пигменты – оксиды кобальта, железа, хрома, железный сурик и др.

### 2.3. Общие теоретические сведения

Благодаря своим высоким декоративным качествам, а также долговечности, лицевые керамические изделия являются наиболее ценным облицовочным материалом. С учетом расходов на периодические ремонты стоимость облицовки зданий лицевой керамикой в 2...3 раза ниже по сравнению с другими видами отделки фасадов зданий.

Одним из важнейших требований, предъявляемых к сырью для производства лицевого керамического изделия, является способность давать после обжига ровный цвет светлых тонов без пятен и выцветов, а при введении пигментов – равномерно окрашиваться в соответствующие цвета.

Цвет глины после обжига зависит от количества и характера примесей и меняется от белого до черного. Легкоплавкие глины после обжига обычно желтого, красного или бурого тонов.

На цвет обожженной глины в значительной степени влияет наличие в ней соединений железа, оксида титана, марганца, органических примесей, карбонатных включений.

## 2.4. Порядок выполнения работы

Данная работа выполняется группой студентов, разделенных на четыре бригады и выполняющих отдельные части общей темы с последующим обобщением полученных результатов всей группой.

### 2.4.1. Исследование способа отбеливания керамического черепка введением в глину тонкомолотого известняка

Способ отбеливания керамического черепка основан на введении тонкомолотого известняка в глину и его взаимодействии с оксидами железа при температуре 550...850<sup>0</sup>С в процессе обжига изделия.

Известно, что крупные включения карбонатов кальция или магния в глине после обжига превращаются в CaO и MgO, поглощают влагу из воздуха, образуя гидроксиды, и, значительно увеличиваясь в объеме, разрушают изделие. Поэтому при отбеливании глины надо добавлять тонкомолотый известняк (остаток на сите 5100 отв./см<sup>2</sup>) – сито № 0085 – в количестве не превышающем 5 % и равномерно перемешивать его с глиной.

Известь (CaO) в тонкомолотом состоянии лучше реагирует с составляющими глины при обжиге, после чего теряет способность гидратироваться.

Установлено, что при получении керамического черепка определенного цвета соотношение оксидов в массе должно быть следующим:

- для черепка розового цвета  $Fe_2O_3 / CaO = 0,4$ ;
- для черепка желтого цвета  $Fe_2O_3 / CaO = 0,3$ ;
- для черепка светло-желтого цвета  $Fe_2O_3 / CaO = 0,2$ .

Количество добавляемого известняка для отбеливания рассчитывают по формуле

$$I = \frac{A_{ж.г.} - M_{ж.и.} \cdot A_{к.г.}}{0,4M_{ж.и.}}, \quad (2.1)$$

где  $I$  – добавка известняка к глине, %;

$A_{ж.г.}$  – содержание  $Fe_2O_3$  в глине, %;

$A_{к.г.}$  – содержание CaO в глине, %;

$M_{ж.и.}$  – необходимое отношение  $Fe_2O_3 / CaO$ ;

0,4 – условно принятое содержание CaO в известняке в долях единицы.

Если химический состав глины помимо  $Fe_2O_3$  содержит и FeO, то содержание FeO нужно пересчитать на  $Fe_2O_3$  по формуле

$$Fe_2O_3' = 2,2 \cdot FeO, \quad (2.2)$$

где FeO – количество закиси железа в глине;

$Fe_2O_3'$  – количество закиси железа, пересчитанное на оксид, %.

В этом случае величина  $A_{ж.г} = Fe_2 O_3 + Fe_2 O_3'$ .

Интенсивность отбеливающего действия  $CaCO_3$  зависит также от температуры обжига. Поэтому для выбора оптимальной температуры обжига необходимо сделать пробные обжиги при различных температурах.

*Основной задачей работы* является исследование зависимости интенсивности отбеливания керамического черепка от количества добавки тонкомолотого известняка и температуры обжига изделий. Работа выполняется бригадой студентов в количестве 2...3 человек в течение 8 учебных часов.

*Методика исследования.* Легкоплавкую глину с известным химическим составом предварительно высушивают, измельчают на бегунах или в лабораторной дробилке и просеивают через сито с размерами отверстий 1 мм.

По химическому составу глины рассчитывают количество тонкомолотого известняка, которое надо добавить к глине для получения черепков розового, желтого и светло-желтого цвета.

Для испытываемой глины без добавок известняка и с добавками различного количества известняка определяют нормальную формовочную влажность органолептическим способом.

Для этого к навеске глины (или глины с добавкой известняка) массой 150 г постепенно добавляют воду небольшими порциями. После каждой добавки воды пробу тщательно перемешивают шпателем на стекле. Нормальной формовочной влажностью проба обладает в том случае, если последующая добавка воды в количестве  $0,5 \text{ см}^3$  приводит ее в такое состояние, при котором она начинает прилипать к тыльной стороне ладони.

Подсчитать нормальную формовочную влажность испытываемой глины можно после высушивания подготовленной пробы до постоянной массы. Для этого пользуются обычным весовым способом (сушка в сушильном шкафу).

Расчет нормальной формовочной влажности производят по формулам

$$W_a = \frac{m_1 - m_2}{m_2}, \quad (2.3)$$

$$W_o = \frac{m_1 - m_2}{m_1}, \quad (2.4)$$

где  $W_a$  – абсолютная влажность, %;

$W_o$  – относительная влажность, %;

$m_1$  – масса влажной пробы, г;

$m_2$  – масса абсолютно сухой пробы, г.

Определить нормальную формовочную влажность можно и приборными способами: с помощью иглы Вика, прибора Куманина и др.

Наиболее простой прибор – игла Вика, широко используемая для определения нормальной густоты и сроков схватывания цементного теста. Определе-

ние проводят следующим образом. Из испытуемого теста в стальной цилиндрической форме изготавливают образец высотой 50 мм и диаметром 35 мм и помещают его на площадку прибора под иглу. Масса всей перемещающейся части прибора вместе с иглой должна составлять  $(300 \pm 2)$  г. Опустив иглу до соприкосновения с поверхностью образца, предоставляют ей возможность свободно погружаться в тесто. Испытуемая масса характеризуется нормальной формовочной влажностью в том случае, если в течение 5 мин игла опускается на глубину 4 см.

Изготовление образцов лицевой керамики способом введения тонкомолотого известняка производят следующим образом.

К трем навескам воздушно-сухой глины (приблизительно по 150 г) добавляют рассчитанное количество известняка для получения образцов розового, желтого и светло-желтого цвета. Известняк должен иметь тонкость помола, соответствующую полному проходу через сито № 0085. К четвертой навеске глины известняк не добавляют; она предназначена для изготовления контрольных образцов («нулевое испытание»). Порошки глины и известняка тщательно перемешивают до получения однородной смеси и затворяют количеством воды, необходимым для получения теста нормальной формовочной влажности.

Из подготовленных четырех масс формируют по три плитки размером  $60 \times 30 \times 15$  мм и маркируют каждый образец условным обозначением, в котором должны быть указаны номера группы, подгруппы, бригады студентов, предполагаемый цвет после обжига и температура обжига. Например, условное обозначение 1-2-3-р-950 показывает, что образец изготовлен студентами первой группы, второй подгруппы, третьей бригады, предполагаемый цвет после обжига – розовый, температура обжига  $950^{\circ}\text{C}$ .

После формовки образцы высушивают в сушильном шкафу до остаточной влажности 3...5 % и обжигают партиями по четыре плитки в каждой при температурах 950, 1000 и  $1050^{\circ}\text{C}$ .

Готовые образцы осматривают, отмечая при этом цвет, наличие дефектов (трещин и деформаций). Кроме того, определяют среднюю плотность и прочность при сжатии образцов. Результаты определений записывают в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Результаты по исследованию количества известняка для отбеливания керамических изделий

Маркировка образца	Кол-во добавки известняка по массе, %	Температура обжига, $^{\circ}\text{C}$	Цвет образца после обжига	Средняя плотность образцов, $\text{г}/\text{см}^3$	Прочность, МПа		Примечание
					При сжатии	При изгибе	
		950					
		1000					
		1050					

По полученным данным делают вывод об оптимальном количестве добавки тонкомолотого известняка и оптимальной температуре обжига для получения изделия розового, желтого или светло-желтого цвета.

#### ***2.4.2. Исследование способа химического отбеливания керамического черепка ортофосфорной кислотой при получении лицевых керамических изделий***

Для получения лицевых изделий из легкоплавких глин с отбеленной поверхностью образцы обрабатывают ортофосфорной кислотой и затем высушивают и обжигают по обычной технологии.

Метод химического отбеливания основан на реакции взаимодействия ортофосфорной кислоты с гематитом  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , обуславливающим красный цвет керамического черепка после обжига. Отбеливание происходит за счет образования бесцветных фосфатов железа  $\text{FePO}_4$  и  $\text{Fe}_3\text{PO}_7$ .

С экономической точки зрения, для химического отбеливания керамики более рационально применять ортофосфорную кислоту, полученную экстракционным способом, как более дешевую (по сравнению с кислотой, полученной термическим способом).

Способ химического отбеливания ортофосфорной кислотой может быть применен и для получения из легкоплавких глин лицевого кирпича с отбеленной поверхностью.

*Основной задачей работы* является исследование зависимости интенсивности отбеливания поверхностного слоя керамического черепка, полученного из легкоплавких глин, от времени выдерживания его в ортофосфорной кислоте и температуры обжига.

Работа проводится бригадой студентов в количестве 3...4 человек в течение 8 учебных часов.

*Методика исследования.* Легкоплавкую глину, применяемую в исследованиях, предварительно высушивают, измельчают на бегунах или в лабораторной дробилке и просеивают через сито с размером отверстий 1 мм.

По методике, изложенной ранее, определяют величину нормальной формовочной влажности глины.

Из исследуемой глины формируют партию образцов в количестве 15 шт. Для этого берут 750 г глины, готовят из нее массу с нормальной формовочной влажностью и с помощью формочек формируют образцы размером  $60 \times 30 \times 15$  мм. Полученные образцы делят на серии по три штуки (всего пять серий). Каждая серия образцов должна отличаться временем выдержки в ортофосфорной кислоте: 0 (контрольная серия), 2, 4, 6 и 8 мин. Образцы маркируют с помощью маркировочных штампиков. В маркировке указывают: номера студенческой группы, подгруппы, бригады, время выдержки в ортофосфорной кислоте и температуру обжига. Три образца каждой серии должны обжигаться при разных температурах: 900, 950,  $1000^\circ\text{C}$ . Обжиг при более высоких температурах не реко-

мендуется из-за возможного разложения белых фосфатов. После того как образцы замаркируют, на них наносят усадочные метки с помощью штангенциркуля. Для удобства последующих вычислений расстояние между усадочными метками делают равным 50 мм.

Отформованные и замаркированные образцы высушиваются. Высушенные образцы (за исключением трех контрольных) помещают в ванночку с ортофосфорной кислотой таким образом, чтобы они были погружены в кислоту на 1/2 высоты, и выдерживают разное количество времени: вторую серию – 2 мин, третью – 4 мин, четвертую – 6 мин, пятую – 8 мин. После выдержки в сушильном шкафу при температуре около 200<sup>0</sup>С в течение 10 мин их затем обжигают в лабораторных муфельных печах при соответствующих температурах: 900, 950 и 1000<sup>0</sup>С. Время обжига 40...60 мин. После обжига образцы осматривают, сравнивают по цвету, определяют среднюю плотность, величину общей усадки и прочность при сжатии и изгибе.

Результаты испытаний записывают в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Результаты по исследованию влияния времени выдержки образцов в ортофосфорной кислоте и температуры обжига на свойства обожженных изделий

Маркировка образца	Время выдержки в ортофосфорной кислоте, мин	Температура обжига, <sup>0</sup> С	Цвет лицевой поверхности после обжига	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности, МПа		Примечание
					при сжатии	при изгибе	
	0	900					
	2						
	4						
	6						
	8						
	2	950					
	4						
	6						
	8						
	2	1000					
	4						
	6						
	8						

По полученным данным делают вывод об оптимальном времени выдержки образцов в ортофосфорной кислоте и оптимальной температуре обжига.

### 2.4.3. Исследование способа объемного окрашивания образцов лицевой керамики марганцевой рудой

Одним из перспективных способов получения лицевых керамических изделий из легкоплавких глин является распространенный метод объемного окрашивания массы сравнительно недефицитными добавками – марганцевыми, хромитовыми и железными рудами.

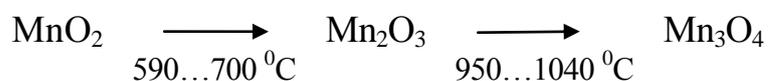
Известен способ объемного окрашивания глинистой массы при получении лицевого керамического кирпича марганцевой рудой.

Объемное окрашивание глиномассы марганцевой рудой позволяет получать лицевой кирпич темного цвета – от коричневого до черного. Такой кирпич может быть использован для облицовки цоколей домов, а также различных архитектурных вставок.

Марганцевые руды, применяемые для окрашивания лицевого кирпича, содержат 50...53 % MnO. В качестве примесей в них могут присутствовать кварцевый песок, карбонатные и глинистые породы.

Основным минералом марганцевых руд является манганит  $Mn(OH)_2 \cdot MnO_2$ , содержащий гидрат закиси марганца. Кроме манганита в руде имеется другой марганцевый минерал – пиролюзит  $\beta-MnO_2$  (безводный диоксид марганца).

Цвет обожженного кирпича при введении в состав керамической массы марганцевой руды определяется в основном образованием в процессе обжига минерала гаусманита, представляющего собой буровато-черную закись марганца  $Mn_3O_4$ :



Гаусманит – наиболее устойчивый марганцевый оксид в диапазоне температур 940...1100<sup>0</sup>С.

*Основной задачей работы* является исследование зависимости интенсивности окрашивания керамического черепка и свойств получаемых изделий от количества вводимой в массу марганцевой руды и температуры обжига. Работа проводится бригадой студентов в количестве 3...4 человек в течение 8 учебных часов.

*Методика исследования.* Для изготовления образцов применяют легкоплавкую глину, предварительно высушенную, измельченную на бегунах или в лабораторной дробилке и просеянную через сито с размерами отверстий 1 мм. Марганцевую руду также предварительно высушивают, подвергают помолу в лабораторной шаровой мельнице и просеивают через сито с размерами отверстий 0,063 мм.

Для применяемой в работе глины определяют величину нормальной формовочной влажности. Марганцевую руду вводят в состав формовочной массы в количестве от 1 до 10 % от массы сухой глины (возможно и большее количество). Для более равномерного распределения руды по всей формовочной массе,

ее вводят в виде шликера, а количество воды шликера учитывается при расчете количества воды затворения формовочной массы.

Для проведения исследований изготавливают шесть (или более – по указанию преподавателя) серий образцов по три образца в каждой серии. Первая серия образцов – контрольная, в состав формовочной массы этой серии марганцевую руду не вводят. Следующие серии образцов отличаются количеством введенной руды: 1, 3, 5, 7 и 10 % (содержание руды может быть изменено преподавателем). Для изготовления каждой серии образцов берут по 150 г воздушно-сухой глины, добавляют рассчитанное количество марганцевой руды в виде шликера и вводят воду с таким расчетом, чтобы получилась масса с нормальной формовочной влажностью. Компоненты тщательно перемешивают до получения однородной массы, из которой формируют три образца размером 60×30×15 мм. Образцы маркируют с помощью маркировочных штампов. В маркировке указывают номера студенческой группы, подгруппы, бригады, количество вводимой руды и температуру обжига образца. После того как образцы замаркируют, на них наносят усадочные метки с помощью штангенциркуля. Для удобства последующих вычислений расстояние между усадочными метками делают равным 50 мм.

Отформованные образцы всех серий высушивают в сушильном шкафу до влажности 3...5 %. Высушенные образцы комплектуют в три партии таким образом, чтобы образцы одного и того же состава обжигались при разных температурах: 950, 1000, 1050 °С.

После обжига и остывания образцы осматривают, отмечая при этом цвет, наличие трещин и деформаций, а также определяют общую усадку, среднюю плотность и прочность образцов при сжатии и изгибе.

Результаты испытаний записывают в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Результаты исследования влияния количества марганцевой руды и температуры обжига на свойства обожженных образцов

Маркировка образцов	Количество марганцевой руды, % по массе	Температура обжига, °С	Цвет образца после обжига	Прочность, МПа		Усадка общая, %	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Примечание
				при сжатии	при изгибе			
		950						
		1000						
		1050						

По полученным результатам строятся графики зависимости свойств образцов (прочности, средней плотности, усадки) от количества введенной добавки марганцевой руды.

По полученным данным делают выводы о зависимости интенсивности окрашивания керамического черепка от количества введенной марганцевой руды и температуры обжига. В зависимости от интенсивности окрашивания и от свойств полученных образцов делают вывод об оптимальном содержании марганцевой руды в составе формовочной массы и оптимальной температуре обжига изделий.

#### ***2.4.4. Исследование способа двухслойного формования керамических изделий***

Основным условием получения качественной двухслойной керамики является обеспечение прочного сцепления лицевого слоя с основной массой изделия, что зависит от целого ряда свойств формовочных масс: их пластичности, формовочной влажности, величины усадки и обжига.

Глины, применяемые для изготовления двухслойной керамики, должны относиться к классу умеренно- и среднепластичных глин (оптимальное число пластичности – 14...16), не должны иметь каменистых включений, примесей гипса и известняка более 5 % (допустимые размеры включений гипса и известняка до 0,5 мм, каменистых включений – до 2 мм).

Для лицевого слоя обычно применяют тугоплавкие или огнеупорные глины, спекающиеся при температуре ниже  $1100^{\circ}\text{C}$ . Для понижения температуры спекания вводят плавни: тонкомолотый бой стекла, пегматиты, нефелиновый сиенит, перлит и др.

К массам основного и лицевого слоев для наилучшего их сцепления предъявляются следующие требования:

1) формовочная влажность лицевого слоя должна быть на 3...4 % выше, чем у основной массы;

2) величина общей усадки лицевого и основного слоев – не более 9 %. Допускаемые расхождения между величинами воздушной усадки основного и лицевого слоев – 1,5 %, огневой усадки – 0,5 %. У лицевой массы усадка должна быть выше в допустимых пределах, а не ниже, чем у массы основного слоя. Для выравнивания усадок корректируют состав шихты;

3) водопоглощение лицевого слоя двухслойного керамического изделия, обожженного при температуре  $950...1000^{\circ}\text{C}$ , должно находиться в пределах от 8 до 12...14 %.

Готовые изделия двухслойной керамики должны выдерживать не менее 25 циклов замораживания и оттаивания при температуре  $\pm 15^{\circ}\text{C}$ .

*Основной задачей работы* является выявление зависимости силы сцепления основного и лицевого слоев от свойств исходных масс: пластичности, формовочной влажности, величины и согласованности усадок и т.д.

Данная работа выполняется бригадой студентов в количестве 2...3 человек.

*Методика исследования.* Для применяемых в исследованиях беложгущейся и легкоплавкой глин предварительно определяют свойства: нормальную

формовочную влажность и пластичность. Затем формуют образцы из этих глин для определения воздушной и огневой усадок. В случае несогласованности усадок корректируют составы шихт основного и лицевого слоев введением отошителей или пластификаторов таким образом, чтобы эти массы удовлетворяли необходимым для их хорошего сцепления требованиям. У подобранных шихт тщательно проверяют формовочную влажность, воздушную и огневую усадки, а затем из них формуют образцы двухслойной керамики, причем в лицевой слой для получения цветной керамики можно ввести пигменты. После сушки и обжига образцы осматривают, отмечая при этом цвет, наличие дефектов (отслаивания и деформации), и испытывают (определяют силу сцепления слоев, среднюю плотность, водопоглощение, морозостойкость).

Определение нормальной формовочной влажности проводят по методике, изложенной выше. Число пластичности определяют по методике, изложенной в прил. 2. Усадочные деформации образцов после сушки и обжига определяют, пользуясь прил. 3.

Если усадки при сушке разнятся больше чем на 1,5 %, а при обжиге – больше чем на 0,5 %, то в более пластичную глину вводят отошители: в глину основного слоя – песок, шамот, кирпичный бой, гранулированный шлак, предварительно просеянные через сито с размером отверстий 3 мм; в глину покровного слоя – изготовленные из нее шамот или дегидратированную глину либо песок, просеянные предварительно через сито с размером отверстий 1 мм.

Для новых формовочных масс определяют нормальную формовочную влажность, воздушную и огневую усадки. Результаты определений этих свойств формовочных масс должны удовлетворять вышеуказанным требованиям для обеспечения их хорошего сцепления.

После подбора шихт для основного и лицевого слоев и проверки их свойств формуют образцы двухслойной керамики. Для этого готовят массы с нормальной формовочной влажностью для основного и лицевого слоев. Исходное количество шихты на три образца-близнеца для основного слоя – 150 г, для лицевого слоя – 30 г. Толщина лицевого слоя – 2...3 мм. Общее требуемое количество образцов для исследования рассчитывается исходя из следующего положения: количество образцов-близнецов на каждый состав, на каждую температуру обжига и на каждый цвет должно быть не менее трех.

Для получения цветной керамики в шихту для лицевого слоя вводят пигменты: оксиды кобальта в количестве 1...5 %, оксиды железа – 3...10 %, марганцевую руду (пиролюзит) – 5...10 %, оксиды хрома – 5...10 %, хромовую руду – 3...5 %, а также минеральные красители – глауконит, охру, железный сурик и др. Перед введением красителя в формовочную массу его необходимо подвергнуть тонкому помолу и просеять через сито 3600 отв./см<sup>2</sup>.

Смесь беложгущейся глины с отошителем и пигментом тщательно перемешивают в сухом виде, а затем добавляют воду до получения теста нормальной формовочной влажности.

Формовку образцов проводят следующим образом. Из массы для основно-

го слоя формуют в металлических формах образцы и, не вынимая плиток из формы, а лишь чуть приподняв пуансон, снимают ножом верхний слой плитки, а затем, опустив пуансон, накладывают цветной слой и уплотняют его.

Один из трех для каждой партии образцов после сушки и обжига должен быть испытан на прочность сцепления слоев (основного и лицевого), в связи с этим поверхностный слой на данный образец накладывается не полностью, а лишь полосой шириной 10 мм для удобства испытаний на сдвиг.

Отформованные плитки высушивают в сушильном шкафу и обжигают при различных температурах: 850, 950 и 1050<sup>0</sup>С.

После сушки и обжига образцы подвергают внешнему осмотру, отмечая при этом цвет покровного слоя, наличие дефектов – отслаивание, искривление, трещины, пятна и др., анализируя возможные причины возникновения обнаруженных дефектов и намечая мероприятия по их предотвращению.

Затем образцы испытывают на прочность сцепления основного и лицевого слоев, определяют их среднюю плотность, водопоглощение и морозостойкость экспресс-методом.

Испытание образцов на прочность сцепления слоев проводят на любом гидравлическом прессе, позволяющем испытывать материалы на сдвиг.

Расчет прочности сцепления  $R_{cu}$  проводят путем умножения показателей манометра прессы  $P$  (кгс) на площадь поршня  $F_n$  (см<sup>2</sup>) и деления на площадь контакта слоев  $F_k$  (см<sup>2</sup>) по формуле

$$R_{\bar{n}\bar{o}} = \frac{P \cdot F_n}{F_k}. \quad (2.5)$$

Прочность сцепления основного и лицевого слоев может быть определена по методике, изложенной в прил. 4.

Для определения водопоглощения двухслойных образцов их насыщают водой в течение 48 ч при уровне воды выше верха образцов не менее чем на 2 см. Перед взвешиванием насыщенные водой образцы обтирают влажной тканью. Водопоглощение образца (% по массе) определяют по формуле

$$B = \frac{m_2 - m_1}{m_1} 100, \quad (2.6)$$

где  $m_1$  – масса обожженного образца, г;

$m_2$  – масса насыщенного водой образца, г.

При испытании образцов на водопоглощение следует параллельно определить водопоглощение поверхностного слоя (оно должно лежать в пределах 8...14 %).

Морозостойкость образцов в условиях ограниченного времени можно оценить экспресс-методом – по коэффициенту насыщения или структурности  $K_c$ , ко-

торый подсчитывают по формуле

$$\hat{E}_{\bar{n}} = \frac{\hat{A}_f}{\hat{A}_e}, \quad (2.7)$$

где  $B_n$  – водопоглощение образцов при нормальных температурных условиях, %;  
 $B_k$  – водопоглощение образца при кипячении в течение 4 ч, %.

После кипячения образцы охлаждают, не вынимая из воды. Образцы считаются морозостойкими, если значение  $K_c$  не ниже 0,85, то есть водопоглощение при кипячении не более чем на 15 % превышает водопоглощение при нормальных условиях.

Все полученные результаты экспериментов заносят в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Результаты эксперимента

Слой	Состав шихты	Свойства формовочных масс				Свойства двухслойных образцов				
		Формовочная влажность, %	Число пластичности, %	Воздушная усадка, %	Огневая усадка, %	Результаты визуального осмотра (цвет, наличие дефектов, деформаций, отслоения и др.)	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность сцепления слоев, МПа	Водопоглощение при нормальных условиях, %	Водопоглощение при кипячении, %
Основной										
Лицевой										

Полученные данные анализируют для выяснения причин возникновения обнаруженных дефектов и намечают мероприятия по их предотвращению. По результатам испытаний делают выводы о зависимости прочности слоев двухслойных образцов от исследованных факторов.

**Аттестационные вопросы**

1. Назовите основные свойства глинистого сырья.
2. Какие требования предъявляются к глинистому сырью при изготовлении лицевого и основного слоев двухслойных керамических изделий?
3. Каковы основные особенности изготовления лицевых керамических изделий методами отбеливания, объемного окрашивания и двухслойного формования?

4. Перечислите основные процессы, протекающие при взаимодействии глины с водой.

5. Какие процессы протекают при сушке и обжиге керамических изделий?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

### ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШИХТОВОГО СОСТАВА КЕРАМИЧЕСКИХ ПЛИТОК ДЛЯ СКОРОСТНЫХ РЕЖИМОВ ОБЖИГА

**3.1. Цель работы** – изучение влияния сырьевого состава и температуры обжига на основные физико-технические характеристики керамических плиток, выявление рационального состава и температуры спекания керамических плиток для скоростных режимов обжига.

**3.2. Оборудование, приборы, инструменты и сырьевые материалы:** гидравлический пресс по ГОСТ 8905-92; пресс-формы размером 50×50×10 мм, фарфоровые ступки с пестиками, мерные цилиндры на 0,25 и 0,5 л; весы технические по ГОСТ 164-74; муфельная печь; штангенциркуль; металлическая линейка по ГОСТ 421; тонкомолотые и просеянные через сито № 0063 глина, перлит, стеклобой, мел, доломит.

### 3.3. Общие теоретические сведения

Технология производства керамических плиток на поточно-автоматизированных конвейерных линиях со скоростными режимами сушки (20...40 мин) и обжига (40...70 мин) предъявляет определенные требования как к используемому сырью, так и к составам плиточных масс и глазурей.

Разработанные конструкции щелевых печей для обжига плиток оснащены металлическим рольганговым конвейером или металлической сеткой, на которых плитки последовательно проходят зоны подогрева, обжига и охлаждения. Применяемая для роликов и металлической сетки жаростойкая сталь не позволяет повышать температуру в печи свыше 1100<sup>0</sup>С. В связи с этим необходимо вести процесс спекания керамических масс таким образом, чтобы все требуемые эксплуатационные свойства плиток формировались при температуре до 1100<sup>0</sup>С. Для этой цели в состав керамических масс вводят различные плавни, обеспечивающие процесс спекания плиток в условиях скоростных режимов обжига.

При обжиге керамических плиток образуется щелочеалюмосиликатный расплав, который оказывает влияние как на спекание, так и на формирование состава, структуры и свойств изделий. В соответствии с современной теорией строения жидких фаз щелочные оксиды ( $R_2O = K_2O + Na_2O$ ), переводя  $AlO_6$

в  $AlO_4$ , укрупняют комплексы и повышают вязкость в алюмосиликатных расплавах, а щелочноземельные оксиды ( $RO = CaO + MgO$ ), наоборот, переводят  $AlO_4$  в  $AlO_6$ , что обуславливает дробление комплексов и снижение вязкости. Исходя из этого, можно предположить, что при спекании на оптимальном уровне в материале должно образовываться определенное количество алюмосиликатного расплава с оптимальным содержанием  $RO / R_2O$ . В плиточные массы в качестве щелочесодержащих материалов могут быть введены перлит, нефелиновый концентрат, нефелин-сиенитовые отходы, стеклобой и др., а в качестве материалов, содержащих щелочноземельные оксиды, - мел, доломит, магнезит, тальк, топливные шлаки, шлаки химических производств и др.

Для поточно-конвейерного способа производства облицовочных плиток в их состав рекомендуется вводить щелочесодержащие материалы совместно с добавками, содержащими щелочноземельные оксиды, в количествах, обеспечивающих содержание в шихте  $RO + R_2O = 12...20\%$  при  $RO / R_2O = 1,0...1,3$ . При введении в состав плиточных масс комплексных добавок плавней при скоростных режимах обжига синтезируются минералы (волластонит, анортит, диопсид и др.), снижающие усадку и влажностное расширение, а также улучшающие физико-механические свойства плиток. Для получения высококачественных облицовочных плиток при скоростных режимах обжига рекомендуется двукратный обжиг. При этом продолжительность первого (утельного) составляет 20 мин, а второго (политого) – 30 мин.

При производстве фасадных плиток и плиток для полов в состав масс рекомендуется вводить комплексные плавни в количествах, обеспечивающих содержание в шихте  $RO + R_2O = 8...11\%$  при  $RO / R_2O = 0,3...0,8$ . При использовании глин, содержащих значительное число оксидов железа (4...10%), плавни должны вводиться в таких количествах, чтобы обеспечить содержание в массах  $Fe_2O_3 + R_2O = 7...11\%$  при  $Fe_2O_3 / R_2O = 1$  и менее. Общая продолжительность обжига плиток для полов зависит от их размера, в основном от толщины. Для получения качественных плиток обязательна выдержка при температурах  $900...950^{\circ}C$  (для устранения черной зоны, образующейся при скоростном обжиге) в течение 10...20 мин, а также и при максимальной температуре обжига.

При изготовлении фасадных плиток предпочтителен однократный обжиг. Для получения высококачественных морозостойких плиток общее время обжига должно составлять 60...70 мин. При этом выдержка при  $900...950^{\circ}C$  составляет 9...12 мин. Максимальная температура обжига определяется водопоглощением плиток.

Таким образом, используя комплексные плавни, содержащие щелочные и щелочноземельные оксиды в определенном соотношении их в шихте, можно получить керамические плитки различного назначения с требуемыми физико-техническими свойствами. Эти свойства формируются в процессе спекания сырьевой шихты при скоростных режимах обжига по заданным температурным параметрам. Основные физико-технические свойства керамических плиток для

внутренней облицовки стен, отделки фасадов зданий и для полов представлены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Физико-технические свойства керамических плиток

Свойства	Значения для плиток		
	внутренней облицовки	отделки фасадов	полов
Предел прочности при изгибе, МПа	не менее 8...12	не менее 15	не менее 25
Водопоглощение, %	не более 16...24	не более 5...9	не более 3,5...4,5
Термостойкость, °С	150	-	125
Истираемость, г/см <sup>2</sup>	-	-	не более 0,7
Морозостойкость, циклы	-	35...50	не менее 25
Искривление (отклонение по плоскости), мм	0,5...1,0	0,8...1,1	0,5...2,0

### 3.4. Порядок выполнения работы

Для реализации поставленной цели исследований используется математический метод Д-оптимального планирования трехфакторного эксперимента (прил. 5). В качестве основных компонентов керамической шихты при проведении лабораторной работы принимаются:

- 1) беложгущаяся или темножгущаяся глина в зависимости от вида керамической плитки;
- 2) щелочесодержащие плавни:  $R_2O = K_2O + Na_2O$  (нефелин-сиенит, перлит, стеклобой и др.);
- 3) щелочноземельные оксиды:  $RO = CaO + MgO$  (тальк, доломит, мрамор и др.).

Условия проведения эксперимента представлены в табл. 3.2, а матрица планирования – в табл. 3.3.

Таблица 3.2

Условия проведения эксперимента

Наименование фактора	Математический символ	Значения на уровнях			Интервал
		-1	0	+1	
Расход щелочесодержащего плавня, %	$X_1$	10	15	20	5
Расход щелочноземельного материала, %	$X_2$	2	4	6	2
Температура обжига, °С	$X_3$	900	950	1000	50

Таблица 3.3

Матрица планирования и результаты эксперимента

Номер опыта	Матрица			Результаты эксперимента			
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Y <sub>1</sub>	Y	Y <sub>1</sub> -Y	σ <sub>Y</sub>
1	+	-	-				
2	-	+	-				
3	-	-	+				
4	+	+	+				
5	+	-	+				
6	-	+	+				
7	+	+	-				
8	-	-	-				
9	+	0	0				
10	-	0	0				
11	0	+	0				
12	0	-	0				
13	0	0	+				
14	0	0	-				
15	0	0	0				
16	0	0	0				
17	0	0	0				
18	0	0	0				

Для выполнения эксперимента каждой бригадой студентов (3...4 чел.) приготавливается сырьевая шихта в количестве 400 г согласно составам, представленным в табл. 2.3, путем тщательного перетиранья сухой смеси в фарфоровой ступке. Вода вводится в количестве, соответствующем влажности 7...8 %. Расход глинистого порошка для всех экспериментов определяется из 100-процентного содержания всех компонентов (глина + щелочесодержащий плавень + щелочноземельный материал) в сырьевой шихте.

Параллельно для сравнения готовится шихта из глины без использования комплексных плавней.

Приготовленная формовочная смесь (1/6 часть общего замеса) укладывается в металлическую пресс-форму и подвергается прессованию с удельной нагрузкой 20 МПа. Отформованные образцы 50×50×10 мм маркируются, измеряются штангенциркулем, высушиваются в сушильном шкафу при температуре 160...180<sup>0</sup>С в течение 30 мин. Высушенные образцы плитки обжигаются в лабораторной муфельной печи при температуре 900, 950, 1000<sup>0</sup>С (в соответствии с планом эксперимента) с выдержкой при максимальной температуре 10 мин.

Обожженные образцы охлаждают, осматривают, определяют деформации, линейную усадку, среднюю плотность, водопоглощение и предел прочности при изгибе. Результаты определений заносят в табл. 3.3.

Затем, используя бланк-алгоритм (см. прил. 5), выполняют расчеты (по одному или всем изучаемым свойствам) для получения уравнения регрессии в виде полинома:

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_{11}X_1^2 + B_{22}X_2^2 + B_{33}X_3^2 + B_{12}X_1X_2 + B_{13}X_1X_3 + B_{23}X_2X_3, \quad (3.1)$$

где  $B_0, B_1, B_2, B_3, B_{11}, B_{22}, B_{33}, B_{12}, B_{13}, B_{23}$  – коэффициенты регрессии.

После проверки уравнения (3.1) на адекватность осуществляют графическую интерпретацию полученных моделей влияния варьируемых факторов на свойства керамических плиток.

По полученным данным устанавливается рациональный состав и температура спекания керамических плиток для скоростных режимов обжига с заданным уровнем физико-технических свойств. Также производится сравнительная оценка достигаемого уровня качества керамических плиток-образцов, изготовленных из чистой глины, при прочих равных для всех, технологических условиях изготовления.

### **Аттестационные вопросы**

1. Назовите основные сырьевые материалы, используемые при производстве керамических плиток.

2. Какие виды плавней вводят в составы шихт для производства керамических плиток?

3. В чем заключаются технологические особенности производства керамических плиток на поточно-автоматизированных конвейерных линиях?

4. В чем заключается декорирование керамических плиток? Назовите виды глазурей и способы нанесения глазури на поверхность керамических плиток.

5. Опишите физико-химические процессы, протекающие при скоростных режимах сушки и обжига керамических плиток.

6. Перечислите основные пути экономии материальных и топливно-энергетических ресурсов при производстве керамических плиток.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА ДЕКОРАТИВНОГО БЕТОНА (РАСТВОРА)

**4.1. Цель работы** – подбор состава декоративного бетона (раствора) с определенными цветовыми и физико-механическими характеристиками.

**4.2. Оборудование, приборы, инструменты и сырьевые материалы:** гидравлический пресс по ГОСТ 8905-92; лабораторная виброплощадка; лабораторная пропарочная камера; ванна металлическая для определения водопоглощения; штыковка для уплотнения бетонной смеси; металлическая чашка со сферическим дном; формы металлические 10×10×10 см; весы технические по ГОСТ 164-74, весы торговые по ГОСТ 164-74, мерные цилиндры объемом 0,5 и 1 л; стандартный конус для определения подвижности бетонной смеси; емкость для перемешивания бетонной смеси; портландцемент; пигменты 3...4 видов; щебень светлых тонов фракции до 10 мм; песок фракции 0,8...2,5 мм.

### 4.3. Общие теоретические сведения

Отделка бетонных и железобетонных изделий и конструкций декоративными бетонами и растворами отличается долговечностью благодаря высокой прочности сцепления бетона изделия с отделочным слоем, сходным с ним по составу и свойствам.

Применение декоративных бетонов и растворов позволяет получать отделочные слои неограниченной цветовой палитры, а также с любой фактуры – гладкой, бугристой или рельефной.

Отделочные слои, имеющие различную фактуру, могут быть получены как в процессе формования – за счет реализации пластических свойств бетонных или растворных смесей, а также выявления декоративных качеств заполнителей, так и путем специальной обработки бетонных поверхностей после тепловой обработки.

Основной задачей подбора состава цветных бетонов и растворов является выбор заполнителя, обеспечивающего необходимую прочность и декоративные качества бетона, а также количество пигмента, придающего необходимый цвет цементному камню без снижения его прочности.

Для получения декоративных бетонов и растворов в качестве вяжущих применяют белый, обычный и цветной портландцементы, известь, гипс, а также магнезиальные вяжущие вещества.

При отсутствии цветного цемента в качестве вяжущего для цветных бетонов и растворов можно использовать белый или разбеленный серый цемент с добавкой пигментов. Для разбеливания в цемент добавляют (при перемешивании в мельницах) белый молотый известняк или мрамор с тонкостью помола

около 3000 см<sup>2</sup>/г. Общее количество тонкомолотой добавки и пигмента не должно превышать 25 % от массовой доли цемента. Примерное содержание пигмента в цементе, необходимое для получения бетона или раствора заданного цвета, приведено в табл. 4.1.

В качестве заполнителей применяют дробленые горные породы (граниты, мраморы, базальты, диориты, лабрадориты, вулканические туфы, кварциты и др.), а также природный гравий и песок с декоративными свойствами. Прочность крупного заполнителя при этом должна быть не менее 20 МПа, а водопоглощение – не более 4 % по массе.

Таблица 4.1

Изменение интенсивности цвета бетона или раствора  
в зависимости от массовой доли пигмента в цементе

Отделочный бетон или раствор		Вид пигмента	Содержание пигмента, % от массы цемента	
цвет	интенсивность окрашивания		белого	серого
Желтый	слабая	охра	5	10
	средняя	охра	10	20
Красный с коричневым оттенком	слабая	железный	2	3
	средняя	сурик	4	5
	высокая	или пиритные огарки	6	8
Красный	слабая	редоксайд	2	3
	средняя	то же	3	5
	высокая	то же	5	8
Зеленый	слабая	оксид хрома	1	3
	средняя	то же	3	5
	высокая	то же	5	8
Коричневый	слабая	смесь железного	1	4
	средняя	сурика	5	10
	высокая	и пиролюзита	10	15
Синий	слабая	ультрамарин	1	3
	средняя	то же	3	5
	высокая	то же	5	-

Для усиления декоративного эффекта в состав декоративных бетонов и растворов вводят дробленый бой стекла, слюду, эрклез, отдельные виды шлаков и др. Для улучшения удобоукладываемости декоративных бетонов и растворов, а также для повышения их эксплуатационных свойств в состав формовочных смесей вводят поверхностно-активные вещества (ГКЖ, ЛСТ и др.).

При подборе состава цветного бетона или раствора следует учитывать, что введение пигментов снижает активность цемента, а значит, и прочностные характеристики покрытия (табл. 4.2).

Таблица 4.2

**Изменение активности портландцемента в зависимости от вида и количества пигментов**

Пигмент	Активность цемента, %, в зависимости от массовой доли пигмента								
	0	1	2	4	5	8	10	20	30
Охра	100	90	85	80	70	60	50	40	-
Сурик железный	100	95	95	90	85	80	75	65	50
Оксид хрома	100	95	90	85	80	75	70	60	50
Пиролюзит	100	100	95	90	85	80	75	65	50
Ультрамарин	100	100	95	90	85	85	70	60	50
Редоксайд	100	100	95	90	85	80	75	65	50
Пиритные огарки	100	100	100	95	85	80	70	55	40

Примерный расход цветного цемента для изготовления бетона и раствора различных марок представлен в табл. 4.3.

Таблица 4.3

**Расход цветного цемента на 1 м<sup>3</sup> бетонной или растворной смеси**

Вид декоративного бетона или раствора	Проектная прочность бетона или раствора, МПа	Ориентировочный расход цемента (кг) при марке	
		300	400
Бетон с заполнителем крупностью до 20 мм	10	250	230
	15	300	270
Бетон с заполнителем крупностью до 10 мм	10	280	260
	15	320	290
Раствор на основе кварцевого песка или песка из дробленых горных пород до 2,5 мм	7,5	320	270
	10	360	320
	15	400	380

При изготовлении декоративных бетонов необходимо использовать бетонные смеси подвижностью 2...4 см по осадке стандартного конуса. Коэффициент уплотнения бетонной смеси должен быть не менее 0,97.

Основными показателями свойств декоративно-отделочных бетонов являются: морозостойкость – не менее 50 циклов, водопоглощение – не более 8 %, прочность при сжатии – не менее 10 МПа (но она не должна превышать прочность конструкционного бетона более чем в 2 раза).

Для отделки декоративными растворами применяют жесткие растворные смеси подвижностью не более 4 см погружения стандартного конуса.

Толщина фасадного растворного слоя для стеновых панелей из легкого бетона должна быть не менее 20±5 мм, для цокольных – не менее 30±5 мм. Толщина защитного слоя до рабочей арматуры при применении растворов на обычных серых цементах должна быть не менее 20 мм, а для растворов на белом и цветных цементах – не менее 25 мм.

#### 4.4. Порядок выполнения работы

При выполнении данной лабораторной работы последовательно производят: расчет состава цветного бетона, корректировку состава методом пробных замесов, изготовление лабораторных образцов бетона, определение физико-механических свойств и цветовых характеристик бетона.

В работе используются цветные вяжущие, полученные из портландцемента с добавлением пигмента, крупный заполнитель (светлый) с размером частиц до 10 мм и мелкий заполнитель (песок кварцевый) фракции 0,8...2,5 мм. Для каждой бригады студентов (3...4 чел.) устанавливается определенный цвет бетона согласно данным табл. 4.1.

##### 4.4.1. Расчет состава цветного бетона на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси

Расчет состава цветного бетона производится по методу абсолютных объемов, принятому при расчете составов тяжелых строительных бетонов. Последовательность расчета включает следующее:

1) Определение водоцементного отношения (В/Ц), необходимого для получения заданной прочности бетона по формуле

$$B / Ц = \frac{AR_{цц}}{R_б + 0,5AR_{цц}}, \quad (4.1)$$

где  $R_б$  – заданная прочность бетона, МПа (назначается преподавателем в пределах 15...20 МПа);

$R_{цц}$  – активность цветного цемента, МПа (определяется экспериментально или устанавливается с учетом данных табл. 4.2);

$A$  – коэффициент, учитывающий качество исходных заполнителей (для высококачественных материалов – 0,65; для материалов среднего качества – 0,6 и для материалов пониженного качества – 0,55).

2) Определение расхода воды (В), л/м<sup>3</sup>, в зависимости от требуемой удобоукладываемости бетонной смеси с учетом поправок на вид цемента и качество заполнителей. Расход воды определяется по таблицам или графикам, приведенным в справочной или нормативной литературе. Для бетонов на мраморном заполнителе до 10 мм и речном песке расход воды можно принять равным 195 л/м<sup>3</sup>.

3) Расчет расхода цветного цемента (Ц), кг/м<sup>3</sup> по формуле

$$Ц = \frac{B}{B / Ц}. \quad (4.2)$$

Если расход цветного цемента на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси окажется меньше минимально допустимого (220 кг/м<sup>3</sup>), то из условия получения плотного декоративного бетона расход должен быть увеличен до требуемой нормы.

4) Определение расхода песка (П), кг/м<sup>3</sup> для растворной части бетона из расчета Ц : П = 1 : 1 или 1 : 3, 1 : 4 исходя из требований к декоративному виду бетона.

5) Расчет расхода крупного заполнителя (Щ), кг/м<sup>3</sup> по формуле

$$Щ = \frac{\left(\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{П}{\rho_{п}} + \frac{В}{1000}\right) \cdot \rho_{нщ}}{V_{нщ} \cdot \alpha}, \quad (4.3)$$

где  $\alpha$  – коэффициент раздвижки зерен крупного заполнителя, равный 1,2;

$\rho_{ц}$ ,  $\rho_{п}$  – истинные плотности цемента и песка, кг/м<sup>3</sup>, принимаются соответственно равными 3100 и 2670;

$\rho_{нщ}$  – насыпная плотность крупного заполнителя, кг/м<sup>3</sup>, определяется экспериментально;

$V_{нщ}$  – межзерновая пустотность крупного заполнителя, вычисляемая по формуле

$$V_{нщ} = 1 - \frac{\rho_{нщ}}{\rho_{щ}}, \quad (4.4)$$

где  $\rho_{щ}$  – истинная плотность крупного заполнителя, принимаемая равной 2600 кг/м<sup>3</sup>.

Приведенный способ расчета состава бетонной смеси основан на том, что для получения бетона заданного цвета в качестве основного носителя цветовых характеристик, выступает цветной цемент, близкий по цвету к декоративному бетону, заданному проектом. При этом используются крупный заполнитель и песок светлых тонов, и они оказывают влияние лишь на светлоту общего цвета бетона.

Так как заданный цвет бетона можно получить лишь за счет сочетания заполнителей разных цветов и белого цемента или использования цветных заполнителей и цветового цемента, следует применять методику подбора, приведенную в прил. 6.

б) Расчет средней плотности бетонной смеси ( $\rho_{бс}^p$ ), кг/м<sup>3</sup> по формуле

$$\rho_{бс}^p = Ц + П + Щ + В \quad (4.5)$$

и коэффициента выхода цветного бетона ( $\beta$ ) по формуле

$$\beta = \frac{1}{\frac{Ц}{\rho_{нц}} + \frac{П}{\rho_{нп}} + \frac{Щ}{\rho_{нщ}}}, \quad (4.6)$$

где  $\rho_{нц}$  – насыпная плотность цемента (определяется экспериментально или принимается равной  $1200 \text{ кг/м}^3$ );

$\rho_{нп}, \rho_{нщ}$  – насыпная плотность песка и крупного заполнителя (определяется экспериментально),  $\text{кг/м}^3$ .

Величина коэффициента выхода цветного бетона обычно находится в пределах  $0,6 \dots 0,75$ .

#### **4.4.2. Уточнение расчетного состава цветного бетона пробными замесами**

После выполнения расчета состава бетона готовится пробный замес объемом  $10 \text{ л}$  и определяется подвижность бетонной смеси по стандартному конусу. Если подвижность отличается от заданной, то необходимо провести корректировку в составе бетонной смеси. После этого определяется фактический объем замеса  $V_з, \text{ м}^3$  по формуле

$$V_з = \frac{Ц_з + B_з + П_з + Щ_з}{\rho_{бс}^{\phi}}, \quad (4.7)$$

где  $Ц_з, B_з, П_з, Щ_з$  – соответственно массы цветного цемента, воды, песка и щебня, израсходованные на замес,  $\text{кг}$ ;

$\rho_{бс}^{\phi}$  – фактическая средняя плотность бетонной смеси,  $\text{кг/м}^3$ .

Зная объем бетонной смеси и фактический расход материалов для получения этого объема, рассчитывают расход материалов на  $1 \text{ м}^3$  бетонной смеси,  $\text{кг/м}^3$ :

$$Ц = Ц_з / V_з, \quad B = B_з / V_з, \quad П = П_з / V_з, \quad Щ = Щ_з / V_з \quad (4.8)$$

Готовые образцы декоративного бетона после твердения в естественных условиях подвергаются испытанию на определение цветовых характеристик, предела прочности при сжатии и водопоглощения. Цветовые характеристики бетона определяют с помощью компонаторов цвета или с помощью образцов цветов ВНИИМетрологии. Результаты испытаний заносятся в табл. 4.4 и 4.5.

**Исходные данные для проектирования состава  
декоративного бетона (раствора) заданного цвета**

Показатели	Значение показателя	Показатели	Значение показателя
Заданные цветовые характеристики бетона (раствора): цветовой тон, нм чистота цвета, % яркость цвета, %		Насыпная плотность песка, кг/м <sup>3</sup>	
Заданная прочность бетона (раствора), МПа		Модуль крупности песка, Мк	
Активность цветного цемента, МПа		Наибольший размер зерен щебня, мм	
Истинная плотность цветного цемента, кг/м <sup>3</sup>		Истинная плотность щебня, кг/м <sup>3</sup>	
Насыпная плотность цветного цемента, кг/м <sup>3</sup>		Насыпная плотность щебня, кг/м <sup>3</sup>	
Истинная плотность песка, кг/м <sup>3</sup>		Межзерновая пустотность щебня, %	
		Вид пигмента	
		Удобоукладываемость бетонной смеси(подвижность), см	

Таблица 4.5

**Результаты определения состава и свойств декоративного бетона (раствора)**

Показатели	Значение показателя	Показатели	Значение показателя
Предварительный расход материалов на 1 м бетонной смеси: цветного цемента (Ц), кг воды (В), л песка (П), кг щебня (Щ), кг		Коэффициент выхода бетонной смеси	
Расход материалов на пробный замес 10 л: цветного цемента, кг воды, л песка, кг щебня, кг		Фактическая средняя плотность бетонной смеси, кг/м <sup>3</sup>	
Рациональное значение В/Ц		Рациональный состав декоративного бетона в массовых частях 1:Х:У, В/Ц	
Фактический расход материалов на пробный замес: цветного цемента, кг воды, л песка, кг щебня, кг		Фактические цветовые характеристики бетона цветовой тон, нм чистота цвета, % яркость цвета, %	
		Предел прочности при сжатии декоративного бетона (раствора), МПа	
		Водопоглощение декоративного бетона (раствора), %	

На основании результатов, представленных в табл. 4.4 и 4.5, устанавливают зависимости между характеристиками исходных материалов и свойствами полученного декоративного бетона (раствора) и делают необходимые выводы по его рациональному составу.

### **Аттестационные вопросы**

1. Перечислите разновидности декоративно-отделочных бетонов и растворов.
2. Какие требования предъявляются к сырьевым материалам для декоративно-отделочных бетонов и растворов?
3. Как производится подбор состава декоративно-отделочных бетонов и растворов? Особенности их приготовления.
4. Перечислите индустриальные способы отделки декоративными бетонами и растворами.
5. Какие требования предъявляются к отделочным покрытиям на основе цветных бетонов и растворов?
6. Опишите технологию нанесения штукатурных покрытий: обычных, цветных, терразитовых, камневидных, граффитовых.
7. Дайте сравнительную оценку технико-экономических показателей различных способов отделки фасадов зданий.

## 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  $\lambda$ , 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 порами и зёрнами.

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 <sup>3</sup>	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  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup> (г/см<sup>3</sup>), 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, м<sup>3</sup> (см<sup>3</sup>).

Объем материала в абсолютно плотном состоянии (в твердой фазе) определяется по объему вытесненной инертной жидкости. Для этого пробу материала предварительно высушивают при температуре 105<sup>0</sup>С 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  $\rho$ , г/см<sup>3</sup>, 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/см<sup>3</sup>.

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, $\rho$ , г/см <sup>3</sup> (кг/м <sup>3</sup> )
		$m_1$	$m_2$	$m_3$	$m_4$	

#### 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  $\rho_m$ , кг/м<sup>3</sup> (г/см<sup>3</sup>), 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, м<sup>3</sup> (см<sup>3</sup>);

$V_{m.ф.}$  – объем твердой фазы, м<sup>3</sup> (см<sup>3</sup>);

$V_{пор}$  – объем газовой фазы (пор и пустот), м<sup>3</sup> (см<sup>3</sup>).

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), см<sup>3</sup>.

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 <sup>3</sup>	Средняя плотность, $\rho_m$ , г/см <sup>3</sup> (кг/м <sup>3</sup> )

Теплоизоляционные материалы по величине средней плотности подразделяются на марки.

### 1.4.3. Определение теплопроводности

Для определения величины коэффициента теплопроводности  $\lambda$  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  $\lambda_v$  – теплопроводность воздуха, равная 0,023 Вт/(м·°С).

$\rho_m$  – средняя плотность материала, кг/м<sup>3</sup>.

Полученные результаты записывают в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Результаты определения коэффициента теплопроводности

Наименование теплоизоляционного материала	Средняя плотность, $\rho_m$ , кг/м <sup>3</sup>	Относительная плотность, $d_m$	Коэффициент теплопроводности, $\lambda$ , 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  $\rho_n$ , кг/м<sup>3</sup> (г/см<sup>3</sup>), 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, м<sup>3</sup> (см<sup>3</sup>);

$V_{пор}$  – объем пор в зернах материала, м<sup>3</sup> (см<sup>3</sup>);

$V_{пуст}$  – объем межзерновых пустот, м<sup>3</sup> (см<sup>3</sup>).

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,  $\rho_n$ , г/см<sup>3</sup>, 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, см<sup>3</sup>.

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 <sup>3</sup>	Насыпная плотность, $\rho_n$ , г/см <sup>3</sup> (кг/м <sup>3</sup> )

#### 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  $\rho$  – истинная плотность материала, кг/м<sup>3</sup> (г/см<sup>3</sup>);

$\rho_m$  – средняя плотность материала, кг/м<sup>3</sup> (г/см<sup>3</sup>).

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  $\rho_n$  – насыпная плотность материала, кг/м<sup>3</sup> (г/см<sup>3</sup>);

$\rho_m$  – средняя плотность зерен материала, кг/м<sup>3</sup> (г/см<sup>3</sup>).

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 <sup>3</sup>		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 105<sup>0</sup>С 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 105<sup>0</sup>С до постоянной массы, охлаждают до комнатной температуры, взвешивают, обмеряют и вычисляют объем. Затем помещают в емкость с водой, имеющей температуру 20<sup>0</sup>С. 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, см<sup>3</sup>;

$\rho_{воды}$  – плотность воды, равная 1 г/см<sup>3</sup>.

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 <sup>3</sup>	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  $A$ , м<sup>2</sup> (см<sup>2</sup>). 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/см<sup>2</sup> (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 <sup>2</sup>	Разрушающая сила, $P_p$ , кгс	Предел прочности при сжатии, $R_{сж}$ , кгс/см <sup>2</sup> (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 ( $\text{кгс/см}^2$ ) 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, $R_{изг}$ , $\text{кгс/см}^2$ , (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?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

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

**2.1. Цель работы** – изучение влияния вида и количества связующих веществ на основные строительно-технические свойства твердых минераловатных изделий.

**2.2. 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/см<sup>3</sup>, тонкомолотые каолин, бентонит, диатомит.

### 2.3. 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, сиениты, 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:

$$M_k = \frac{\%SiO_2 + \%Al_2O_3}{\%CaO + \%MgO} \geq 1,2 \dots 1,5. \quad (2.1)$$

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 конст-

рукциях; невозможность применения индустриальных методов при производстве тепломонтажных 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.

#### **2.4. 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. 2.1.

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...90<sup>0</sup>С 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...160<sup>0</sup>С 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 отвешивается 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 ( $M.B.$ ), кг

$$M.B. = \frac{V_{обр} \cdot \rho_{мв} \cdot K_{упл} \cdot K_n}{1000}, \quad (2.2)$$

где  $V_{обр}$  – объем изготавливаемого образца, см<sup>3</sup>;

$\rho_{мв}$  – средняя плотность минеральной ваты, г/см<sup>3</sup>;

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

$K_n$  – коэффициент потерь, равный 1,1.

- количество битумного связующего ( $B.C.$ ), кг, рассчитывают по формуле

$$B.C. = \frac{M.B. \cdot \%B.C.}{100}, \quad (2.3)$$

где  $\%B.C.$  – массовая доля битумного связующего в смеси, %.

Объемная доля битумного связующего (см<sup>3</sup>) может быть подсчитана по формуле

$$V_{б.с.} = \frac{B.C. \cdot 1000}{\rho_{бс}}, \quad (2.4)$$

где  $\rho_{бс}$  – ареометрическая плотность битумной 10-процентной эмульсии, г/см<sup>3</sup>.

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...120<sup>0</sup>С 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

$$ВДП_{10} = \frac{ВДП_c \cdot C}{10}, \quad (2.5)$$

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 формование 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...150<sup>0</sup>С до постоянной массы.

### 3.4.4. Изготовление образцов с применением растворимого стекла

Вначале готовится водный раствор жидкого стекла в количестве, необходимом для формования трех образцов. При этом количество жидкого стекла с модулем 2...3 и плотностью 1,5 г/см<sup>3</sup> берут в соответствии с заданием (табл. 2.1), 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. 2.2 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 2.2

Результаты определения свойств минераловатных изделий

Вид связующего вещества	Массовая доля связующего вещества в изделии, %	Показатели свойств изделий		
		средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	предел прочности при изгибе, МПа	расчетная величина коэффициента теплопроводности, Вт/(м·°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.

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

## **ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЦЕПТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ПЕНОСТЕКЛА**

**3.1. 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).

**3.2. 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 см<sup>2</sup>/г, порошки мела, известняка, перманганата калия, антрацита, кокса, сажи и натриевой селитры с удельной поверхностью 6000 см<sup>2</sup>/г.

### **3.3. 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 ма-

териалов. Показатели основных физико-технических свойств пеностекла приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Основные физико-технические свойства пеностекла

Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	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 400<sup>0</sup>С, 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 (стеклобоя), 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<sub>2</sub>), оксид азота (натриевая селитра NaNO<sub>3</sub>). 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<sup>0</sup>С вязкость достигает 2800...3500 Па·с, а поверхностное натяжение -  $(3...5) \cdot 10^{-3}$  Н/м. Снизить поверхностное натяжение стекла, стабилизировать образующуюся пеномассу 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 100<sup>0</sup>С 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.

### 3.4. Порядок выполнения работы

Изучение влияния рецептурно-технологических факторов на основные свойства пеностекла производится согласно рабочему заданию, представленному в табл. 3.2. 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.

Таблица 3.2

Варианты рабочих заданий

Вид газообразователя	Массовая доля газообразования, %			Температура спекания, <sup>0</sup> С
	1	2	3	
Пиролюзит (MnO <sub>2</sub> ) или перманганат калия (KMnO <sub>4</sub> )	1	3	5	680...720
Натриевая селитра (NaNO <sub>3</sub> )	1	3	5	680...720
Известняк, мрамор, мел (CaCO <sub>3</sub> )	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  $1 \text{ см}^2$ , а газообразователь – через сито с 6400 отверстий на  $1 \text{ см}^2$ .

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  $50^\circ\text{C}$  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  $600^\circ\text{C}$ , при которой происходит отжиг образцов в течение часа. Затем печь отключают от электросети, и образец постепенно охлаждается до температуры  $30^\circ\text{C}$ .

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. 3.3.

Таблица 3.3

Результаты испытаний пеностекла

Вид газообразователя	Температура спекания, $^\circ\text{C}$	Массовая доля газообразователя в шихте, %	Основные свойства пеностекла			Расчетная величина коэффициента теплопроводности, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$
			средняя плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$	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 темпе-

ратуры 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?

## **ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НА СВОЙСТВА ПЕНОПОЛИСТИРОЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

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

**4.2. 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.

### **4.3. 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. 4.1.

Таблица 4.1

Физико-механические свойства пенополистирольных изделий

Показатели	Нормы для марок со средней плотностью в сухом состоянии, кг/м <sup>3</sup>			
	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 80<sup>0</sup>С переходит из стеклообразного состояния в эластичное, а газообразователь изопентан, который равномерно распределен в массе полистирола, при температуре выше 28<sup>0</sup>С 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...96<sup>0</sup>С 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...120<sup>0</sup>С 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.

#### 4.4. Порядок выполнения работы

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

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

$$m_n = V \cdot \rho_{m, \text{ср}}^n, \quad (4.1)$$

где  $V$  – объем формы,  $\text{см}^3$ ;

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

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. 4.2.

Таблица 4.2

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, $\text{г/см}^3$						

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  $30 \text{ кг/м}^3$ .

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

$$K = \frac{V_1}{V_0}, \quad (4.2)$$

где  $V_1$  – объем исходных гранул полистирола,  $\text{см}^3$ ;

$V_0$  – объем вспененных гранул,  $\text{см}^3$ .

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. 4.3, а матрица планирования и результаты эксперимента – в табл. 4.4.

Таблица 4.3

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 4.4

Матрица планирования и результаты эксперимента

Номер опыта	Матрица		Результаты эксперимента				
	$X_1$	$X_2$	$Y_1 (\rho_m), \text{г/см}^3$	$Y_{\text{cp}}$	$(Y_1 - Y_{\text{cp}}), \text{г/см}^3$	$\sigma_y, \text{г/см}^3$	$C_V = \sigma_y 100 / Y_{\text{cp}}$
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:

$$Y(\rho_m) = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_{11} X_1^2 + B_{22} X_2^2 + B_{12} X_1 X_2. \quad (4.3)$$

После чего осуществляют построение геометрической поверхности полученной математической модели.

Для определения оптимального режима двухстадийного вспенивания пенополистирола находят производные полинома (4.3):

$$Y^1(X_1) = 0 \text{ и } Y^1(X_2) = 0, \quad (4.4)$$

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.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

### ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ ОКРАСОЧНЫХ ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

**1.1. Цель работы** – изучение методов приготовления и определения основных качественных показателей окрасочных гидроизоляционных материалов.

**1.2. Оборудование, приборы, инструменты и сырьевые материалы:** смеситель с тепловым обогревом, сушильный шкаф, приспособление «кольцо и шар», металлические стержни диаметром 10, 15, 20, 30, 40 мм, тугоплавкий битум марок БНК-90/30 или БНК-90/40, легкоплавкий битум марок БНД-60/90 или БНД-45/180, пылевидный наполнитель – тонкомолотые известняки, доломиты, трепел, мел; волокнистый наполнитель – хризотилковый асбест 7 сорта, лист пергамина размером 500×1000 мм.

#### 1.3. Общие теоретические сведения

Окрасочная гидроизоляция представляет собой водонепроницаемое покрытие, выполняемое малярными способами (кистями, шпателями, краскораспылителями) в несколько слоев, общей толщиной от 10 до 50 мм.

К окрасочным гидроизоляционным материалам относятся: битумные, дегтевые и смешанные битумно-дегтевые эмульсии, битумные и дегтевые пасты, битумные, битумно-резиновые, битумно-полимерные и полимерные мастики.

Общие требования к окрасочным гидроизоляционным материалам представлены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

#### Общие требования к окрасочным гидроизоляционным материалам

Свойства материалов	Вид конструкций		
	наземные	подземные	кровли
Водонепроницаемость, напор воды, м	10	40	1,0
Коэффициент водоустойчивости через 3 мес., не менее	0,75	0,8	0,7
Водопоглощение по массе, %, не более	5,0	3,0	7,0
Набухание по объему, %, не более	1,0	0,8	1,5
Теплоустойчивость, °С, не ниже	60	40	70
Температура хрупкости, °С, не выше	-40	-5	-50
Трещиностойчивость, мм, не более:			
для покрытия монолитных конструкций	0,3	0,1	0,5
то же, сборных железобетонных	2,0	0,5	0,4

Свойства материалов	Вид конструкций		
	наземные	подземные	кровли
Водонепроницаемость, напор воды, м	10	40	1,0
Коэффициент водоустойчивости через 3 мес., не менее	0,75	0,8	0,7
Водопоглощение по массе, %, не более	5,0	3,0	7,0
Набухание по объему, %, не более	1,0	0,8	1,5
Теплоустойчивость, °С, не ниже	60	40	70
Температура хрупкости, °С, не выше	-40	-5	-50
Трещиностойчивость, мм, не более:			
для покрытия монолитных конструкций	0,3	0,1	0,5
то же, сборных железобетонных	2,0	0,5	0,4
Предел прочности, МПа, не менее:			
при сжатии	1,0	1,0	0,5
при растяжении	0,8	0,5	0,3
Коэффициент атмосферостойкости через 500 циклов, не менее	0,9...0,8	0,7...0,6	0,95...0,9
Щелочестойкость, рН, не более	12,0	12,0	8,0
Кислотостойкость, рН, не ниже	2,0	5,0	6,0
Долговечность, лет, не менее	10	40	10

#### 1.4. Порядок выполнения работы

##### 1.4.1. Приготовление и определение марки горячей битумной мастики

Битумная мастика представляет собой однородную массу, состоящую из битумного вяжущего и наполнителя. В качестве сырьевых материалов применяют: битум легкоплавкий БНД или БНК, битум тугоплавкий кровельный БНК, волокнистый или пылевидный наполнители.

В качестве волокнистого наполнителя применяют хризотилковый асбест седьмого сорта. Для пылевидного наполнителя используются тонкомолотый тальк, сланцевые породы, известняки, доломиты, трепел, мел (табл. 1.2).

Таблица 1.2

##### Требования к наполнителю для изготовления мастики

Наименование показателей	Норма
Плотность, г/см <sup>3</sup> , не более	2,7
Влажность наполнителя, % по массе, не более:	
волокнистого	5,0
пылевидного	3,0
Зерновой состав наполнителя:	
волокнистого	Проходит 100 % через сито с сеткой №04
пылевидного	Проходит 100 % через сито с сеткой №02, а на сите с сеткой №009 остаток не более 10 %

Горячую битумную мастику готовят следующим образом. Первоначально в смеситель с тепловым обогревом загружают куски легкоплавкого битума (например, БНД-60/90, БНК-45/180) и обезвоживают его, доводя температуру до 110...115<sup>0</sup>С. После обезвоживания в расплавленный битум добавляют тугоплавкий битум марки БНК-90/30 или БНК-90/40 и при постоянном перемешивании температуру вяжущего доводят до 160...180<sup>0</sup>С.

Количество тугоплавкого битума, вводимого в расплавленный легкоплавкий битум, зависит от требуемой температуры размягчения битумного вяжущего (табл. 1.3) и определяется по формулам

$$B_T = \frac{t_s - t_n}{t_T - t_n}, \quad (1.1)$$

$$B_n = 100 - B_T, \quad (1.2)$$

где  $B_T$  – количество тугоплавкого битума, %;

$B_n$  – количество легкоплавкого битума, %;

$t_s$  – температура размягчения битумного вяжущего, <sup>0</sup>С;

$t_T, t_n$  – температура размягчения соответственно тугоплавкого и легкоплавкого битумов, <sup>0</sup>С.

Таблица 1.3

Температура размягчения битумного вяжущего для мастик

Марка мастики	Температура размягчения битумного вяжущего по методу «кольцо и шар», <sup>0</sup> С
МБК-Г-55	45...50
МБК-Г-65	51...60
МБК-Г-75	61...70
МБК-Г-85	71...80
МБК-Г-100	85...95

В том случае, если температура битумного вяжущего будет ниже заданной, надо увеличить процентное содержание тугоплавкого битума и после тщательного перемешивания повторить эксперимент до получения битумного вяжущего с требуемой температурой размягчения.

После проверки температуры размягчения битумного вяжущего вводят наполнитель отдельными порциями при постоянном перемешивании. Количество загружаемого наполнителя в каждой порции составляет примерно 1/3 от потребляемого количества. При интенсивном подъеме пены введение наполнителя прекращают до понижения уровня пены, после чего засыпку наполнителя возобновляют снова. После загрузки наполнителя варку мастики продолжают при температуре 160...180 <sup>0</sup>С при постоянном перемешивании до получения однородной смеси.

Мастика должна быть удобно наносимой: при температуре 160...180 °С мастика массой 10 г должна свободно растекаться по поверхности листа пергамина размером 100×50 мм ровным слоем толщиной 2 мм.

В зависимости от марки мастика должна удовлетворять требованиям, приведенным в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Требования к мастикам различных марок

Наименование показателей	Марки мастик				
	МБК-Г-55	МБК-Г-65	МБК-Г-75	МБК-Г-85	МБК-Г-100
Теплостойкость в течение 5 ч, °С, не менее	55	65	75	85	100
Температура размягчения по методу «кольцо и шар», °С	55...60	68...72	78...82	88...92	105...110
Гибкость при температуре (18±2) °С на стержне диаметром, мм	10	15	20	30	40
Содержание наполнителя, % по массе:					
волокнистого	12...15	12...15	12...15	12...15	12...15
пылевидного	25...30	25...30	25...30	25...30	25...30

*1.4.2. Определение теплостойкости*

Для определения теплостойкости на образец пергамина размером 100×50 мм наносят 8...10 г мастики, предварительно разогретой до температуры 140...160 °С. Сверху накладывают лист пергамина тех же размеров и прижимают грузом в 20 Н на 2 ч. Груз прикладывают через плоскую металлическую пластину толщиной 2 мм, таких же размеров, как листы пергамина.

После 2 ч выдержки в нормальных условиях образцы помещают на наклонную под углом 45° подставку, находящуюся в сушильном шкафу, который нагрет до температуры, соответствующей заданной марке мастики (см. табл. 1.4). Образцы выдерживают в шкафу в течение 5 ч при постоянной температуре, после чего их вынимают и осматривают. Мاستику считают выдержавшей испытание на теплостойкость, если она не потечет и не начнет сползать по наклонной подставке.

*1.4.3. Определение температуры размягчения*

Температуру размягчения битумной мастики определяют по аналогии с нефтяными битумами по методу «кольцо и шар». Для этого испытуемую мастику разогревают и наливают с некоторым избытком в латунные кольца прибора, помещенные на металлическую или стеклянную пластинку, покрытую смесью талька с глицерином (1 : 3). После охлаждения колец в течение 30 мин при температуре 20 ± 2 °С избыток мастики гладко срезают нагретым ножом вровень с краями колец. Кольца с мастикой помещают в отверстия на подвес-

ке прибора. В среднее отверстие подвески вставляют термометр так, чтобы нижняя точка ртутного резервуара была на одном уровне с нижней поверхностью мастики в кольцах (рис. 1.1).

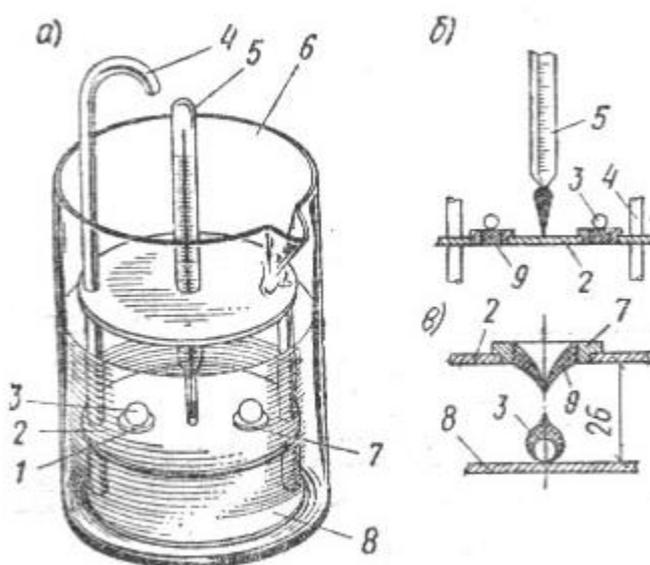


Рис. 1.1. Определение температуры размягчения битумной мастики:  
 а) прибор «кольцо и шар»; б) размещение колец на средней полке;  
 в) проход битума с шариком через кольцо;  
 1, 7 – кольца шара; 2 – средняя полка; 3 – стальной шарик; 4 – подвеска; 5 – термометр;  
 6 – сосуд; 8 – нижняя полка; 9 – битум

Если температура размягчения битумной мастики ниже  $80^{\circ}\text{C}$ , подвеску с кольцами ставят на 15 мин в стакан, наполненный водой, температура которой  $5 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . Если же температура размягчения битумной мастики выше  $80^{\circ}\text{C}$ , то образец выдерживают в течение 15 мин в глицерине при температуре  $35 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . Воду или глицерин наливают до метки на скрепляющем стержне прибора. Через 15 мин подвеску вынимают из стакана, на каждое кольцо в центре поверхности мастики кладут стальной шарик и помещают подвеску в сосуд с водой. Сосуд с водой устанавливают на нагревательный прибор так, чтобы плоскость колец была строго горизонтальной. Температура воды или глицерина в стакане после первых 3 мин нагревания должна подниматься со скоростью  $5 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$  в минуту.

За температуру размягчения битума принимают температуру, при которой выдавливаемый шариком битум коснется нижнего кружка прибора.

#### 1.4.4. Определение гибкости

Метод основан на деформации (изгибе) образца пергамина с нанесенной на него мастикой по полуокружности стержня определенного диаметра при заданной температуре. На образец пергамина размером  $100 \times 50$  мм равномерным слоем наносят 8...10 г мастики, предварительно разогретой до  $140...160^{\circ}\text{C}$ . После этого образец 2 ч выдерживают в нормальных условиях. Затем вместе со

стержнем, диаметр которого принят для соответствующей марки мастики, помещают в сосуд с водой, температура которой должна быть  $(18 \pm 2) ^\circ\text{C}$ . Выдерживают в нем в течение 15 мин. После указанного времени образец медленно изгибают по полуокружности стержня в течение 5 секунд лицевой поверхностью (мастикой) наружу. Мاستику считают выдержавшей испытание на гибкость для данной марки, если на поверхности образца не образуются трещины.

Результаты испытаний рекомендуется записывать по форме:

1. Проектируемая марка мастики - \_\_\_\_ .
2. Количество легкоплавкого битума марки \_\_\_\_, % , \_\_\_\_ .
3. Количество тугоплавкого битума марки \_\_\_\_, %, \_\_\_\_.
4. Температура размягчения битумного вяжущего,  $^\circ\text{C}$ , \_\_\_\_.
5. Вид наполнителя \_\_\_\_.
6. Содержание наполнителя в мастике, %, \_\_\_\_.
7. Теплостойкость мастики,  $^\circ\text{C}$ , \_\_\_\_.
8. Температура размягчения мастики,  $^\circ\text{C}$ , \_\_\_\_.
9. Гибкость мастики на стержне диаметром, мм, \_\_\_\_.
10. Вывод: мастика соответствует марке \_\_\_\_.

### Аттестационные вопросы

1. Какие виды гидроизоляционных материалов относятся к окрасочным?
2. Какие сырьевые материалы используют для получения окрасочных гидроизоляционных мастик?
3. Перечислите последовательность технологических операций при изготовлении горячих битумных мастик.
4. Опишите методику, по которой определяется температура размягчения битумной мастики по прибору «кольцо и шар».
5. Как определяется теплостойкость и гибкость битумной мастики?
6. Назовите разновидности и приведите основные технические показатели горячих битумных мастик.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

### ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОКЛЕЕЧНОЙ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ

**2.1. Цель работы** – изучение методики испытаний и определения основных качественных показателей рулонных кровельных и гидроизоляционных битумных, битумно-полимерных и полимерных материалов (основных и безосновных).

**2.2. Оборудование, приборы, инструменты и сырьевые материалы:**

образцы рулонных и гидроизоляционных материалов на битумной, битумно-полимерной и полимерной основе, линейка металлическая, угольник, рулетка измерительная, штангенциркуль, толщиномер, разрывная машина для испытаний с ценой деления шкалы до 0,05 Н и до 2 Н, камера морозильная, секундомер, ткань хлопчатобумажная или бумага фильтровальная, труба из стали диаметром 100...110 мм, толщиной 1,5...2,5 мм, битум нефтяной, шкаф сушильный, весы лабораторные с допустимой погрешностью не более 0,05 г, эксикатор.

### 2.3. Общие теоретические сведения

Оклеечная поверхностная гидроизоляция представляет собой водонепроницаемое покрытие из рулонных, пленочных или листовых гидроизоляционных материалов. Крепление материалов осуществляют с помощью различных клеев, клеящих мастик или оплавлением покровного слоя (например, наплавляемый рубероид и др.).

Наибольшее применение нашли рулонные материалы, которые классифицируют по назначению, структуре, виду основы, вяжущего и посыпки.

По назначению материалы бывают кровельные и гидроизоляционные, по структуре полотна – основные и безосновные. Основные материалы по виду основы подразделяют на материалы на картонной основе (пергамин, рубероид, наплавляемый рубероид, экарбит, толь); материалы на стеклооснове (стеклорубероид, армогидробутил, армобитэп); материалы на основе асбестовой бумаги (гидроизол).

Основные материалы могут быть беспокровные и покровные. Беспокровные рулонные материалы получают путем пропитки основы горячим вяжущим (битумным или битумно-полимерным). Покровные материалы получают путем нанесения на пропитанную основу с двух сторон покровного слоя, состоящего из вяжущего и наполнителя.

Для повышения атмосферостойкости и неслипаемости рулонов на одну или две поверхности полотна материала наносят посыпку. Посыпка может быть крупнозернистая, мелкозернистая, пылевидная и чешуйчатая, цветная.

Безосновные рулонные материалы не имеют основы. Их получают термомеханической обработкой наполненных битумных, резинобитумных, битумно-полимерных и полимерных композиций с последующим формованием полотна экструзионным или каландровым способами.

К таким материалам относятся: изол, фольгоизол, бризол, гидробутил, эластобит и др. По виду вяжущего вещества рулонные материалы подразделяют на битумные, дегтевые, дегтебитумные, резинобитумные, битумно-полимерные, полимерные.

## 2.4. Порядок выполнения работы

*2.4.1. Оценка качества рулонных гидроизоляционных материалов по внешнему виду, линейным размерам, площади рулона, массе рулона и массе 1 м<sup>2</sup>, полноте пропитки полотна*

Внешний вид рулонных материалов проверяют визуально, контролируя правильность упаковки и маркировки рулонов, а также ровность их торцов. Затем рулоны разворачивают на всю длину и устанавливают количество полотен в рулоне, равномерность распределения посыпки, наличие слипаемости, дыр, трещин, разрывов и складок. Длину надрывов на кромках (краях) полотна измеряют линейкой.

Линейные размеры (ширину и длину) полотна материала в рулоне измеряют линейкой и рулеткой, а толщину – индикаторным ручным толщиномером. Длину измеряют по краю полотна с погрешностью до 0,1 м, а ширину – на расстоянии не менее 1 м от края полотна с точностью до 1 мм. Толщину материала измеряют посередине каждого из трех образцов размерами (100×50) ± 1 мм и результат округляют до 0,01 мм.

Площадь полотна рулона вычисляют по результатам измерений длины и ширины и округляют до 0,1 м<sup>2</sup>.

Справочную массу рулона определяют взвешиванием его на весах с погрешностью не более 0,5 кг.

Массу 1 м<sup>2</sup> материала (М) в граммах устанавливают взвешиванием каждого из трех образцов размером (100×100) ± 1 мм и вычисляют с точностью до 1 г по формуле

$$M = m \cdot 100, \quad (2.1)$$

где  $m$  – масса образца, г;

100 – коэффициент приведения площади образца к 1 м<sup>2</sup>.

Для определения полноты пропитки поперечную полосу материала, отрезанную на всю ширину полотна длиной (50 ± 5) мм, разрывают в пяти местах таким образом, чтобы обнажился внутренний слой основы. Материал считают выдержавшим испытание, если при визуальном осмотре не обнаружено наличие световых прослоек непропитанной основы и посторонних включений.

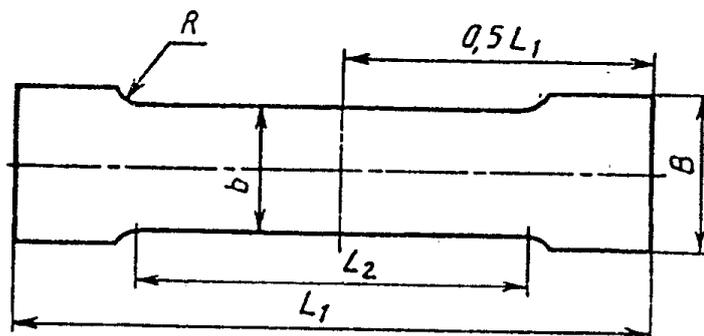
*2.4.2. Определение разрывной силы при растяжении, условной прочности, условного напряжения, относительного удлинения и относительного остаточного удлинения*

Испытание основных оплавливаемых и неоплавливаемых битумных и битумно-полимерных материалов производят на трех образцах размерами (50×220) ± 1 мм, вырезанных в продольном направлении.

Испытание безосновных битумных, битумно-полимерных и полимерных

материалов проводят на трех образцах-лопатках, тип которых указывается в нормативной документации на конкретный вид продукции (рис. 2.1).

а)



б)

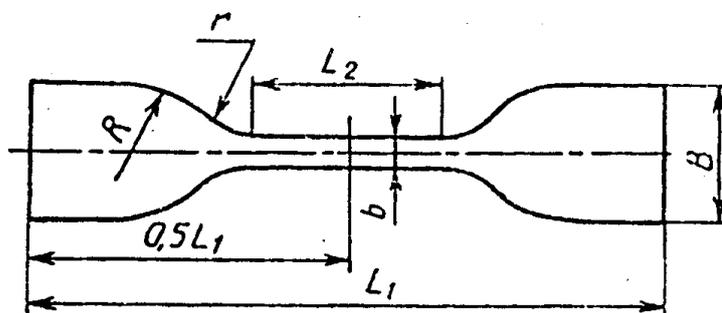


Рис. 2.1. Образцы-лопатки:

а) образец-лопатка типа 1;

б) образец-лопатка типа 2

Для обеспечения одинакового крепления образцов в захватах разрывной машины наносят установочные метки, расстояние ( $l_1$ ) между которыми для образца-полоски и образца-лопатки типа 1 составляет  $(150 \pm 1)$  мм, а для образца-лопатки типа 2 –  $(50 \pm 1)$  мм.

Для определения разрывной силы, условной прочности, условного напряжения и относительного удлинения фиксируют удлинение образца. В случае разрыва образца вне рабочего участка или его границе результаты не учитывают и проводят повторные испытания. Длину рабочего участка ( $l$ ) принимают для образца-полоски  $(130 \pm 1)$  мм, для образца-лопатки типа 1 –  $(100 \pm 1)$  мм, а для образца-лопатки типа 2 –  $(25 \pm 0,5)$  мм и отмечают на образцах параллельными метками.

Условную прочность ( $\sigma_p$ , МПа) образца-полоски или образца-лопатки вычисляют с точностью до 0,1 МПа по формуле

$$\sigma_p = \frac{P_p}{b \cdot h_0}, \quad (2.2)$$

где  $P_p$  – разрушающая сила, Н (кгс);

$b$  – ширина образца-полоски или образца-лопатки, м (см);

$h_o$  – среднее значение толщины образца-полоски или образца-лопатки на рабочем участке, м (см). Толщину измеряют в трех точках на рабочем участке.

Условное напряжение ( $\sigma_e$ , МПа) образца-лопатки вычисляют с точностью до 0,1 МПа по формуле

$$\sigma_e = \frac{P_e}{b \cdot h_o}, \quad (2.3)$$

где  $P_e$  – разрушающая сила, Н (кгс);

$b$  – ширина образца-лопатки, м (см);

$h_o$  – среднее значение толщины на рабочем участке, м (см).

Относительное удлинение ( $\varepsilon$ , %) вычисляют с точностью до 1 % по формуле

$$\varepsilon = \frac{l_2 - l_1}{l_1} 100, \quad (2.4)$$

где  $l_1$  – расстояние между установленными метками, мм;

$l_2$  – расстояние между захватами в момент разрыва или максимального значения силы, мм.

Для определения относительного остаточного удлинения части разорванного образца освобожденные из захватов машины помещают на горизонтальную поверхность и через  $(120 \pm 2)$  секунд после разрыва измеряют расстояние, ограничивающее рабочий участок двух сложенных вместе (без зазора) по месту разрыва частей образца ( $l_3$ ).

Относительное остаточное удлинение ( $\varepsilon_{OTH}$ , %) с погрешностью до 1 % вычисляют по формуле

$$\varepsilon_{OTH} = \frac{l_3 - l}{l} 100, \quad (2.5)$$

где  $l$  – длина рабочего участка образца до испытания, мм;

$l_3$  – длина рабочего участка образца (двух сложенных вместе частей разорванного образца) после испытания, мм.

Результаты испытаний оформляются в виде табл. 2.1

Таблица 2.1

Результаты определения разрывной силы, условной прочности, условного напряжения, относительного удлинения и относительного остаточного удлинения рулонных материалов

Вид испытуемого материала	Сила, Н, (кгс)		Размеры, мм						Условная прочность, $\sigma_p$ , МПа	Условное напряжение, $\sigma_e$ , МПа	Относительное удлинение, $\varepsilon$ , %	Относительное остаточное удлинение, $\varepsilon_{отн}$ , %
	$P_p$	$P_e$	$b$	$h_o$	$l$	$l_1$	$l_2$	$l_3$				

### 2.4.3. Определение гибкости

Этот показатель важен для рулонных материалов. Так как материал не обладает необходимой гибкостью, установленной стандартом, то при разворачивании рулона или наклейке полотна на очень изогнутые поверхности могут появляться трещины, уменьшающие водонепроницаемость материала.

Испытания проводят на трех образцах размером  $(20 \times 150) \pm 1$  мм, вырезанных в продольном направлении. Метод основан на изгибании образцов материала вокруг закругленной части испытательного бруса (рис. 2.2).

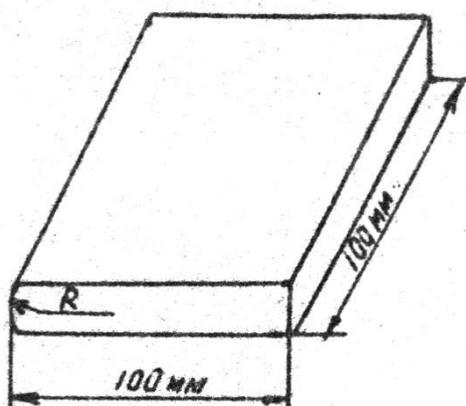


Рис. 2.2. Брус испытательный для определения гибкости рулонных материалов

Брус изготавливают из твердой древесины, пластмассы или другого материала низкой теплопроводности. Радиус закругления ( $R$ ) должен быть указан в нормативно-технической документации (НТД) на данный вид продукции.

Перед испытанием при положительной температуре образцы помещают в сосуд с водой, температура которой должна соответствовать указанной на продукцию данного вида. Выдерживают в нем  $(10 \pm 0,5)$  мин. При проведении испытаний при  $0^\circ\text{C}$  образцы помещают в воду со льдом, а при отрицательных

температурах – в морозильную камеру и выдерживают ( $20 \pm 0,5$ ) мин.

По истечении заданного времени образцы извлекают из испытательной среды и прикладывают к ровной поверхности бруса нижней стороной около 0,25 длины образца. Свободный конец изгибают в течение ( $5 \pm 1$ ) секунд вокруг закругленной части бруса до достижения другой ровной поверхности (образец принимает U – образную форму). Время с момента изъятия образца из испытательной среды и до конца испытания не должно превышать 15 секунд.

Образцы считают выдержавшими испытание, если на их лицевой поверхности (для фольгоизола – на слое вяжущего) не появились трещины (разрыв слоя связующего) и отслаивания вяжущего или посыпки.

#### 2.4.4. Определение водопоглощения

Испытание материала с пылевидной посыпкой проводят на трех образцах, а материалов с крупнозернистой или чешуйчатой посыпкой – на шести образцах размером  $(100 \times 100) \pm 1$  мм.

Пылевидную посыпку с образца материала счищают тканью или щеткой. Прокладочный материал (пленку, бумагу и т.п.) перед испытанием с образцов удаляют.

Для материалов с крупнозернистой или чешуйчатой посыпкой готовят сдвоенные образцы. Для этого каждый из двух образцов подогревают с лицевой стороны, а затем складывают друг с другом подплавленными поверхностями так, чтобы края обоих образцов совпадали между собой, и устанавливают на  $(30 \pm 1)$  мин под пригруз массой  $(1 \pm 0,1)$  кг. Для устранения капиллярного подсоса торцы образцов материала на картонной и асбестоцементной основе погружают на 3...5 мин в разогретый битум, температура которого  $160...180$  °С, а затем охлаждают.

Подготовленные образцы взвешивают ( $m_1$ ), а затем погружают на 1 мин в сосуд с водой, температура которой должна быть  $(20 \pm 2)$  °С, вытирают мягкой тканью или фильтровальной бумагой в течение 30...60 с и вновь взвешивают ( $m_2$ ). Затем образцы повторно помещают в сосуд с водой таким образом, чтобы слой воды над ним был не менее 50 мм, и выдерживают в течение времени, указанного в НТД на конкретный вид продукции. После этого образцы извлекают из воды, обтирают фильтровальной бумагой и взвешивают ( $m_3$ ). Время с момента извлечения образца из воды до взвешивания не должно превышать 60 с.

Водопоглощение (W) в % по массе с точностью до 0,1 % определяют по формуле

$$W = \frac{(m_3 - m_2)}{m_1}, \quad (2.6)$$

где  $m_1$  – масса сухого образца, г;

$m_2$  – масса образца после односторонней выдержки в воде, г;

$m_3$  – масса образца после заданной выдержки в воде, г.

Результаты определения водопоглощения заносятся в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Результаты определения водопоглощения

Вид испытуемого материала	Масса, г			Водопоглощение отдельного образца, W, %	Среднее значение водопоглощения, W, %
	m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>	m <sub>3</sub>		

#### 2.4.5. Определение водонепроницаемости при гидростатическом давлении 0,001 МПа

На подставку помещают стеклянную пластинку размером  $(150 \times 150) \pm 1$  мм, сверху фильтровальную бумагу на всю поверхность пластинки, затем укладывают образец лицевой стороной вверх. Посередине образца устанавливают трубу из стали диаметром 100...110 мм, толщиной 1,5...2,5 мм и длиной не более 120 мм. Трубу предварительно погружают отшлифованным торцом на 10...15 мм в нагретый до температуры 120...140<sup>0</sup>С битум и выдерживают в нем 40...60 с. Затем в трубу наливают воды на высоту 100 мм, при которой обеспечивается создание избыточного гидростатического давления водяного столба 0,001 МПа (0,01 кгс/см<sup>2</sup>). Количество воды в процессе испытания поддерживается на постоянном уровне. Через каждые 24 часа проверяют наличие мокрого пятна на фильтровальной бумаге. При появлении признаков воды испытание прекращают. Образец считают выдержавшим испытание, если в течение установленного времени на его внутренней поверхности не появилась вода.

#### 2.4.6. Определение теплостойкости

Испытание производят на трех образцах размерами  $(50 \times 100) \pm 1$  мм вырезанных в продольном направлении. Сушильный шкаф нагревают до температуры, указанной в НТД на данный вид продукции. Образцы подвешивают в шкафу в вертикальном положении на расстоянии не менее 50 мм от стенок шкафа и выдерживают при заданной температуре в течение времени, указанного в НТД. Образцы считают выдержавшими испытание на теплостойкость, если на их поверхности отсутствует вздутия и следы перемещения покровного слоя.

#### 2.4.7. Определение изменения линейных размеров полимерных материалов и изола при нагревании

Испытание производят на трех образцах размерами  $(50 \times 100) \pm 1$  мм. Вна-

чале замеряют первоначальную длину ( $l_4$ ) образца штангенциркулем с погрешностью не более 0,2 мм. Сушильный шкаф нагревают до заданной температуры и выдерживают в нем образцы в течение времени, установленного НТД на данный вид продукции. Затем образцы извлекают из шкафа, охлаждают и замеряют длину ( $l_5$ ).

Изменение длины ( $\Delta l$ ) в процентах с погрешностью до 1 % вычисляют по формуле

$$\Delta l = \frac{l_5 - l_4}{l_4} 100. \quad (2.7)$$

Результаты определения линейных размеров полимерных материалов и изола при нагревании заносят в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Результаты определения изменения линейных размеров полимерных материалов и изола при нагревании

Вид испытуемого материала	Размеры образца, мм		Изменение длины для отдельного образца, $\Delta l$ , %	Среднее значение изменения длины при нагревании, $\Delta l$ , %
	$l_4$	$l_5$		

#### 2.4.8. Определение потери массы при нагревании

Испытание производят на трех образцах размерами  $(50 \times 100) \pm 1$  мм. Образцы материала взвешивают ( $m_4$ ), подвешивают в вертикальном положении (образцы безосновных материалов должны быть закреплены по всей ширине в деревянном зажиме) и выдерживают в сушильном шкафу при заданной температуре и в течение времени, установленного в НТД на заданный вид продукции. Затем образцы извлекают из шкафа, охлаждают в эксикаторе и взвешивают ( $m_3$ ).

Потерю массы при нагревании ( $Q$ ) в процентах с точностью до 0,1 % вычисляют по формуле

$$Q = \frac{m_4 - m_3}{m_4} 100. \quad (2.8)$$

Результаты определения потери массы при нагревании оформляют в виде табл. 2.4.

Результаты определения потери массы при нагревании рулонных материалов

Вид испытуемого материала	Масса образца до испытания, $m_4$ , г	Масса образца после испытания, $m_3$ , г	Потеря массы при нагревании для отдельного образца, $Q$ , %	Среднее значение потери массы при нагревании, $Q$ , %

#### 2.4.9. Определение снижения разрывной силы водонасыщенного материала

Испытание проводят на двух образцах-полосках размером  $(300 \times 200) \pm 1$  мм. Перед испытанием проводят обработку торцов одной полосы путем погружения их на 3...5 мм в битум, разогретый до температуры 160...180 °С, а затем охлаждают. Обработанную полосу помещают в сосуд с водой так, чтобы слой воды над ней был не менее 50 мм и выдерживают не менее 24 ч. Затем полосу вынимают из воды, осушают тканью или фильтровальной бумагой. Из сухой и водонасыщенной полос вырезают в продольном направлении по три образца размерами  $(50 \times 220) \pm 1$  мм и проводят испытания на разрывной машине не позднее чем через 20 мин после извлечения полосы из воды.

Снижение разрывной силы водонасыщенного материала ( $\Delta P$ ) в процентах, с точностью до 1 % , вычисляют по формуле

$$\Delta P = \frac{P_{\text{сух}} - P_{\text{нас}}}{P_{\text{сух}}} 100, \quad (2.9)$$

где  $P_{\text{сух}}$  – разрывная сила сухого образца, Н (кгс);

$P_{\text{нас}}$  – разрывная сила водонасыщенного образца, Н (кгс).

Результаты определения снижения разрывной силы водонасыщенного образца оформляют в виде табл. 2.5.

Таблица 2.5

Результаты определения снижения разрывной силы водонасыщенного образца

Вид испытуемого материала	Разрывная сила, Н		Снижение разрывной силы для отдельного образца, $\Delta P$ , %	Среднее арифметическое снижение разрывной силы, $\Delta P$ , %
	$P_{\text{сух}}$	$P_{\text{нас}}$		

Результаты испытаний рулонных кровельных и гидроизоляционных ма-

териалов рекомендуется записывать по форме:

1. Наименование материала по НТД;
2. Внешний вид – упаковка и маркировка, ровность торцов, равномерность распределения посыпки, наличие или отсутствие слипаемости, дыр, трещин, разрывов и складок, количество полотен в рулоне, длина надрывов;
3. Линейные размеры и площадь – длина в метрах, ширина и толщина в миллиметрах, площадь в квадратных метрах;
4. Масса 1 м<sup>2</sup> материала в граммах;
5. Полнота пропитки – наличие (или отсутствие) светлых прослоек непропитанной основы и посторонних включений;
6. Разрывная сила при растяжении в Н (кгс), условная прочность в МПа (кгс/см<sup>2</sup>), относительное удлинение и относительное остаточное удлинение в процентах;
7. Гибкость – наличие (или отсутствие) трещин на поверхности образца;
8. Водопоглощение в процентах по массе;
9. Водонепроницаемость – наличие (или отсутствие) воды на поверхности образца;
10. Теплостойкость – наличие (или отсутствие) вздутий и следов перемещения покровного слоя;
11. Изменение линейных размеров при нагревании в процентах;
12. Потери массы при нагревании в процентах;
13. Снижение разрывной силы водонасыщенного материала в процентах;
14. Дата и место проведения испытаний;
15. Выводы: испытанный материал соответствует или не соответствует (указать, по каким свойствам) требованиям НТД на данный вид продукции.

Кроме того, полученные результаты испытаний позволяют производить сравнительную оценку качественных показателей различных рулонных материалов как между собой, так и со справочными данными (прил. 1).

### **Аттестационные вопросы**

1. Перечислите основные классификационные признаки гидроизоляционных материалов и их основные физико-технические свойства.
2. Назовите основные свойства сырья для производства гидроизоляционных материалов.
3. Что представляют собой основные и безосновные кровельные и гидроизоляционные материалы?
4. Как производится оценка рулонных материалов по внешним признакам, линейным размерам, массе, полноте пропитки?
5. В чем заключается методика определения прочностных показателей рулонных гидроизоляционных материалов и их удлинение под нагрузкой?
6. Как и для каких целей производят определение гибкости рулонных материалов?
7. Опишите методику определения водопоглощения и водонепроницаемо-

- сти гидроизоляционных материалов?
8. Как производят оценку снижения прочности водонасыщенных гидроизоляционных материалов?
  9. Перечислите основные технологические переделы и процессы при производстве рулонных и кровельных гидроизоляционных материалов.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

### ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ШТУКАТУРНОЙ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ

**3.1. Цель работы** – изготовление эпоксидно-битумной мастики и исследование ее свойств.

**3.2. Оборудование, приборы, инструменты и сырьевые материалы:** шкаф сушильный по ГОСТ-134, пресс гидравлический, штангенциркуль, металлическая линейка, цементно-песчаные образцы размером 5×5×5 см, битум строительный БН-70/30 или БН-90/10, эпоксидный олигомер, стирол, полиэтиленполиамин, растворы 15 %-ной концентрации серной кислоты или соли  $MgCl_2$ .

### 3.3. Общие теоретические сведения

Штукатурная гидроизоляция представляет собой многослойное водонепроницаемое покрытие толщиной 5...50 мм.

Составы для штукатурной гидроизоляции в отличие от составов для окрасочной гидроизоляции обладают меньшей подвижностью, включают, как правило, более крупные наполнители и наносятся на изолируемую поверхность штукатурными способами.

Основными материалами для устройства штукатурной гидроизоляции являются: торкрет-раствор, коллоидный цементный раствор (КЦР), коллоидный полимерцементный раствор (КПЦР), асфальтовые (горячие и холодные) растворы, битумно-полимерные и полимерные мастики.

Покрытия из мастичных материалов выполняют не только антифильтрационные, но и антикоррозионные функции.

### 3.4. Порядок выполнения работы

К числу материалов для химически стойких гидроизоляционных защитных покрытий в первую очередь относятся эпоксидно-битумные мастики.

Покрытия на основе эпоксидных смол, модифицированных битумами, имеют высокую прочность, трещиностойкость, водонепроницаемость, хоро-

шую адгезию к бетону, металлу и другим материалам в сочетании с надежной стойкостью к целому ряду кислот, щелочей и солей.

Основной задачей работы является сравнение химической стойкости обычных тяжелых бетонов без покрытия и с покрытием из эпоксидно-битумной мастики к растворам 15 %-ной концентрации серной кислоты и соли  $MgCl_2$ .

Для испытаний изготавливают образцы-кубики размером  $5 \times 5 \times 5$  см из цементного бетона. На образцы с помощью шпателя наносят штукатурный слой эпоксидно-битумной мастики толщиной 3...4 мм и вместе с контрольными образцами (без покрытия) выдерживают в химических растворах не менее 14 сут. Эпоксидно-битумную мастику готовят следующим образом. Битум марки БН-70/30 или БН-90/10, разжиженный стиролом в соотношении 2:1, тщательно смешивают с эпоксидным олигомером ЭД-16 или ЭД-20. Затем в смесь вводят наполнитель и после перемешивания добавляют отвердитель эпоксидного олигомера – полиэтиленполиамин.

Состав эпоксидно-битумной мастики, мас. доли: эпоксидный олигомер – 100, битум строительный – 100, стирол – 50, полиэтиленполиамин – 10, кварцевый песок тонкомолотый – 300.

После выдержки образцы высушивают и подвергают испытанию на прочность при сжатии, а затем рассчитывают коэффициенты химической стойкости испытанных материалов. Коэффициент кислотостойкости  $K_k$  и солестойкости  $K_c$  определяют по формулам

$$K_k = \frac{R_k}{R}, \quad (3.1)$$

$$K_c = \frac{R_c}{R}, \quad (3.2)$$

где  $R$  – предел прочности образцов при сжатии в нормальных условиях, МПа;

$R_k$  – то же, после выдержки в растворе кислоты, МПа;

$R_c$  – то же, после выдержки в растворе соли, МПа.

Результаты рекомендуется представить по форме, приведенной в табл. 3.1

Таблица 3.1

Результаты испытания материалов на химическую стойкость

Вид бетона	Предел прочности при сжатии после выдержки, МПа			Коэффициент кислотостойкости, $K_k$	Коэффициент солестойкости, $K_c$
	в нормальных условиях	в растворе кислоты	в растворе соли		
Цементный бетон					
Цементный бетон с покрытием					

## Аттестационные вопросы

1. Что представляет собой штукатурная гидроизоляция?
2. Какие сырьевые материалы используются для приготовления штукатурной гидроизоляции?
3. Опишите основные способы определения химической стойкости гидроизоляционных штукатурных покрытий.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

### ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ ОБЪЕМНОЙ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ

**4.1. Цель работы** – изготовление бетонополимера и исследование его свойств.

**4.2. Оборудование, приборы, инструменты и сырьевые материалы:** шкаф сушильный, виброплощадка, пресс гидравлический, металлические формы, пропарочная камера, ванны с водой и пропиточным составом, песок с модулем крупности  $M_k = 2 \dots 3,25$ , щебень фракции  $5 \dots 10$  мм, портландцемент М 500, раствор стирола или полиметилметакрилат.

#### 4.3. Общие теоретические сведения

К объемной гидроизоляции относят полимерцементные бетоны, полимербетоны, а также камнеподобные материалы (в основном тяжелые цементные бетоны), в массу которых вводят путем пропитки (пропиточная гидроизоляция) или инъекции (инъекционная гидроизоляция) водонепроницаемые уплотняющие материалы.

В качестве пропиточного материала используют разжиженные битумы, битумные эмульсии, каменноугольные дегти, петролатум, жидкие мономеры термопластичных полимеров (стирол, метилметакрилат), олигомеры терморезистивных полимеров с отвердителями.

В качестве инъекционных составов применяют битумные расплавы и эмульсии, битумно-латексные композиции, коллоидные, цементные и коллоидные полимерцементные растворы, жидкое стекло, фенолоформальдегидные, фурановые и эпоксидные олигомеры с отвердителями.

#### 4.4. Порядок выполнения работы

Бетонополимеры получают пропиткой цементных бетонов мономерами или олигомерами с последующей полимеризацией или отверждением проникающего в поры бетона пропиточного материала.

Для изготовления бетонополимера используют материалы, предназначенные для обычного тяжелого бетона: песок с модулем крупности 2...3,25, щебень фракции 5...10 мм.

По стандартной методике производят расчет состава бетона и делают замес бетонной смеси в объеме, достаточном для приготовления необходимого количества образцов-кубиков размером 5×5×5 см (по три образца на каждое испытание).

Бетонную смесь укладывают в формы и уплотняют на виброплощадке. Отформованные образцы выдерживают 28 суток в нормальных условиях или для ускорения твердения бетон подвергают пропариванию или автоклавной обработке. Одну половину образцов оставляют для контрольных испытаний, а вторую половину образцов используют для изготовления бетонополимера. Сначала их высушивают при температуре 70...80<sup>0</sup>С, а затем кладут в ванну, наполненную пропиточным составом. В качестве пропиточного состава можно использовать стирол или метилметакрилат в смеси с инициатором – перекисью бензоила (3...5 % от массы мономера). Пропитку проводят при температуре (20 ± 5) <sup>0</sup>С в течение 1,5...2 ч. Для полимеризации мономера образцы подвергают термообработке при температуре 90...100<sup>0</sup>С в течение 45...60 мин. Пропитку и термообработку необходимо производить под вытяжкой. Образцы испытывают по общепринятой методике и определяют предел прочности при сжатии в сухом и водонасыщенном состоянии и водопоглощение по массе. А затем подсчитывают коэффициент водостойкости изготовленных цементных бетонов и бетонополимеров. Результаты испытаний заносят в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Сравнение некоторых свойств цементного бетона и бетонополимера

Вид бетона	Масса образцов, г		Водопоглощение, %	Предел прочности при сжатии образцов, МПа		Коэффициент водостойкости
	высушенных	водонасыщенных		высушенных	водонасыщенных	
Цементный бетон						
Бетонополимер						

На основании выполненных исследований устанавливают влияние полимерного пропиточного связующего на повышение качественных показателей обычного бетона,

## Аттестационные вопросы

1. Назовите особенности изготовления полимерцементных бетонов и полимербетонных изделий.
2. Перечислите основные сырьевые компоненты для изготовления полимерцементных и полимербетонных гидроизоляционных изделий.
3. Опишите основные пропиточные и инъекционные составы для объемной гидроизоляции.
4. Как определяется коэффициент водостойкости изделий?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

### ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕТВЕРДЕЮЩИХ ГЕРМЕТИЗИРУЮЩИХ МАСТИК

**5.1. Цель работы** – изучение методов испытания нетвердеющих герметизирующих мастик, определение их основных свойств и марки.

**5.2. Оборудование, приборы, инструменты и сырьевые материалы:** разрывная машина, снабженная специальными захватами и прибором для измерения удлинения; приспособление-захват для определения площади отрыва; плитки из бетона класса В15 размером 50×50×25 мм; деревянные ограничительные планки высотой 20 мм и длиной 50 мм; шпатель; нож; стеклянная пластинка размером 50×50 мм; сосуд с водой для определения водопоглощения; фильтровальная бумага; стандартный конус массой 150 г для определения консистенции мастики; лоток из белой жести для определения теплостойкости мастики; деревянный брусок размером 40×40×60 мм; шкаф сушильный (термостат), латунное кольцо высотой 5 мм с наружным и внутренним диаметром соответственно 25 и 20 мм; весы лабораторные; образцы строительных нетвердеющих герметизирующих мастик (2...3 вида),

### 5.3. Общие теоретические сведения

Строительные герметизирующие нетвердеющие мастики представляют собой вязкие однородные массы, изготавливаемые на основе полиизобутиленового, изопренового, бутилового и этиленпропиленового каучуков, пластификаторов и наполнителей.

Содержание каучуков колеблется от 5 до 12 %, пластификаторов (различные масла) – от 15 до 20 %, наполнителей – от 50 до 70 %.

Нетвердеющие мастики предназначены для герметизации закрытых и дренированных стыков наружных стен и для уплотнения мест примыкания оконных и дверных блоков к элементам стен. Они должны сохранять свои

свойства в интервале температур от минус 50 °С до +70 °С при ширине герметизирующего стыка 10...30 мм и относительной деформации мастики в шве не более 10 %.

Приготовление мастик заключается в подготовке каучуков (разрезка на куски массой 0,5...1,0 кг), пластификации этих компонентов на вальцах при температуре 80...90°С и последующем смешении всех составляющих на смесительных вальцах при температуре 100...110°С. Готовую мастику охлаждают, фасуют в брикеты прямоугольной формы 60×30 мм и длиной не более 150 см.

#### 5.4. Порядок выполнения работы

Для проведения испытаний и изготовления образцов (не менее трех) мастику выдерживают около 18 ч при температуре  $(20 \pm 2)$  °С. По внешнему виду мастика должна быть однородной (определяют визуально в срезе брикета), при этом не допускается на поперечном сечении брикета более двух включений диаметром свыше 1 мм.

##### *5.4.1. Определение предела прочности при растяжении, относительного удлинения при максимальной нагрузке и характера разрушения*

Для изготовления образцов мастичного шва применяют изготовленные и выдержанные в течение трех месяцев плитки из бетона класса В15 (марки 200) размером 50×50×25 мм.

Мастику, подогретую до 70 °С, наносят в виде валика на середину бетонной плитки и обжимают с двух сторон деревянными ограничительными планками до размеров в плане 50×50 мм. Сверху мастичный валик прижимают второй бетонной плиткой с таким усилием, чтобы между плитками был слой мастики толщиной 20 мм. Избыток мастики удаляют шпателем или ножом. Подготовленные образцы выдерживают не менее 3 ч при температуре  $(20 \pm 2)$  °С, а затем помещают в захваты (рис. 5.1) разрывной машины и растягивают со скоростью 10 мм/мин до разрыва.

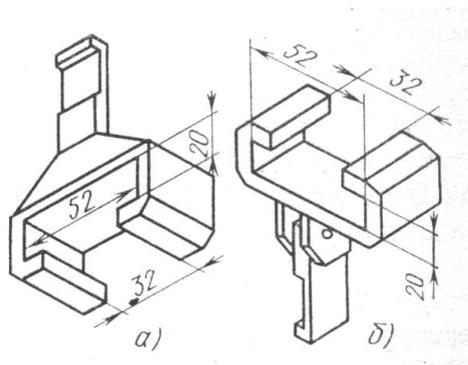


Рис. 5.1. Верхний (а) и нижний (б) захваты для закрепления образцов при испытании на отрыв

При этом записывают диаграмму «нагрузка - деформация», по которой определяют величину удлинения образца в момент разрыва при максимальной нагрузке.

Предел прочности при растяжении ( $R_p$ ) в МПа вычисляют по формуле

$$R_p = \frac{P}{S}, \quad (5.1)$$

где  $P$  – максимальная нагрузка при растяжении в момент разрыва, Н (кгс);

$S$  – площадь первоначального поперечного сечения образца мастики,  $\text{м}^2$  ( $\text{см}^2$ ).

Относительное удлинение ( $\varepsilon$ , %) вычисляют по формуле

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h} 100, \quad (5.2)$$

где  $h$  – расстояние между бетонными плитами до испытания, мм;

$\Delta h$  – удлинение образца мастики при максимальной нагрузке, мм.

Результаты определения прочности при растяжении и относительного удлинения оформляют в виде табл. 5.1.

Таблица 5.1

Результаты определения предела прочности при растяжении и относительного удлинения мастики

Наименование мастики	Максимальная нагрузка, $P$ , Н, (кгс)	Площадь сечения образца, $S$ , $\text{м}^2$ , ( $\text{см}^2$ )	Расстояние между плитками		Удлинение образца $\Delta h = h_1 - h$ , мм	Предел прочности при растяжении, $R_p$ , МПа	Относительное удлинение, $\varepsilon$ , %
			до испытания, $h$ , мм	после испытания, $h_1$ , мм			

Для определения характера разрушения после испытания на разрыв бетонные плитки освобождают от захватов разрывной машины и срезают с них основную массу мастики ножом, смоченным водой, таким образом, чтобы на поверхности образцов слой мастики был не более 3 мм. Затем трафаретом (рис. 5.2) определяют площадь отрыва мастики от поверхности бетонной плитки. Если площадь отрыва мастики не более 10 % от площади бетонной плитки, характер разрушения считается когезионным.

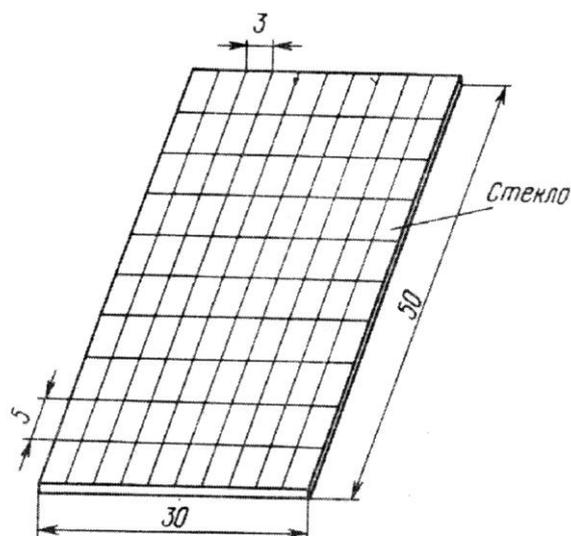


Рис. 5.2. Прибор для определения площади отрыва мастики

#### 5.4.2. Определение водопоглощения мастики

Сущность метода заключается в определении массы воды, поглощенной образцом мастики при выдерживании его в воде в течение установленного времени.

Для определения водопоглощения стеклянную пластинку размером 50×50 мм взвешивают ( $m_1$ ) с погрешностью 0,001 г. Подогретую до 70 °С мастику (около 10 г) наносят на нее ровным слоем и выдерживают в течение 3 ч при температуре (20 ± 2) °С. Взвешивают пластинку с нанесенной мастикой ( $m_2$ ). Затем помещают ее в воду, где выдерживают при температуре (20 ± 2) °С в течение 24 ч. После извлечения из воды стеклянную пластинку с мастикой промокают фильтровальной бумагой и снова взвешивают ( $m_3$ ). Водопоглощение  $W$ , %, определяют по формуле

$$W = \frac{m_3 - m_2}{m_2 - m_1} 100. \quad (5.3)$$

Результаты испытаний заносят в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Результаты определения водопоглощения мастики

Наименование мастики	Масса, г			Водопоглощение отдельного образца, $W$ , %	Среднее арифметическое значение водопоглощения, $W_{ср}$ , %
	$m_1$	$m_2$	$m_3$		

#### 5.4.3. Определение консистенции мастики

Консистенция мастики характеризуется глубиной погружения в нее стандартного конуса массой 150 г при заданной температуре и в течение установленного времени. Глубину погружения конуса определяют по ГОСТ 5346, при этом указанный в стандарте сосуд заполняют подогретой до температуры  $70^{\circ}\text{C}$  мастикой и выдерживают до испытания в течение 3 ч при температуре  $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ .

#### 5.4.4. Определение теплостойкости мастики при температуре $70^{\circ}\text{C}$

Сущность метода заключается в определении величины стекания мастики под действием собственной массы при заданной температуре и времени.

Для определения стекания мастики применяют специальный лоток (рис. 5.3), изготовленный из белой жести толщиной 1,0...1,4 мм. Мастикой, выдержанной в течение 1 ч при температуре  $+70^{\circ}\text{C}$ , заполняют лоток таким образом, чтобы она немного выступала над уровнем стенок лотка. После выдержки заполненного лотка в горизонтальном положении в течение 3 ч при температуре  $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$  срезают ножом излишек мастики вровень с верхними и торцевыми обрезами стенок лотка. В ушки лотка вставляют стержень и помещают лоток в вертикальном положении выступающей частью вниз в термостат, где выдерживают при температуре  $70^{\circ}\text{C}$  в течение 24 ч. Затем лоток вынимают из термостата и устанавливают горизонтально. По выступающей части лотка, на которой нанесены риски с ценой деления 1,0 мм, придвигают деревянный брусок с размерами  $40 \times 40 \times 60$  мм до соприкосновения с мастикой и измеряют зазор, мм, между бруском и торцом боковых стенок лотка.

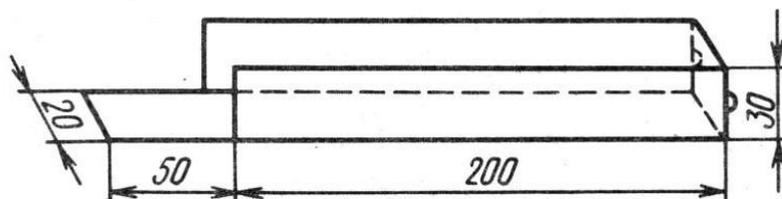


Рис. 5.3. Лоток для определения стекания мастики

#### 5.4.5. Определение миграции пластификатора

Для определения миграции пластификатора на стеклянную пластинку укладывают слой фильтровальной бумаги и ставят на нее латунное кольцо высотой 5 мм с наружным и внутренним диаметром соответственно 25 и 20 мм, которое заполняют мастикой. После выдержки кольца с мастикой в термостате при температуре  $(100 \pm 5)^{\circ}\text{C}$  в течение 4 ч на фильтровальной бумаге не должно быть следов пластификатора.

На основании проведенных испытаний по определению физико-механических свойств нетвердеющей герметизирующей мастики устанавлива-

ется ее марка в соответствии с нормативными требованиями, приведенными в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Нормативные требования к физико-механическим свойствам герметизирующей нетвердеющей строительной мастики

Наименование показателей	Мастика высшей категории качества	Мастика первой категории качества
Предел прочности при растяжении, МПа	0,01...0,015	0,008...0,01
Относительное удлинение при максимальной нагрузке, %, не менее	45	35
Характер разрушения	Когезионный	
Водопоглощение, %, не более	0,2	0,4
Консистенция, мм	7...11	7...11
Стекание мастики при 70 °С (теплостойкость), мм, не более	1,0	2,0
Миграция пластификатора	Не допускается	

**Аттестационные вопросы**

1. Какие виды гидроизоляционных материалов относятся к пластично-вязким?
2. Какие сырьевые материалы используют для получения герметизирующих мастик?
3. Перечислите последовательность технологических операций при производстве строительных герметиков.
4. Какова методика определения прочности при растяжении и относительного удлинения мастик при максимальной нагрузке?
5. Как оценивается водопоглощение мастик?
6. В чем заключается методика определения теплостойкости мастики?
7. Назовите разновидности и приведите техническую характеристику нетвердеющих строительных мастик.