

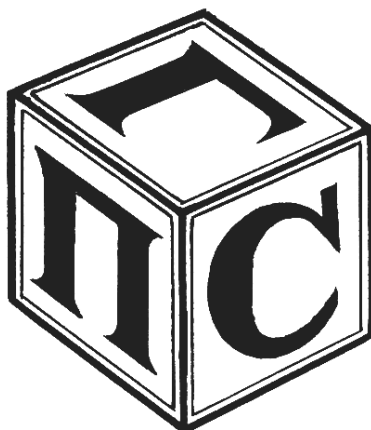
МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Промышленное и гражданское строительство»

# СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

*Методические рекомендации к лабораторным работам  
для студентов специальности 6-05-0732-02  
«Экспертиза и управление недвижимостью»  
дневной и заочной форм обучения*

Часть 2



Могилев 2024

УДК 691  
ББК 38.6  
С86

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Промышленное и гражданское строительство»  
«23» сентября 2024 г., протокол № 2

Составитель ст. преподаватель Т. С. Латун

Рецензент ст. преподаватель Н. В. Курочкин

В методических рекомендациях представлены теоретическая часть и  
порядок проведения лабораторных работ.

Учебное издание

## СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Часть 2

|                         |                  |
|-------------------------|------------------|
| Ответственный за выпуск | С. В. Данилов    |
| Корректор               | А. А. Подошевка  |
| Компьютерная верстка    | Н. П. Полевничая |

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 36 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 07.03.2019.

Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский  
университет, 2024

## Содержание

|                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение.....                                                                                                          | 4  |
| 1 Лабораторная работа № 4. Исследование свойств и качества<br>керамических материалов.....                             | 5  |
| 2 Лабораторная работа № 5. Испытание портландцемента.....                                                              | 11 |
| 3 Лабораторная работа № 6. Исследование свойств извести и<br>силикатных изделий.....                                   | 18 |
| 4 Лабораторная работа № 7. Проектирование состава тяжелого<br>цементного бетона.....                                   | 21 |
| 5 Лабораторная работа № 8. Определение физико-механических<br>характеристик и класса по прочности тяжелого бетона..... | 24 |
| 6 Лабораторная работа № 9. Определение составов и показателей<br>качества строительных растворов.....                  | 29 |
| 7 Лабораторная работа № 10. Испытание вязкого нефтяного битума....                                                     | 34 |
| 8 Лабораторная работа № 11. Определение свойств пигментов<br>и лакокрасочных покрытий.....                             | 38 |
| Список литературы.....                                                                                                 | 41 |
| Приложение А.....                                                                                                      | 43 |

## **Введение**

Методические рекомендации лабораторным работам составлены в соответствии с учебной программой подготовки студентов специальности 6-05-0732-02 «Экспертиза и управление недвижимостью» по основным разделам курса «Строительное материаловедение».

В процессе выполнения лабораторных работ студенты знакомятся с методами испытаний строительных материалов, учатся работать с нормативными документами, определять важнейшие характеристики строительных материалов, их сорта и марки. Отдельные лабораторные работы содержат элементы исследований. Выполнение таких работ способствует повышению познавательной активности студентов, учит их анализировать полученные результаты, выявлять зависимости свойств материалов от различных факторов.

Некоторые лабораторные работы включают определение свойств строительных материалов ускоренными, упрощенными, или их еще называют полевыми методами. Их применение непосредственно на строительных площадках, удаленных от производственных баз, дает возможность строителям оперативно оценивать качество строительных материалов и изделий.

По каждой лабораторной работе оформляется отчет. После выполнения лабораторной работы в полном объеме происходит защита лабораторной работы. К зачету допускаются студенты, выполнившие и защитившие все лабораторные работы.

# 1 Лабораторная работа № 4. Исследование свойств и качества керамических материалов

**Цель работы:** изучение основных физических и механических свойств различных по плотности керамических изделий.

**Используемые приборы и оборудование:** лабораторные весы; сосуд для кипячения кирпича и плиток; технический войлок; пресс гидравлический; круг истирания; стальная линейка; угольник.

## Порядок выполнения работы

### 1 Определение свойств кирпича глиняного обыкновенного.

Кирпич глиняный обыкновенный (СТБ 1160–99) представляет собой искусственный камень, получаемый из глины с добавками или без них, путем формовки сушки и обжигу, имеющий форму прямоугольного параллелепипеда с прямыми ребрами и углами и плоскими гранями.

Кирпич изготавливается одинарным размером  $250 \times 120 \times 65$  мм и утолщенный  $250 \times 120 \times 88$  мм. Модульный кирпич с технологическими пустотами выполняется размером  $288 \times 138 \times 65$  мм. Кирпич можно изготавливать сплошным или пустотелым, а камни только пустотелыми.

Марку камня и профильных изделий по прочности, устанавливают по значению предела прочности при сжатии, а кирпича – по значению пределов прочности при сжатии и изгибе, указанных в таблице 1.1.

Правильность формы кирпича, допускаемые отклонения от установленных размеров и другие дефекты, регламентированные стандартом, приводятся в таблице 1.2.

Таблица 1.1 – Марка кирпича по прочности

| Марка изделия | Предел прочности, МПа, не менее |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |
|---------------|---------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|               | при сжатии                      |                           | при изгибе                |                           |                           |                           |                           |                           |
|               | средний для пяти образцов       | наименьший для отдельного | средний для пяти образцов | наименьший для отдельного | средний для пяти образцов | наименьший для отдельного | средний для пяти образцов | наименьший для отдельного |
| 300           | 30,0                            | 25,0                      | 4,4                       | 2,2                       | 3,4                       | 1,7                       | 2,9                       | 1,5                       |
| 250           | 25,0                            | 20,0                      | 3,9                       | 2,0                       | 2,9                       | 1,5                       | 2,5                       | 1,3                       |
| 200           | 20,0                            | 17,5                      | 3,4                       | 1,7                       | 2,5                       | 1,3                       | 2,3                       | 1,1                       |
| 175           | 17,5                            | 15,0                      | 3,1                       | 1,5                       | 2,3                       | 1,1                       | 2,1                       | 1,0                       |
| 150           | 15,0                            | 12,5                      | 2,8                       | 1,4                       | 2,1                       | 1,0                       | 1,8                       | 0,9                       |
| 125           | 12,5                            | 10,0                      | 2,5                       | 1,2                       | 1,9                       | 0,9                       | 1,6                       | 0,8                       |
| 100           | 10,0                            | 7,5                       | 2,2                       | 1,1                       | 1,6                       | 0,8                       | 1,4                       | 0,7                       |
| 75            | 7,5                             | 5,0                       | 1,8                       | 0,9                       | 1,4                       | 0,7                       | 1,2                       | 0,6                       |

Таблица 1.2 – Виды дефектов керамических изделий

| Вид дефекта                                                                                                                                                                                                                                                                          | Число, шт.                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Для рядовых изделий. Отбитости углов и ребер глубиной более 5 мм и длиной от 10 до 15 мм                                                                                                                                                                                             | 2                                |
| Трещины протяженностью до 30 мм по плашку полнотелого кирпича и пустотных изделий, не более чем до первого ряда пустот, длиной на всю толщину кирпича или на ½ толщины тычковой или ложковой грани камня:<br>на ложковых гранях<br>на тычковых гранях                                | 1<br>1                           |
| Для лицевых и профильных изделий. Отбитости углов и ребер глубиной более 5 мм и длиной от 5 до 15 мм                                                                                                                                                                                 | 3                                |
| Трещины протяженностью до 30 мм по плашку полнотелого кирпича и пустотелых изделий, не более чем до первого ряда пустот, длиной на всю толщину кирпича или на ½ толщины тычковой или ложковой грани камня:<br>на одной лицевой ложковой грани<br><br>на одной лицевой тычковой грани | Не допускается<br>Не допускается |
| Отдельные трещины длиной до 30 мм на 1 дм <sup>2</sup> лицевой поверхности                                                                                                                                                                                                           | 2                                |
| Заусенцы высотой более 5 мм                                                                                                                                                                                                                                                          | Не допускается                   |

### Оценка качества кирпича при внешнем осмотре.

Для внешнего осмотра отбирают 5 шт. изделий. При сравнении с эталоном (нормально обожженное изделие) устанавливают равномерность и качество обжига в контрольном кирпиче. На недожог указывает более светлый, чем у эталона, алый цвет кирпича, глухой звук при ударе молотком. Пережженный кирпич отличается бурой, темно-фиолетовой или черной окраской, ярко выраженным искривлением ребер и граней, характеризуется оплавлением и вспучиванием. Не допускаются дутики (известковые включения), вызывающие разрушение кирпича.

Размеры кирпича, длину трещин, отбитости или притупленности углов и ребер измеряют с точностью до 1 мм металлической линейкой. Искривление поверхностей и ребер определяют с той же точностью при помощи линейки и угольника.

### Определение плотности кирпича и его водопоглощения.

Плотность  $\rho$ , г/см<sup>3</sup>, определяем по ранее изученной методике, используя формулу

$$\rho_0 = \frac{m}{a_{cp} \cdot b_{cp} \cdot c_{cp}}, \quad (1.1)$$

где  $m$  – масса материалов, кг (г);

$a_{cp}$ ,  $b_{cp}$ ,  $c_{cp}$  – средние значения размеров граней, м (см).

Водопоглощение кирпича можно определить способом кипячения. Высушенный до постоянной массы в сушильном шкафу и взвешенный образец

погружают в металлическую емкость с водой на 0,9 высоты образца. Через 24 ч воду в емкости вместе с образцом кипятят в течение 2 ч, поддерживая постоянный уровень воды (доливая её), и образцы оставляют в воде еще 24 ч. В процессе кипячения воздух, заключенный в порах материала, расширяясь от нагревания, удаляется. Затем образцы вынимают из емкости, обтирают влажной тканью и взвешивают. По результатам взвешиваний водопоглощение  $B_m$ , %, вычисляют по формуле

$$B_m = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot 100 \%, \quad (1.2)$$

где  $m_1$  – масса сухого образца, г;

$m_2$  – масса водонасыщенного образца, г.

### Определение марки кирпича.

Марка кирпича устанавливается на основании пределов прочности его при сжатии и изгибе в соответствии с требованиями стандарта. Предел прочности при сжатии определяется на образцах, состоящих из двух целых изделий или из двух его половинок. Допускается определять предел прочности при сжатии на половинках кирпича, полученных после испытания его на изгиб.

*Испытание образцов на изгиб.* Образец устанавливают на двух опорах прессы. Нагрузку прикладывают в середине пролета и равномерно распределяют по ширине образца согласно рисунку 1.1. Нагрузка на образец должна возрастать непрерывно со скоростью, обеспечивающей его разрушение через 20...60 с после начала испытаний.

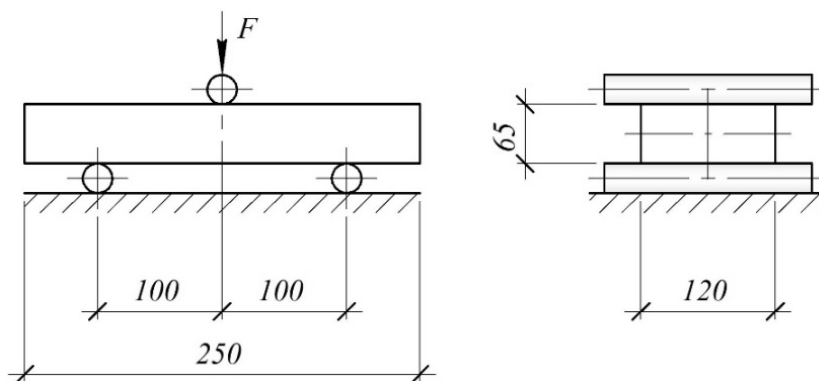


Рисунок 1.1 – Схема испытания образца кирпича на изгиб

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

$$R_{изг} = \frac{3 \cdot F \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2}, \quad (1.3)$$

где  $F$  – наибольшая нагрузка, установленная при испытании образца, МН (кгс);

$l$  – расстояние между осями опор,  $l = 20$  см;

$b$  – ширина образца,  $b = 12$  см;

$h$  – высота образца посередине пролета без выравнивающего слоя,  $h = 6,5$  см.

*Испытание образцов на сжатие.* Кирпичи или его половинки укладывают постелями друг на друга. Половинки размещают поверхностями раздела в противоположные стороны. Образцы из керамического кирпича полусухого прессования испытываются насухо, не производя выравнивания их поверхностей. При испытании на сжатие на боковые поверхности образца наносят вертикальные осевые линии. Образец устанавливают в центре плиты пресса, совмещая оси образца и плиты, и прижимают верхней плитой пресса (рисунок 1.2). Нагрузка на образец должна возрастать непрерывно и равномерно со скоростью, обеспечивающей его разрушение через 20...60 с после начала испытания.

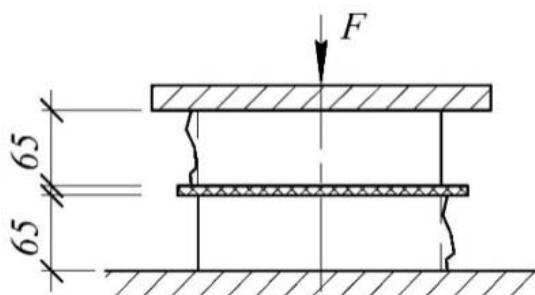


Рисунок 1.2 – Схема испытания образца кирпича на сжатие

Предел прочности образца при сжатии  $R_{сж}$ , МПа, рассчитывают по формуле

$$R_{сж} = \frac{F}{A}, \quad (1.4)$$

где  $F$  – наибольшая нагрузка, установленная при испытании образца, МН (кгс);

$A$  – площадь поперечного сечения образца, вычисляемая как среднее арифметическое значение площадей верхней и нижней его поверхностей,  $\text{м}^2$  ( $\text{см}^2$ ).

Допускается изготавливать образцы, выравнивая их опорные поверхности шлифованием, гипсовым раствором или применяя резиновый пластик, прокладки из технического войлока, картона и других материалов. Предел прочности при сжатии находят с погрешностью до 0,1 МПа, при изгибе – до 0,05 МПа, в обоих случаях – как среднее арифметическое результатов испытания пяти образцов. При определении марки кирпича учитываются также минимальные результаты испытаний.

Полученные результаты сравнивают с СТБ 1160–99 и устанавливают марку кирпича. При этом учитывают степень обжига кирпича, наличие дефектов, соответствие линейных размеров по СТБ.

### **Определение свойств плиток керамических для пола.**

В соответствии с ГОСТ 6787–2001 плитки производят: квадратные, прямоугольные, треугольные, шестигранные, четырехгранные (половинки шестигранных). Форма и размеры плиток должны соответствовать требованиям стандарта.



Допускаемые отклонения от размеров плиток не должны превышать: по длине  $\pm 1$  мм, по толщине  $\pm 0,5$  мм.

По виду лицевой поверхности плитки могут быть: гладкие, шероховатые, тисненные.

По цвету: одноцветные и многоцветные.

Плитки должны иметь правильную форму, четкие углы и грани, без выпуклостей, трещин, выбоин, без зазубрин и щербин на кромках лицевой поверхности. Боковые грани на квадратных и прямоугольных плитках должны составлять прямой угол с плоскостями плиток.

Водопоглощение плиток для пола не должно превышать 4 %.

Кроме прочности и сопротивления истиранию, напольная плитка должна обладать противоскользящими характеристиками. Такая плитка имеет большую толщину, чем настенная, и повышенную прочность.

### **Показатели внешнего вида плиток керамических для полов.**

Внешним осмотром определяем тип плиток (по их форме). С помощью металлической линейки определяют размеры, угольником – правильность прямых углов.

Искривление плиток (выпуклость, вогнутость) определяют с помощью металлической линейки.

Результаты осмотра сравнивают с нормативными показателями.

### **Определение плотности и водопоглощения для половых плиток.**

Для определения водопоглощения по массе пять образцов плиток размером не менее  $3 \times 5$  см промывают в воде и просушивают до постоянной массы при  $t = 105 \text{ }^{\circ}\text{C} \dots 110 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Охлажденные образцы взвешивают  $m_1$ , г, и кипятят в течение 1 ч в дистиллированной воде, после чего промывают в проточной воде на протяжении 20 мин. Затем их вынимают из воды, вытирают влажным полотенцем и вновь взвешивают  $m_2$ .

Водопоглощение одного образца, выраженное в процентах, определяют по формуле (1.2). Водопоглощение испытанных образцов определяют как среднее арифметическое из пяти полученных результатов.

### **Определение истирания для половых плиток.**

Для определения потери массы плитки при истирании отбирают образцы  $50 \times 50$  мм, которые предварительно взвешивают с точностью до 0,1 г и устанавливают в ячейки держателя на металлический диск (круг истирания). При вращении диска, на котором равномерно подается песок из расчета 20 г на 30 м пути, происходит истирание поверхностей образцов, т. е. потеря их массы. Скорость вращения круга истирания не должна превышать 35 об/мин, общая длина пути, пройденная истирающим диском при его вращении должна составить 150 м, что соответствует 110 оборотам диска.

Нагрузка на образцы должна составлять  $600 \text{ г/см}^2$ .

Истирание  $I$ , г/см<sup>2</sup>, одной плитки определяют по формуле

$$I = \frac{(m_1 - m_2)}{A}, \quad (1.5)$$

где  $m_1$  – масса образца до истирания, г;

$m_2$  – масса образца после истирания, г;

$A$  – площадь истирания, см<sup>2</sup>.

Истирание партии плитки определяют как среднее арифметическое из пяти полученных результатов.

Полученные данные сравнивают с требованиями ГОСТ 27180–2001, согласно которому потеря в массе при истирании не должна превышать 0,08 г/см<sup>2</sup>.

### **Прочность керамзитового гравия.**

Определяют при сдавливании зерен в стальном цилиндре с внутренним диаметром, равным высоте. Цилиндр заполняют керамзитом до краев, закрывают пуансоном и помещают на нижнюю плиту пресса. Сдавливают заполнитель при помощи пресса до погружения пуансона в цилиндр на 20 мм, в этот момент отмечают показания стрелки манометра.

Прочность заполнителя при сдавливании в цилиндре  $R_{сж}$ , МПа (кг/см<sup>2</sup>), вычисляют по формуле

$$R_{сж} = \frac{F}{A}, \quad (1.6)$$

где  $F$  – усилие сдавливания, Н (кгс);

$A$  – площадь поперечного сечения цилиндра, мм<sup>2</sup> (см<sup>2</sup>).

По результатам испытаний керамзита, используя таблицу 1.3, определяют марку гравия по прочности.

Таблица 1.3 – Марки керамзитового гравия по прочности в зависимости от прочности при сдавливании в цилиндре

| Прочность гравия при сдавливании в цилиндре, МПа | Марка гравия по прочности |
|--------------------------------------------------|---------------------------|
| 0,5...0,7                                        | П25                       |
| 0,7...1,0                                        | П35                       |
| 1,0...1,5                                        | П50                       |
| 1,5...2,0                                        | П75                       |
| 2,0...2,5                                        | П100                      |
| 2,5...3,3                                        | П125                      |
| 3,3...4,5                                        | П150                      |
| 4,5...5,5                                        | П200                      |
| 5,5...6,5                                        | П250                      |
| 6,5...8,0                                        | П300                      |

## **Результаты выполнения работы**

Данные всех опытов занести в таблицу 1.4.

Необходимо:

- определить марку испытанных изделий;
- сделать выводы по лабораторной работе.

Таблица 1.4 – Результаты испытаний

| Наименование показателей    | Единица измерения | Кирпич | Плитка для пола | Керамзит |
|-----------------------------|-------------------|--------|-----------------|----------|
| Средняя плотность           | г/см <sup>3</sup> |        |                 |          |
| Водопоглощение по массе     | %                 |        |                 |          |
| Истираемость                | г/см <sup>2</sup> | —      |                 | —        |
| Предел прочности при сжатии | МПа               |        | —               |          |
| Предел прочности при изгибе | МПа               |        | —               | —        |
| Соответствие СТБ и ГОСТ     | (+/-)             |        |                 |          |

## **Контрольные вопросы**

- 1 Какие материалы и изделия называются керамическими?
- 2 Классификация керамических материалов и изделий по плотности и назначению.
- 3 Сырьевые материалы для производства керамических материалов и изделий.
- 4 Схема технологии керамических изделий.
- 5 Чем отличается способ пластического формования от способа полусухого прессования? Каковы свойства полученных материалов?
- 6 Физико-химическая сущность спекания керамических материалов.
- 7 Как определить марку кирпича по прочности?
- 8 Какие показатели входят в условные обозначения керамических материалов?
- 9 Размеры керамических изделий (кирпича, камней).

## **2 Лабораторная работа № 5. Испытание портландцемента**

**Цель работы:** оценка качества исследуемого цемента по основным показателям.

**Используемые приборы и оборудование:** мерная посуда; совок; линейки; стеклянные пластинки; прибор «Вика» с пестиком и иглой; сферическая чаша; лопатка; постоянный магнит; весы; сито № 0,08; разъемная форма-конус для определения НГЦР; металлическая штыковка; встряхивающий столик; гидравлический пресс; формы балочек 40 × 40 × 160 мм; камера влажностного и температурного режима.

## ***Порядок выполнения работы***

### *Определение насыпной плотности.*

Насыпная плотность рыхлого материала определяется с помощью мерного цилиндра.

Цемент насыпают в предварительно взвешенный мерный цилиндр емкостью 1 л до образования над верхом цилиндра конуса. Последний снимают вровень с краями сосуда (без уплотнения), после чего цилиндр взвешивают.

Насыпную плотность цемента вычисляют по формуле

$$\rho_{н.ц} = \frac{m_{пол} - m_{пуст}}{V}, \quad (2.1)$$

где  $m_{пол}$  – масса цилиндра, наполненного цементом, г;

$m_{пуст}$  – масса пустого цилиндра, г;

$V$  – объем цилиндра,  $\text{см}^3$ ,  $V = 1 \text{ л} = 1000 \text{ см}^3$ .

### *Определение нормальной густоты цементного теста.*

Нормальную густоту цементного теста можно определить двумя способами: определение в полевых условиях и лабораторный способ определения.

*Нормальная густота* – это величина, численно равная количеству воды, рассчитанному в процентах от массы цемента. От нее зависит расход воды при изготовлении бетонной смеси заданной пластичности, а следовательно, и плотность, прочность, морозостойкость затвердевшего бетона.

#### *Способ 1. Определение нормальной густоты в полевых условиях.*

Взять два граненых стакана  $200 \text{ см}^3$  каждый. В первый налить  $75 \text{ см}^3$  воды (чуть меньше половины стакана), а во второй насыпать до верха пробу испытываемого цемента, уплотняя его легким постукиванием о стол. Избыток цемента снять линейкой. Определить ориентировочно вес цемента в стакане:

$$m_{ц} = 200 \cdot \rho_{н.ц}, \quad (2.2)$$

где  $\rho_{н.ц}$  – насыпная плотность цемента,  $\text{г/см}^3$ .

Затем высыпают цемент в металлическую чашу и при непрерывном помешивании добавляют к нему воду. Из полученного теста необходимо скатать два шарика диаметром около 4 см каждый. Если при этом тесто не прилипает к рукам и в то же время шарики не разваливаются, то нормальная густота подобрана правильно.

Для подтверждения этого вывода шарики положить на стеклянные пластинки и легким постукиванием о стол заставить их «расплыться» в лепешку диаметром 7 см и высотой в середине около 1 см. Если для этого достаточно 10...20 встряхиваний, то нормальная густота подобрана правильно и определяется как

$$НГ_{пол} = \frac{75}{m_{ц}} 100 \%. \quad (2.3)$$

Если для растекания шариков понадобится менее 10 ударов, то количество воды уменьшают, повторив опыт заново, если больше 20 ударов – количество воды увеличивают.

*Способ 2. Лабораторный способ определения нормальной густоты.*

Испытания проводят согласно ГОСТ 310.3–76.

*Нормальной густотой цементного теста считают* такую его консистенцию, при которой пестик прибора Вика, погруженный в кольцо, заполненное тестом, за 30 с не доходит на 5...7 мм до пластинки, на которой установлено кольцо.

Для ручного приготовления цементного теста отвешивают 400 г цемента, высыпают в чашу, предварительно протертую влажной тканью. Затем делают в цементе углубление, в которое вливают в один прием воду в количестве, необходимом (ориентировочно) для получения цементного теста нормальной густоты.

Углубление засыпают цементом и через 30 с после добавления воды сначала осторожно перемешивают, а затем энергично растирают тесто лопаткой. Продолжительность перемешивания и растирания составляет 5 мин с момента добавления воды.

После окончания перемешивания кольцо быстро наполняют в один прием цементным тестом и 5–6 раз встряхивают его, постукивая пластинку о твердое основание. Поверхность теста выравнивают с краями кольца, срезая избыток теста ножом, протертым влажной тканью. Немедленно после этого приводят пестик прибора в соприкосновение с поверхностью теста в центре кольца и закрепляют стержень стопорным устройством, затем быстро освобождают его и предоставляют пестику свободно погружаться в тесто. Через 30 с от момента освобождения стержня производят отсчет погружения по шкале.

При несоответствующей консистенции цементного теста изменяют количество воды и вновь затворяют тесто, добиваясь погружения пестика в кольцо заполненное тестом так, чтобы пестик прибора Вика не доходил на 5...7 мм до пластинки, на которой установлено кольцо.

После получения теста требуемой консистенции высчитывают нормальную густоту:

$$НГ_{\text{лаб}} = \frac{m_{\text{в}}}{m_{\text{ц}}} 100\%, \quad (2.4)$$

где  $m_{\text{в}}$  – масса воды, г,  $m_{\text{в}} = V$ ;

$m_{\text{ц}}$  – масса цемента, г.

После проведения всех испытаний результаты необходимо занести в таблицу 2.2.

*Определение качества цемента.*

Качество цемента оценивают по следующим показателям: тонкость помола, сроки схватывания, равномерность изменения объема цемента, марка цемента.

*Тонкость помола.*

Тонкость помола определяется как остаток на сите с сеткой № 0,08 в процентах от его первоначальной массы просеиваемой пробы.

Согласно СТБ ЕН 196-6–2000 тонкость помола цемента должна быть такой, чтобы при просеивании его через сито с сеткой № 0,08 проходило не менее 85 % пробы.

*Сроки схватывания.*

Сроком схватывания является время, по истечении которого игла прибора Вика проникает в цементное тесто нормальной густоты на определенную глубину. Сроки схватывания определяют согласно СТБ ЕН 196-3–2007.

*Определение начала схватывания.*

Кольцо прибора Вика заполняют цементным тестом нормальной густоты. Затем заполненное кольцо Вика помещают под прибор Вика, иглу осторожно опускают до соприкосновения с поверхностью цементного теста. Затем быстро отпускают движущиеся части так, чтобы игла входила в цементное тесто перпендикулярно. После прекращения погружения иглы в цементное тесто, но не позднее чем через 30 с по шкале считывают показание глубины погружения.

После каждого погружения иглу прибора Вика сразу же очищают.

Время от нулевого времени до момента, когда расстояние между иглой и пластиной-основанием составляет  $(6 \pm 3)$  мм, считают временем начала схватывания цемента.

*Определение конца схватывания.*

Время с момента загрузки цементного теста (нулевое время) до момента, когда игла проникает в затвердевшее цементное тесто на 0,5 мм, называют концом схватывания.

*Равномерность изменения объема.*

Равномерность изменения объема цемента в процессе гидратации устанавливают 3-часовым кипячением в воде образцов лепешек, твердевших 24 ч во влажных условиях. Не выдержавшими испытание считаются те образцы, которые имеют на своей поверхности радиальные глубокие трещины или сетку мелких трещин. Основная причина неравномерного изменения объема – наличие в цементе свободных оксидов кальция и магния, которые гасятся увеличением объема в уже затвердевшем цементном камне.

*Определение класса цемента.*

Метод включает определение прочности на сжатие и при необходимости прочности на растяжение при изгибе призматических испытываемых образцов размерами  $40 \times 40 \times 160$  мм согласно СТБ ЕН 196-1–2007.

Испытываемые образцы изготавливаются из замеса раствора пластичной консистенции и состоят по массовым долям из одной части цемента и трех частей песка при водоцементном отношении 0,5.

Перед изготовлением образцов из цементно-песчаного раствора необходимо установить его нормальную консистенцию. Для этого тщательно перемешанную смесь, состоящую из 500 г цемента, 1500 г песка и 200 мл воды укладывают в предварительно увлажненный конус, расположенный на встряхивающем столике, двумя слоями равной толщины. При этом каждый слой уплотняют метал-

лической штыковкой: нижний – 15 раз; верхний – 10 раз. Излишек раствора срезают ножом, а форму медленно поднимают. Затем, вращая рукоятку столика (примерно один раз в 1 с), 30 раз встряхивают, конус при этом расплывается. С помощью линейки расплыв конуса замеряют по нижнему основанию в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Консистенцию раствора считают нормальной, если расплыв окажется равным 106...115 мм. Если расплыв отличается от указанного, количество воды соответственно изменяют.

Из полученного цементного раствора изготавливают три образца балочек и уплотняют в форме с помощью виброплощадки. Образцы хранят в форме во влажных условиях в течение 24 ч, после чего извлеченные из формы образцы выдерживают в воде до проведения испытаний по определению прочности.

После достижения испытываемыми образцами требуемого возраста их извлекают из воды и с помощью изгибающей нагрузки разламывают на две половины, проводя при этом испытания по определению прочности на растяжение при изгибе. Каждую половину испытываемых образцов подвергают испытаниям на прочность при сжатии.

Испытательная установка для определения прочности на растяжение при изгибе должна иметь изгибающее устройство, состоящее из двух стальных поддерживающих стержней (роликов) диаметром  $(10,0 \pm 0,5)$  мм с расстоянием между ними  $(100,0 \pm 0,5)$  мм и третьего нагружающего стального стержня (ролика) такого же диаметра, расположенного в центре между двумя другими роликами. Схема приложения нагрузки представлена на рисунке 2.1.

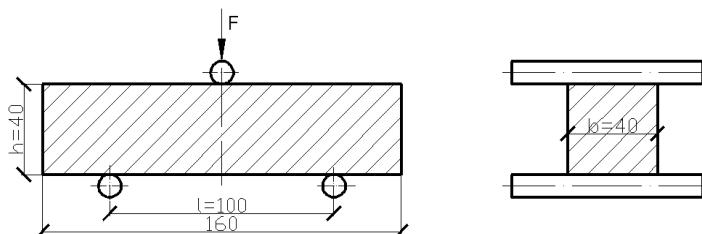


Рисунок 2.1 – Схема приложения нагрузки для определения предела прочности при изгибе

Класс цемента определяют при испытании образцов в возрасте 28 сут, но, используя логарифмическую зависимость, можно определить класс цемента и в более ранние сроки (7 сут):

$$R_{28} = \frac{R_n \cdot \lg 28}{\lg(n)}, \quad (2.5)$$

где  $n$  – время твердения образца, сут;

$R_n$  – прочность образца в этом возрасте, МПа.

Для определения предела прочности при сжатии и изгибе в возрасте  $n$  сут используют следующие формулы:

$$R_{изг(n)} = \frac{3 \cdot F \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2};$$

$$R_{сж(n)} = \frac{F}{A}, \quad (2.6)$$

где  $F$  – разрушающая нагрузка, Н;

$b, h$  – ширина и высота образца 40 мм, или 0,04 м;

$l$  – расстояние между опорами 100 мм, или 0,1 м;

$A$  – площадь пластин 25 см<sup>2</sup>, или 0,0025 м<sup>2</sup>.

После определения прочности в возрасте  $n$  суток ее необходимо перевести по вышеприведенной формуле в возраст 28 сут. При этом необходимо учесть, что предел прочности при изгибе вычисляют как среднее арифметическое двух наибольших результатов из трех испытываемых образцов. Предел прочности при сжатии вычисляют как среднее арифметическое значение четырех наибольших результатов испытаний, проводившихся для шести образцов половинок балочек.

Испытательная схема для определения прочности на сжатие изображена на рисунке 2.2.

По таблице 2.1 сделать заключение о классе цемента.

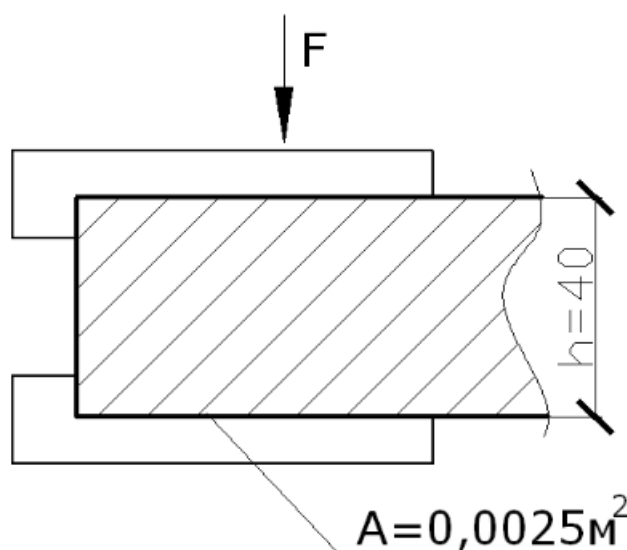


Рисунок 2.2 – Схема приложения нагрузки для определения предела прочности при сжатии



Таблица 2.1 – Предельные значения для единичных результатов испытаний

| Свойство                                                                     |        | Предельное значение единичных результатов |        |        |        |        |        |
|------------------------------------------------------------------------------|--------|-------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                                                              |        | Класс прочности                           |        |        |        |        |        |
|                                                                              |        | 32,5 N                                    | 32,5 R | 42,5 N | 42,5 R | 52,5 N | 52,5 R |
| Прочность в раннем возрасте, МПа<br>(принимается нижнее предельное значение) | 2 сут  | –                                         | 8,0    | 8,0    | 18,0   | 18,0   | 28,0   |
|                                                                              | 7 сут  | 14,0                                      | –      | –      | –      | –      | –      |
| Стандартная прочность, МПа<br>(принимается нижнее предельное значение)       | 28 сут | 30,0                                      | 30,0   | 40,0   | 40,0   | 50,0   | 50,0   |
| Начало схватывания, мин<br>(принимается нижнее предельное значение)          |        | 60                                        |        | 50     |        | 40     |        |
| Равномерность изменения объема, мм (принимается верхнее предельное значение) |        | 10                                        |        |        |        |        |        |

### ***Результаты выполнения работы***

Данные всех опытов занести в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Результаты проведения экспериментов

| Нормальная густота, %                      | Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup> | Вид цемента | Марка цемента |
|--------------------------------------------|---------------------------------------|-------------|---------------|
| $HG_{\text{лаб}} =$<br>$HG_{\text{пол}} =$ | $\rho_{\text{н.ц.}} =$                | **          | ***           |

### ***Контрольные вопросы***

1 Сырье (соотношение между составляющими) и способы получения цемента. Температура обжига.

2 Что такое цемент и какой группе вяжущих по способу твердения он относится?

3 Химический состав сырья.

4 Минералогический состав клинкера.

5 По каким показателям определяется тип цемента и оборудование, которое для этого используется?

6 По каким показателям определяется качество цемента? Приборы и приспособления.

7 Как определить марку цемента? Какие бывают марки?

8 Разновидности цементов, их области применения и характерные признаки.

### 3 Лабораторная работа № 6. Исследование свойств извести и силикатных изделий

**Цель работы:** определение тонкости помола извести, содержания активных CaO и MgO, а также физико-механических свойств силикатного кирпича.

**Используемые приборы и оборудование:** весы; сита № 0,2 и 0,08; коническая колба емкостью 250 мл; плита; линейки.

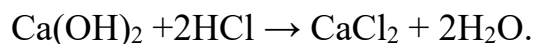
#### **Порядок выполнения работы**

##### **Определение тонкости помола.**

100 г высушенной порошкообразной извести-кипелки просеять через сита № 0,2 и 0,08. Просеивание считают законченным, если в течение 1 мин проходит не более 0,1 г извести. Остаток на сите в граммах по отношению к общей пробе, выраженной в процентах, характеризует тонкость помола.

##### **Определение активности извести.**

Суммарное содержание в извести активных CaO + MgO определяют титрованием прогидратированной в воде навески извести раствором соляной кислоты:



Окончание реакции нейтрализации фиксируется при помощи индикатора на щелочные растворы фенолфталеина по изменению (обесцвечиванию) малиновой окраски раствора.

Для этого из пробы извести, прошедшей через сито № 0,2, взять навеску в 1 г и поместить ее в коническую колбу. Добавить туда 150 мл дистиллированной воды и несколько стеклянных бус, поставить на плиту и нагреть в течение 5...7 мин, не доводя до кипения. Затем раствор охладить до комнатной температуры 20 °С...30 °С, добавить 2...3 капли 1-процентного спиртового раствора фенолфталеина и титровать при постоянном взбалтывании раствором соляной кислоты до обесцвечивания.

Активность извести, т. е суммарное содержанием активных оксидов, можно рассчитать по формуле

$$A = \frac{V \cdot T}{m} 100 \%, \quad (3.1)$$

где  $T$  – количество окиси кальция, соответствующее 1 мл нормального раствора соляной кислоты,  $T = 0,2804$ ;

$V$  – объем раствора однонормального соляной кислоты, пошедшей на титрование, мл;

$m$  – масса навески, извести, г.

### Определение свойств силикатных изделий.

*Определение средней плотности кирпича силикатного и газосиликатного блока.* Средняя плотность образцов правильной формы (кирпича и газосиликатного блока) определяется путем непосредственного замера и определения его геометрического объема с последующим его взвешиванием.

Для более точных результатов измерять необходимо каждую грань образца в трех местах. За окончательный размер каждой грани принимают среднее арифметическое трех измерений. Обмер должен производиться с точностью до 0,1 мм.

Для образцов, имеющих форму куба или параллелепипеда, среднюю плотность можно определить по формуле

$$\rho_0 = \frac{m}{a_{cp} \cdot b_{cp} \cdot c_{cp}}, \quad (3.2)$$

где  $m$  – масса материалов, кг (г);

$a_{cp}, b_{cp}, c_{cp}$  – средние значения граней, м (см).

### Определение водопоглощения силикатных изделий.

*Водопоглощением материала* называют способность материала впитывать воду и удерживать ее. Она характеризуется отношением массы впитанной воды к массе сухого материала (водопоглощение по массе  $B_m$ ) или объема впитанной воды к объему образца (водопоглощение по объему  $B_V$ ) и определяется кипячением образцов, высушенных до постоянной массы  $m_1$  в воде в течение 1 ч. Затем образцы вытирают влажной тканью и взвешивают, получая  $m_2$ .

Показатели водопоглощения рассчитывают по формулам

$$B_m = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot 100 \%, \quad (3.3)$$

где  $m_1$  – масса сухого образца, г (кг);

$m_2$  – масса водонасыщенного образца, г (кг);

$$B_V = \frac{m_2 - m_1}{V} \cdot 100 \% = B_m \cdot \rho_0, \quad (3.4)$$

где  $V$  – объем сухого материала, г (кг);

$\rho_0$  – средняя плотность материала, г/см<sup>3</sup> (кг/м<sup>3</sup>).

Из формул (3.3) и (3.4) видно, что среднюю плотность можно выразить отношением водопоглощения по объему к водопоглощению по массе:

$$\rho_0 = \frac{B_V}{B_m}. \quad (3.5)$$

## ***Результаты выполнения работы***

Данные всех опытов занести в таблицу 3.1.

По результатам опытов и расчетов необходимо:

- построить графики зависимости скорости гашения извести от тонкости помола и водоизвесткового отношения;
- сделать вывод о способах интенсификации процесса гидратации минеральных вяжущих веществ;
- дать заключение о качестве извести в соответствии с требованиями СТБ ЕН 459-1–2007.

Таблица 3.1 – Результаты проведения экспериментов

| Наименование изделия | Средняя плотность, г/см <sup>3</sup> | Водопоглощение, % |           | Остаток на сите, % |        | Активность $A$ , %<br>(CaO + MgO) |
|----------------------|--------------------------------------|-------------------|-----------|--------------------|--------|-----------------------------------|
|                      |                                      | по массе          | по объему | № 0,2              | № 0,08 |                                   |
| Кирпич силикатный    |                                      |                   |           |                    |        |                                   |
| Газосиликатный блок  |                                      |                   |           |                    |        |                                   |

## ***Контрольные вопросы***

1 Сырье для получения воздушной строительной извести. Уравнение реакции получения, содержание глинистых примесей в сырье, температура тепловой обработки.

2 Сырье для получения гидравлической извести. Количество глинистых примесей. Температура обжига.

3 Уравнение гидратации и карбонизации.

4 Что такое гидравлический модуль? Классификация извести по гидравлическому модулю.

5 Что такое известь-пушенка? Что такое известь-кипелка?

6 Что такое активность извести?

7 Какое содержание оксидов магния в кальциевой, магнезиальной и доломитовой извести?

8 Что принимается за скорость гашения и классификация по скорости гашения?

9 Область применения извести.

## 4 Лабораторная работа № 7. Проектирование состава тяжелого цементного бетона

**Цель работы:** ознакомление с основными положениями по методике подбора состава бетона.

### *Порядок выполнения работы*

Проектирование состава бетона включает:

- назначение требований к бетону исходя из вида и особенностей службы и изготовления конструкций;
- выбор материалов для бетона и получение необходимых данных, характеризующих их свойства;
- определение предварительного состава бетона;
- корректировку состава в пробных замесах;
- контроль за бетонированием, проведение необходимой корректировки в процессе производства, вызванной колебаниями свойств заполнителей и другими факторами.

Подбор состава бетона производится с целью обеспечения требуемой удобоукладываемой смеси для принятого способа ее транспортирования и укладки, заданной прочности бетона в назначенный срок при наименьшем расходе цемента. В необходимых случаях вводят требования по плотности, морозостойкости, водонепроницаемости бетона. Для расчета состава бетона необходимы следующие исходные данные:

- требуемая прочность бетона  $R_b$ ;
- вид и активность цемента  $R_u$ ;
- способ укладки и уплотнения, предопределяющий выбор подвижной или жесткой смеси (жесткость в секундах, осадка конуса в сантиметрах);
- свойства исходных материалов: насыпная плотность составляющих ( $\rho_{н.п.}$ ,  $\rho_{н.п.}$ ,  $\rho_{н.п.(\varepsilon)}$ ), истинная плотность ( $\rho_u$ ,  $\rho_n$ ,  $\rho_{и.}$ ), максимальная крупность заполнителя, качество заполнителей.

Состав бетона выражают расходом всех составляющих материалов на 1 м<sup>3</sup>, уложенной и уплотненной бетонной смеси или отношением массы составляющих к массе цемента, принимаемой за единицу, т. е. Ц : П : Щ (Г) : В : Д (цемент : песок : щебень (гравий) : вода : добавки).

*Расчет состава тяжелого бетона.*

Профессором Б. Г. Скрамтаевым и его учениками было рекомендовано использовать зависимость

$$R_b = A \cdot R_u \left( \frac{Ц}{B} \pm 0,5 \right). \quad (4.1)$$

Тогда водоцементное отношение

$$\frac{B}{Ц} = \frac{A \cdot R_u}{R_b + 0,5 \cdot A \cdot R_u}, \quad (4.2)$$

где  $R_b$  – предел прочности бетона, МПа;

$R_{ц}$  – активность цемента, МПа;

$A$  – коэффициент учитывающий качество материала (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Значение коэффициента  $A$

| Характеристика заполнителей и цемента | $A$  |
|---------------------------------------|------|
| Высококачественные                    | 0,65 |
| Рядовые                               | 0,6  |
| Пониженного качества                  | 0,55 |

Ориентировочный расход воды зависит от требуемой удобоукладываемости, вида и максимальной крупности заполнителя и определяется по таблице 4.2.

Расход цемента определяют по формуле

$$Ц = \frac{B}{\frac{B}{Ц}}. \quad (4.3)$$

Таблица 4.2 – Рекомендуемое содержание воды в бетонной смеси

| Характеристика бетонной смеси |              | Содержание воды в бетонной смеси, л/м <sup>3</sup> , при крупности щебня, мм |     |     | Содержание воды в бетонной смеси, л/м <sup>3</sup> , при крупности гравия, мм |     |     |
|-------------------------------|--------------|------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|
| Осадка конуса                 | Жесткость, с | 10                                                                           | 20  | 40  | 10                                                                            | 20  | 40  |
| 0                             | 150...200    | 155                                                                          | 140 | 130 | 145                                                                           | 130 | 120 |
| 0                             | 90...120     | 160                                                                          | 145 | 135 | 150                                                                           | 135 | 125 |
| 0                             | 60...90      | 170                                                                          | 155 | 140 | 160                                                                           | 145 | 130 |
| 0                             | 30...60      | 175                                                                          | 160 | 145 | 165                                                                           | 150 | 135 |
| 0                             | 15...30      | 185                                                                          | 170 | 155 | 175                                                                           | 160 | 145 |
| 1                             |              | 195                                                                          | 180 | 165 | 185                                                                           | 170 | 155 |
| 2                             |              | 200                                                                          | 185 | 170 | 190                                                                           | 175 | 160 |
| 3                             |              | 205                                                                          | 190 | 175 | 195                                                                           | 180 | 165 |
| 5                             |              | 210                                                                          | 195 | 180 | 200                                                                           | 185 | 170 |
| 7                             |              | 215                                                                          | 200 | 185 | 205                                                                           | 190 | 175 |
| 8                             |              | 220                                                                          | 205 | 190 | 210                                                                           | 195 | 180 |
| 10                            |              | 225                                                                          | 210 | 195 | 215                                                                           | 200 | 185 |

Вычисленный расход цемента не должен быть ниже минимально допустимого расхода для дорожного цементобетона – 300 кг/м<sup>3</sup>, для искусственных сооружений – 240 кг/м<sup>3</sup>, для обычного цементобетона – 250 кг/м<sup>3</sup>. Если полученный по расчету расход цемента окажется больше минимально допус-

тимого, принимается его расчетное значение, если меньше – минимально допустимое (то есть расход цемента увеличивают до требуемой нормы или вводят тонкомолотую добавку).

Расход щебня (гравия) определяют по формуле

$$\Pi = \frac{1}{\frac{V_{пуст} \cdot \alpha}{\rho_{н.щ(г)}} + \frac{1}{\rho_{щ(г)}}}, \quad (4.4)$$

где  $V_{пуст}$  – пустотность щебня (гравия) в рыхлом состоянии;

$\alpha$  – коэффициент раздвижки зерен щебня (гравия) для пластичных смесей принимается по таблице 4.3, для жестких смесей  $\alpha = 1,05 \dots 1,2$ ;

$\rho_{н.щ(г)}$  – насыпная плотность щебня (гравия), кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{щ(г)}$  – истинная плотность щебня (гравия), кг/м<sup>3</sup>.

Расход песка рассчитывают, как разность между проектным объемом бетонной смеси и суммой абсолютных объемов цемента, воды и крупного заполнителя:

$$\Pi = \left[ 1 - \left( \frac{Ц}{\rho_ц} + \frac{В}{\rho_в} + \frac{\Pi(Г)}{\rho_{щ(г)}} \right) \right] \cdot \rho_n, \quad (4.5)$$

где  $Ц$ ,  $В$ ,  $\Pi$ ,  $\Pi(Г)$  – расход цемента, воды, песка, щебня (гравия), кг;

$\rho_ц$ ,  $\rho_в$ ,  $\rho_n$ ,  $\rho_{щ(г)}$  – истинная плотность этих материалов, кг/м<sup>3</sup>.

Таблица 4.3 – Значение коэффициента  $\alpha$  для бетонных смесей

| Расход цемента, кг | Коэффициент $\alpha$ при В/Ц |      |      |      |      |
|--------------------|------------------------------|------|------|------|------|
|                    | 0,4                          | 0,5  | 0,6  | 0,7  | 0,8  |
| 250                | –                            | –    | 1,26 | 1,32 | 1,38 |
| 300                | –                            | 1,3  | 1,36 | 1,42 | –    |
| 350                | 1,32                         | 1,38 | 1,44 | –    | –    |
| 400                | 1,4                          | 1,46 | –    | –    | –    |

Затем вычисляют:

– расчетную плотность бетонной смеси

$$\rho_{б.см.} = \frac{Ц + В + \Pi + \Pi(Г)}{1 \text{ м}^3}; \quad (4.6)$$

– коэффициент выхода бетона

$$\beta = \frac{1}{\frac{Ц}{\rho_{н.ц.}} + \frac{\Pi}{\rho_{н.п.}} + \frac{\Pi(Г)}{\rho_{н.щ(г)}}}. \quad (4.7)$$

После расчета выполняются пробные замесы, при этом предварительно количество воды затворения может быть скорректировано с учетом влажности заполнителей.

### ***Результаты выполнения работы***

Данные расчета занести в таблицу 4.4.

Таблица 4.4 – Результаты расчетов

| Компонент |   |      |   | В/Ц |
|-----------|---|------|---|-----|
| Ц         | В | Щ(Г) | П |     |
|           |   |      |   |     |
|           |   |      |   |     |

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Что такое бетон?
- 2 Материалы для изготовления тяжелого бетона.
- 3 Исходные данные для подбора состава тяжелого бетона.
- 4 Что такое коэффициент выхода?

## **5 Лабораторная работа № 8. Определение физико-механических характеристик и класса по прочности тяжелого бетона**

***Цель работы:*** изготовление и испытание образцов на основании расчета; изучение влияния добавок на свойства бетонной смеси и затвердевшего бетона.

***Используемые приборы и оборудование:*** весы; мерные металлические цилиндры; стандартный конус; технический вискозиметр; металлические формы куба; виброплощадка; гидравлический пресс.

### ***Порядок выполнения работы***

На основании расчетов выполненных в лабораторной работе №7 выполняется замес бетонной смеси. После определения характеристик смеси, смесь необходимо уложить в форму куба и изготовить образцы для определения класса по прочности.

#### ***1 Испытание бетонной смеси.***

***Определение подвижности.*** Для проведения испытаний каждая бригада готовит 8 л бетонной смеси заданного состава. При этом одна из бригад вводит в смесь химическую добавку в количестве, указанном преподавателем. Затем производится определение подвижности смеси с помощью стандартного



конуса, расположенного на основании, не впитывающем воду. Внутреннюю поверхность конуса и основания смачивают водой. В установленный конус смесь загружается тремя слоями одинаковой высоты, каждый слой уплотняют штыкованием металлическим стержнем 25 раз. Избыток смеси срезают вровень с верхними краями конуса, после чего форму-конус осторожно поднимают и ставят на площадку рядом с конусом бетонной смеси, которая под действием собственной массы начинает оседать. На верхнее основание формы-конуса укладывают линейку, от нижнего ребра которой измеряют осадку конуса  $OK$  бетонной смеси с точностью до 1 см.

Измерения производят дважды и берут среднее арифметическое значение.

*Определение жесткости бетонной смеси.* У жестких смесей подвижность  $OK = 0$  см.

Для определения степени жесткости применяется технический вискозиметр. Для этого на виброплощадку устанавливают и закрепляют цилиндрический сосуд вискозиметра. Затем в сосуд вставляют цилиндрическое кольцо и закрепляют зажимами. В это кольцо вставляют стандартный конус. На конус надевают кольцо-держатель, ручки которого заводят в пазы петель. Затем устанавливают насадку и заполняют конус бетонной смесью на полную его высоту с насадкой, предварительно уплотняя смесь штыкованием.

Окончательно уплотняют бетонную смесь в конусе вибрированием до тех пор, пока на поверхности смеси из-под нижнего основания конуса не начнется заметное выделение цементного молока. Время вибрирования должно быть не менее 5 с и не более 30 с. По окончании вибрирования насадку снимают, избыток смеси срезают металлической линейкой вровень с краями конуса, а затем снимают конус, держа его строго вертикально. После этого устанавливают на прибор штатив с диском, полностью освобождают зажимной винт штанги и опускают диск на поверхность отформованного конуса бетонной смеси. Далее одновременно включают виброплощадку и секундомер и наблюдают за опусканием штанги. Когда риска штанги совпадает с верхней плоскостью направляющей головки штатива, включают секундомер и вибратор и отмечают время, прошедшее от момента включения вибратора до его выключения. Это время в секундах характеризует жесткость бетонной смеси.

*Упрощенный способ* применяется, когда в лаборатории нет технического вискозиметра. Для этой цели на виброплощадку устанавливают и закрепляют форму-куб размером  $200 \times 200 \times 200$  мм. В форму вставляют полый конус с диаметром нижнего основания, несколько уменьшенным по сравнению с кубом. Конус заполняют бетонной смесью, как было описано выше, после чего его осторожно поднимают вертикально вверх и освобождают бетонную смесь от конуса. Затем форму-куб с бетонной смесью подвергают вибрированию до тех пор, пока бетонная смесь не заполнит все углы формы и поверхность ее не примет горизонтального положения. Время в секундах, необходимое для выравнивания поверхности бетонной смеси в форме, умноженное на коэффициент 1,5, характеризует жесткость бетонной смеси.

Показатель жесткости бетонной смеси вычисляют с точностью до 5 с как среднее арифметическое результатов двух определений.

Если жесткость бетонной смеси окажется ниже заданной, то в бетонную смесь вводят добавки 10 % крупного и мелкого заполнителя от первоначально взятых и после перемешивания бетонной смеси вновь определяют жесткость. Если жесткость бетонной смеси выше заданной, то в бетонную смесь вводят 10 % цемента и воды (сохраняя водоцементное отношение) от первоначально взятых и вновь производят определение жесткости.

## *2 Испытание бетона.*

Прочность бетона в проектном возрасте характеризуют классами по прочности.

*Класс бетона по прочности* – количественная величина, характеризующая качество бетона, соответствующая его гарантированной прочности на осевое сжатие, обозначаемая буквой С и числами, выражающими значения нормативного сопротивления и гарантированной прочности, например, С<sup>12</sup>/<sub>15</sub> (перед чертой – значение нормативного сопротивления, после черты – гарантированная прочность бетона).

*Прочность бетона на осевое сжатие гарантированная* – прочность, определяемая при осевом сжатии кубов размером 150 × 150 × 150 мм с учетом статистической изменчивости при обеспеченности 0,95, гарантируемая производителем в соответствии с действующими стандартами. Предел прочности при сжатии определяют на образцах, изготовленных из бетонной смеси и выдержанных до испытания в течение 28 сут в нормальных условиях.

Для определения предела прочности бетона при сжатии изготавливают образцы-кубы, размеры которых зависят от наибольшей крупности заполнителя.

Длина грани образца-куба, мм: 70; 100; 150; 200; 300.

Наибольшая крупность зерен, мм: 10; 20; 40; 70; 100 и более.

Образцы изготавливают в разборных чугунных или стальных формах со шлифованной внутренней поверхностью.

Перед укладкой бетонной смеси формы очищают от остатков бетона и внутреннюю поверхность смазывают отработанным минеральным маслом или смазкой, препятствующей сцеплению затвердевшего бетона с поверхностью форм. Укладка бетонной смеси в формы и ее уплотнение должны быть закончены не позднее чем через 20 мин после отбора пробы бетонной смеси. Методы укладки и уплотнения бетонной смеси в формах зависят от ее подвижности.

Бетонную смесь укладывают в форму с некоторым избытком, после чего форму устанавливают на стандартную лабораторную виброплощадку и закрепляют зажимами. Затем включают виброплощадку и секундомером фиксируют время вибрирования. Вибрирование должно продолжаться до полного уплотнения, характеризуемого прекращением оседания бетонной смеси, выравниванием ее поверхности и появлением на ней цементного раствора. Обычно это время соответствует показателю жесткости, увеличенному на 30 с.

После уплотнения образцы в формах, покрытых влажной тканью, хранят в помещении при температуре 16 °С...20 °С в течение 1 сут. Затем их вынимают из формы, маркируют и до момента испытания помещают в камеру нормального твердения при температуре (20 ± 2) °С и влажности не менее 95 %.

Образцы в камере укладывают на стеллажи в один ряд по высоте с промежутками между ними, обеспечивающими обдувание каждого образца воздухом.

Предел прочности при сжатии образцов-кубов определяют следующим образом. Образцы извлекают из камеры влажного хранения, осматривают и обнаруженные на опорных гранях дефекты в виде наплывов удаляют напильником или шлифовальным кругом, а мелкие раковины заполняют густым цементным тестом. Затем определяют рабочее положение образца при испытании. Опорные грани выбирают так, чтобы сжимающая сила при испытании образца была направлена параллельно слоям укладки бетонной смеси в форму. Образцы-кубы измеряют металлической линейкой с точностью до 1 мм, а затем взвешивают на технических весах. Рабочую площадку сечения образца в сантиметрах в квадрате определяют как среднее арифметическое площадей обеих опорных граней. Образцы перед испытанием должны в течение 2...4 ч (с момента извлечения из камеры) находиться в помещении лаборатории.

Во время испытания образец устанавливают одной из граней на нижнюю опорную плиту прессы центрально по оси последнего.

Предел прочности при сжатии  $R_{сж}$ , МПа, определяют как отношение разрушающей силы  $F$ , Н, к первоначальной площади поперечного сечения образца  $A$ , м<sup>2</sup>:

$$R_{сж} = \frac{F}{A}. \quad (5.1)$$

Предел прочности при сжатии вычисляют как среднее арифметическое результатов испытания трех образцов при условии, что наименьший результат испытания одного из трех образцов отличается от следующего показателя не более чем на 15 %. Если наименьший результат отличается более чем на 15 % от следующего большего показателя, то предел прочности вычисляют как среднее арифметическое из двух наибольших результатов.

При определении предела прочности на сжатие образца-куба с длиной ребра 70, 100, 200, 300 мм предел прочности пересчитывают, используя соответственно следующие коэффициенты: 0,85; 0,95; 1,05; 1,1.

Для определения прочности бетона в возрасте 28 сут можно использовать значения, полученные на лабораторных работах в любой другой срок, и перевести с помощью эмпирической формулы полученную прочность в стандартную:

$$R_{28} = R_{(сж)n} \cdot \frac{\lg 28}{\lg n}, \quad (5.2)$$

где  $R_{(сж)n}$  — прочность бетона в возрасте  $n$  сут;

$R_{28}$  — прочность бетона в возрасте 28 сут;

$n$  — число суток твердения бетона.

Данная формула применима для ориентировочного расчета прочности бетона на портландцементе средних марок в возрасте более 3 сут. Фактическую прочность бетона в конструкциях определяют путем испытания контрольных образцов, изготовленных из той бетонной смеси и твердеющих в условиях, аналогичных тем условиям, в которых находились конструкции.

### **Результаты выполнения работы**

Данные всех опытов занести в таблицу 5.1.

В таблице 5.2 представлены марки цемента, в таблице А.1 – соотношение между классами и характеристиками тяжелого бетона по прочности на сжатие.

Таблица 5.1 – Результаты экспериментов

| Компонент |   |       |   | В/Ц | Подвижность, см, или жесткость, с, бетонной смеси | Прочность бетона $R_{28}$ , МПа | Средняя плотность бетона $\rho_{ср}$ , кг/м <sup>3</sup> |
|-----------|---|-------|---|-----|---------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Ц         | В | Щ (Г) | П |     |                                                   |                                 |                                                          |
|           |   |       |   |     |                                                   |                                 |                                                          |

Таблица 5.2 – Рекомендуемые и допускаемые марки цемента

| Класс бетона по прочности на сжатие | Марка цемента для бетона |             |
|-------------------------------------|--------------------------|-------------|
|                                     | рекомендуемая            | допускаемая |
| $C^{8/10}-C^{20/25}$                | 400                      | 500         |
| $C^{25/30}$                         | 500                      | 550; 600    |
| $C^{30/37}$                         | 550                      | 500; 600    |
| $C^{35/45}-C^{90/105}$              | 600                      | 500; 550    |

### **Контрольные вопросы**

- 1 Технология приготовления бетонной смеси.
- 2 Способы уплотнения бетонной смеси.
- 3 Как определяется подвижность бетонной смеси?
- 4 Как определяется жесткость бетонной смеси (упрощенный способ)?
- 5 Что такое тиксотропность, что такое седиментация?
- 6 Что такое класс бетона?
- 7 Чем отличается производственный состав от лабораторного?
- 8 От чего зависит прочность бетона?
- 9 От чего зависит расход воды в бетоне?
- 10 Добавки в бетон и их назначение.
- 11 Разновидности бетонов.

## 6 Лабораторная работа № 9. Определение составов и показателей качества строительных растворов

**Цель работы:** определение состава раствора, свойств растворной смеси, а также физико-механических свойств растворов.

**Используемые приборы и оборудование:** лабораторные весы и разновесы; сферические чаши; лабораторная виброплощадка; камера влажностного режима; гидравлический пресс; емкость для кипячения; мерные цилиндры; прибор для определения подвижности; стальной стержень диаметром 12 мм; кельма.

### **Порядок выполнения работы**

#### **Расчет состава и приготовление растворной смеси.**

Строительные растворы преимущественно изготавливают на портландцементе и его разновидностях. В качестве пластифицирующих добавок вводят известь или глину, а также поверхностно-активные вещества. Заполнителем служат кварцевый песок или топливные шлаки с крупностью зерен не более 2,5 мм.

Рассмотрим пример расчета состава растворной смеси.

Состав раствора определяют по таблице 6.1 в зависимости от марки раствора и марки применяемого цемента.

Согласно таблице 6.1 при марке цемента 300 состав в объемной дозировке для раствора марки 100 составляет 1:3.

Таблица 6.1 – Составы кладочных растворов

| Марка цемента | Состав в объемной дозировке (Ц : П) для растворов марок |       |     |    |
|---------------|---------------------------------------------------------|-------|-----|----|
|               | 100                                                     | 75    | 50  | 25 |
| 500           | 1:5,5                                                   | 1:6   | –   | –  |
| 400           | 1:4,5                                                   | 1:5,5 | –   | –  |
| 300           | 1:3                                                     | 1:4   | 1:6 | –  |

Лабораторный замес раствора для изготовления четырех образцов-кубов размером  $7,07 \times 7,07 \times 7,07$  см с учетом уплотнения составит 2 л. Тогда для состава 1:3 на лабораторный замес 2 л необходимо взять одну часть цемента и три части песка – всего четыре части. Значит цемента необходимо взять:  $2 : 4 = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ , а песка  $0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 3 = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ . Приняв насыпную плотность цемента  $1100 \text{ кг/м}^3$ , песка  $1550 \text{ кг/м}^3$  (значение насыпной плотности песка можно взять из [8, таблица 1.5]), рассчитывают расход цемента и песка по массе: Ц =  $1100 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 0,55 \text{ кг}$ ; П =  $1550 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} = 2,325 \text{ кг}$ .

Водоцементное отношение строительных растворов принимают в зависимости от их назначения в пределах 0,4–0,8. Для изучения влияния В/Ц на свойства раствора изготавливают два состава растворных смесей, отличаю-

щихся только значениями водоцементного отношения. Для первого состава принимают  $В/Ц = 0,6$ , для второго –  $0,8$ .

Песок высыпают на противень, к нему добавляют цемент и тщательно перемешивают в течение 5 мин, затем добавляют отмеренную воду и перемешивают смесь в течение 3...5 мин. Качество полученной растворной смеси контролируют по показателю подвижности.

### **Определение подвижности растворных смесей.**

Подвижностью растворной смеси называют её способность легко растекаться по поверхности камня и заполнять все его неровности. Определяют подвижность по глубине погружения эталонного конуса (в сантиметрах). Подвижность растворной смеси зависит от назначения раствора.

С учетом специфических технологических особенностей – укладка тонким слоем на водоотсасывающее пористое основание (кирпич, бетон), отсутствие специальных методов выравнивания и уплотнения, а также длительный период выработки – растворные смеси должны быть подвижными. Определяют этот показатель по глубине погружения под действием собственной массы конуса в сантиметрах.

Для определения подвижности в металлический сосуд укладывают растворную смесь на 10 мм ниже ее краев, уплотняют штыкованием стальным стержнем диаметром 10...12 мм (25 раз) и встряхивают 5–6 раз легким постукиванием о стол.

Сосуд с растворной смесью устанавливают на подставку так, чтобы острие конуса соприкасалось с поверхностью растворной смеси. Стержень закрепляют зажимным винтом и фиксируют положение стрелки на шкале.

Затем винт отпускают для свободного погружения конуса в раствор и после остановки записывают второй отсчет по шкале. Глубину погружения конуса определяют как разность между вторым и первым отсчетами.

Полученные значения подвижности для каждого состава сравнивают с данными таблицы 6.2 и определяют марку по подвижности.

Таблица 6.2 – Марка растворной смеси по подвижности

| Марка растворной смеси по подвижности $П_k$ | Норма по подвижности по погружению конуса, см |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| $П_{k1}$                                    | От 1 до 4 включ.                              |
| $П_{k2}$                                    | Св. 4 до 8 включ.                             |
| $П_{k3}$                                    | Св. 8 до 12 включ.                            |
| $П_{k4}$                                    | Св. 12 до 14 включ.                           |

### **Определение плотности, водопоглощения и коэффициента морозостойкости растворов.**

Растворы различного назначения должны характеризоваться средней плотностью, низким водопоглощением, морозостойкостью.

Для определения этих показателей из растворной смеси каждого состава готовят образцы-кубики размером  $7,07 \times 7,07 \times 7,07$  см. Способ формовки зависит от исходной подвижности растворной смеси. Из растворной смеси подвижностью менее 5 см образцы готовят в стандартных формах. Форму заполняют в два слоя, штыкуя каждый слой 12 раз.

При подвижности более 5 см образцы готовят в формах без нижнего основания, устанавливая их на керамический кирпич, покрытый бумагой, смоченной водой. Форму заполняют в один прием, штыкуя смесь 25 раз.

Свойства растворов определяют через 7 сут нормального твердения: температура –  $(20 \pm 2)$  °С, влажность – 95 %...100 %.

Среднюю плотность  $\rho_0$ , кг/м<sup>3</sup>, рассчитывают по формуле

$$\rho_0 = \frac{m}{V}, \quad (6.1)$$

где  $m$  – масса образца, кг;

$V$  – объем образца, м<sup>3</sup>.

Водопоглощение по объему  $B_v$ , %, которое характеризует открытую пористость, определяют путем кипячения образца каждого состава в течение часа и вычисляют по формуле

$$B_v = \frac{m_1 - m}{V} \cdot 100, \quad (6.2)$$

где  $m_1$  – масса насыщенного образца, г;

$m$  – масса сухого образца, г;

$V$  – объем образца, см<sup>3</sup>.

Морозостойкость оценивают количеством циклов замораживания и оттаивания насыщенных водой образцов. В связи с длительностью испытаний морозостойкость можно оценить косвенно по отношению капиллярной (открытой) пористости, доступной проникновению воды, к общей пористости материала.

Общую пористость  $\Pi$ , %, определяют по формуле

$$\Pi = \left( 1 - \frac{\rho_0}{\rho} \right) \cdot 100, \quad (6.3)$$

где  $\rho_0$  – средняя плотность раствора, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho$  – истинная плотность цементно-песчаного раствора, принимаемая  $\rho = 2700$  кг/м<sup>3</sup>.

Коэффициент морозостойкости вычисляем по формуле

$$K_{мор} = \frac{\Pi - B_v}{\Pi}. \quad (6.4)$$

Материал считается морозостойким, если  $K_{мор} > 0,8$ .

### Определение прочности раствора.

Несущую способность конструкции в большей степени обеспечивают материалы, из которых она получена. Для стеновой конструкции, выполненной из мелкоштучных материалов или крупноразмерных блоков, ее несущая способность складывается из прочности самого стенового материала, прочности раствора и прочности сцепления раствора с поверхностью изделия.

Прочность раствора характеризуется маркой. Для раствора установлены следующие марки по прочности на сжатие: М4, М10, М25, М50, М75, М100, М150, М200.

Определение прочности раствора на сжатие выполняют с использованием гидравлического пресса на трех образцах-кубах размером  $70,7 \times 70,7 \times 70,7$  мм в возрасте 28 сут нормального твердения. Прочность на сжатие  $R_{сж}$ , МПа, рассчитывают по формуле

$$R_{сж} = \frac{F}{A}, \quad (6.5)$$

где  $F$  – разрушающая нагрузка, Н (кгс);

$A$  – площадь поперечного сечения образца, мм<sup>2</sup> (см<sup>2</sup>).

Образцы, изготовленные на портландцементе, можно испытывать через 7 и 14 сут. В этом случае марку раствора определяют, используя данные таблицы 6.3. Результаты испытаний заносят в таблицы 6.4 и 6.5.

Таблица 6.3 – Соотношение возраста и прочности раствора

|                                               |    |    |    |     |     |     |
|-----------------------------------------------|----|----|----|-----|-----|-----|
| Возраст образцов, сут                         | 3  | 7  | 14 | 28  | 60  | 90  |
| Прочность раствора по отношению к марочной, % | 33 | 65 | 80 | 100 | 120 | 130 |

Таблица 6.4 – Свойства растворяемых смесей

| Номер состава | В/Ц | Подвижность, см | Марка по подвижности $П_k$ | Рациональная область применения |
|---------------|-----|-----------------|----------------------------|---------------------------------|
| 1             | 0,6 |                 |                            |                                 |
| 2             | 0,8 |                 |                            |                                 |

По результатам определения прочности растворов строят графическую зависимость от водоцементного отношения.



Таблица 6.5 – Физико-механические свойства растворов

| Номер состава | Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup> | Водопоглощение по объему (открытая пористость), % | Общая пористость, % | Предел прочности при сжатии, МПа | Марка раствора | Коэффициент морозостойкости $K_{мор}$ |
|---------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------|----------------------------------|----------------|---------------------------------------|
|               |                                      |                                                   |                     |                                  |                |                                       |

### **Контрольные вопросы**

- 1 Как определить подвижность растворной смеси?
- 2 Чем отличаются составы, используемые в работе?
- 3 С какой целью в состав цементно-песчаных растворов вводят различное количество воды?
- 4 Как определить предел прочности на сжатие?
- 5 Как определить открытую пористость раствора?
- 6 Какие экспериментальные данные необходимо иметь для расчета общей пористости раствора?
- 7 Какие данные необходимо иметь для расчета коэффициента морозостойкости?
- 8 От какого показателя структуры морозостойкость зависит в большей степени?
- 9 Выразите графически зависимость морозостойкости раствора от его В/Ц.
- 10 За счет каких физических явлений происходит разрушение растворов, применяемых для наружной кладки и оштукатуривания стен?
- 11 Классификация строительных растворов по виду вяжущего.
- 12 Классификация строительных растворов по назначению.
- 13 Чем отличаются сложные растворы от простых?
- 14 Какие заполнители применяют для изготовления строительных растворов?
- 15 Какими технологическими особенностями обладают растворы?
- 16 От каких факторов зависят свойства растворов?
- 17 Какие экспериментальные данные необходимо иметь для расчета предела прочности раствора на сжатие?
- 18 Какое влияние на физико-механические свойства раствора оказывает содержание воды?
- 19 Как можно повысить прочность растворов?

## 7 Лабораторная работа № 10. Испытание вязкого нефтяного битума

**Цель работы:** определение температуры размягчения битума, растяжимости битума, а также вязкости битума и хрупкости битума.

**Используемые приборы и оборудование:** прибор «кольцо и шар»; стеклянная пластинка; стеклянный стакан; термометры (ртутные стеклянные со шкалой до 100 °С и до 50 °С), плитка электрическая; глицерин; тальк; дуктилометр; формы латунные для битума-«восьмерки» (рисунок 7.1); пенетрометр с иглой; чашка металлическая цилиндрическая с плоским дном внутренним диаметром 55 мм, высотой 35 мм (при испытании битумов с пенетрацией до 250 °С) или 60 мм (при испытании битумов с пенетрацией более 250 °С), водяная баня; плоскодонный стеклянный или металлический сосуд вместимостью не менее 1 л и высотой не менее 15 мм над уровнем чашки; секундомер; чашка металлическая для расплавления битума; стеклянная палочка для перемешивания; нож для срезания битума; прибор Фрааса; углекислота твердая (сухой лед).

### **Порядок выполнения работы**

#### **Определение температуры размягчения битума.**

Обезвоженный битум нагревают до подвижного состояния, процеживают через сито и тщательно перемешивают до удаления пузырьков воздуха. Битум заливают с некоторым избытком в два кольца прибора, помещенных на стеклянную пластинку, покрытую смесью талька с глицерином. После охлаждения на воздухе в течение 20 мин (температура  $(25 \pm 10)$  °С). Избыток битума срезают нагретым ножом вровень с верхними краями колец. Кольца с битумом, температура размягчения которого ниже 25 °С, после охлаждения на воздухе в течение 20 мин помещают на 3 мин в баню с водой  $(5 \pm 1)$  °С, после чего срезают избыток битума ножом.

Кольца с битумом помещают в отверстия на верхней площадке подвески прибора. В среднее отверстие вставляют термометр. Нижняя точка ртутного резервуара термометра должна быть на одном уровне с нижней плоскостью слоя битума в кольце. Подвеску с кольцами ставят в стакан, заполненный водой, имеющий температуру 5 °С, воду наливают до метки на штанге прибора. На верхней и нижней поверхностях слоя битума в кольце не должно быть пузырьков воздуха. Через 15 мин подвеску вынимают из стакана, на кольцо в центре поверхности битума кладут стальной шарик и опять опускают подвеску в стакан: температура воды в стакане через 3 мин после нагрева должна повышаться со скоростью  $(5 \pm 0,5)$  °С/мин.

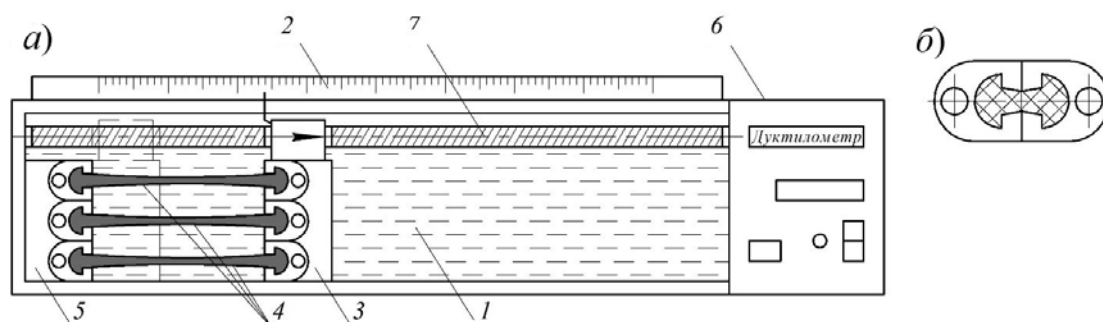
Для каждого образца *фиксируют температуру, при которой выдавливаемый шариком битум касается контрольного основания аппарата*. Расхождение результатов двух параллельных определений не должно превышать 1 °С при температуре размягчения битума до 80 °С включительно и 2 °С – свыше 80 °С.

### Определение растяжимости битума.

Пробу битума обезвоживают, т. е. удаляют воду, содержащуюся в ней в свободном (несвязанном) состоянии. Обезвоживание вязких и твердых битумов производят путем нагревания (без перегрева) до температуры, на  $80\text{ }^{\circ}\text{C} \dots 100\text{ }^{\circ}\text{C}$  превышающей ожидаемую температуру размягчения битума, но не ниже  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$  и не выше  $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Операцию заканчивают при прекращении вспенивания битума. Обезвоженный и расплавленный до подвижного состояния битум процеживают через сито с металлической сеткой № 0,07 и тщательно перемешивают до полного удаления пузырьков воздуха. Стеклоянную пластинку и внутренние боковые стенки вкладышей покрывают смесью талька с глицерином (1 : 3).

Затем производят сборку формы на пластине (рисунок 7.1, б). Подготовленный битум заливают в три формы (тонкой струей от одного конца формы до другого), пока они не заполнятся выше краев. Залитый в форму битум охлаждают на воздухе в течение 30...40 мин при комнатной температуре. Для ускорения процесса охлаждения образцов их помещают в сосуд со снегом или льдом. После охлаждения битума его излишек срезают горячим ножом от середины формы к ее краям (вровень с краями).

Формы с битумом, не снимая с пластинки, помещают в ванну дуктилометра (рисунок 7.1, а), заложённую водой. Высота слоя воды над битумом должна быть не менее 25 мм. В ванне поддерживают температуру испытания ( $25 \pm 0,5$ )  $^{\circ}\text{C}$  или ( $0 \pm 0,5$ )  $^{\circ}\text{C}$ , добавляя и в нее горячую или холодную воду либо лед. По истечении 1 ч формы с битумом вынимают из воды, снимают с пластинки и закрепляют в дуктилометре, для чего кольца зажимов формы надевают на штифты, находящиеся на салазках и стойке дуктилометра. Сняв боковые части форм, включают привод прибора. Скорость растяжения образцов должна быть 5 см/мин.



1 – ванна; 2 – линейка; 3 – подвижная пластинка со штифтами (салазками); 4 – образцы битума; 5 – неподвижная (упорная) пластинка со штифтами; 6 – пульт управления с электродвигателем; 7 – червячный винт

Рисунок 7.1 – Дуктилометр (а) и форма для битума (б)

При определении растяжимости битума при  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  допускается устанавливать перегородку в середине ванны дуктилометра.

При испытании битумов, плотность которых значительно отличается от плотности воды (при растяжении нити битума достигают дна сосуда или

всплывают на поверхность воды), плотность последней повышают добавлением в нее раствора поваренной соли или глицерина либо уменьшают, добавляя этиловый спирт.

*Растяжимость битума характеризуют длиной его нити (в сантиметрах), определяемой по указателю в момент ее разрыва.* За окончательный результат испытания принимают среднее арифметическое результатов трех параллельных определений.

### **Определение вязкости битума.**

Расплавленный и обезвоженный битум наливают в металлическую чашку, чтобы поверхность битума была не более чем на 5 мм ниже верхнего края чашки, и тщательно перемешивают для полного удаления пузырьков воздуха. Чашку с битумом охлаждают на воздухе при  $t = (25 \pm 5) ^\circ\text{C}$ , предохраняя образец от пыли. Продолжительность охлаждения 60...75 мин. Затем чашку с битумом помещают в баню, заполненную водой. Температура воды в бане –  $(25 \pm 0,1) ^\circ\text{C}$ . Расстояние между дном чашки и дном бани – не менее 50 мм, высота слоя воды над битумом – не менее 100 мм.

Чашку с образцом вынимают из бани через 60...75 мин и помещают в плоскодонный сосуд вместимостью не менее 1 л, наполненный водой так, чтобы высота ее над поверхностью битума была не менее 10 мм. Температура воды в сосуде –  $(25 \pm 0,1) ^\circ\text{C}$ . Сосуд устанавливают на столик прибора и подводят острие иглы к поверхности битума, чтобы игла слегка касалась ее.

Отмечают положение стрелки пенетromетра, затем одновременно включают секундомер и нажимают кнопку прибора, давая игле свободно входить в испытываемый образец в течение 5 с, по истечении которых отпускают кнопку.

Определение повторяют не менее трех раз в различных точках на поверхности образца битума, отстоящих от краев чашки и друг от друга, не менее чем на 10 мм. После каждого погружения конец иглы необходимо очищать от налипающего битума с помощью бензина или другого растворителя и вытирать насухо.

За глубину проникания иглы (пенетрация), выраженную в десятых долях миллиметра (или в числах, соответствующих градусам шкалы прибора), принимают среднее арифметическое результатов не менее трех параллельных определений. Расхождение между результатами параллельных определений не должно превышать значений, указанных в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Допускаемое расхождение результатов параллельных опытов

| Глубина проникания иглы, град | Допускаемое отклонение результатов, град |
|-------------------------------|------------------------------------------|
| От 0 до 40                    | 2                                        |
| Св. 40 до 130                 | 4                                        |
| Св. 130 до 250                | 6                                        |
| Св. 250                       | 3 % (от среднего результата испытаний)   |

Если пенетрацию определяют при  $0\text{ }^{\circ}\text{C} \dots 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , то в банку с водой кладут лед, чашку с битумом выдерживают 60...90 мин. Кристаллизатор наполняют водой со льдом или 2...5-процентным раствором поваренной соли. На плунжер прибора надевают дополнительный груз – шайбу массой 100 г. Время погружения иглы – 60 с.

### **Определение температуры хрупкости битума.**

Температура перехода битума из упругопластического состояния в хрупкое называется температурой хрупкости.

При температуре ниже температуры хрупкости изменяются структурно-механические свойства битума. При внешних нагрузках он деформируется и разрушается как твердое хрупкое тело. По температуре хрупкости оценивают трещиностойкость битума при низких температурах. По значениям температуры хрупкости и размягчения оценивают интервал пластичности битума. Температуру хрупкости определяют по ГОСТ 11507–78 *Битумы нефтяные. Метод определения хрупкости по Фраасу*. Температура хрупкости битума должна быть не выше нормативных значений.

*Испытание.* Сущность метода состоит в циклическом изгибе слоя битума, нанесенного на стальную пластину, и определения температуры, при которой на поверхности битума появятся трещины или образец ломается.

За температуру хрупкости принимают среднее арифметическое значение результатов, полученных при испытании двух пластинок, округленных до целого числа с допускаемым расхождением данных параллельных определений, не превышающих  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Допускаемые точностные характеристики действительны до температуры минус  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### **Результаты выполнения работы**

Результаты испытаний для определения марки битума заносят в таблицу 7.2.

Таблица 7.2 – Определение температуры размягчения, растяжимости, вязкости и хрупкости битума

| Показатель                                                          | Значение показателя |   |   | Среднее значение показателя |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------|---|---|-----------------------------|
|                                                                     | 1                   | 2 | 3 |                             |
| Температура размягчения                                             |                     |   |   |                             |
| Длина нити битума в момент разрыва, см                              |                     |   |   |                             |
| Глубина проникания иглы, град, при $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ |                     |   |   |                             |
| Температура хрупкости битума                                        |                     |   |   |                             |

Необходимо:

- определить марку испытанного битума;
- сделать вывод по лабораторной работе.

### **Контрольные вопросы**

- 1 Какой материал называется битумом?
- 2 Классификация битумов по виду исходного сырья.
- 3 Состав битума.
- 4 Свойства битумов и приборы для их определения.
- 5 Состав асфальтобетона.
- 6 Классификация асфальтобетона по температуре укладки.
- 7 Технология приготовления асфальтобетона.
- 8 Область применения битумов.
- 9 Классификация дегтей по виду исходного сырья.
- 10 Из каких компонентов изготавливают битумные эмульсии? Область применения битумных эмульсий
- 11 Условные обозначения битумов.

## **8 Лабораторная работа № 11. Определение свойств пигментов и лакокрасочных покрытий**

**Цель работы:** исследование основных свойств минеральных пигментов; изучение влияния физических свойств пигментов на механические свойства лакокрасочных покрытий (пластичность пленки, сопротивление удару).

**Используемые приборы и оборудование:** набор сит; лабораторные технические весы с разновесами; бюретка со связующим; стеклянные пластины для определения укрывистости 10 × 20 см; шкала гибкости; жестяные пластины; прибор для определения сопротивления удару У-1.

### **Порядок выполнения работы**

#### **Определение качества пигмента.**

**Дисперсность** ( $D$ ) или степень измельчения пигмента определяют просеиванием через сита, номера которых указаны в технических условиях на испытываемый пигмент. Для этого навеску пигмента 10 г просеивают до тех пор, пока в течение 0,5 мин через сито не будет проходить порошок. После этого остаток снимают кисточкой и взвешивают.

Дисперсность  $D$ , %, определяют по формуле

$$D = \frac{b}{a} \cdot 100 \%, \quad (8.1)$$

где  $a$  – первоначальная навеска, г;

$b$  – остаток пигмента на сите, г.

**Укрывистость**  $U$  пигмента устанавливают по расходу пигмента в граммах на квадратный метр поверхности.

Чем выше укрывистость, тем меньше пигмента расходуется, тем экономичнее состав.

Определение выполнить в следующей последовательности:

– взвесить пластину  $10 \times 20$  мм с тремя нанесенными полосками (две черные и одна белая);

– навеску пигмента 5 г растереть и довести олифой до малярной консистенции, после чего наносить на пластину кистью до тех пор, пока полосы не перестанут быть заметными (окрашивание производят сначала вдоль, затем поперек полос). Для удобства сравнения часть пластинки  $5 \times 10$  см не закрашивают;

– определить количество израсходованной краски в весе пластинки до и после окрашивания.

Укрывистость  $U$ , г/м<sup>2</sup>, вычисляют по формуле

$$U = \frac{m}{F}, \quad (8.2)$$

где  $F$  – окрашиваемая площадь стеклянной пластины, м<sup>2</sup>;

$m$  – масса краски малярной консистенции, г;

$$m = m_2 - m_1, \quad (8.3)$$

где  $m_2$  – масса окрашенной пластины, г;

$m_1$  – первоначальная масса пластины, г.

*Маслоемкость* пигмента, т. е. необходимое количество связующего для доведения до малярной консистенции лакокрасочного состава.

Для определения маслоемкости пользуются бюреткой с делениями, из которой подливают масло в стакан с отвешенной навеской 5 г сухого пигмента в такой последовательности: 0,3 мл 2...3 капли и далее по одной. После каждого подлива следует тщательно перемешивать компоненты стеклянной палочкой. *Момент, когда весь пигмент смачивается маслом и образуется сплошной комок с блестящей масляной поверхностью, является окончанием опыта.* Это означает, что точка насыщения пигмента достигнута. Количество масла, израсходованного на пигмент, определяется по разности уровней в бюретке до и после опыта.

Маслоемкость  $M$ , мл/г, находят по формуле

$$M = \frac{V \cdot \rho}{m} \cdot 100, \quad (8.4)$$

где  $V$  – количество израсходованного масла, мл;

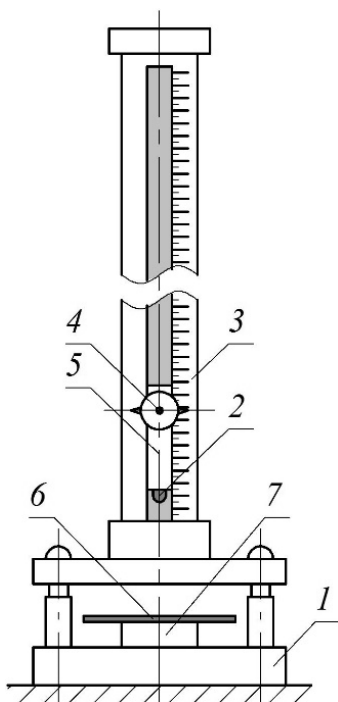
$\rho$  – плотность масла,  $\rho = 0,93$  г/мл;

$m$  – навеска пигмента, г.

### Определение качества лакокрасочного покрытия.

Предварительно рассчитать необходимое количество краски для окрашивания  $120 \text{ см}^2$  поверхности, окрасить образцы жести размером  $2 \times 10 \text{ см}$  (для определения пластичности пленки) и  $10 \times 10 \text{ см}$  (для определения сопротивления пленки удару).

*Определение сопротивления пленки удару производят на приборе У-1 (рисунок 8.1). После высыхания металлической пластины  $10 \times 10 \text{ см}$  поместить ее окрашенной стороной вверх на наковальню прибора под боек. Груз установить на заданной высоте, а затем отпустить для свободного падения на боек, передающий удар образцу. Образец осмотреть. При отсутствии трещин и отслаивания пленки высоту увеличивать до тех пор, пока не обнаружится разрушение пленки. Сопротивление пленки удару принимается максимальная высота (в сантиметрах), при которой не происходит разрушения пленки.*



1 – станина; 2 – боек; 3 – направляющая труба со шкалой; 4 – стрелка указателя; 5 – груз; 6 – испытываемая пластина; 7 – наковальня

Рисунок 8.1 – Прибор У-1

*Пластичность пленки* – это способность лакокрасочной пленки, нанесенной на жестяную пластинку, выдерживать изгиб вокруг стержней различного диаметра не разрушаясь. Это испытание производится после высыхания пленки при помощи шкалы гибкости, представляющей собой набор стальных стержней различного диаметра (20, 15, 10, 5, 3 и 1 мм). Начинают испытывать пленку на стержне с большим диаметром и оканчивают изгиб на том стержне, после которого произошли повреждения покрытия. *Пластичность пленки выражается минимальным диаметром стержня, на котором лакокрасочное покрытие не имело повреждений.*



## **Результаты выполнения работы**

Данные всех опытов занести в таблицу 8.1.

Таблица 8.1 – Результаты испытаний

| Вид пигмента | Дисперсность, % | Укрывистость, г/м <sup>2</sup> | Маслоемкость, мл/г | Сопротивление пленки удару, см | Пластичность пленки |
|--------------|-----------------|--------------------------------|--------------------|--------------------------------|---------------------|
|              |                 |                                |                    |                                |                     |

Сделать вывод о влиянии качества пигмента на прочность и пластичность лакокрасочной пленки.

## **Контрольные вопросы**

- 1 Основные компоненты лакокрасочных материалов.
- 2 Классификация красок по назначению.
- 3 Классификация красок по виду связующего.
- 4 С какой целью используется связующее?
- 5 Назначение и виды наполнителей.
- 6 Пигмент и его разновидности.
- 7 Свойства пигментов.
- 8 Свойства лакокрасочных покрытий.
- 9 Виды красочных составов.
- 10 Лаки и его разновидности.
- 11 Вспомогательные материалы. Для чего они предназначены?
- 12 Олифы и их разновидности.
- 13 Разновидности обоев.

## **Список литературы**

- 1 **Донских, С. А.** Основы современного материаловедения: учеб. пособие / С. А. Донских, В. Н. Семин; под общ. ред. С. А. Донских. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.; Берлин: Директ-Медиа, 2020. – 176 с.
- 2 **Каклюгин, А. В.** Материалы для жилищного, промышленного и дорожного строительства: учеб. пособие / А. В. Каклюгин, И. В. Трищенко. – М.; Вологда: Инфра-Инженерия, 2020. – 260 с.
- 3 **Широкий, Г. Т.** Строительное материаловедение: учеб. пособие / Г. Т. Широкий; под общ. ред. Э. И. Батыновского. – 2-е изд., испр. – Минск: Выш. шк., 2016. – 460 с.
- 4 **Киреева, Ю. И.** Строительное материаловедение для заочного обучения: учеб. пособие / Ю. И. Киреева, О. В. Лазаренко. – Минск: Новое знание, 2008. – 366 с.

**5 Красовский, П. С.** Строительные материалы: учеб. пособие / П. С. Красовский. – М.: ФОРУМ; ИНФРА-М, 2022. – 256 с.

**6 Рыбьев, И. А.** Строительное материаловедение: учеб. пособие / И. А. Рыбьев. – 3-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2008. – 702 с.

**7** Строительные материалы. Лабораторный практикум : учеб.-метод. пособие / Я. Н. Ковалев [и др.]; под ред. Я. Н. Ковалева. – Минск : Новое знание; М. : ИНФРА-М, 2013. – 633 с.

**8 Латун, Т. С.** Строительное материаловедение: метод. рекомендации к лабораторным работам для студентов специальности 6-05-0732-02 «Экспертиза и управление недвижимостью» дневной и заочной форм обучения / Т. С. Латун. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2023. – Ч. 1. – 46 с.

## Приложение А (справочное)

Таблица А.1 – Соотношение между классами и характеристиками тяжелого бетона по прочности на сжатие

| Класс бетона        |                   |                                         |                | Требуемая<br>прочность бетона<br>при подборе<br>состава, МПа | Ближайшая<br>марка<br>бетона |
|---------------------|-------------------|-----------------------------------------|----------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------|
| По ГОСТ<br>26633–91 | По СНБ 5.03.01–02 |                                         |                |                                                              |                              |
|                     | Обозначение       | Характеристики<br>прочности бетона, МПа |                |                                                              |                              |
|                     |                   | $f_{ck}$                                | $f_{c,cube}^G$ |                                                              |                              |
| В10                 | С 8/10            | 8                                       | 10             | 12,9                                                         | 150                          |
| В 12,5              | С 10/12,5         | 10                                      | 12,5           | 16,1                                                         | 150                          |
| В 15                | С 12/15           | 12                                      | 15             | 19,3                                                         | 200                          |
| В 20                | С 16/20           | 16                                      | 20             | 25,7                                                         | 250                          |
| В 22,5              | С 18/22,5         | 18                                      | 22,5           | 28,9                                                         | 300                          |
| В 25                | С 20/25           | 20                                      | 25             | 32,2                                                         | 300                          |
| В 27,5              | С 22/27,5         | 22                                      | 27,5           | 35,4                                                         | 350                          |
| В 30                | С 25/30           | 25                                      | 30             | 38,6                                                         | 400                          |
| В 35                | С 28/35           | 28                                      | 35             | 45,0                                                         | 450                          |
| –                   | С 30/37           | 30                                      | 37             | 47,6                                                         | 500                          |
| В 40                | С 32/40           | 32                                      | 40             | 51,4                                                         | 500                          |
| В 45                | С 35/45           | 35                                      | 45             | 57,8                                                         | 600                          |
| В 50                | С 40/50           | 40                                      | 50             | 64,3                                                         | 600                          |
| В 55                | С 45/55           | 45                                      | 55             | 70,7                                                         | 700                          |
| В 60                | С 50/60           | 50                                      | 60             | 77,1                                                         | 800                          |