

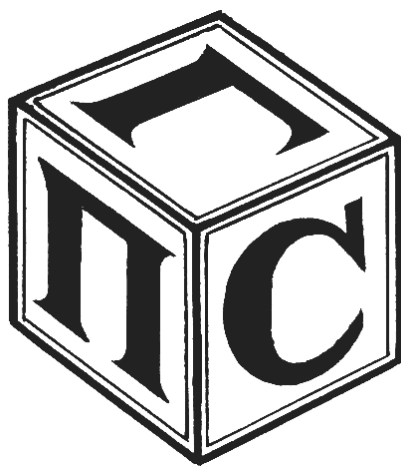
МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Промышленное и гражданское строительство»

СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов специальности
1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство»
дневной и заочной форм обучения*

Часть 1



Могилев 2023

УДК 691
ББК 38.6
С86

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Промышленное и гражданское строительство»
«23» марта 2023 г., протокол № 9

Составитель ст. преподаватель Т. С. Латун

Рецензент канд. техн. наук, доц. О. В. Голушкова

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

Учебное издание

СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Часть 1

Ответственный за выпуск	С. В. Данилов
Корректор	Т. А. Рыжикова
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, 2023

Содержание

Введение.....	4
1 Лабораторная работа № 1. Исследование структурных характеристик и свойств строительных материалов.....	5
2 Лабораторная работа № 2. Исследование вида и качества цемента в полевых и лабораторных условиях.....	15
3 Лабораторная работа № 3. Подбор состава бетона и исследование влияния добавок на свойства бетонной смеси.....	22
Список литературы.....	30
Приложение А.....	31
Приложение Б	32

Введение

Методические рекомендации к лабораторным работам составлены в соответствии с учебной программой подготовки студентов специальности 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство» и содержат лабораторные работы по основным разделам курса «Строительное материаловедение».

В процессе выполнения лабораторных работ студенты ознакомятся с методами испытаний строительных материалов, научатся 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.

1 Лабораторная работа № 1. Исследование структурных характеристик и свойств строительных материалов

Цель работы: исследование основных структурных характеристик плотных и сыпучих материалов; исследование свойств заполнителей.

Используемые приборы и оборудование: лабораторные весы и разновесы, пикнометры, гидростатические весы, воронка ЛОВ, мерные металлические цилиндры, емкость для кипячения образцов, штангенциркуль, сито № 0,2, сушильный шкаф, линейка, набор сит, прибор КЗМ-4Ц, электроплита.

Порядок выполнения работы

1 Определение средней плотности (объемной массы) материалов.

Средняя плотность ρ_0 , г/см³, – масса единицы объема материалов в естественном состоянии (вместе с порами и пустотами).

$$\rho_0 = \frac{m}{V}, \quad (1.1)$$

где m – масса материалов, кг (г);

V – объем материалов, м³ (см³).

Среднюю плотность рыхлых материалов (песка, щебня, гравия, керамзитового гравия), определяемую без вычета пустот между частицами, называют *насыпной плотностью*.

2 Определение средней плотности образцов правильной формы.

Средняя плотность образцов правильной формы 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, как показано на рисунке 1.1.

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

$$\rho_0 = \frac{m}{a_{cp} \cdot b_{cp} \cdot c_{cp}}, \quad (1.2)$$

где m – масса материалов, кг (г);

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

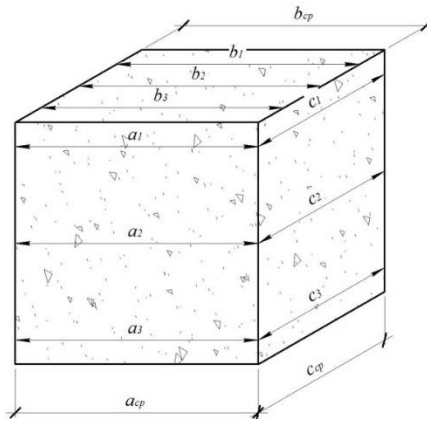


Рисунок 1.1 – Измерение образца кубической формы

3 Определение средней плотности образцов неправильной формы.

При исследовании образцов неправильной формы сложно определить их объем. Для этого используют метод *гидростатического взвешивания* (основанный на вытеснении образцом из сосуда жидкости).

Для определения объема образца неправильной формы предварительно взвешенный высушенный образец покрывают тонким слоем расплавленного парафина с целью гидроизоляции открытых пор, проникновение воды в которые может повлиять на достоверность полученных результатов.

После парафинирования производят взвешивание образца сначала на воздухе, подвесив его на нити к крюку гидротехнических весов, а затем в воде, исключая соприкосновение с воздухом, стенками и дном емкости. Расчет средней плотности проводят в следующей последовательности:

а) рассчитывается объем парафина $V_{нф}$, затраченного на покрытие образца, по формуле

$$V_{нф} = \frac{m_1 - m}{\rho_{нф}}, \quad (1.3)$$

где m_1 – масса образца, покрытого парафином, взвешенного на воздухе, кг (г);

m – масса высушенного образца, кг (г);

$\rho_{нф}$ – плотность парафина, $\rho_{нф} = 0,93 \text{ г/см}^3$, или $\rho_{нф} = 930 \text{ кг/м}^3$;

б) рассчитывается объем образца $V_{о.нф}$, покрытого парафином, по формуле

$$V_{о.нф} = \frac{m_1 - m_2}{\rho_в}, \quad (1.4)$$

где m_1 – масса образца, покрытого парафином, взвешенного на воздухе, кг (г);

m_2 – масса образца, покрытого парафином, взвешенного в воде, кг (г);

$\rho_в$ – плотность парафина, $\rho_в = 1 \text{ г/см}^3$, или $\rho_в = 1000 \text{ кг/м}^3$.

Таким образом, средняя плотность образцов неправильной формы определяется по формуле

$$\rho_0 = \frac{m}{V_{o.n\phi} - V_{n\phi}}. \quad (1.5)$$

4 Определение средней (насыпной) плотности сыпучих материалов.

Насыпная плотность рыхлого материала (песка) определяется с помощью мерного цилиндра и стандартной воронки ЛОВ. Высушенный до постоянной массы песок насыпают через воронку ЛОВ с высоты 10 см 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 с песком взвешивают. Насыпную плотность сыпучих материалов ρ_0 или ρ_n вычисляют по формуле

$$\rho_0 = \frac{m_{полн} - m_{пуст}}{V}, \quad (1.6)$$

где $m_{полн}$ – масса цилиндра, заполненного материалов, кг (г);

$m_{пуст}$ – масса цилиндра, кг (г);

V – объем цилиндра, см³ (м³).

Объем цилиндра выбирают в зависимости от размера зерен: до 5 мм – 1...2 л; от 5 до 10 мм – 5 л; от 10 до 20 мм – 10 л; от 20 до 40 м – 20 л; свыше 40 мм – 50 л.

5 Определение истинной плотности материалов.

Истинная плотность ρ_u – масса единицы объема материала в максимально уплотненном состоянии (без пор), определяемая по формуле

$$\rho_u = \frac{m}{V_a}, \quad (1.7)$$

где m – масса материалов, кг (г);

V_a – объем материала в абсолютно плотном состоянии, м³ (см³).

Истинную плотность измельченного материала определяют *пикно-метрическим методом*. Навеску материала массой 10 г всыпают в пикнометр, наполовину заполняют его водой. Содержимое кипятят в течение 10 мин. Затем пикнометр охлаждают до 18 °С...20 °С и заполняют до метки водой. Пикнометр с навеской и водой взвешивают. После этого из пикнометра удаляют содержимое, прополаскивают, заполняют до метки водой и повторно взвешивают. При определении плотности используют следующие обозначения и формулу

$$\rho_u = \frac{m \cdot \rho_{вод}}{(m + m_2 - m_1)}, \quad (1.8)$$

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

$\rho_{вод}$ – плотность воды, $\rho_{вод} = 1$ г/см³, или $\rho_{вод} = 1000$ кг/м³;

m_1 – масса пикнометра с материалом и водой, налитой до отметки, кг (г);

m_2 – масса пикнометра с водой, налитой до отметки, кг (г).

6 Определение истинной плотности образцов неправильной формы.

Значение истинной плотности образцов неправильной формы (гранитного щебня) принимаем по таблице А.1.

7 Определение пористости.

Пористость П – степень заполнения объема материала порами. Промежутки между зернами рыхлого насыпного материала (песка, щебня) называются *пустотами*, их содержание в единице объема называется *пустотностью*.

Пористость (пустотность) определяется на основании ранее установленных значений средней и истинной плотности по формуле

$$P = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho_u}\right) \cdot 100 \%, \quad (1.9)$$

где ρ_0 – средняя плотность материала, г/см³ (кг/м³);

ρ_u – истинная плотность материала, г/см³ (кг/м³).

Открытая или капиллярная пористость определяется как водопоглощение по объему материалов.

8 Определение водопоглощения.

Водопоглощение материала – 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

$$B_m = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot 100 \%, \quad (1.10)$$

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

m_2 – масса водонасыщенного образца, г (кг);

$$B_V = \frac{m_2 - m_1}{V} \cdot 100 \% = B_m \cdot \rho_0, \quad (1.11)$$

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

ρ_0 – средняя плотность материала, г/см³ (кг/м³).

Из приведенных выше формул видно, что среднюю плотность можно выразить отношением водопоглощения по объему к водопоглощению по массе:

$$\rho_0 = \frac{B_V}{B_m}. \quad (1.12)$$

Исследование свойств заполнителей

1 Определение влажности песка и щебня.

Пробу влажного песка (щебня) массой 1 кг высыпают на противень и разравнивают по всей поверхности противня. Затем ставят в духовой шкаф и высушивают до постоянной массы материала. После этого взвешивают материал в сухом состоянии и вычисляют влажность песка в процентах по формуле

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

где $m_{вл}$ – масса пробы влажного песка, г (принимается 1000 г);

$m_{сух}$ – масса пробы высушенного песка, г.

2 Определение зернового состава и модуля крупности песка.

Зерновой состав определяют путем отсева песка на стандартном наборе сит. Аналитическую пробу песка массой не менее 2000 г высушивают до постоянной массы. Высушенную до постоянной массы пробу песка просеивают через сита с отверстиями диаметрами 10 и 5 мм.

Остатки на ситах взвешивают и вычисляют содержание в песке фракций гравия с размером зерен от 5 до 10 мм Gr_5 и свыше 10 мм Gr_{10} в процентах по массе по формулам

$$Gr_{10} = \frac{m_{10}}{m} \cdot 100\%;$$

$$Gr_5 = \frac{m_5}{m} \cdot 100\%, \quad (1.14)$$

где m_{10} – остаток на сите с круглыми отверстиями диаметром 10 мм, г;

m_5 – остаток на сите с круглыми отверстиями диаметром 5 мм, г;

m – масса пробы, $m = 2000$ г.

Определение частного остатка.

Из части пробы песка, прошедшего через сито с отверстиями диаметром 5 мм отбирают навеску массой не менее 1000 г для определения зернового состава песка.

Подготовленную навеску песка просеивают через набор сит с сетками № 2,5; 1,25; 0,63; 0,315; 0,16.

Просеивание производят механическим или ручным способами. Продолжительность просеивания должна быть такой, чтобы при контрольном интенсивном ручном встряхивании каждого сита в течение 1 мин через него проходило не более 0,1 % общей массы просеиваемой навески.

При ручном просеивании допускается определять окончание просеивания, интенсивно встряхивая каждое сито над листом бумаги. Просеивание считают законченным, если при этом практически не наблюдается падения зерен песка.

Частный остаток на каждом сите a_i , %, определяется по формуле

$$a_i = \frac{m_i}{m} \cdot 100\%, \quad (1.15)$$

где m_i – масса остатка на данном сите, г;

m – масса просеиваемой навески, г;

Определение полного остатка.

Полный остаток на каждом сите в процентах определяется по формуле

$$A_i = a_{2,5} + a_{1,25} + \dots + a_i, \quad (1.16)$$

где $a_{2,5}$, $a_{1,25}$, a_i – частные остатки на соответствующих ситах.

Определение модуля крупности песка.

Модуль крупности песка M_k без зерен размером крупнее 5 мм определяется по формуле

$$M_k = \frac{A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16}}{100}, \quad (1.17)$$

где $A_{2,5}$, $A_{1,25}$, A_i – полные остатки на сите с круглыми отверстиями диаметрами 2,5; 1,25; 0,63; 0,315; 0,16 мм, %.

По полученному значению модуля крупности устанавливают, к какой группе по зерновому составу можно отнести испытываемый песок согласно таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Классификация песков по зерновому составу (ГОСТ 8736–93)

Группа песка	Модуль крупности M_k
Очень крупный	Св. 3,5
Повышенной крупности	Св. 3,0 до 3,5
Крупный	Св. 2,5 до 3,0
Средний	Св. 2,0 до 2,5
Мелкий	Св. 1,5 до 2,0
Очень мелкий	Св. 1,0 до 1,5
Тонкий	Св. 0,7 до 1,0
Очень тонкий	До 0,7

3 Определение содержания пылевидных и глинистых частиц в заполнителе.

Существует несколько методов для определения содержания пылевидных и глинистых частиц. Данными способами пользуются при проверке песка на соответствие требованиям ГОСТа:

- фотоэлектрический метод;
- метод отмучивания;
- пипеточный метод;

– метод мокрого просеивания.

При выполнении данной лабораторной работы предлагается наличие очевидных, глинистых и илистых частиц определить фотоэлектрическим методом.

Фотоэлектрический метод.

Навеску песка (щебня) массой 1 кг помещают в сосуд и заливают 5 л воды температурой (20 ± 5) °С. Залитый водой заполнитель перемешивают в течение 2 мин или оставляют для размокания пылевидных или глинистых частиц на 40 мин. Через 30 с после перемешивания необходимо отобрать пробу полученной суспензии пипеткой, входящей в комплект прибора КЗМ-4Ц. Содержимое пипетки вылить в кювету. Задвинуть до упора кюветодержатель в фотоэлектрический узел прибора. Нажать кнопку измерения и дождаться появления результата на жидкокристаллическом индикаторе. Отбор пробы суспензии повторить, перемешивая суспензию в течение 10 с перед отбором пробы. Содержание пылевидных и глинистых частиц в песке P , % по массе, определяется по формуле

$$P = K \cdot P_{cp}, \quad (1.18)$$

где K – переводной коэффициент, $K = 1,15$;

P – среднеарифметическое значение фотоэлектрических измерений для двух проб.

Перед каждым измерением необходимо производить калибровку на чистой воде.

4 Определение наличия органических примесей.

Наличие органических примесей (гумусовых веществ) определяют сравнением краски щелочного раствора над пробой песка с окраской эталона. При этом применяют раствор натрия гидроокись (натрий гидроксид 3 %) по ГОСТ 4328. Данный способ получил название колориметрический.

Заполнителем заполняют мерный цилиндр до уровня 130 мл и заливают его 3-процентным раствором гидроксида натрия до уровня 200 мл. Содержимое цилиндра перемешивают и оставляют на 24 ч, повторив перемешивание через 4 ч после первого перемешивания. Затем сравнивают окраску жидкости, отстоявшейся над пробой, с цветом эталонного раствора или стеклом, цвет которого идентичен цвету эталонного раствора.

Заполнитель пригоден для использования в бетонах или растворах, если жидкость над пробой бесцветна или окрашена значительно слабее эталонного раствора.

5 Определение дробимости щебня (гравия) при сжатии в цилиндре.

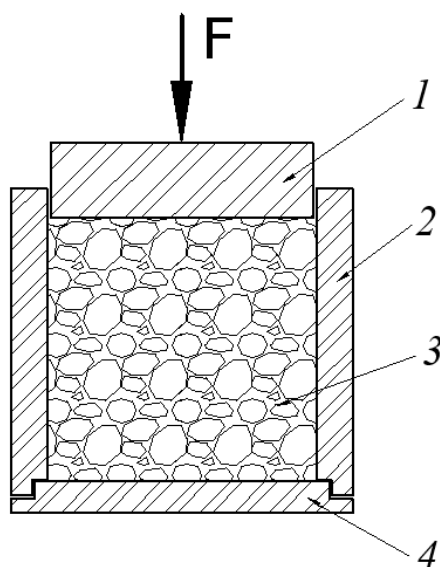
Дробимостью называется свойство природных и искусственных каменных материалов делиться на части различных размеров и форм.

Дробимость щебня (гравия) определяют по степени разрушения зерен при сжатии (раздавливании) в цилиндре.

При испытании щебня (гравия), состоящего из смеси двух или более

смежных фракций, исходный материал рассеивают на стандартные фракции и каждую фракцию испытывают отдельно. Щебень (гравий) фракций от 5 до 10, свыше 10 до 20 или от 20 до 40 мм просеивают через два сита с отверстиями, соответствующими наибольшей $D_{наиб}$ и наименьшей $D_{наим}$ крупности испытываемой фракции. От остатков на сите с отверстиями размером, равным $D_{наим}$, отбирают пробу.

Пробу щебня (гравия) насыпают в цилиндр с высоты 50 мм так, чтобы после выравнивания верхний уровень материала примерно на 15 мм не доходил до верхнего края цилиндра. Затем в цилиндр вставляют плунжер так, чтобы плита плунжера была на уровне верхнего края цилиндра. Если верх плиты на плунжере не совпадает с краем цилиндра, то удаляют или добавляют несколько зерен щебня (гравия) (рисунок 1.2) после этого цилиндр помещают на нижнюю плиту прессы.



1 – плунжер; 2 – цилиндр; 3 – щебень; 4 – съемное днище

Рисунок 1.2 – Схема прибора для определения дробимости щебня (гравия)

Повышая давление прессы (1...2 кН/с), доводят нагрузку до 200 кН при испытании в цилиндре диаметром 150 мм и до 50 кН в цилиндре диаметром 75 мм. После сжатия пробы материала высыпают из цилиндра, взвешивают и просеивают через контрольное сито (таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Размер отверстий сита в зависимости от крупности исследуемой фракции щебня (гравия)

Размер фракции, мм	Размер отверстий сита, мм
5...10	1,25
10...20	2,5
20...40	5,0

Остаток щебня (гравия) на контрольном сите после просеивания взвешивают.

Показатель дробимости щебня (гравия) определяют с точностью до 1 % по формуле

$$D = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100 \%, \quad (1.19)$$

где m – масса щебня (гравия), кг (г);

m_1 – масса щебня (гравия) на контрольном сите, кг (г).

По показателю дробимости устанавливают марку щебня по его прочности в соответствии с данными таблицы 1.3.

Таблица 1.3 – К определению марки щебня в зависимости от потерь массы пробы материала при его сжатии в цилиндре

Марка щебня по прочности	Потеря массы, %, при сжатии материала	
	сухого	водонасыщенного
Осадочные и метаморфические породы		
1200	До 11	До 11
1000	11...13	11...13
800	13...15	13...15
600	15...19	15...20
400	19...24	20...28
300	24...28	28...38
200	28...35	38...54
Изверженные породы		
1400	До 12	До 9
1200	12...16	9...11
1000	16...20	11...13
800	20...25	13...15
600	25...34	15...20

Результаты выполнения работы

Данные всех опытов занести в таблицы 1.4 и 1.5.

По результатам опытов и расчетов необходимо:

– построить графики зависимости средней плотности и водопоглощения по объему от общей пористости.

– сделать вывод о качестве исследуемых материалов.

Таблица 1.4 – Результаты просева песка

Остаток на ситах	Размер отверстий сит, мм					Прошло через сито № 0,16, %
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	
Частные						
Полные						
Просев						

Таблица 1.5 – Результаты испытаний

Наименование показателей	Единица измерения	Материал			
		Кирпич	Гранит	Песок	Керамзит
Истинная плотность ρ_u	г/см ³				
Средняя плотность ρ_0	г/см ³				
Общая пористость P	%				
Водопоглощение по массе V_m	%			–	
Водопоглощение по объему V_V	%			–	–
Влажность W	%	–			–
Модуль крупности		–	–		–
Дробимость D	%	–		–	–
Количество пылевидных глинистых частиц	%	–			–
Наличие органических примесей		–			–

Контрольные вопросы

- 1 Классификация свойств (группы свойств).
- 2 Перечислить общефизические свойства.
- 3 Перечислить теплофизические свойства.
- 4 Перечислить гидрофизические свойства.
- 5 Что такое морозостойкость?
- 6 Какие свойства являются основными и определяют область применения материала?
- 7 Какой заполнитель называют мелким?
- 8 Какую долю в объеме бетонов занимает заполнитель, какую мелкий заполнитель?
- 9 Основные требования, предъявляемые к качеству песка для приготовления цемента- и асфальтобетонов.
- 10 Примеси в песке отрицательно влияющие на качество бетонов.
- 11 Как определить наличие в песке органических примесей?
- 12 Как определить наличие в песке пылевидных, глинистых и илистых частиц?
- 13 Какими показателями характеризуется зерновой состав песка?
- 14 Что такое полный и частный остаток?

- 15 Что такое модуль крупности песка?
- 16 Какой заполнитель называют крупным?
- 17 Какую долю в объеме бетонов занимает заполнитель, какую крупный заполнитель?
- 18 Перечислить фракции крупного заполнителя.
- 19 Как влияет количество крупного заполнителя на расход воды в бетоне?
- 20 Как определить наличие в щебне органических примесей?
- 21 Как определить наличие в щебне пылевидных, глинистых и илистых частиц?
- 22 Какими показателями характеризуется зерновой состав песка?
- 23 Что называют дробимостью?
- 24 Почему наличие в щебне пластинчатых и игловатых зерен ограничивается в дорожных бетонах?

2 Лабораторная работа № 2. Исследование вида и качества цемента в полевых и лабораторных условиях

Цель работы: определение типа испытываемого цемента; 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

1 Определение типа цемента.

Тип цемента определяют по следующим характерным признакам:

- цвет;
- насыпная плотность;
- нормальная густота цементного теста;
- адсорбция метиленовой сини, выделение сероводорода;
- действие магнита.

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, см³, $V = 1 \text{ л} = 1000 \text{ см}^3$.

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 см³ каждый. В первый налить 75 см³ 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, г/см³.

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.

Адсорбция метиленовой сини.

Среди неизвестных цементов разных типов возможно выявить пуццолановый портландцемент по адсорбции метиленовой сини. Активные минеральные добавки этого цемента, обладая высокой адсорбционной способностью, будут интенсивно обесцвечивать раствор метиленовой сини.

Определение производится следующим образом. Пробы цемента высыпают в стеклянные пробирки и заливают раствором метиленовой сини. Затем пробирки интенсивно встряхивают и устанавливают на подставку для отстаивания. Наибольшее обесцвечивание раствора характерно для пуццоланового портландцемента.

Испытание соляной кислотой.

Шлакопортландцемент можно узнать среди других цементов по характерному запаху сероводорода при действии на пробу цемента соляной кислоты. Для этого на стеклянную пластину насыпать пробы неизвестных цементов и капнуть на них несколько капель соляной кислоты.

Действие магнита.

Если поместить постоянный магнит в цемент и энергично встряхнуть, то при наличии в цементе металлических частиц они прилипнут к магниту.

Металлические частицы в значительном количестве содержатся в шлакопортландцементе.

После проведения всех испытаний результаты необходимо занести в таблицу 2.3 и, сравнивая с данными таблицы 2.1, установить тип цемента.

Таблица 2.1 – Основные признаки цементов

Определение реакции и характеристики	Вид цемента		
	Портландцемент	Шлакопортландцемент	Пуццолановый цемент
Цвет	Серовато-зеленый	Сероватый с голубым оттенком	Светло-серый или серовато-зеленый
Действие соляной кислоты	Без запаха	Запах сероводорода	Без запаха
Действие магнита	Частицы к магниту не пристаю	Частичное приствание к магниту	Частицы к магниту не прилипают
Адсорбция метиленовой сини	Слабое обесцвечивание раствора	Слабое обесцвечивание раствора	Интенсивное обесцвечивание раствора
Насыпная плотность	1200...1400 кг/м ³	1100...1300 кг/м ³	900...1100 кг/м ³
Нормальная густота цементного теста	21 %...27 %	23 %...32 %	30 %...40 %

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 ± 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 × 40 × 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 металлической штыковкой: нижний – 15 раз; верхний – 10 раз. Излишек раствора срезают ножом, а форму медленно поднимают. Затем, вращая рукоятку столика (примерно 1 раз в 1 с), 30 раз встряхивают, конус при этом расплывается. С помощью линейки расплыв конуса измеряют 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.

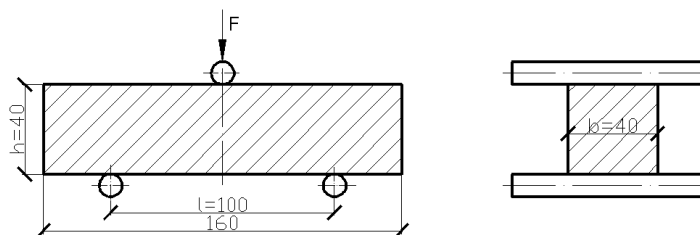


Рисунок 2.1 – Схема приложения нагрузки для определения предела прочности при изгибе

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 см², или 0,0025 м².

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 2.2 сделать заключение о типе и классе цемента.

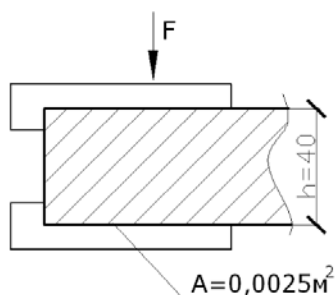


Рисунок 2.2 – Схема приложения нагрузки для определения предела прочности при сжатии

Таблица 2.2 – 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 (принимается нижнее предельное значение)	2 сут	–	8,0	8,0	18,0	18,0	28,0
	7 сут	14,0	–	–	–	–	–
Стандартная прочность, МПа (принимается нижнее предельное значение)	28 сут	30,0	30,0	40,0	40,0	50,0	50,0
Начало схватывания, мин (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 2.3.

Таблица 2.3 – Результаты проведения экспериментов

Нормальная густота, %	Насыпная плотность, г/см ³	Особые признаки	Вид цемента	Марка цемента
$HГ_{\text{лаб}} =$ $HГ_{\text{пол}} =$	$\rho_{\text{н.ц.}} =$	*	**	***
<p><i>Примечания</i></p> <p>* Действие магнита, цвет, действие соляной кислоты, адсорбция метиленовой сини.</p> <p>** Тип цемента, который был установлен согласно особым признакам.</p> <p>*** Марка цемента, установленная по таблице</p>				

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 № 3. Подбор состава бетона и исследование влияния добавок на свойства бетонной смеси

Цель работы: ознакомление с основными положениями по методике подбора составов бетонов различных видов; 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

1 Подбор состава бетона.

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 удобоукладываемости 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, морозо-

стойкости, 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 ($\rho_{н.п.}$, $\rho_{н.ц.}$, $\rho_{н.щ(г)}$), истинная плотность (ρ_u , ρ_n , $\rho_{щ.}$), максимальная крупность заполнителя, качество заполнителей.

Состав бетона выражают расходом всех составляющих материалов на 1 м^3 , уложенной и уплотненной бетонной смеси или отнесением 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

$$R_b = A \cdot R_u \left(\frac{Ц}{B} \pm 0,5 \right). \quad (3.1)$$

Тогда водоцементное отношение

$$\frac{B}{Ц} = \frac{A \cdot R_u}{R_b + 0,5 \cdot A \cdot R_u}, \quad (3.2)$$

где R_b – предел прочности бетона, МПа;

R_u – активность цемента, МПа;

A – коэффициент учитывающий качество материала (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – 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 3.2.

Расход цемента определяют по формуле

$$Ц = \frac{B}{\frac{B}{Ц}}. \quad (3.3)$$

Таблица 3.2 – Рекомендуемое содержание воды в бетонной смеси

Характеристика бетонной смеси		Содержание воды в бетонной смеси, л/м ³ , при крупности щебня, мм			Содержание воды в бетонной смеси, л/м ³ , 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/м³, для искусственных сооружений – 240 кг/м³, для обычного цементобетона – 250 кг/м³. Если полученный по расчету расход цемента окажется больше минимально допустимого, 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

$$Щ = \frac{1}{\frac{V_{пуст} \cdot \alpha}{\rho_{н.щ(z)}} + \frac{1}{\rho_{щ(z)}}}, \quad (3.4)$$

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

α – коэффициент раздвижки зерен щебня (гравия) для пластичных смесей принимается по таблице 3.3, для жестких смесей $\alpha = 1,05 \dots 1,2$;

$\rho_{н.щ(z)}$ – насыпная плотность щебня (гравия), кг/м³;

$\rho_{щ(z)}$ – истинная плотность щебня (гравия), кг/м³.

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

$$П = \left[1 - \left(\frac{Ц}{\rho_c} + \frac{В}{\rho_v} + \frac{Щ(\Gamma)}{\rho_{щ(z)}} \right) \right] \cdot \rho_n, \quad (3.5)$$

где $C, B, П, Щ(\Gamma)$ – расход цемента, воды, песка, щебня (гравия), кг;
 $\rho_c, \rho_v, \rho_n, \rho_{щ(\Gamma)}$ – истинная плотность этих материалов, кг/м³.

Таблица 3.3 – Значение коэффициента α для бетонных смесей

Расход цемента, кг	Коэффициент α 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

$$\rho_{б.см.} = \frac{C + B + П + Щ(\Gamma)}{1 \text{ м}^3}; \quad (3.6)$$

– коэффициент выхода бетона

$$\beta = \frac{1}{\frac{C}{\rho_{н.ц.}} + \frac{П}{\rho_{н.п.}} + \frac{Щ(\Gamma)}{\rho_{н.щ(\Gamma)}}}. \quad (3.7)$$

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

2 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 начинается 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.

3 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 C и числами, выражающими значения нормативного сопротивления и гарантированной прочности, например, $C^{12/15}$ (перед чертой – значение нормативного сопротивления, после черты – гарантированная прочность бетона).

Прочность бетона на осевое сжатие гарантированная – прочность, определяемая при осевом сжатии кубов размером $150 \times 150 \times 150$ 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 $16\text{ }^{\circ}\text{C} \dots 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 1 сут. Затем их вынимают из формы, маркируют и до момента испытания помещают в камеру нормального твердения при температуре $(20 \pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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 , м²:

$$R_{сж} = \frac{F}{A}. \quad (3.8)$$

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:

$$R_{28} = R_{(сж)n} \cdot \frac{\lg 28}{\lg n}, \quad (3.9)$$

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 3.4.

В таблице 3.5 представлены марки цемента, в таблице Б.1 – соотношение между классами и характеристиками тяжелого бетона по прочности на сжатие.

Таблица 3.4 – Результаты экспериментов

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

Таблица 3.5 – 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 Что такое бетон?
- 2 Материалы для изготовления тяжелого бетона.
- 3 Исходные данные для подбора состава тяжелого бетона.
- 4 Технология приготовления бетонной смеси.
- 5 Способы уплотнения бетонной смеси.
- 6 Как определяется подвижность бетонной смеси?
- 7 Как определяется жесткость бетонной смеси (упрощенный способ)?
- 8 Что такое тиксотропность, что такое седиментация?
- 9 Что такое класс бетона?
- 10 Чем отличается производственный состав от лабораторного?
- 11 От чего зависит прочность бетона?
- 12 От чего зависит расход воды в бетоне?
- 13 Добавки в бетон и их назначение.
- 14 Разновидности бетонов.

Список литературы

1 **Донских, С. А.** Основы современного материаловедения: учебное пособие / С. А. Донских, В. Н. Семин ; под общ. ред. С. А. Донских. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва; Берлин : Директ-Медиа, 2020. – 176 с.

2 **Каклюгин, А. В.** Материалы для жилищного, промышленного и дорожного строительства : учебное пособие / А. В. Каклюгин, И. В. Трищенко. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2020. – 260 с.

3 **Широкий, Г. Т.** Строительное материаловедение: учебное пособие / Г. Т. Широкий; под общ. ред. Э. И. Батяновского. – 2-е изд., испр. – Минск: Вышэйшая школа, 2016. – 460 с.

4 **Киреева, Ю. И.** Строительное материаловедение для заочного обучения: учебное пособие / Ю. И. Киреева, О. В. Лазаренко. – Минск : Новое знание, 2008. – 366 с.

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

6 **Рыбьев, И. А.** Строительное материаловедение : учебное пособие для вузов / И. А. Рыбьев. – 3-е изд., стер. – Москва : Высшая школа, 2008. – 241 с.

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

Приложение А (справочное)

Таблица А.1 – Основные физические свойства строительных материалов

Материал или изделие	Истинная плотность, г/см ³	Средняя плотность, г/см ³	Теплопроводность, Вт/(м·°С)
1	2	3	4
Бетон:			
особо тяжелый	2,8	2,6	1,3...1,6
тяжелый	2,6	2,2...2,6	0,9...1,3
облегченный	2,6	1,8...2,2	0,6...1,0
легкий	2,6	0,5...1,8	0,2...0,4
особо легкий	2,6	0,5	0,16...0,4
Гипс и гипсовые изделия	2,7	0,7...1,3	0,2...0,38
Железобетон:			
тяжелый	–	2,4...2,5	0,95...1,4
легкий	–	1,3...1,9	0,4...0,7
Известняки:			
тяжелый	2,6	1,6...2,1	0,45...0,86
ракушечники	2,7	1,1...1,6	0,25...0,5
Кирпич глинный:			
обыкновенный	2,7	1,6...1,9	0,4...0,58
пустотелый	2,7	1,3...1,45	0,34...0,38
пористый	2,7	0,7...1,4	0,14...0,32
Кирпич:			
силикатный	2,6	1,8...2,0	0,57...0,8
шлаковый	2,6	1,2...1,5	0,28...0,36
трепельный	2,7	0,5...0,7	0,1...0,15
Минеральная вата	2,8	0,1...0,15	0,06...0,08
Минераловатные маты	2,8	0,1...0,2	0,04...0,05
Пенобетон и газобетон	2,8	0,4...1,0	0,1...0,3
Пеносиликат	2,8	0,4...1,0	0,11...0,25
Пеностекло	2,6	0,3...0,5	0,09...0,12
Перлит	–	0,1...0,25	0,045...0,06
Песчаник	2,6	1,8...2,4	0,7...1,4
Песок речной			
Растворы:			
известковые	2,8	1,5...1,6	0,5...0,55
известково-цементные	2,8	1,6...1,7	0,55...0,6
цементные	2,7	1,7...1,8	0,3...0,4
Стекло	2,6	2,5	0,65
Стекланная вата	2,7	0,1...0,2	0,035...0,04

Приложение Б (справочное)

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

Класс бетона				Требуемая прочность бетона при подборе состава, МПа	Ближайшая марка бетона
По ГОСТ 26633–91	По СНБ 5.03.01–02				
	Обозначение	Характеристики 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