

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Т. В. Чайка, М. А. Фролова, Е. В. Ткачук

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Учебно-методическое пособие
для лабораторных занятий по дисциплине
для обучающихся направления подготовки
08.03.01 «Строительство»

В двух частях

І часть

Севастополь
СевГУ
2025

УДК 691(075.8)

ББК 38.3я73

Ч15

Р е ц е н з е н т :

А. Р. Лившиц - канд. техн. наук, Президент Союза строителей Севастополя,
Почетный строитель России

Чайка, Татьяна Валерьевна

Ч15 Строительные материалы : учебно-методическое пособие для лабораторных занятий по дисциплине «Строительные материалы» для обучающихся очной и очно-заочной формы обучения по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство». – В 2-х ч. Ч. 1 / Т. В. Чайка, М. А. Фролова, Е. В. Ткачук ; Севастопольский государственный университет. – Севастополь : СевГУ, 2025. – 56 с. – Текст : электронный.

Содержатся общие сведения об основных строительных материалах, применяемых в современном строительстве, их свойствах; приведены методики стандартных испытаний с описанием используемых приборов и оборудования.

Приведена последовательность выполнения лабораторных работ. Даны вопросы для самопроверки, список рекомендуемой литературы.

Рекомендовано в качестве учебно-методического пособия для студентов очной, очно-заочной и заочной форм обучения по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство».

УДК 691(075.8)

ББК 38.3я73

Рассмотрено и рекомендовано к изданию на заседании кафедры «Строительство и землеустройство», протокол № 1 от 02 сентября 2024 г.

© Чайка Т. В., Фролова М. А., Ткачук Е. В., 2025

© ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2025

ВВЕДЕНИЕ

Пособие к лабораторным работам по дисциплине «Строительные материалы» содержит методики и необходимую справочную информацию по оценке основных свойств строительных материалов и установлению взаимосвязей между составом, структурой и свойствами строительных материалов.

Цель лабораторных работ – закрепление теоретических знаний в области строительных материалов и приобретение навыков работы с лабораторным оборудованием, освоение современных методов определения основных свойств строительных материалов и умение оценить правильность полученных результатов.

Основные задачи лабораторных работ:

- определение основных физико-механических свойств строительных материалов и условий их рационального применения;
- изучение взаимосвязи состава, строения и свойств конструкционных и функциональных строительных материалов;
- овладение методами оценки показателей качества строительных материалов;
- формирование навыков правильного выбора конструктивных материалов, обеспечивающих требуемые показатели надежности, безопасности, экономичности и эффективности сооружений.

После проведения лабораторных работ каждый студент должен подготовить индивидуальный отчёт, в который необходимо включить следующие пункты:

- ✓ название и цель исследования,
- ✓ краткое описание используемого материала и технических требований к нему,
- ✓ подробное описание проведённых экспериментов с указанием использованных инструментов и методов,
- ✓ результаты исследований (таблицы и графики),
- ✓ выводы по выполненной работе,
- ✓ знать и уметь ответить на все контрольные вопросы устно.

Лабораторная работа № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1 Плотность. Любой материал состоит из твердого вещества и пор (за исключением абсолютно плотных материалов) (табл. 1). Объем материала в естественном состоянии (V_e) складывается из объема вещества в абсолютно плотном состоянии (V_a) и объема пор ($V_{п.}$):

$$V_e = V_a + V_{п.}$$

Различают истинную и среднюю плотности материала.

Таблица 1.1 – Плотность некоторых материалов и изделий

Наименование материала	Плотность, кг/м ³		
	средняя	истинная	насыпная
Сталь	7850	7800-7900	–
Гранит	2500-2900	2700-3000	–
Известняк (плотный)	1600-2400	2400-2600	–
Песок кварцевый	–	2500-2600	1100-1300
Глина	–	2500-2700	1200-1400
Портландцемент	–	≈3000	1100-1300
Кирпич (керамический)	600-1900	2600-2700	–
Керамзит	400-600	2600-2700	200-600
Бетон (тяжелый)	2100-2500	2500-2600	–
Древесина (сосна)	400-600	1550-1600	–
Пенопласт (полистирольный)	10-20	2600-2760	–

Средней плотностью (ρ_m , кг/м³) называется масса единицы объема материала в естественном состоянии вместе с порами и пустотами

$$\rho_m = m/V_e, \quad (1.1)$$

где m – масса материала, г (кг);

V_e – объем материала в естественном состоянии, см³(м³).

Средняя плотность является величиной не постоянной и зависит от пористости материала и влажности окружающей среды.

Истинной плотностью (ρ , г/см³) называется масса единицы объема материала без учёта пор и пустот, т.е. в абсолютно плотном состоянии

$$\rho = \frac{m}{V_a}, \quad (1.2)$$

где m – масса материала, г (кг);

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

Большинство строительных материалов имеют поры, поэтому у них истинная плотность всегда больше средней. Лишь у плотных материалов

(стали, стекла, битума и др.) истинная и средняя плотности практически равны, так как объем внутренних пор у них мал.

Относительная плотность (d) – отношение средней плотности материала (ρ_m) к плотности воды ($\rho_{\text{воды}}$) при температуре 4 °С:

$$d = \frac{\rho_m}{\rho_{\text{воды}}} . \quad (1.3)$$

1.2. Пористость является основной структурной характеристикой, определяющей такие строительно-технические свойства материала, как водопоглощение, теплопроводность, акустические свойства, морозостойкость, прочность и др.

Большое влияние на свойства материала оказывают не только величина пористости, но и размер, и характер пор.

Строение пористого материала характеризуется общей, открытой и закрытой пористостью, распределением пор по их диаметрам и удельной поверхностью пор.

Пористость Π (%) – степень заполнения объема материала порами:

$$\Pi = \frac{V_{\text{п}}}{V_{\text{е}}} , \quad (1.4)$$

где $V_{\text{п}}$ – объем пор в материале,

$V_{\text{е}}$ – объем материала в естественном состоянии.

Общая пористость – относительная величина, показывающая, какая часть объема материала занята внутренними порами:

$$\Pi = \left(1 - \frac{\rho_m}{\rho} \right) \cdot 100\% ; \quad (1.5)$$

$$\Pi = \Pi_o + \Pi_z ,$$

где ρ_m , ρ – средняя и истинная плотности материала.

Открытая пористость (Π_o) равна отношению суммарного объема всех пор, насыщающихся водой, к объему материала:

$$\Pi_o = \frac{m_2 - m_1}{V} \cdot \frac{1}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}} \cdot 100\% , \quad (1.6)$$

где m_1 и m_2 – масса образца соответственно в сухом и насыщенном водой состоянии.

Открытую пористость можно приближенно определить по величине водопоглощения по объему:

$$\Pi_o \approx W_o . \quad (1.7)$$

Закрытая (замкнутая) пористость Π_z характеризует объем замкнутых, не сообщающихся между собой и с окружающей средой пор. Закрытую пористость определяют по формуле

$$\Pi_z = \Pi - \Pi_o . \quad (1.8)$$

Увеличение объема закрытых пор в материале способствует снижению его водопоглощения, повышению морозостойкости и долговечности материала.

Для ряда технических расчетов определяют коэффициент плотности $K_{пл}$, характеризующий степень заполнения объема материала твердым веществом:

$$K_{пл} = (\rho / \rho_0) \cdot 100 \% ; \quad (1.9)$$

$$П + K_{пл} = 1 \text{ (или } 100 \% \text{)}. \quad (1.10)$$

II. ЛАБОРАТОРНАЯ ЧАСТЬ

Работа 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ ОБРАЗЦОВ ПРАВИЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

Оборудование и материалы: весы, штангенциркуль (линейка).

Проведение испытания

Образцы очищают от пыли и высушивают до постоянной массы. Объем образцов правильной геометрической формы определяют по их геометрическим размерам, измеренным с погрешностью не более 0,1 мм.

Обработка результатов

Значение средней плотности образцов правильной формы вычисляют по формуле 1.1 и записывают в табл. 1.2.

Таблица 1.2 – Результаты определения плотности

Материал	Размеры образца, см			Объем $V_e, \text{ см}^3$	Масса $m, \text{ г}$	ρ_m г/см^3
	a	b	h			

Работа 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ ОБРАЗЦОВ НЕПРАВИЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

Трудность определения средней плотности на образцах неправильной формы заключается в определении объема образца, так как его невозможно рассчитать по результатам геометрических измерений.

Оборудование и материалы: весы, песчаная баня; расплавленный парафин, стеклянный мерный сосуд, нить.

Проведение испытания

- 1) определяют массу исследуемого образца m , г;
- 2) образец обвязывают нитью и покрывают его поверхность тонким слоем расплавленного парафина. Для этого погружают образец в разогретый парафин на 2-3 секунды.
- 3) определяют массу охлажденного образца, покрытого парафином, m_1 , г;
- 4) определяют объем запарафинированного образца материала V (см^3), погружая его в градуированный цилиндр, заполненный водой, и измеряя объем вытесненной воды.

Обработка результатов.

1) рассчитывают массу парафина, покрывающего образец, $m_{\text{пар}}$, г

$$m_{\text{пар}} = m_1 - m;$$

2) вычисляют объем парафина, покрывающего образец, $V_{\text{пар}}$, см^3

$$V_{\text{пар}} = \frac{m_{\text{пар}}}{\rho_{\text{пар}}},$$

где $\rho_{\text{пар}}$ – плотность парафина, равная $0,93 \text{ г/см}^3$;

3) вычисляют объем образца в естественном состоянии V_e , см^3

$$V_e = V - V_{\text{пар}};$$

4) рассчитывают среднюю плотность ρ_m , г/см^3 .

$$\rho_m = m/V_e.$$

Результаты определения средней плотности материала заносят в табл. 1.3.

Таблица 1.3 – Определение средней плотности образцов неправильной формы

Номер опыта	Масса образца m , г	Масса парафинированного образца на воздухе m_1 , г	Объем воды, вытесненной парафинированным образцом V , см^3	Средняя плотность ρ , г/см^3

Работа 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСТИНОЙ ПЛОТНОСТИ МАТЕРИАЛА

Оборудование и материалы: Ступка, колба Ле-Шателье-Кандло, весы технические, стеклянная палочка, стеклянный (фарфоровый) стакан, стеклянная воронка, инертная жидкость: вода дистиллированная.

Проведение испытания:

1. *Подготовка пробы.* С целью максимального уменьшения влияния пористости на значение плотности, пробу подвергают измельчению в ступке. Измельченный материал высушивают в сушильном шкафу.

2. Взвешивают примерно 60 - 80 г пробы тонкоразмолотого порошка

3. В колбу Ле-Шателье-Кандло (рис. 1) наливают воду до нижней нулевой риски, уровень воды определяют по нижнему мениску.

4. Горло колбы подсушивают фильтровальной бумагой или тряпочкой.

5. Пробу тонкоизмельченного образца осторожно пересыпают в колбу небольшими порциями с помощью стеклянной палочки, следя за тем, чтобы не образовались пробки и не было потерь.



Рисунок 1 – Колба-Ле-Шателье

6. Для удаления воздуха, который был вовлечён при заполнении, дают колбе немного постоять, и затем снимают показания объёма вытесненной жидкости по нижнему мениску с точностью до 0,1 см³. Эксперимент повторяют не менее 2-х раз.

Обработка результатов

Вычисляют истинную плотность материала по формуле

$$\rho = \frac{m_1 - m_2}{V},$$

где m_1 – масса навески материала, г;

m_2 – масса остатка навески материала, г;

V – объем жидкости, вытесненной материалом, определяемый по градуированной шкале, см³.

Результаты записывают в таблицу 1.4.

Таблица 1.4 – Экспериментальные данные

Материал	Масса порошка, m_1 , г	Остаток порошка после опыта, m_2 , г	Масса порошка в колбе, г	Объем вытесненной жидкости, см ³	Истинная плотность ρ , г/см ³
1					
2					

Работа 4. РАСЧЁТ КОЭФФИЦИЕНТА ПЛОТНОСТИ И ПОЛНОЙ ПОРИСТОСТИ МАТЕРИАЛОВ

Используя значения результатов определения средней и истинной плотности материала, полученных в предыдущих работах, вычисляют полную пористость по формуле 6 и коэффициент плотности по формуле 1.9 и 1.10.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определения истинной и средней плотности строительных материалов. В чем различия этих характеристик?

2. Какое практическое значение имеет средняя плотность материала в строительстве?

3. Почему при определении истинной плотности материал измельчают?

4. Средняя плотность материала больше или меньше его истинной плотности и почему?

5. Как определяются относительная плотность и коэффициент плотности строительных материалов? В чем их различие? Приведите примеры.

6. Что такое пористость материалов? Как она выражается математически? О каких свойствах материала можно судить, зная его пористость?

7. Как определить открытую и закрытую пористость материала? Какое влияние оказывает открытая и закрытая пористость на морозостойкость материала?

11. Как влияет характер пористости (соотношение открытых и закрытых пор, их размеров) на теплопроводность материала?

Лабораторная работа № 2

ВОДОПОГЛОЩЕНИЕ. ВЛАЖНОСТЬ

I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В процессе эксплуатации и хранения строительные материалы подвергаются воздействию воды или водяных паров, содержащихся в воздухе. Это приводит к значительным изменениям их свойств. В связи с этим, при проведении любых расчётов, необходимо учитывать, как влажность материала, так и его способность поглощать влагу (гигроскопичность и водопоглощение).

2.1 Водопоглощение (%) – способность материала поглощать и удерживать воду после водонасыщения. Водопоглощение характеризуется максимальным количеством воды, поглощаемым образцом материала при выдерживании его в воде, отнесенным к массе сухого образца (*водопоглощение по массе W_m*) или к его объёму (*водопоглощение по объёму W_o*).

Водопоглощение W_m и W_o определяют по формулам:

$$W_m = \frac{m_{\text{воды}}}{m_{\text{сух}}} \cdot 100\% = \frac{m_{\text{нас}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} \cdot 100\% \quad (2.1)$$

$$W_o = \frac{m_{\text{воды}}}{m_{\text{сух}}} \cdot 100\% = \frac{m_{\text{нас}} - m_{\text{сух}}}{V_{\text{сух}} \cdot \rho_{\text{воды}}} \cdot 100\% = W_m \cdot d \quad (2.2)$$

где $m_{\text{нас}}$ – масса материала в насыщенном водой состоянии, г;

$m_{\text{сух}}$ – масса сухого материала, г;

$V_{\text{сух}}$ – объём материала в сухом состоянии, см³;

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

d – относительная плотность материала.

Водопоглощение по объёму обычно меньше величины пористости, так как вода не проникает в замкнутые поры и не удерживается в открытых пустотах.

Водопоглощение отрицательно влияет на основные свойства материала: увеличивается средняя плотность, материал набухает, его теплопроводность возрастает, а прочность и морозостойкость уменьшаются.

2.2 Коэффициент насыщения пор водой K_n – отношение водопоглощения по объёму к общей пористости материала:

$$K_n = W_o / P. \quad 2.3$$

Коэффициент насыщения пор водой может изменяться от 0 (когда все поры в материале замкнуты) до 1 (когда теоретически все поры открыты, т.е. водопоглощение по объёму равно пористости).

Коэффициент насыщения пор дает возможность косвенно оценивать морозостойкость материала:

$k_n \leq 0,6$ – материал считается морозостойким;

$0,6 < k_n < 0,8$ – материал имеет сомнительную морозостойкость;

$0,8 \leq k_n$ – материал не морозостоек.

2.3 Влажность – это массовое количество физико-механически и физико-химически связанной воды, содержащееся в материале и отнесенное к массе

влажного или высушенного материала. Для характеристики содержания влаги в материалах применяются две величины: влагосодержание (абсолютная влажность) и влажность (относительная влажность).

Если масса воды (m_v), удаляемой при сушке из влажного материала, относится к массе влажного материала ($m_{вл}$), то такая влажность называется *относительной*:

$$W_{отн} = \frac{m_v}{m_{вл}} \cdot 100\%. \quad (2.4)$$

Если масса воды, удаляемой при сушке из влажного материала, относится к массе сухого материала ($m_{сух}$), то такая влажность называется *абсолютной*:

$$W_{абс} = \frac{m_v}{m_{сух}} \cdot 100\%. \quad (2.5)$$

Влажность зависит от пористости, гигроскопичности и других свойств материала, а также от окружающей среды – относительной влажности и температуры воздуха, контакта материала с водой и т.д.

II. ЛАБОРАТОРНАЯ ЧАСТЬ

Работа 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕТИКИ ВОДОПОГЛОЩЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

Оборудование и материалы: весы, секундомер, фарфоровая чашка.

Проведение испытания.

1) Образцы цементного камня предварительно высушивают до постоянной массы, измеряют длину, ширину и высоту.

2) Исследуемый образец взвешивают на весах $m_{сух}$, затем укладывают в сосуд с водой ($t = 20 \pm 5$ °C) так, чтобы уровень воды был выше верха образцов на (2...10) см.

3) Через каждые 5 минут образец вынимают из воды, обтирают влажной тканью и взвешивают. Массу воды, вытекшей из образца на чашку весов во время взвешивания, включают в массу образца. Взвешивание каждого образца должно быть закончено не позднее 1 минуты после его удаления из воды.

4) Взвешивание образцов проводят до тех пор, пока разница в весе будет не более 0,1 % по сравнению с предыдущим взвешиванием. Это означает, что материал максимально вобрал в себя влаги.

Обработка результатов

Расчет водопоглощения по массе и водопоглощения по объему производят по формулам 2.1 и 2.2.

По результатам расчетов проводят оценку морозостойкости материала, исходя из взаимосвязи морозостойкости и коэффициента насыщения пор водой K_n , который рассчитывается по формуле 2.3.

Исходные данные и результаты всех расчетов заносят в таблицу 2.1 и строят график зависимости водопоглощения по массе от времени насыщения образца водой (τ , мин от W_m).

Таблица 2.1– Результаты исследования

Время, мин	0	5	10	15	20	25			τ
Масса образца, г									
W _м %									
W _о %									

Работа 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ МАТЕРИАЛОВ

Оборудование и материалы: весы технические, сушильный шкаф, образцы строительных материалов.

Проведение испытания.

1) Навеску материала массой 10 - 15 г помещают в стеклянный бюкс, взвешивают на аналитических весах m_1 ,

2) Бюкс помещают в сушильный шкаф и высушивают при температуре 105°C до постоянной массы. Время сушки зависит от величины навески и вида влажного материала.

3) После высушивания образец охлаждают и вновь взвешивают m_2 .

Для получения надежных результатов определение влажности необходимо проводить на трех параллельных пробах.

Обработка результатов.

Результаты заносятся в табл.2.2.

Таблица 2.2 – Результаты исследования

№ опыта	Материал исследования	Масса образца в естественном состоянии, m_1 г	Масса высушенного образца, m_2 , г	Относительная влажность образца, %	Абсолютная влажность образца, %

Относительная влажность материала рассчитывают по формуле

$$W_{\text{отн}} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100\%,$$

где m_1 – массы исходной навески, г

m_2 – массы сухой навески, г.

Абсолютная влажность материала рассчитывают по формуле

$$W_{\text{абс}} = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100\%.$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое водопоглощение? На какие свойства влияет насыщение материала водой?

2. Чему равно отношение между водопоглощением по массе и объему?

3. Как оценивается морозостойкость материала? От чего могут разрушаться материалы наружных конструкций зданий и сооружений в зимний период?

4. Что такое влажность строительных материалов? Какими формулами определяется влажность и влагосодержание материалов?

Лабораторная работа № 3 ИСПЫТАНИЯ ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО ВЕЩЕСТВА

I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Гипсовые вяжущие вещества – это воздушные вяжущие вещества, состоящие в основном из полуводного гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ или ангидрита CaSO_4 .

Сырьем для производства гипсовых вяжущих являются природный гипсовый камень ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), ангидрит (CaSO_4) и гипсодержащие породы – глиногипс (гажа), землистый гипс и др., а также отходы химической промышленности, содержащие двухводный сернокислый кальций, например фосфогипс (отход при производстве фосфорной кислоты).

Производство гипсовых вяжущих состоит в измельчении и последующей тепловой обработке сырья. В зависимости от температуры обжига гипсовые вяжущие подразделяются на 2 группы:

1) низкообжиговые (температура обжига 110...180 °С), составляющие более 95 % объема производства гипсовых вяжущих веществ. Полученные вяжущие характеризуются быстрым твердением на воздухе и сравнительно низкой прочностью. К низкообжиговым гипсовым вяжущим относятся: строительный гипс – «алебастр»; формовочный гипс; высокопрочный гипс; медицинский гипс.

2) высокообжиговые, получаемые при температурах 600...900 °С. Полученные вяжущие характеризуются медленным твердением и более высокой прочностью. К таким вяжущим относят: эстрих-гипс (высокообжиговый гипс); ангидритовый цемент.

Низкообжиговые гипсовые вяжущие состоят преимущественно из полуводного гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$. Дегидратация сырья в процессе термической обработки происходит по реакции



Твердение полуводного гипса – сложный физико-химический процесс, протекающий в несколько стадий.

I стадия. **Затворение** (начинается с момента смешивания гипса с водой). Эта стадия состоит в том, что происходит взаимодействие полуводного гипса с водой, при этом образуется двухводный гипс, который малорастворим в воде.



По мере его образования раствор насыщается, возникают центры кристаллизации, превращающиеся в коллоидные частицы, способные к коагуляции, за счет которой возникает суспензия двухводного гипса. Гидратация полуводного гипса является главным химическим свойством, которое определяет его использование в строительстве.

II стадия. **Схватывание.** Процесс схватывания состоит в том, что возникшие микрокристаллы двуводного гипса растут в массе и размерах, переплетаются, вязкость системы резко увеличивается, жидкая фаза загустевает, пластичность массы уменьшается и возникает камневидное тело с низкой прочностью.

III стадия. **Твердение.** Суть этой стадии состоит в потере кристаллической воды. Прочность камневидного тела резко возрастает за счет дальнейшего роста и сращивания кристаллов двуводного гипса. Длительность этой стадии составляет несколько часов. В результате завершения этой стадии возникает достаточно прочное камневидное тело заданной при обработке формы. Прочность зависит от марки исходного вяжущего. Тело сохраняет прочность в атмосфере и теряет ее в водной среде.

Рассмотренные стадии твердения могут накладываться друг на друга так, что в твердеющей массе одновременно протекают процессы коллоидообразования и процессы перекристаллизации.

Основными техническими свойствами гипсовых вяжущих являются: истинная плотность, насыпная плотность, тонкость помола, водопотребность, сроки схватывания и прочность.

Истинная плотность гипсовых вяжущих изменяется в пределах 2600...2750 кг/м³. Насыпная плотность в рыхлом состоянии составляет 800...1100 кг/м³, в уплотненном – 1250...1450 кг/м³.

Тонкость помола гипсовых вяжущих характеризует степень измельчения вяжущего и выражается либо остатком в % на стандартном сите № 02, либо удельной поверхностью вяжущего в м²/кг, определяемой методом воздухопроницаемости. В соответствии с ГОСТ 125-2018 различают гипсовые вяжущие согласно табл.3.1.

Таблица 3.1 – Виды гипсовых вяжущих в зависимости от тонности помола

Вид вяжущего	Индекс степени помола	Максимальный остаток на сите с размерами ячеек в свету 0,2 мм, %, не более
Грубого помола	I	23
Среднего помола	II	14
Тонкого помола	III	2

Степень измельчения оказывает влияние на водопотребность и прочность вяжущего. Под **водопотребностью** вяжущего вещества понимают, то количество воды, которое необходимо к нему добавить для получения теста стандартной консистенции (нормальной густоты). Водопотребность гипса не нормируется, определяется подбором (с помощью вискозиметра Суттарда) и существенно влияет на прочность и сроки схватывания гипса: чем она выше, тем больше сроки схватывания и ниже прочность.

Сроки схватывания определяются на тесте стандартной консистенции с помощью прибора Вика. Различают начало и конец схватывания, которые выражаются в минутах.

Сроки схватывания гипса зависят от различных факторов – свойств сырья, длительности хранения, технологии изготовления, водопотребности,

температуры вяжущего и воды, условий перемешивания, наличия добавок и др. Схватывание гипса можно ускорить, затворив его пониженным количеством воды по сравнению с тем, которое требуется для теста стандартной консистенции или повысить температуру до 40...45 °С. При 90...100 °С схватывание и твердение гипсовой массы прекращается. Схватывание замедляется, если гипс применяют в смеси с заполнителями – песком, шлаком, опилками и т.д. Гипсовые вяжущие α - и β -модификаций являются быстросхватывающимися (табл. 3.2).

Таблица 3.2 – Виды гипсовых вяжущих в зависимости от сроков схватывания

Вид вяжущего	Индекс сроков твердения	Сроки схватывания, мин	
		начало, не ранее	конец, не позднее
Быстротвердеющий	А	2	15
Нормальнотвердеющий	Б	6	30
Медленнотвердеющий	В	20	Не нормируется

Сроки схватывания низкообжиговых гипсовых вяжущих зависят от свойств сырья, технологии изготовления, длительности хранения, количества вводимой воды, температуры вяжущего вещества и воды, условий перемешивания и др.

Сроки схватывания гипсового теста имеют большое практическое значение, так как после начала схватывания, раствор или гипсобетон нельзя укладывать в форму или наносить на оштукатуренную поверхность. Особенно это недопустимо после конца схватывания.

По ГОСТ 125-2018 прочность полуводного гипса определяют испытанием образцов-балочек размером 40х40х160 мм из гипсового теста стандартной консистенции через 2 ч после изготовления. В зависимости от предела прочности стандартных образцов при изгибе и сжатии установлены 12 марок гипсовых вяжущих (табл. 3.3).

Таблица 3.3 – Марки гипсового вяжущего при испытании стандартных образцов 40х40х160 мм после 2 ч твердения

Марка гипсового вяжущего	Предел прочности в возрасте 2 ч, МПа, не менее		Марка гипсового вяжущего	Предел прочности в возрасте 2 ч, МПа, не менее	
	при сжатии	при изгибе		при сжатии	при изгибе
Г-2	2	1,2	Г-10	10	4,5
Г-3	3	1,8	Г-13	13	5,5
Г-4	4	2,0	Г-16	16	6,0
Г-5	5	2,5	Г-19	19	6,5
Г-6	6	3,0	Г-22	22	7,0
Г-7	7	3,5	Г-25	25	8,0

Водостойкость гипсовых вяжущих оценивается по коэффициенту размягчения K_p , в зависимости от значения которого они являются:

- неводостойкими (НВ) при $K_p < 0,45$;
- средней водостойкости (СВ) при $0,45 \leq K_p \leq 0,6$;
- повышенной водостойкости (ПВ) при $0,6 \leq K_p \leq 0,8$;
- водостойкими (В) при $K_p > 0,8$.

Гипсовые вяжущие вещества применяются для производства сухих строительных смесей различного назначения (штукатурных, шпаклевочных, для наливных полов и др.); гипсокартонных и гипсоволокнистых листов, звукопоглощающих перфорированных плит и панелей, плит для модульных потолков и др.; гипсобетонных изделий, гипсовых пазогребневых плит для перегородок, тонкостенных изделий (вентиляционных коробов и др.); гипсовых архитектурных деталей; гипсоцементнопуццолановых вяжущих.

II. ЛАБОРАТОРНАЯ ЧАСТЬ

Работа 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМАЛЬНОЙ ГУСТОТЫ ГИПСОВОГО ТЕСТА

Смесь гипсового вяжущего с водой называется *гипсовым тестом*. Водопотребность гипса определяется количеством воды (в процентах от массы вяжущего), необходимым для получения гипсового теста стандартной консистенции. Теоретически для гидратации полуводного гипса требуется 18,6 % воды от массы гипсового вяжущего. Практически для получения удобоформируемой пластичной смеси строительный гипс требует 50...70 % воды, а высокопрочный – 30...40 %.

Нормальную густоту (НГ) гипсового теста определяют (ГОСТ 23789–79) при помощи вискозиметра Суттарда (рис. 3), представляющего собой цилиндр из цветного металла, имеющего высоту 100 мм и внутренний диаметр 50 мм. На стекле или на бумаге под стеклом нанесен ряд концентрических окружностей диаметром 150 - 220 мм.

Материалы и оборудование: весы, сферическая чаша, вискозиметр Суттарда (рис. 2), металлическая линейка секундомер, мерный цилиндр.

Проведение испытания

Для определения нормальной густоты теста:

1) Отвешивают 300 г гипсового вяжущего.

2) При помощи мерного цилиндра отмеряют требуемое количество воды (принимается по указанию преподавателя в интервале 52...58 % массы гипсового вяжущего (150 - 220 мл).

3) Цилиндр и стекло протирают влажной тканью. Цилиндр устанавливают в центре концентрических окружностей.

4) В чистую сферическую чашу, предварительно протертую влажной тканью, вливают воду.

5) Всыпают гипсовое вяжущее в чашу, одновременно включают секундомер, и перемешивают в течение 30 с, начиная отсчет времени от начала всыпания гипса в воду.

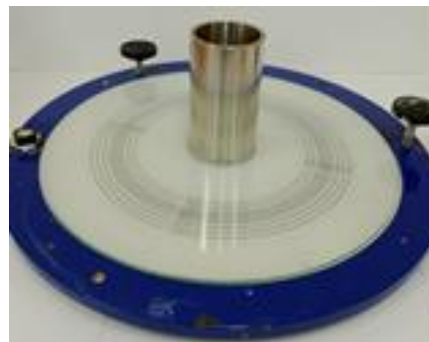


Рисунок 2 – Вискозиметр Суттарда

6) После окончания перемешивания цилиндр, установленный в центре стекла, заполняют в течение **15** секунд до краев гипсовым тестом, излишки которого срезают металлической линейкой. Затем цилиндр быстро поднимают вверх на высоту 15-20 см и отводят в сторону, позволяя вытекающему гипсовому тесту легко расплываться в лепешку на стеклянной пластике.

7) Диаметр расплыва определяют по concentрическим окружностям или измеряют линейкой в двух перпендикулярных направлениях с погрешностью не более 5 мм и вычисляют среднее арифметическое значение.

Нормальная густота характеризуется диаметром расплыва гипсового теста, равного **(180±5) мм**. Если диаметр расплыва теста не соответствует (180±5) мм, испытания повторяют с измененной массой воды (на 1 - 2 %).

8) По достижении требуемого результата необходимо сделать вывод о фактической водопотребности гипсового вяжущего.

Обработка результатов

Определяют нормальную густоту гипсового теста по формуле

$$НГ = \frac{m_1}{m} \cdot 100\%, \quad (3.1)$$

где m_1 – масса воды затворения, соответствующая нормальной густоте гипсового теста, г;

m – масса гипса, г.

Таблица 3.4 – Результаты экспериментальных данных

	Кол-во гипса, г, m	Вода, мл, m_1	Диаметр расплыва, мм	Нормальная густота, %
1				
2				
3				

Работа 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРОКОВ СХВАТЫВАНИЯ ГИПСОВОГО ТЕСТА

Сущность метода состоит в определении времени от начала затворения гипса водой до начала и конца схватывания геста. Сроки схватывания гипсового теста определяют с помощью стандартного прибора Вика (рис. 4).



Рисунок 3 – Прибор Вика

Начало схватывания характеризуется промежутком времени, прошедшим от *начала затворения* гипса водой до того момента, когда игла при опускании *первый раз* не дошла до стекла на *1 мм*.

Концом схватывания характеризуется промежутком времени, прошедшим от *начала затворения* гипса водой до того момента, когда игла погружается в гипсовое тесто *не более чем на 1 мм*.

Материалы и оборудование: сферическая чаша, пластина из стекла, прибор Вика (рис. 3), коническое кольцо, секундомер, весы, мерный цилиндр.

Проведение испытания

1. Устанавливают иглу в стержень прибора Вика. Проверяют, свободно ли опускается стержень, а также нулевое положение подвижной части (при соприкосновении иглы со стеклянной пластинкой стрелка прибора должна указывать на «0»). В противном случае – корректируют положение шкалы.

2. Кольцо прибора Вика и стеклянную пластинку смазывают машинным маслом.

4. Отвешивают 300 г гипсового вяжущего.

5. При помощи мерного цилиндра отмеряют количество воды, соответствующее нормальной густоте, определенное в предыдущем задании (*Работа 1*).

4. В чистую чашу, предварительно протертую влажной тканью, вливают воду.

5) Гипс всыпают в воду, одновременно включают секундомер (*до конца эксперимента секундомер не выключать*), и перемешивают в течение не более 1 мин до получения однородного теста.

8) Приготовленное тесто быстро вливают в кольцо прибора, установленное на стекле. Для удаления, попавшего в гипсовое тесто воздуха кольцо с пластиной 4-5 раз встряхивают путем поднятия и опускания одной из сторон пластинки примерно на 10 мм. Избыток теста срезают и поверхность заглаживают ножом (или металлической линейкой).

9) Затем кольцо помещают под иглу прибора, приводят ее в соприкосновение с поверхностью теста в центре кольца и закрепляют стержень зажимным винтом;

10) Через каждые 30 с иглу опускают в гипсовое тесто так, чтобы каждый раз она погружалась в новое место. После извлечения из теста иглу вытирают. Глубину погружения иглы в гипсовое тесто фиксируют по показанию стрелки, расположенной на подвижном стержне. Результаты измерений заносят в таблицу 3.5.

Таблица 3.5 – Результаты определения сроков схватывания гипсового теста

Время, мин	0										
Глубина погружения иглы (мм)	40										
<i>Примечание. В начальный момент опыта игла погружается до дна металлической формы H=40 мм.</i>											

Обработка результатов:

1) По результатам опыта определяют начало и конец схватывания.

2) Строят график зависимости глубины погружения иглы прибора Вика в гипсовое тесто от времени.

3) Формулируют вывод о принадлежности испытанного гипса к одной из трех групп гипсовых вяжущих по срокам схватывания по ГОСТ 125-2018.

Работа 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И МАРКИ ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО

Материалы и оборудования: весы, мерный цилиндр, чаша, металлическая линейка, трехгнездовая форма для образцов-призм (балочек) 4Ч4Ч16 см (рис. 4), секундомер.

Изготовление образцов.

1) Смазывают машинным маслом внутреннюю поверхность металлических трехгнездовых форм для изготовления образцов размером 4Ч4Ч16 см.

2) Выполняют замес гипсового теста. Отвешивают 1200 г гипсового вяжущего и отмеряют воду в необходимом количестве, соответствующей нормальной густоте (*Работа 1*) или по указанию преподавателя значения В/Г (0,35; 0,5; 0,65).



Рисунок 4 – Форма балочек 3ФБ – 40
(40Х40Х160) ГОСТ 310.4-81

3) В чистую чашу, предварительно протертую влажной тканью, вливают отмеренную воду, затем в воду всыпают гипсовое вяжущее и интенсивно перемешивают ручной мешалкой в течение 60 с до получения однородного теста.

4) Полученное гипсовое тесто немедленно заливают в металлические (или другие) формы, предварительно слегка смазанные машинным маслом. Наполнение всех форм производится одновременно, для чего чашу с гипсовым тестом все время перемещают над формами, при этом гипс разливается тонкой струей.

5) После наполнения форм масса уплотняют постукиванием и штыкованием, а поверхность образцов сглаживают металлической линейкой.

6) Стандартные образцы-балочки высушивают в сушильном шкафу при температуре не более 60 ± 5 °С.

Проведения испытания

Определение прочности образцов, изготовленных из гипсового теста стандартной консистенции, проводят через 2 ч после контакта гипсового вяжущего с водой.

1) Перед испытанием образцы взвешивают и обмеряют линейкой с точностью до 1 мм или штангенциркулем. Результаты заносят в таблицу 3.6.

2) Для определения предела прочности на растяжение при изгибе образец устанавливают на опоры прибора для испытания на изгиб так, чтобы его грани, горизонтальные при изготовлении, находились в вертикальном положении (рис.5). Расстояние между опорами должно быть $(100 \pm 0,152)$ мм. Скорость нарастания нагрузки – (50 ± 10) Н/с.

3) Полученные после испытания на изгиб половинки образцов-призм сразу же испытывают на сжатие (рис. 6). Для этого образцы помещают между двумя стальными нажимными пластинами таким образом, чтобы боковые грани,

которые при изготовлении прилегали к продольным стенкам форм, находились на плоскостях пластин, а упоры пластин плотно прилегали к торцевой гладкой стенке образца.

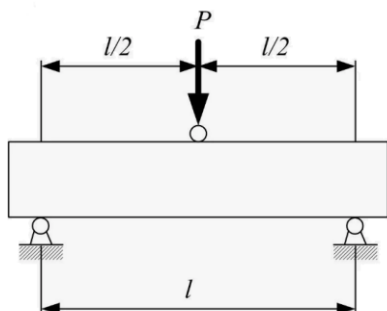


Рисунок 5 – Схема испытания на изгиб

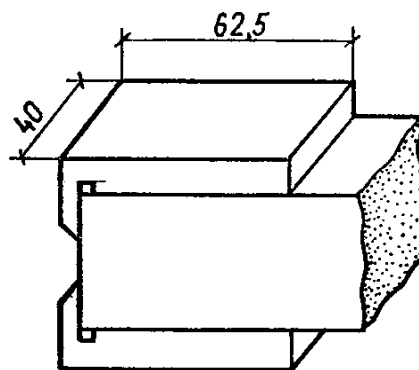


Рисунок 6 – Схема испытания половинок образцов-призм на сжатие

Обработка результатов

1) Рассчитывают среднюю плотность гипсового камня для каждого образца в отдельности и определяют среднее значение.

2) Предел прочности при изгибе гипсового образца вычисляют как среднее арифметическое значение двух наибольших результатов испытаний трех образцов.

Предел прочности при изгибе (МПа) рассчитывают по формуле 3.2:

$$R_{\text{изг}} = \frac{3 \cdot F \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2}, \quad (3.2)$$

где F – разрушающая нагрузка, (Н);

l – расстояние между опорами мм;

b и h – ширина и высота балочки, мм.

Таблица 3.6 – Результаты исследования

	Масса образца, м, г	Размеры, мм			Площадь, мм ²	Объем образца, см ³	Плотность образца, г/см ³	Разрушающая нагрузка F , Н	Предел прочности, $R_{\text{изг}}$, МПа
		a	b	h					
1									
2									
3									

3) Предел прочности затвердевшего гипса при сжатии определяют как среднее арифметическое значение результатов испытаний трех образцов. В случае если наименьший результат испытания одного из трех образцов отличается более чем на 20 % от следующего большего значения, вычисление среднего предела прочности производят по двум наибольшим результатам.

Предел прочности при сжатии R , МПа, вычисляют по формуле 3.3:

$$R_{\text{сж}} = \frac{F}{S}, \quad (3.3)$$

где F – разрушающая нагрузка, Н;

S – площадь образца, мм.

7) Вычисляют среднее арифметическое значение результатов испытаний.

8) Результаты и расчеты записывают в таблицу 3.7.

Таблица 3.7 – Результаты исследования

	Опорная площадь, см ²	Разрушающая сила, (F)	Предел прочности, R _{сж} , МПа
1			
2			
3			
4			
5			
6			
			Среднее

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие вещества относятся к гипсовым вяжущим?

2. На что влияет тонкость помола гипса?

3. Перечислить разновидности гипсовых вяжущих веществ.

4. Чем отличаются низкообжиговые гипсовые вяжущие от высокообжиговых гипсовых вяжущих?

5. Как определяется нормальная плотность гипса и в чем её практический смысл?

6. Как определяются сроки схватывания строительного гипса? Их практический смысл.

7. Чем регулируются сроки схватывания строительного гипса?

8. Как определяется марка строительного гипса?

9. В каких условиях происходит твердение строительного гипса?

10. Как повысить водостойкость строительного гипса?

11. Чем отличается строительный гипс от высокопрочного гипса?

12. Какие факторы влияют на прочность строительного гипса?

13. Где применяется строительный гипс?

14. Где применяется высокопрочный гипс?

15. Почему строительный гипс широко применяется при изготовлении архитектурных деталей?

Лабораторная работа № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОЗДУШНОЙ ИЗВЕСТИ

I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

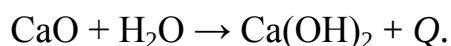
Строительной воздушной известью называют вяжущее вещество, получаемое умеренным обжигом, не доводимым до спекания, карбонатных пород, содержащих не более 6 - 8 % глинистых и песчаных примесей.

С учетом содержания в извести оксида магния (образуется при наличии в сырье карбоната магния $MgCO_3$) различают: кальциевую известь (MgO до 5 %); магнезиальную известь (MgO 5 – 20 %); доломитовую известь (MgO 20 – 40 %).

По характеру обработки обожженного продукта различают следующие виды извести:

- негашеная – продукт обжига, не подвергнутый воздействию воды;
- гашеная – продукт взаимодействия с водой негашеной извести.

Процесс взаимодействия извести с водой называется *гашением*, а получаемый продукт – *гашеной известью*:



Негашеная известь состоит в основном из CaO и может иметь различное состояние в зависимости от технологии получения:

- негашеная комовая известь – кипелка – кускообразный продукт обжига;
- негашеная молотая известь – порошкообразный продукт тонкого помола комовой извести.

Гашеная известь представлена следующими видами, отличающимися составом и состоянием:

- гидратная известь – пушонка – порошок, полученный при гашении извести ограниченным количеством воды, состоит в основном из $Ca(OH)_2$;
- известковое тесто – пластичная масса, полученная при гашении извести повышенным количеством воды; состоит из $Ca(OH)_2$ и H_2O ;
- известковое молоко – суспензия, полученная при гашении извести значительным количеством воды, состоит из $Ca(OH)_2$ и H_2O при преобладании последней.

В зависимости от продолжительности гашения различают виды извести: быстрогасящуюся (не более 8 мин), среднегасящуюся (8 – 25 мин), медленногасящуюся (не менее 25 мин).

По величине температуры, достигаемой при гашении, различают низкоэкзотермическую (до 70 °C) и высокоэкзотермическую известь (более 70 °C).

В зависимости от состояния теста, получаемого при гашении, различают виды извести:

- жирную – весьма пластичная, жирная на ощупь масса, получаемая из быстрогасящейся извести с минимальным количеством примесей; при гашении

выделяется большое количество теплоты, наблюдается значительное увеличение объема;

- тощую – тесто малой пластичности, в котором прощупываются мелкие непогасившиеся зерна; получают из извести с повышенным содержанием примесей (глина, песок), отошающих тесто; гашение протекает медленно; выход теста меньше, чем у жирной извести.

Показатели качества и свойства

Активность извести – суммарное содержание оксидов кальция и магния, которые взаимодействуют с водой в течение 5 – 30 мин с момента затворения. Активность характеризует способность извести к гидратации. Чем выше активность, тем лучше ее вяжущие свойства и меньше требуется ее для приготовления строительного раствора. Активность извести зависит от состава сырья, режима обжига, продолжительности и условий хранения.

Воздушная известь может содержать частицы, не способные к гашению, т.е. снижающие активность: инертные и малоактивные включения (внесены или образованы за счет примесей в сырье); недожог; пережог.

Важной характеристикой известковых растворов является равномерность изменения объема. Наличие в извести пережога способно вызвать трещинообразование и разрушение изделий. Частицы пережога медленно взаимодействуют с водой, процесс протекает в уже упрочнившемся материале. Увеличение объема продуктов поздней гидратации пережога приводит к неравномерному изменению объема – образуются трещины, происходит разрушение изделия или штукатурного слоя.

Прочность воздушной извести не нормируется стандартом.

Строительную воздушную известь подразделяют на 3 сорта (для негашеной) и на 2 сорта (для гашеной). Основными показателями качества при оценке сортности извести являются активность, содержание непогасившихся зерен, концентрация CO_2 (указывает на присутствие неразложившихся карбонатов) (табл. 4.1).

Таблица 4.1 – Свойства воздушной извести (по требованиям ГОСТ 9179-2018)

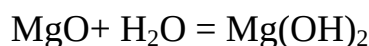
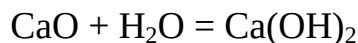
Наименование показателя	Норма для извести, %. по массе							
	негашеной						гидратной	
	кальцевой			магнезиальной и доломитовой				
	сорт							
	1	2	3	1	2	3	1	2
Активные CaO + MgO, не менее:								
• без добавок	90	80	70	85	75	65	67	60
• с добавками	65	55	–	60	50	–	50	40
Активный MgO, не более								
	5	5	5	20(40)	20(40)	20(40)	–	–
CO ₂ . не более:								
• без добавок	3	5	7	5	8	11	3	5
• с добавками	4	6	–	6	9	–	2	4
Непогасившиеся зерна, не более								
	7	11	14	10	15	20	–	–

II. ЛАБОРАТОРНАЯ ЧАСТЬ

Работа 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОСТИ ВОЗДУШНОЙ ИЗВЕСТИ

Методика: определение содержания активных CaO и MgO в извести методом кислотно-основного титрования

Сущность метода заключается в том, что активные CaO и MgO при взаимодействии с водой образуют основания, которые в присутствии индикатора – фенолфталеина окрашивают раствор в малиновый цвет:



При титровании такого раствора соляной кислотой в присутствии индикатора раствор нейтрализуется и обесцвечивается.

Материалы и оборудование: Воздушная известь, аналитические (технические) весы, коническая колба на 250 мл, стеклянные бусы, песчаная баня (или электрическая плитка), дистиллированная вода, 1% раствор фенолфталеина, стеклянная воронка (часовое стекло), соляная кислота, 1 N раствор, бюретка для титрования.

Проведения испытания

1. Приготовление раствора для титрования.

1) Навеску негашеной извести массой 4-5 г тщательно растирают в течение 5 мин в фарфоровой ступке, далее 1 г измельченной пробы помещают в коническую колбу из термостойкого стекла на 250 мл, наливают 150 мл дистиллированной воды, добавляют 3-5 стеклянных бус или оплавленных стеклянных палочек длиной 5-7 мм, закрывают стеклянной воронкой или часовым стеклом и нагревают 5-7 мин до температуры кипения, периодически взбалтывая;

2) Далее раствор охлаждают до температуры 20...30 °С;

3) Промывают стенки колбы и стеклянную воронку (или часовое стекло) дистиллированной водой.

2. Приготовление бюретки для выполнения титрования.

Тщательно вымытую бюретку, закрепленную в штативе, промывают раствором 1М HCl. Бюретку наполняют раствором 1М HCl выше нулевой отметки (раствор заливают в бюретку через воронку, которую затем убирают, так как с нее в бюретку могут стекать капли, что повлечет за собой искажение результатов измерения). Проверяют, чтобы в бюретке не было воздуха. Устанавливают уровень жидкости в бюретке по нижнему мениску на нуле, выливая лишний раствор в стаканчик.

3 Титрование

1) В полученный раствор извести для титрования добавляют 2-3 капли индикатора фенолфталеина; раствор при этом окрашивается в малиновый цвет (щелочная среда).

2) Коническую колбу размещают на подставке штатива на белом листе бумаги. Кончик бюретки должен находиться в горлышке колбы по центру,

иначе капли раствора 1 М НСl будут стекать по стенкам колбы, что увеличит погрешность титрования.

3) Раствор извести титруют, при постоянном взбалтывании, раствором 1 М НСl до полного обесцвечивания раствора. Титрование считают законченным, если в течение 8 мин при периодическом взбалтывании раствор останется бесцветным (белым). Объем израсходованного раствора 1 М НСl измеряют с точностью до 0,1 мл. Проводят не менее трех точных титрований. Результаты вносят в таблицу 4.2.

Обработка результатов

1) Содержание активных СаО+МgО (А) для негашёной извести в % вычисляют по формуле:

$$A = \frac{V_{\text{НСl}} \cdot T_{\text{СаО}}}{m} \cdot 100\%, \quad (4.1)$$

где $V_{\text{НСl}}$ – объем 1 н раствора НСl, пошедшей на титрование, мл;

$T_{\text{СаО}}$ – титр 1 н раствора НСl, выраженный в граммах СаО и равный 0,02804 г;

m – масса навески СаО, равная 1 г.

Таблица 4.2 – Определение активности воздушной извести-кипелки

	Данные испытаний		
Навеска извести, г	1	2	3
Объем 1Н НСl, пошедший на титрование, мл			
Активность извести, %			
Сорт извести			

2) По показателю активности извести определяют сорт извести в соответствии с требованиями ГОСТ 9179–2018, указанными в табл. 4.1.

Работа 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВРЕМЕНИ ГАШЕНИЯ ИЗВЕСТИ

Гашение извести сопровождается интенсивным выделением тепла. Для характеристики процесса гашения используют:

- температуру – величина максимальной температуры, отмеченной при гашении извести, °С;

- продолжительность – время, прошедшее от момента затворения извести водой до момента достижения максимальной температуры гашения, мин.

Материалы и оборудование: Воздушная известь, технические весы, прибор для определения скорости гашения извести (калориметр или бытовой термос на 500 мл), секундомер, термометр на 100 °С.

Проведения испытания

1) Навеску извести массой 10 г помещают в стакан прибора (или термосную колбу).

2) Затем в стакан приливают 25 мл воды, имеющей температуру 20 °С и быстро перемешивают деревянной отполированной палочкой. Включают

секундомер. Колбу закрывают пробкой с плотно вставленным термометром на 100 °С и оставляют.

Внимание. Шарик термометра должен быть постоянно погружен в реагирующую смесь

3) Отсчет температуры реагирующей смеси ведут через каждую минуту, начиная с момента добавления воды. Определение считается законченным, если в течение 4 мин температура не повышается более чем на 1 °С.

За время гашения извести принимается время с момента добавления воды к извести до достижения максимальной температуры гашения извести или до начала периода, когда рост температуры не превышает 0,25 °С в минуту.

Обработка результатов

Результаты эксперимента записывают в таблицу 4.3 и по этим данным строят график изменения температуры гашения извести от времени гашения в координатах: время гашения мин (ось абсцисс) и температура гашения извести – Т, °С (ось ординат).

Таблица 4.3 – Температура и время гашения строительной негашеной извести

Температура, °С	№ опыта	Время, мин																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	1																		
	2																		
	3																		

По результатам проведенного эксперимента исследуемую известь классифицируют по температуре и времени гашения.

Работа 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ НЕПОГАСИВШИХСЯ ЗЕРЕН

Материалы и оборудование: Известь после гашения (после выполнения предыдущей работы); сито № 063; фарфоровая чашка, 100 мл; сушильный шкаф или песчаная баня; технические весы.

Проведения испытания

1) Известь после полного гашения (Работа 2) переносят (без потерь) на сито № 063. Стакан и известь на сите тщательно промывают струей водой до чистоты промывных вод.

2) Затем остаток непогасившихся зерен переносят (без потерь) с сита в фарфоровую чашку, избыток воды сливают.

4) Известь высушивают в сушильном шкафу или на песчаной бане при температуре 140...150 °С до постоянной массы и взвешивают.

Обработка результатов

Расчет содержания непогасившихся зерен производят по формуле

$$H.3. = \frac{m \cdot 100}{M}, \% \quad 4.2$$

где m – остаток на сите после высушивания, г;

M – масса исходной навески извести, M = 10 г.

Таблица 4.4 – Содержание непогасившихся зерен в извести

Показатели	Значения
Масса известкового теста, г	
Содержание воды в известковом тесте, %(г)	
Содержание извести в известковом тесте М, г	
Масса остатка после промывания и сушки, m, г	
Содержание непогасившихся зерен Н.З., %	

По результатам экспериментальных данных делается вывод о содержании непогасившихся зерен в извести и оценивается ее качество по ГОСТ 9179-2018 (см табл. 4.1).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие вещества называются воздушными вяжущими?
2. Что называется известью воздушной строительной?
3. Какое минеральное сырье используется для производства извести?
4. Что происходит при обжиге известняка?
5. Технология получения воздушной извести.
6. Реакция гашения извести, какими эффектами она сопровождается?
7. Способы гашения строительной воздушной извести.
8. Что такое время гашения извести?
9. Почему скорость гашения извести определяют в колбе термоса?
10. Как подразделяется известь по времени гашения?
11. Какие показатели характеризуют сорт извести?
12. Каковы строительно-технологические качества извести строительной воздушной?
13. Что такое активность извести?
14. Влияют ли недожженные зерна на качество изделий на основе извести?
15. Как влияют пережженные зерна извести на качество изделий на основе извести?
16. Какие процессы происходят при твердении извести на воздухе?
17. Перечислите основные области применения строительной воздушной гидратной извести в строительстве.
25. Перечислите основные области применения воздушной негашеной извести в производстве строительных материалов.

Лабораторная работа № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА

I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Портландцементом называется гидравлическое вяжущее вещество, получаемое совместным тонким измельчением портландцементного клинкера, гипса и специальных добавок.

Портландцементный клинкер – это зернистый материал (размер гранул – 10...40 мм), получаемый обжигом до спекания (при температуре до 1450 °С) тщательно подобранной сырьевой смеси.

Добавка гипса вводится для регулирования сроков схватывания портландцемента в количестве, обычно не превышающем 5 %.

Введение в цемент при помоле минеральных и органических добавок позволяет направленно изменять свойства вяжущего, экономить клинкер, уменьшать расход цемента в бетоне.

Минеральный состав клинкера:

– *трехкальциевый силикат (алит)* – $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (C_3S) – 45...60 % – основной минерал клинкера, определяет скорость твердения, прочность и другие свойства портландцемента;

– *двухкальциевый силикат (белит)* – $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (C_2S) – 20...30 % – медленно твердеет, но достигает высокой прочности при длительных сроках твердения;

– *трехкальциевый алюминат* $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ (C_3A) – 4...12 % – быстро гидратируется и твердеет, но конечная прочность его небольшая; является причиной сульфатной коррозии цементного камня;

– *четырекальциевый алюмоферрит* $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ (C_4AF) – 10...20 % – по скорости твердения занимает промежуточное положение между C_3S и C_2S .

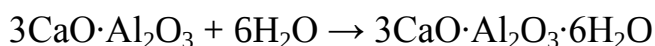
Твердение портландцемента происходит благодаря сложным физико-химическим процессам взаимодействия клинкерных минералов и гипса с водой. Сразу после затворения цемента водой начинаются химические реакции. В результате физико-химических процессов на поверхности твердых частиц и в жидкой фазе формируются продукты гидратации в виде новообразований различной закристаллизованности. На их смачивание затрачивается вода, поэтому система постепенно теряет подвижность, загустевает, переходит в твердое состояние, наступает начало схватывания и дальнейшее твердение.

При взаимодействии с водой минералов-силикатов происходит одновременно их гидролиз (разложение водой) и гидратация (присоединение воды) с образованием гидросиликата и гидроксида кальция (портландита):



Гидросиликаты кальция – основной продукт твердения портландцемента (практически нерастворимы в воде). Они выделяются из раствора в виде геля, который со временем кристаллизуется. Этот гель пронизывают, укрепляя его, кристаллы $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Содержание портландита в продуктах гидратации портландцемента может составлять до 15...20 %. Другие продукты взаимодействия клинкера с водой также участвуют в формировании структуры цементного камня и влияют на его свойства.

Гидратация трехкальциевого алюмината протекает крайне быстро с образованием крупных кристаллов гидроалюмината кальция и приводит к утрате пластичности цементного теста:



Для замедления схватывания портландцемента при помоле клинкера добавляют 3 - 5 % двуводного гипса. Гипс реагирует с трехкальциевым алюминатом и связывает его в практически нерастворимый гидросульфалюминат кальция (эттрингит) в начале гидратации портландцемента:



Эттрингит выделяется в виде пленок на поверхности частиц C_3A , затрудняет доступ к ним воды и, соответственно, замедляет их гидратацию и отодвигает начало схватывания цемента.

Четырехкальциевый алюмоферрит при взаимодействии с водой образует гидроалюминат и гидроферрит кальция:



Гидроалюминат связывается добавкой природного гипса, а гидроферрит входит в состав цементного геля.

Показатели качества и свойства портландцемента

К важнейшим свойствам цемента относятся: химико-минералогический состав; истинная плотность; насыпная плотность; тонкость помола и гранулометрия; нормальная густота; сроки схватывания; равномерность изменения объема при твердении; прочностные характеристики и марка.

Истинная плотность портландцемента без добавок в зависимости от его химико-минералогического состава составляет 3000...3200 кг/м³, насыпная плотность в рыхлом состоянии – 900...1100 кг/м³ в уплотненном – от 1400 до 1700 кг/м³. В практике часто пользуются для расчета объема хранилищ средней цифрой – 1200 кг/м³.

Тонкость помола цемента влияет на скорость твердения, прочность цементного камня и интенсивность тепловыделения. Она определяется остатком на сите с сеткой №008 в процентах к первоначальной массе пробы (ГОСТ 310.2 -76, ГОСТ 30744-2001) и должна быть не более 15% (обычно 8–

12%). Тонкость помола также характеризуется удельной поверхностью (мІ/кг) и суммарной поверхностью зёрен (мІ) в 1 кг цемента

Нормальной густотой цементного теста (однородная пластичная смесь цемента с водой) называется такая его консистенция, при которой пестик прибора Вика (рис.7), погружаемый в кольцо, заполненное тестом, не доходит на 5–7 мм до пластинки, на которой оно установлено (ГОСТ 310–76). Нормальная густота цементного теста (водопотребность) характеризуется количеством воды затворения в % от массы цемента. Портландцемент имеет нормальную густоту 22 - 27 %, пуццолановый портландцемент 30 - 40 % и др.

Схватыванием цементного теста называется процесс, при котором происходит потеря его подвижности, т.е. цементное тесто постепенно густеет, в нем происходят процессы структурообразования, твердения и набора начальной прочности. Схватывание вяжущих материалов характеризуется временем *начала и конца схватывания*. *Началом схватывания* считается время от момента затворения цемента водой до момента, когда игла прибора Вика не достигает дна формы на 1–2 мм. *Концом схватывания* цемента называется время от момента затворения цемента водой до момента, когда игла прибора Вика начинает погружаться в цементное тесто на глубину 1–2 мм. Сроки схватывания определяют на тесте нормальной густоты.

Равномерность изменения объема при твердении цемента в соответствии с ГОСТ 310.3–76 определяется путем визуальной оценки состояния образцов-лепешек, изготовленных из цементного теста нормальной густоты, после испытания кипячением в течение 3 ч.

Прочность контролируется испытанием на изгиб и сжатие стандартных образцов-призм размером 4Ч4Ч16 см, изготовленных из цементно-песчаного раствора, через 28 суток твердения. В результате определяется активность цемента – фактическая прочность на сжатие образцов цементно-песчаного раствора, изготовленных и испытанных в соответствии с ГОСТ. На основании активности цемента устанавливается его класс (подкласс) (табл. 5.1).

Таблица 5.1 – Требования к физико-механическим показателям цементов (ГОСТ 31108–2020).

Класс, подкласс прочности цемента	Прочность на сжатие, МПа, в возрасте			Начало схватывания. мин., не ранее	Равномерность изменения объема, не более	
	2 сут. не менее	7сут. не менее	28 сут			
			не менее			не более
32,5М	—	12	32,5	52,5	75	10
32,5Н	—	16				
32,5Б	10	—				
42,5М	—	16	42,5	62,5	60	
42,5Н	10	—				
42,5Б	20	—				
52,5М	10	—	52,5	—	45	
52,5Н	20					
52,5Б	30	—				

По вещественному составу общестроительные цементы согласно ГОСТ 31108-2020 подразделяют на шесть типов:

- ЦЕМ 0 – бездобавочный портландцемент;
- ЦЕМ I – портландцемент;
- ЦЕМ II – портландцемент с минеральными добавками;
- ЦЕМ III – шлакопортландцемент;
- ЦЕМ IV – пуццолановый цемент;
- ЦЕМ V – композиционный цемент.

По содержанию портландцементного клинкера и добавок цементы типов ЦЕМ II, ЦЕМ IV – ЦЕМ V в зависимости от содержания добавок подразделяют на подтипы А и В (за исключением цемента ЦЕМ II с добавкой микрокремнезема), а цемент типа III – на А, В и С.

II. ЛАБОРАТОРНАЯ ЧАСТЬ

Работа 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМАЛЬНОЙ ГУСТОТЫ

Приборы и материалы: Портландцемент, весы, мензурка емкостью 250 мл, чашка для затворения цементного теста, лопатка для перемешивания цементного теста, прибор Вика.

Определение нормальной густоты цементного теста производят при помощи прибора Вика (рис. 7, а), состоящего из цилиндрического стержня 1, свободно перемещающегося в обойме станины 2. Стержень закрепляют на нужной высоте с помощью зажимного винта или другого стопорного устройства 3. Указатель 4 служит для отсчета перемещения стержня относительно шкалы 5, прикрепленной к станине. Шкала имеет цену деления 1 мм. При определении нормальной густоты цементного теста в нижнюю часть стержня вставляют металлический цилиндр – пестик 6 (рис. 7, в), при определении сроков схватывания пестик заменяют иглой (рис. 7, в).

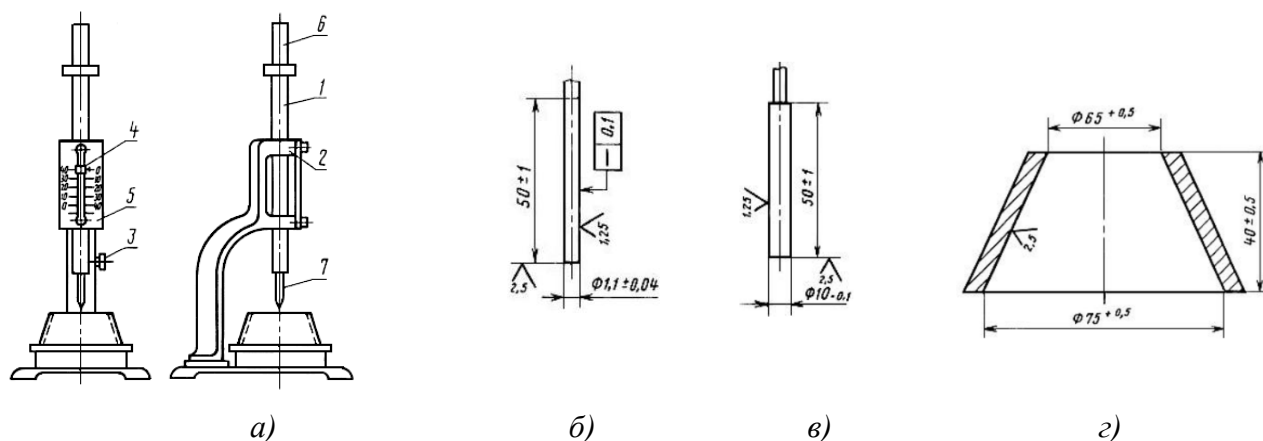


Рисунок 7 – Прибор Вика: а – общий вид прибора; б – игла; в – пестик; г – кольцо

Подготовка к испытаниям: Перед испытанием следует убедиться в том, что стержень прибора свободно опускается, а также проверить нулевое показание прибора, приведя пестик (иглу) в соприкосновение с металлической или стеклянной пластинкой, на которой расположено кольцо. В случае

отклонения от нуля шкалу прибора соответствующим образом передвигают. Кольцо и пластинку протирают маслом.

Проведения испытания

1) Для ручного приготовления цементного теста отвешивают 400 г цемента, высыпают в металлическую чашку сферической формы (рис. 8), предварительно протертую влажной тканью.



***Рисунок 8 – Лопатка и чашка
для затворения цемента***

2) Затем делают в цементе углубление, в которое вливают в один прием воду в необходимом количестве (ориентировочно), для получения цементного теста нормальной густоты (обычно 22...30%). Углубление засыпают цементом и через 30 с после добавления воды осторожно перемешивают, а затем энергично растирают тесто лопаткой (рис. 8). Время перемешивания и растирания составляет 5 мин с момента приливания воды.

3) После перемешивания, заполняют в один прием кольцо цементным тестом (рис. 7,г). Затем кольцо встряхивают 5-6 раз, постукивая пластинкой о твердое основание. Избыток теста срезают смоченным водой ножом.

4) После этого пестик в центре кольца приводят в соприкосновение с поверхностью теста и закрепляют стержень винтом. Затем быстро отвинчивают закрепляющий винт, освобождают стержень и предоставляют пестику свободно погружаться в тесто. Через 30 с с момента освобождения стержня производят отсчет погружения пестика в тесто по шкале. При нормальной густоте цементного теста пестик должен погрузиться в тесто не доходить до дна пластинки, расположенной под кольцом, на 5–7 мм.

5) Если пестик опускается **ниже 5 мм или выше 7 мм**, изменяют количество воды и вновь затворяют тесто, добиваясь консистенции, соответствующей нормальной густоте. Если пестик погружается ниже 5 мм, опыт повторяют, уменьшая количество воды на 1–1,5 %, если выше 7 мм, опыт повторяют, увеличивая количество воды на 1–1,5 %. Поверхность пестика, кольца и пластинки после каждого опыта протирают влажной ветошью и слегка смазывают. Опыт повторяют до получения консистенции цементного теста, при котором пестик не доходит до пластинки на 5–7 мм.

Обработка результатов

Нормальную густоту цемента НГ, % определяют по формуле

$$\text{НГ} = \frac{m_1}{m} \cdot 100\%,$$

где m_1 – масса воды затворения, соответствующая нормальной густоте цементного теста, г;

m – масса цемента, г.

Таблица 5.1 – Определение нормальной густоты цементного теста

Номер опыта	Количество цемента, г	Количество воды, г	Глубина погружения пестика, мм	Нормальная густота цементного теста, %
1				
2				
3				

Работа 2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

Проведения испытания

- 1) Полученным цементным тестом (*работа 1*) заполняют предварительно смазанные маслом ячейки-кубы (2х2х2 см).
- 2) Все образцы подвергают компактному вибрированию для лучшего уплотнения и извлекают из форм после 24 часов отверждения.
- 3) После изготовления образцы в формах хранят 24 ± 1 ч в ванне с гидравлическим затвором, обеспечивающем относительную влажность воздуха 95...100 % и температуру 20 ± 2 °С.
- 4) Через сутки образцы расформовывают и укладывают на 27 суток в ванны с водой с температурой 20 ± 2 °С.

Работа 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРОКОВ СХВАТЫВАНИЯ ЦЕМЕНТНОГО ТЕСТА

Приборы и материалы: Портландцемент, весы по ГОСТ 23711–79, ГОСТ 24104–80, мензурка емкостью 250 мл, чашка для затворения цементного теста, лопатка для перемешивания цементного теста, секундомер, прибор Вика.

Проведения испытания

- 1) При определении сроков схватывания цементного теста в нижнюю часть стержня прибора Вика вставляют иглу (рис. 7, в).
- 2) Отвешивают 400 г цемента и помещают навеску в чашу со сферическим днищем.
- 3) Затем отмеряют мерным цилиндром количество воды, соответствующее нормальной густоте цементного теста (смотри *работу 1*).
- 4) Делают в навеске цемента углубление ивливают в чашку отмеренное количество воды. **В момент добавления воды к цементу включают секундомер.**
- 5) Перемешивают массу в течение 2 мин, стараясь втирать воду в цементный порошок до получения гомогенного цементного теста.
- 6) Приготовленное цементное тесто помещают в кольцо прибора Вика, установленное на пластине. Пластина с кольцом и цементным тестом слегка постукивают о край стола 5–6 раз, после чего заглаживают поверхность, снимая излишек теста шпателем (ножом). Пластина с кольцом и цементным тестом помещают в прибор Вика.
- 7) Иглу подводят к поверхности теста и фиксируют винтом. Затем отпускают стопорный винт и дают игле свободно погружаться в тесто в течение 10 с. В начале испытания, пока тесто находится в пластичном состоянии, во избежание сильного дара иглы о пластинку допускается слегка ее задерживать

при погружении в тесто. Производят отсчет глубины погружения иглы в цементное тесто. Если игла касается дна, то повторяют измерение глубины её погружения через 10 мин в другом месте, слегка повернув кольцо. После каждого измерения необходимо протирать иглу от цементного теста.

За начало схватывания принимают время от момента затворения цемента водой до того момента, когда игла не будет доходить до пластинки 2–4 мм. *За конец схватывания* принимают время от момента затворения до момента, когда игла будет погружаться в цементное тесто не более чем на 1–2 мм.

Обработка результатов

Таблица 5.2 – Определение сроков схватывания цементного теста

Номер опыта (погружения иглы)	Время затворения	Показания прибора, мм	Время	
			ч	мин
1				
....				
п				

Начало схватывания _____ ч _____ мин.

Конец схватывания _____ ч _____ мин.

Работа 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАВНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ОБЪЕМА

Равномерность изменения объема цементного теста – способность при твердении формировать цементный камень без деформаций, развитие которых может быть вызвано гидратацией свободных оксидов кальция СаО и магния MgO.

Взаимодействие этих оксидов с водой протекает с увеличением объема гидратов (расширением). Поэтому в местах их расположения объем цементного камня увеличивается, что вызывает его коробление или растрескивание, что является следствием избыточного содержания в клинкере свободного оксида кальция СаО (более 1 %) и свободного оксида магния MgO (более 5 %).

Равномерность изменения объема определяют по ГОСТ 310.3 испытанием образцов-лепешек, изготовленных из цементного теста нормальной густоты.

Приборы и материалы: бачок для испытания кипячением; ванна с гидравлическим затвором; чаша сферической формы, лопатка, весы, пластинка из стекла или оргстекла, лупа.



а)



б)

Рисунок 9 – Оборудования для определения равномерности изменения объема
а) ванна с гидравлическим затвором; б) бачок для кипячения образцов

Проведение испытания

- 1) Для ручного приготовления готовят тесто нормальной густоты (*работа 1*).
- 2) Отвешивают две навески теста массой 75 г каждая, формуют из них шарики
- 3) Помещают их на стеклянную пластинку, предварительно протертую машинным маслом.
- 4) Постукивая пластинкой о твердое основание, добиваются образования из шариков лепешек диаметром 7...8 см и толщиной в середине около 1 см (рис. 10).
- 5) Поверхность лепешки заглаживают ножом, смоченным водой, от наружных краев к центру до образования острых краев и гладкой закругленной поверхности.

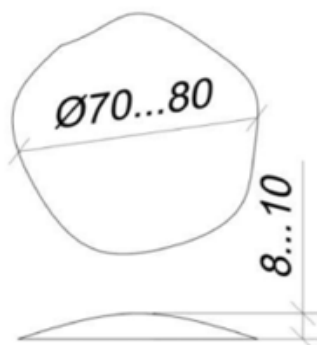


Рисунок 10 – Вид образца до испытания

6) Хранят лепешки в течение (24 ± 2) ч с момента изготовления в ванне с гидравлическим затвором ($20 \pm 2^\circ\text{C}$ и влажность 95...100 %) (рис. 9).

7) Затем лепешки вынимают из ванны, снимают с пластинок и помещают в бачок с водой на съемную решетку.

8) Воду в бачке доводят до кипения, которое поддерживают в течение 3 ч. В процессе кипячения вода должна покрывать лепешки на 4...6 см.

9) После кипячения лепешки охлаждают в бачке и производят их визуальный осмотр немедленно после извлечения из воды.

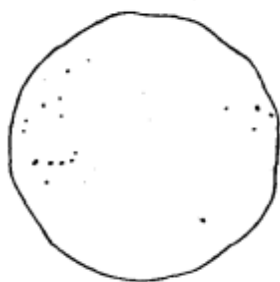
Обработка результатов

Цемент соответствует требованиям стандарта в отношении равномерности изменения объема, если на лицевой стороне лепешек не обнаружено радиальных, доходящих до краев, трещин или сетки мелких трещин, видимых невооруженным глазом или в лупу, а также каких-либо искривлений (их размеры не должны превышать 2 мм на краю или в середине лепешки) и увеличения объема лепешек (рис. 11).

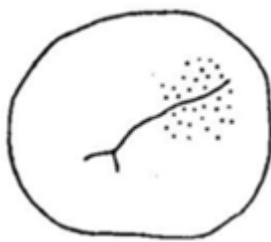
Допускается в первые сутки после испытаний появление трещин усыхания, не доходящих до краев лепешек, при условии сохранения звонкого звука при постукивании лепешек одна о другую.

Внешний вид лицевой поверхности лепешек, выдержавших испытание на равномерность изменения объема, приведен на рисунке 11. В данном случае считают, что цемент по равномерности изменения объема соответствует требованиям ГОСТ 10178.

В том случае, когда образцы-лепешки не выдержали испытание на равномерность объема, цемент признается недоброкачественным (рис. 12). В нем имеется наличие свободных СаО и MgO, которые будут гаситься с увеличением объема в уже затвердевшем цементном камне, а это приведет к неравномерным деформациям и образованию трещин в твердеющих бетонах и растворах.



Без повреждений



Трещины усыхания



Рисунок 11 – Лепешки, выдержавшие испытания на равномерность изменения объема



Разрушение



Радиальные трещины



Искривление

Рисунок 12 – Лепешки, не выдержавшие испытания на равномерность изменения объема

Работа 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОСТИ И МАРКИ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА

Материалы и оборудование: цемент 500 г, нормальный песок 1500 г; мешалка для перемешивания цементного раствора; весы технические; встряхивающий столик и форма-конус; штыковка, линейка; форма для изготовления образцов-балочек, вибрационная площадка; пластинки для передачи нагрузки при испытании половинок балочек; испытательная машина ТРМ 500; ванна с гидравлическим затвором

Проведения испытания

Определение консистенции цементного раствора

1) Для определения консистенции цементного раствора отвешивают 1500 г нормального песка, 500 г цемента и 200 г воды ($V/C = 0,40$).

2) Компоненты загружают в предварительно протертую влажной тканью чашу лопастной мешалки в следующей последовательности: песок, вода, цемент. Чашу устанавливают на мешалку и перемешивают в течение (120 ± 10) с.

3) Внутреннюю поверхность конуса и диск столика перед испытанием протирают влажной тканью.

4) Форму-конус с центрирующим устройством устанавливают на диск встряхивающего столика (рис.13). После уплотнения верхнего слоя избыток раствора удаляют ножом, расположенным под небольшим углом к торцевой поверхности конуса, заглаживая с нажимом раствор вровень с краями конуса

5) Затем конус снимают в вертикальном направлении.



Рисунок 13 –
Встряхивающий столик

6) Раствор встряхивают на столике *30 раз за (30 ± 5) с*, после чего штангенциркулем измеряют диаметр конуса по нижнему основанию в двух взаимно перпендикулярных направлениях и берут среднее значение.

7) Распływ конуса с $V/C=0,40$ должен быть в пределах **106 - 115 мм**. Если распływ конуса окажется менее 106 мм, количество воды увеличивают для получения распльва конуса 106-108 мм, если более 115 мм, то количество воды уменьшают для получения распльва конуса 113–115 мм.

Водоцементное отношение, полученное при достижении распльва конуса 106-115 мм, принимают для проведения дальнейших испытаний.

Обработка результатов

Масса цемента _____

Масса песка _____

Масса воды _____

Соотношение V/C _____

Изготовление образцов

1) Перед изготовлением образцов форму слегка смазать машинным маслом. В одной форме изготавливают три образца размером 4Ч4Ч16 см. Для изготовления образцов используют приготовленный цементно-песчаный раствор стандартной консистенции.

2) Форму с насадкой закрепить в центре виброплощадки и наполнить приблизительно на 1 см по высоте раствором и включить виброплощадку.

3) В течение первых 2 мин вибрации все три гнезда формы равномерно небольшими порциями заполнять раствором. По истечении 3 мин от начала вибрации виброплощадку отключить. Форму снять с виброплощадки, избыток раствора удалить ножом, заглаживая раствор вровень с краями формы. Образцы промаркировать.

4) После изготовления образцы в формах хранят 24 ± 1 ч в ванне с гидравлическим затвором, обеспечивающем относительную влажность воздуха 95...100 % и температуру 20 ± 2 °С. Через сутки образцы расформовывают и укладывают их на 27 сут в ванны с водой с температурой 20 ± 2 °С.

Испытание образцов.

1) Через 28 суток с момента изготовления образцов, образцы достают, вытирают, снимают линейные размеры линейкой или штангенциркулем, взвешивают.

2) **Испытание на изгиб.** Образец устанавливают на опорные элементы прибора таким образом, чтобы его горизонтальные при изготовлении грани находились в вертикальном положении (рис. 14). Схема расположения образца на опорных элементах показана на рис. 5.

3) **Испытание на сжатие.** Полученные после испытания на изгиб половинки образцов-призм сразу же испытать на сжатие. Для передачи

нагрузки на половинки балочек применяют плоские стальные шлифованные пластинки (рис. 6) размером 40х62,5 мм (площадь 25 см²). Для этого образцы поместить между двумя стальными нажимными пластинами таким образом, чтобы боковые грани, которые при изготовлении прилежали к продольным стенкам форм, находились на плоскостях пластин, а упоры пластин плотно прилежали к торцевой гладкой стенке образца.

Обработка результатов

Предел прочности при изгибе (МПа) рассчитывают по формуле

$$R_{\text{изг}} = \frac{3 \cdot F \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2},$$

где F – разрушающая нагрузка, (Н);

l – расстояние между опорами мм;

b и h – ширина и высота балочки, мм.

Результаты записывают в таблицу 5.3.

Предел прочности при изгибе образцов вычисляют как среднее арифметическое из двух наибольших результатов испытания 3-х образцов.



Рисунок 14 – Устройство для испытания образцов-призм на изгиб

Таблица 5.3 – Результаты исследования

	Масса образца, м, г	Размеры, мм			Площадь, мм ²	Объем образца, см ³	Плотность образца, г/см ³	Разрушающая нагрузка F , Н	Предел прочности, $R_{\text{изг}}$, МПа
		a	b	h					
1									
2									
3									

Предел прочности при сжати R , МПа, вычисляют по формуле 3.3:

$$R_{\text{сж}} = \frac{F}{S},$$

где F – разрушающая нагрузка, Н;

S – площадь образца, мм.

Таблица 5.4 – Результаты исследования

	Опорная площадь, см ²	Разрушающая сила, (F)	Предел прочности, $R_{\text{сж}}$, МПа

ВЫВОД. По окончании лабораторной работы делается вывод о соответствии основных характеристик испытанного цемента требованиям нормативных документов, записать полное условное обозначение испытанного цемента.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1.. Что такое портландцемент и портландцементный клинкер?
2. Общая характеристика и вещественный состав портландцемента.
3. Химический и минеральный состав клинкера.
4. Сырье для получения портландцемента.
5. Основные способы производства портландцементного клинкера, их характеристика.
6. Назовите основные свойства, по которым оценивают качество портландцемента. Дайте их краткую характеристику.
7. Что характеризуют сроки схватывания цемента, как их устанавливают?
8. Поясните, чем обусловлена неравномерность изменения объема при твердении цемента. Перечислите критерии, по которым устанавливают соответствие цемента установленным требованиям по равномерности изменения объема.
9. Как влияет на равномерность изменения объема портландцемента его длительное хранение?
10. На завод ЖБИ поступил цемент, показавший неравномерность изменения объема. Ваши действия.
11. Почему на заводах ЖБИ бетонные и железобетонные изделия обычно пропаривают при температуре 80...95 °С?
12. Один цемент через 7 сут твердения показал предел прочности при сжатии 26,1 МПа, а другой через 14 сут – 37,0 МПа. Какой из них имеет более высокую активность?
13. Активность цемента через 28 сут нормального твердения оказалась равной 35 МПа. Какова его марка?

Лабораторная работа № 6

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПЕСКА

I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Песок – сыпучий материал, представляющий собой рыхлую смесь зерен крупностью от 0,16 до 5 мм

Для получения строительного раствора, бетона и асфальтобетона в большинстве случаев используют песок природный и песок из отсеков дробления горных пород.

Природный песок – песок, образовавшийся в результате естественного разрушения скальных горных пород. Его получают при разработке песчаных, валунно-гравийно-песчаных и гравийно-песчаных месторождений. По происхождению природные пески разделяют на горные (овражные), речные и морские.

Песок из отсеков дробления горных пород – песок, получаемый из отсеков дробления плотных горных пород при производстве щебня.

Общие требования к природному песку регламентированы ГОСТ 8736, к песку из отсеков дробления – ГОСТ 31424. Качество песка характеризуют: зерновым составом и модулем крупности; истинной плотностью; насыпной плотностью; пустотностью; содержанием пылевидных и глинистых частиц; влажностью и др. Некоторые показатели качества являются нормируемыми.

Зерновой состав песка – это процентное содержание зёрен различного диаметра в песке. Зерновой состав песка определяют на стандартном наборе сит с размерами ячеек: 5; 2,5; 1,25; 0,63; 0,315 и 0,16 мм.

Насыпная плотность ρ_n (кг/м³; г/см³) – отношение массы материала в насыпном состоянии к его объему. Насыпную плотность материала определяют отношением массы (m) зернистого материала ко всему занимаемому им объему ($V_{\text{мат}}$), включая имеющиеся в нем поры ($V_{\text{пор}}$) и межзерновые пустоты ($V_{\text{пуст}}$), и рассчитывают по формуле

$$\rho_n = \frac{m}{V_{\text{мат}}} = \frac{m}{V_{\text{тв.фаза}} + V_{\text{пор}} + V_{\text{пуст}}} . \quad (6.1)$$

Пустотность заполнителя непосредственно связана с зерновым составом и формой его зерен, определяется возможностью его плотной укладки. Чем больше пустот, тем больше расход цемента для их заполнения.

Присутствие в песке пылеватых и особенно глинистых примесей снижает прочность и морозостойкость бетонов и растворов. Количество таких примесей определяют отмучиванием (многократной промывкой водой). В природном песке пылеватых и глинистых примесей должно быть не более 3 % по массе, причем содержание собственно глины не должно превышать 0,5 %.

Пылевидные (менее 0,14 мм) и особенно глинистые примеси создают на поверхности зерен заполнителя пленку, препятствующую сцеплению их с цементным камнем. В результате прочность бетона значительно снижается

(иногда на 30–40 %). По ГОСТ 8736-93 содержание в песке пылевидных и глинистых частиц не должно превышать значений, указанных в табл. 6.2.

Таблица 6.2 – Характеристика песка

Класс и группа песка	Содержание пылевидных и глинистых частиц в песке, %	
	природном	из отсевов дробления
1 класс		
Очень крупный	–	3
Повышенной крупности, крупный и средний	2	3
Мелкий	3	5
2 класс		
Очень крупный	–	10
Повышенной крупности, крупный и средний	3	10
Мелкий и очень мелкий	5	10
Тонкий и очень тонкий	10	не нормируется

Присутствие в песке органических примесей замедляет схватывание и твердение цемента и тем самым снижает прочность бетона или раствора.

Водопотребность песка (B_n) – технологическая характеристика заполнителя. B_n показывает, сколько требуется добавить воды при введении песка в цементное тесто, чтобы сохранить показатель подвижности.

II. ЛАБОРАТОРНАЯ ЧАСТЬ

Работа 1. ЗЕРНОВОЙ СОСТАВ МЕЛКОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ

Оборудование и материалы: весы, набор сит.

Проведение испытания

Зерновой состав выражается в процентах или частях содержания в этом материале зерен определенного размера (фракций).

1) Из пробы песка, отбирают навеску массой 1 кг

2) Просеивают сквозь набор сит 2,0; 1,25; 0,63; 0,315; 0,14 ручным способом, начиная с большего сита. Окончание просеивания можно определить упрощенным способом: при интенсивном встряхивании каждого сита над белым листом бумаги практически не должно наблюдаться падения зерен песка.

3) Остаток на каждом сите взвешивают на весах и заносят в таблицу 6.1.

Обработка результатов

1) Вычисляют **частный остаток** на каждом сите a_i , % – остаток материала на данном сите (m_i), выраженный в процентах от массы просеянной пробы (m), определяется по формуле

$$a_i = \frac{m_i}{m} \cdot 100\%, \quad (6.2)$$

где m_i – масса остатка на данном сите, г;

m – масса просеиваемой навески, г;

2) Вычисляют **полный остаток** на данном сите (A_i) – сумма частных остатков на данном сите и на всех ситах с большим размером отверстий, определяется по формуле

$$A = a_{2,0} + a_{1,25} + \dots + a_i, \quad (6.3)$$

где $a_{2,0} + a_{1,25} + \dots + a_i$ – частные остатки на ситах с большим размером отверстий, начиная с сита 2,0 мм, 1,25 мм и т. д., %;

a_i – частный остаток на данном сите, %;

Величина полных остатков на ситах возрастает по мере убывания размера отверстий сетки, т. е. величина полного остатка самая малая на верхнем сите и самая большая на нижнем. Результаты определения зернового состава песка записывают в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Результаты просеивания песка

Остаток на сите, %	Размеры отверстий сит, мм					Проход сквозь сито 0,14 мм
	2,0	1,25	0,63	0,315	0,14	
Масса m_i , г						
Частный a_i , %						
Полный A_i , %						

3) Определяют **модуль крупности песка** (без фракции с размером зерен крупнее 5 мм):

$$M_k = (A_{2,0} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,14})/100, \quad (6.4)$$

где $A_{2,0} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,14}$ – полные остатки на соответствующих контрольных ситах.

4) В зависимости от M_k и $A_{0,16}$ пески подразделяют на группы по крупности. Делают вывод о группе песка по таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Группы песка по крупности

Группа песка	Модуль крупности M_k	Полный остаток на сите № 063, % по массе	Водопотребность песка, %
Очень крупный	свыше 3,5	свыше 75	
Повышенной крупности	3,0-3,5	65 до 75	5...4
Крупный	2,5-3,0	45–65	6...5
Средний	2,0-2,5	30–45	8...6
Мелкий	1,5-2,0	10–30	10...8
Очень мелкий	1,0-1,5	до 10	Более 10
Тонкий	0,7-1,0	не нормируются	–
Очень тонкий	до 0,7	не нормируется	–

5) Результат определения зернового состава песка изображают графически в виде кривой просеивания в соответствии с рис. 15.

Местонахождение кривой просеивания относительно кривых 1, 2, 3, 4 определяет применение песка в тяжелых и мелкозернистых бетонах. При несоответствии зернового состава требованиям графика (выхода одной или нескольких точек кривой просеивания за пределы рекомендуемой зоны)

следует применять укрупняющую добавку к мелким пескам – крупный песок, а к крупному песку – добавку, понижающую модуль крупности – мелкий песок.

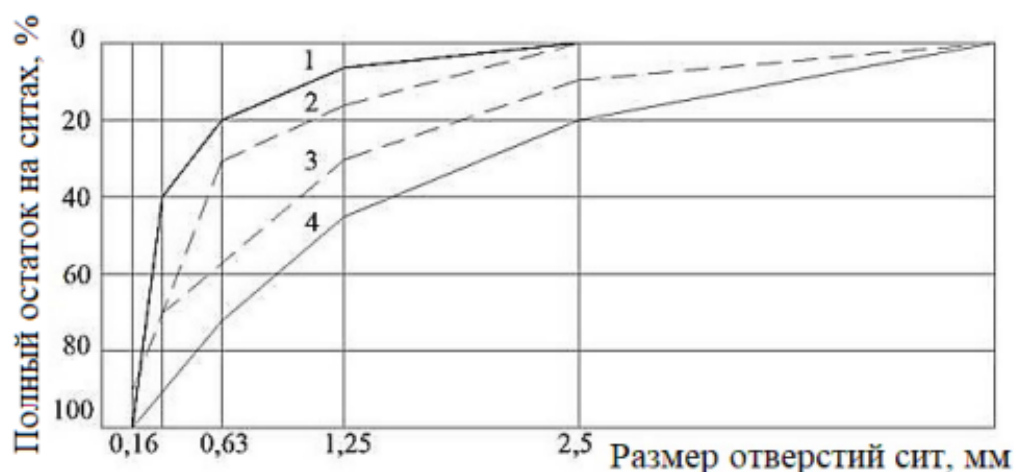


Рисунок 15 – График зернового состава песка%

- 1 – допускаемая нижняя граница крупности песка ($M_k=1,5$);
- 2 – рекомендуемая нижняя граница крупности ($M_k=2,0$) для бетонов класса B15 и выше;
- 3 – рекомендуемая нижняя граница ($M_k=2,5$) для бетонов класса B25 и выше;
- 4 – допускаемая верхняя граница крупности ($M_k=3,25$)

Модуль крупности песков для тяжелых и мелкозернистых бетонов находится в пределах 1,5–3,25, причем для бетонов с прочностью 20 МПа и выше M_k должен быть не менее 2, а прочностью 35 МПа и выше – не менее 2,5.

Работа 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПЫЛЕВИДНЫХ И ГЛИНИСТЫХ ЧАСТИЦ ОТМУЧИВАНИЕМ

Оборудование и материалы: весы, сосуд для отмучивания, сушильный шкаф.

Проведение испытания

Испытание заключается в выделении из навески частиц размером менее 0,05 мм.

- 1) Отвешивают 1 кг песка m и высыпают в сосуд для отмучивания.
- 2) Заливают песок водой так, чтобы высота слоя воды над песком была около 20 см.
- 3) Песок выдерживают в воде около 2 ч, периодически перемешивая.
- 4) После этого содержание сосуда снова энергично перемешивают и оставляют в покое на 2 мин.
- 5) Затем сливают полученную при промывке суспензию. Снова доливают воду в таком количестве, чтобы высота слоя воды над щебнем была 200 мм и продолжают промывку песка в указанной последовательности до тех пор, пока вода после промывки не будет прозрачной.
- 6) Затем промытый песок высушивают до постоянной массы m_1 .

Обработка результатов

Содержание в песке отмучиваемых пылевидных и глинистых частиц $P_{отм}$ в процентах по массе:

$$P_{\text{отм}} = \frac{m_1 - m}{m}, \quad (6.5)$$

где m_1 – масса высушенной навески до отмучивания, г;
 m – масса высушенной навески после отмучивания, г.

Работа 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАЛИЧИЯ В ПРИРОДНОМ ПЕСКЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ

Присутствие в песке органических примесей замедляет схватывание и твердение цемента и тем самым снижает прочность бетона или раствора. Наличие органических примесей (гумусовых кислот) и степень загрязнения ими природного песка устанавливают с помощью метода окрашивания – путем сравнения окраски щелочного раствора над пробой песка с окраской эталона.

Оборудование и материалы: весы; цилиндры стеклянные 250 см³ из прозрачного стекла (внутренний диаметр 36–40 мм); баня водяная; 3 % раствор натрия гидроокись; танин, 2 % раствор в 1 %-ном этаноле.

Проведение испытания

1) Сначала готовят эталонный раствор, растворяя 2,5 мл 2%-ного раствора танина в 97,5 мл 3%-ного раствора гидроксида натрия. Приготовленный раствор перемешивают и оставляют на 24 ч. Цвет полученного раствора принимают за эталон.

2) Песком естественной влажности заполняют мерный цилиндр до уровня 130 мл и заливают его 3% раствором гидроксида натрия до уровня 200 мл.

3) Содержимое цилиндра перемешивают и оставляют на 24 ч, повторив перемешивание через 4 ч после первого перемешивания.

4) В зависимости от количества органических примесей, присутствующих в песке, раствор над песком окрашивается в цвета от желтого до коричневого. Через 24 ч сравнивают окраску жидкости, отстоявшейся над пробой, с цветом эталонного раствора.

4) Песок пригоден для использования в бетонах или растворах, если жидкость над пробой бесцветна или окрашена значительно слабее эталонного раствора. При окраске жидкости незначительно светлее эталонного раствора содержимое сосуда подогревают в течение 2-3 ч на водяной бане при температуре 60–70 °С и сравнивают цвет жидкости над пробой с цветом эталонного раствора. Если цвет жидкости и в этом случае остается светлее эталона, значит, количество органических веществ не превышает допустимого уровня. При окраске жидкости одинаковой или более темной, чем цвет эталона, необходимо проведение дополнительных испытаний в специализированных лабораториях. В этом случае использование песка допускается только после получения положительных результатов испытаний бетона и раствора на долговечность.

Работа 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСТИННОЙ ПЛОТНОСТИ ЗЕРЕН ПЕСКА

Оборудование и материалы: Ступка, колба Ле-Шателье-Кандло (см. рис. 1), весы технические, стеклянная палочка, стеклянный (фарфоровый) стакан, стеклянная воронка, инертная жидкость: вода дистиллированная.

Проведение испытания

- 1) Отвешивают навеску песка массой 75 г.
- 2) Прибор Ле-Шателье (см. рис.1) наполняют водой до нижней нулевой черты, уровень воды определяют по нижнему мениску.
- 3) Навеску песка через воронку прибора всыпают ложечкой небольшими равномерными порциями до тех пор, пока уровень жидкости в приборе, определенный по нижнему мениску, не поднимается до риски с делением 20 см³ (или другим делением в пределах верхней градуированной части прибора).
- 4) Для удаления пузырьков воздуха прибор поворачивают несколько раз вокруг его вертикальной оси.
- 5) Остаток песка, не вошедший в прибор, взвешивают; все взвешивания производят с точностью до 0,01 г. Эксперимент повторить не менее 2-х раз.

Обработка результатов

Истинная плотность зерен песка ρ_m , г/см³

$$\rho = \frac{m - m_1}{V}$$

где m – масса навески песка, г;

m_1 – масса остатка песка, г;

V – объем воды, вытесненный песком, мл.

Расхождение между результатами двух определений плотности не должно быть больше 0,02 г/см³. В случаях больших расхождений производят третье определение и вычисляют среднее арифметическое двух больших определений.

Результаты записывают в таблицу 6.4.

Таблица 6.4 – Результаты испытания песка

Материал	Масса порошка, $m_{1г}$	Остаток порошка после опыта, m_2 , г	Масса порошка в колбе, г	Объем вытесненной жидкости, см ³	Истинная плотность ρ , г/см ³

Работа 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТИ ПЕСКА

Оборудование и материалы: Воронка для определения насыпной плотности, сосуд металлический вместимостью 1 л, совок, исследуемый сыпучий материал, весы, линейка металлическая, технические весы.

Насыпная объемная плотность материала определяется при помощи воронки (рис. 16). Воронка состоит из перевернутого усеченного конуса, который переходит в трубку с задвижкой. Внутри усеченного конуса расположено сито с отверстиями диаметром 2 мм, предохраняющее трубку от

попадания в нее крупных частиц. Под трубкой конуса помещается литровый сосуд. Расстояние между верхним обрезом сосуда и задвижкой равно 50 мм.

Проведение испытания

1) Для определения насыпной плотности в рыхлонасыпанном состоянии взвешивают пустой мерный цилиндр m .

2) В воронку, через сито засыпают сухой песок при закрытой задвижке.

3) Открывают заслонку конуса и заполняют сосуд с избытком.

4) Металлической линейкой срезают излишек материала вровень с краями сосуда (без уплотнения).

5) Сосуд с песком взвешивают m_1 .

6) Для определения насыпной плотности в утрамбованном состоянии. Повторяют эксперимент, уплотняя материал в сосуде, постукиванием 5-6 раз и добавляя новые порции сыпучего материала в сосуд. Сосуд с уплотненным материалом взвешивают.

Определение насыпной плотности сыпучего материала как в рыхлонасыпанном, так и в утрамбованном материал производят по три раза, при этом каждый раз берут новую порцию материала, результат представляют в виде среднеарифметического значения.

Обработка результатов:

Насыпную плотность сыпучего материала (ρ_n) в стандартном (рыхлом) и уплотненном состояниях вычисляют по формуле

$$\rho_n = \frac{m_1 - m_2}{V}, \quad (6.6)$$

где m_2 – масса мерного сосуда, г;

m_1 – масса мерного сосуда с материалом, г;

V – объем сосуда, см³.

Результаты определения насыпной плотности в рыхлом и уплотненном состоянии заносят в табл. 6.5.

Таблица 6.5 – Экспериментальные данные

№ опыта	Масса сосуда m , г	Масса сосуда с материалом m_1 , г	Объем сосуда V , см ³	Плотность ρ , г/см ³	
				Значение	Среднее значение
В рыхлом состоянии					
1					
В уплотненном состоянии					
1					
3					



Рисунок 16 – Воронка для определения насыпной плотности порошкообразных материалов

Работа 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПУСТОТНОСТИ ПЕСКА

Пустотностью (V_n) называется объем пустот между зернами рыхлонасыпного материала, выраженный в долях единицы или в процентах от общего его объема. На практике пустотность лежит в пределах 26,5 – 47,6 %.

На пустотность влияет форма зерен, уровень влажности, температура воздуха, состав зерна, метод отсыпки и даже способ уплотнения.

Пустотность (%) вычисляют по формуле

$$V_n = \left(1 - \frac{\rho_n}{\rho}\right) \cdot 100\%, \quad (6.7)$$

где ρ_n – насыпная плотность материала в рыхло-насыпном состоянии, г/см³;
 ρ – истинная плотность материала, г/см³.

Работа 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ПЕСКА

Оборудование и материалы: весы технические, сушильный шкаф.

Проведение испытания

Навеску массой 1000 г песка насыпают в противень предварительно взвешенный, а затем высушивают при температуре (105±5 °С) в этом же противне до постоянной массы до тех пор, пока разница между результатами двух взвешиваний будет не более 0,1 % массы. Каждое последующее взвешивание производят после высушивания не менее 1 ч и охлаждения не менее 45 мин.

Обработка результатов:

Влажность песка W в процентах вычисляют по формуле

$$W = \frac{m - m_1}{m_1} \cdot 100\%, \quad (6.8)$$

где m – масса навески в состоянии естественной влажности;

m_1 – масса навески в сухом состоянии, г.

Результаты испытаний рассчитывают с точностью до второго знака после запятой.

ВЫВОД. Результаты всех выполненных исследований и вычислений сводятся в табл. 6.6

Таблица 6.6 – Результаты испытания песка

Материал	Модуль крупности, M_k	Содержание пылевидных и глинистых частиц, $P_{отм}, \%$	Средняя плотность зерен, ρ_k , г/см ³	Средняя насыпная плотность, ρ_n , г/см ³	Пустотность, $V_n, \%$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите основные показатели качества песка.
2. Изложите порядок определения зернового состава песка.
3. Дайте определение полных и частных остатков. Напишите расчетные формулы.
4. Приведите расчетную формулу модуля крупности песка и объясните, как устанавливают группу песка по крупности.
5. Опишите методику определения насыпной и истинной плотности песка.
6. Напишите формулу межзерновой пустотности песка.
7. Приведите методику определения наличия в песке органических примесей.
8. Как определяют содержание в песке пылевидных и глинистых частиц?
9. Опишите методику определения содержания глины в комках.
10. Как определяют влажность песка?

Лабораторная работа 7

ИСПЫТАНИЯ КРУПНОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ

I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Щебень из горных пород – минеральный зернистый сыпучий материал с зернами крупностью свыше 5 мм, получаемый чаще всего дроблением горных пород, гравия и валунов и последующим рассевом продуктов дробления.

Гравий из горных пород – минеральный зернистый сыпучий материал с зернами крупностью свыше 5 мм, получаемый рассевом природных гравийно-песчаных смесей. Отличительной особенностью гравия является округлость форм его кусков (окатанность), отсутствие острых граней и малая шероховатость поверхности.

Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ изготавливают в соответствии с требованиями ГОСТ 8267. В качестве крупных заполнителей для тяжелых бетонов щебень и гравий должны отвечать требованиям ГОСТ 26633. Крупный заполнитель в зависимости от предъявляемых к бетону требований выбирают по следующим показателям: зерновому составу и наибольшей крупности, содержанию пылевидных и глинистых частиц, вредных примесей, форме зерен, прочности, содержанию зерен слабых пород, петрографическому составу и радиационно-гигиенической характеристике. При подборе состава бетона учитывают также плотность, пористость, водопоглощение и пустотность заполнителя.

II. ЛАБОРАТОРНАЯ ЧАСТЬ

Подготовка пробы к лабораторным испытаниям

В лаборатории объединенную пробу сокращают методом квартования. Для этого пробу материала высыпают на лист линолеума, перемешивают с помощью металлического совка и собирают в конус. Разравнивают материал тонким слоем, проводят борозды в продольном и поперечном направлении, разделяя материал на четыре квадрата. Из квадратов, находящихся по диагонали (I–III или II–IV) отбирают щебень (гравий).

I	II
IV	III

Работа 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗЕРНОВОГО СОСТАВА ЩЕБНЯ (ГРАВИЯ)

Для определения зернового состава используют метод ситового анализа. Зерновой состав щебня (гравия) характеризуется частными и полными остатками на ситах № 70, 40, 20, 10, 5 и проходом через сито № 5, а также наибольшим диаметром зерен щебня $D_{\text{нб}}$.

Оборудование и материалы: Набор стандартных сит с размерами отверстий сит 70, 40, 20, 10 и 5 мм, весы.

Проведение испытания

1. Взвешивают навеску щебня/гравия 5 кг.

2. Рассеивают навеску ручным способом через набор сит с отверстиями указанных выше размеров, начиная с максимального размера. Окончание просеивания определяют следующим способом: каждое сито интенсивно трясут над листом бумаги. Просеивание считают законченным, если при этом не наблюдается падение зерен щебня (гравия).

3. Остаток на каждом сите взвешивают на весах и заносим в таблицу 7.1.

Обработка результатов

1) По результатам просеивания определяют частный остаток на каждом сите a_i , %, по формуле и заносят в табл 7.1:

$$a_i = \frac{m_i}{m} \cdot 100\%$$

где m_i – масса остатка на данном сите, г;

m – масса пробы, г;

2) Определяют полные остатки на каждом сите в процентах массы пробы, равные сумме частных остатков на данном сите и всех ситах с большими размерами отверстий.

Полные остатки подсчитывают как сумму частных остатков на всех ситах большего размера плюс остаток на данном сите. Результаты заносят в табл. 7.1.

$$A = a_{70} + a_{40} + \dots + a_i,$$

где $a_{70} + a_{40} + \dots + a_i$ – частные остатки на ситах с большим размером отверстий, начиная с сита 70 мм, 40 мм и т. д., %;

a_i – частный остаток на данном сите, %.

Величина полных остатков на ситах возрастает по мере убывания размера отверстий сетки, т. е. величина полного остатка самая малая на верхнем сите и самая большая на нижнем.

Таблица 7.1 – Зерновой состав щебня (гравия).

Остаток	Размеры отверстий сит, мм						Сумма
	70	40	20	10	5	поддон	
Масса m_i , г							
Частный a_i , г							100 %
Полный A_i , %						-	-

3) Устанавливаем наименьшую и наибольшую крупность зерен щебня, т.е d и D . По полным остаткам устанавливают наибольшую и наименьшую крупность зерен щебня.

За *наибольшую крупность* зерен (D) принимают размер отверстий того верхнего сита, на котором полный остаток не превышает 10%, а за *наименьшую крупность* (d) – размер отверстия нижнего сита, полный остаток на котором составляет не менее 90 %.

4) Вычисляют $0,5(D+d)$ и $1,25D$ и записываем в табл. 7.2.

Таблица 7.2 – Пределы зернового состава крупного заполнителя

Номера контрольных сит		Пределы содержания зерен % по ГОСТ 8267-93
формула	мм	
D		0–10
d		90–100
0,5(D+d)		30–80
1,25D		0–0,5

Примечание: 1. Номера контрольных сит 0,5(D+d) и 1,25 D принимаются по ближайшим стандартным размерам сит.

5) Строят зону оптимального зернового состава и наносят полученный зерновой состав в полных остатках на рис. 17.

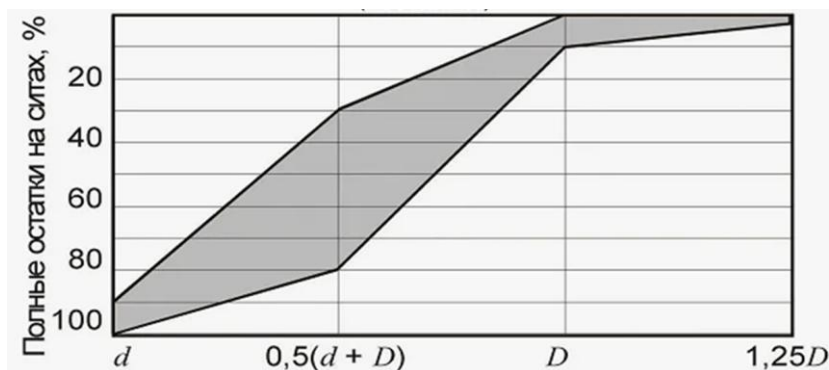


Рисунок 17 – Область зернового состава щебня.

6) Делают вывод о соответствии зернового состава испытываемого щебня требованиям ГОСТ 8267-93.

Работа 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТИ ЩЕБНЯ

Оборудование и материалы: мерный цилиндр емкостью 5 л, совок, линейка, весы.

Проведение испытания

1. Взвешивают пустой цилиндр емкостью 5 л – m_1 , г;
2. Засыпают щебень в цилиндр совком с высоты 10 см до образования конуса над краями, поставив его предварительно на поддон;
3. Излишек щебня срезают линейкой вровень с краями;
4. Взвешивают цилиндр, заполненный щебнем – m_2 , с точностью до 1 г.
5. Опыт повторяют трижды. Результаты измерений и расчетов заносят в лабораторный журнал. За окончательный результат принимают среднее значение 3-х опытов.

Обработка результатов

Насыпную плотность щебня ρ_n вычисляют по формуле

$$\rho_n = \frac{m_1 - m_2}{V},$$

где m_1 – масса мерного цилиндра с заполнителем, г;

m_2 – масса мерного цилиндра, г;

V – объем мерного цилиндра, см³.

Работа 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ

Оборудование и материалы: весы для гидростатического взвешивания, сушильный шкаф, секундомер, набор сит.

Проведение испытания

Среднюю плотность щебня (гравия) определяют путем измерения массы единицы объема кусков зерен щебня (гравия) с использованием весов для гидростатического взвешивания.

Для определения средней плотности зерен щебня (гравия):

- 1) Отвешивают аналитическую пробу массой не менее 2,5 кг.
- 2) Пробу высушивают в сушильном шкафу до постоянной массы при температуре $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$.
- 3) Просеивают через сито с размером отверстий, соответствующим наименьшему номинальному размеру зерен данной фракции щебня (гравия).
- 4) Из остатка на сите отвешивают пробу 1000 г.
- 5) Навеску щебня (гравия) помещают в ведро цилиндрическое, заливают водой комнатной температуры на 2 ч так, чтобы уровень воды в сосуде был выше поверхности щебня (гравия) не менее чем на 20 мм.
- 6) Насыщенную водой пробу щебня (гравия) вынимают из воды, удаляют влагу с поверхности щебня (гравия) мягкой влажной тканью и сразу же взвешивают на весах лабораторных электронных на воздухе, а затем в воде, с помощью устройства для гидростатического взвешивания.

Обработка результатов

Среднюю плотность щебня (гравия) ρ_k , г/см³, определяют по формуле

$$\rho_k = \frac{m}{m_1 - m_2} \cdot \rho_v,$$

где m – масса пробы в сухом состоянии, г;

m_1 – масса пробы в насыщенном водой состоянии на воздухе, г;

m_2 – масса пробы в насыщенном водой состоянии в воде, г;

ρ_v – плотность воды, принимаемая равной 1 г/см³.

За результат принимают среднеарифметическое значение результатов испытания двух параллельных испытаний проб щебня (гравия), при этом расхождение между результатами не должно превышать 0,02 г/см³.

Работа 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПУСТОТНОСТИ ЩЕБНЯ

Пустотность щебня (гравия) определяют расчетным путем на основании предварительно установленных значений средней плотности зерен и насыпной плотности щебня (гравия).

Пустотность щебня (гравия) V_n , % по объему, определяют по формуле

$$V_n = \left(1 - \frac{\rho_n}{\rho_k}\right) \cdot 100\%,$$

где ρ_n – насыпная плотность щебня (гравия), г/см³;

ρ_k – средняя плотность зерен щебня (гравия), г/см³.

Работа 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ЩЕБНЯ

Оборудование и материалы: сушильный шкаф, весы.

Проведение испытания

Влажность щебня (гравия) определяют путем сравнения массы пробы во влажном состоянии и после высушивания.

Для определения влажности щебня:

1) Взвешивают в состоянии естественной влажности (1 кг) m_1 пробы щебня (гравия).

2) Щебень высушивают в сушильном шкафу до постоянной массы при температуре $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$.

3) После высушивания материал в сухом состоянии взвешивают на весах m_2 .

Обработка результатов

Влажность щебня w % по массе вычисляют по формуле

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

где w – влажность щебня, %;

m_1 – масса пробы в состоянии естественной влажности, г;

m_2 – масса пробы в сухом состоянии, г.

Работа 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ В ЩЕБНЕ ПЫЛЕВИДНЫХ И ГЛИНИСТЫХ ЧАСТИЦ

Оборудование и материалы: сосуд для отмучивания, сушильный шкаф, сита.

Проведение испытания

Содержание пылевидных и глинистых частиц в щебне (гравии) определяют по изменению массы пробы после отмучивания пылевидных и глинистых частиц (размер частиц менее 0,05 мм). Сущность метода состоит в том, что указанные частицы, будучи взмучены вместе с щебнем в воде, осаждаются значительно медленнее зерен щебня и легко могут быть от него отделены.

1) Отвешивают 5000 г щебня и высыпают в сосуд для отмучивания.

2) Заливают водой несколько выше уровня щебня и оставляют в таком состоянии до полного размокания глинистой пленки (определяется визуально) на зернах щебня или комков глины, если они имеются в пробе.

3) После этого в сосуд со щебнем (гравием) доливают воду в таком количестве, чтобы высота слоя воды над щебнем была 200 мм. Содержимое сосуда перемешивают деревянной мешалкой, чтобы пылевидные и глинистые частицы образовали суспензию и оставляют в покое на 2 мин.

4) Через 2 мин полученную суспензию осторожно сливают через сита с сетками 1,25 и 0,05. При сливе суспензии необходимо оставляют слой ее над щебнем (гравием) высотой не менее 30 мм.

5) Затем щебень (гравий) вновь заливают водой до указанного выше уровня. Промывку щебня (гравия) в указанной последовательности повторяют до тех пор, пока вода после промывки не будет *оставаться прозрачной*.

6) Воду осторожно сливают.

7) После окончания отмучивания промытую пробу высушивают до постоянной массы.

Обработка результатов

Суммарное содержание в песке пылевидных, глинистых и илистых частиц вычисляют с точностью до 0,1 % по формуле

$$P_{\text{отм}} = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100\%$$

где m_1 – масса пробы до отмучивания, г;

m_2 – масса высушенной пробы после отмучивания, г.

Полученные результаты сравнивают с требованиями по ГОСТ 8267-93.

Работа 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ИГЛОВАТЫХ И ПЛАСТИНЧАТЫХ (ЛЕЩАДНЫХ) ЗЕРЕН

Лещадность – одна из важных характеристик щебня, наличие в щебне гранул пластинчатой и игловатой форм от которой зависят прочность бетона и расход связующего материала. Термин происходит от слова «лещадь» – плоская дощечка или каменная плитка.

К пластинчатым относят гранулы, длина которых более чем в три раза превышает ширину. **К игловатым** – те, длина которых более чем в три раза превышает толщину.

Лещадность выражается в процентах содержания зерен пластинчатой и игловатой формы в общей массе щебня. Различные производственные и строительные процессы требуют нормировать содержание игловатых и пластинчатых зерен в используемом щебне.

По значению показателя лещадности щебень относят к одной из пяти групп по ГОСТ 8267-93:

- I группа – «кубовидный» щебень до 10 % включительно;
- II группа – «улучшенная» от 10 % до 15 % включительно;
- III группа – «обычная» от 15 % до 25 % включительно;
- IV группа – «обычная» от 25 % до 35 % включительно;
- V группа – «обычная» от 35 % до 50 % включительно;

Чем меньше лещадность щебня, тем ближе к кубу форма зерна, такой щебень считается более качественным. При производстве бетона он позволяет экономить связующее, так как даёт возможность провести плотную утрамбовку, с минимальными расстояниями между зернами. Такая экономия связующих компонентов позволяет понизить себестоимость готового изделия. Чем ближе щебень к кубовидному, тем большей прочностью он обладает.

Однако производство кубовидного щебня более затратно и требует высокого качества применяемого дробильного оборудования, что выражается в меньших объемах производства и более высокой стоимости. Кубовидный щебень применяется в производстве бетона для ответственных конструкций и в качестве наполнителя для верхних слоев при строительстве дорог.

Оборудование и материалы: передвижной шаблон или штангенциркуль.

Проведение испытания

Содержание в щебне (гравии) зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм оценивают количеством зерен, толщина которых менее длины в три раза и более.

1) Из лабораторной пробы от каждой фракции испытываемого щебня (гравия) берут аналитические пробы массой:

0,25 кг – для фракции щебня от 5 до 10 мм;

1,0 кг – для фракции щебня св. 10 до 20 мм;

5,0 кг – для фракции щебня св. 20 до 40 мм;

10,0 кг – для фракции щебня св. 40 мм.

2) Аналитическую пробу взвешивают на весах **m**.

3) Пробу щебня, рассыпают на чистом листе бумаги и выбирают зерна, толщина которых визуально меньше длины в три раза и более.

4) Зерна, где визуально не получается определить форму, измеряют штангенциркулем. Измеряемое зерно вкладывают наибольшим размером между губками штангенциркуля, снимают показания, затем меняют положения зерна по наименьшему размеру.

5) По размерам зерна щебня делают вывод о форме зерна.

6) Зерна пластинчатой и игловатой форм взвешивают на весах.

Обработка результатов

Вычисления содержания данных зерен $\Pi_{пл}$ (%) по формуле

$$\Pi_{пл} = \frac{m_1}{m} \cdot 100, \%$$

где m_1 – масса зерен пластинчатой (лещадной) и игловой форм, г;

m – масса пробы, г.

Определяют группу щебня по ГОСТ 8267-93.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите основные показатели качества щебня (гравия).
2. Какие виды крупных заполнителей применяют в бетоне.
3. В чем отличие щебня от гравия?
4. Из каких горных пород и как получают щебень для тяжелого бетона?
5. Дайте определение полных и частных остатков на контрольных ситах.
6. Что принимают за наибольшую и наименьшую крупность щебня (гравия)?
7. В чем отличительный признак зерен игловатой и пластинчатой формы?
8. Что понимается под зерновым составом щебня (гравия)?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 125–2018. Вяжущие гипсовые. Технические условия.
2. ГОСТ 23789–2018. Вяжущие гипсовые. Методы испытаний.
3. ГОСТ 9179–2018. Известь строительная. Технические условия.
4. ГОСТ 22688–2018. Известь строительная. Методы испытаний.
5. ГОСТ 30515–2013. Цементы. Общие технические условия.
6. ГОСТ 31108– 2020. Цементы общестроительные. Технические условия.
7. ГОСТ 10178–85. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия
8. ГОСТ 30744–2001. Цементы. Методы испытаний с использованием полифракционного песка.
9. ГОСТ 310.1–76. Цементы. Методы испытаний. Общие положения (с Изменением № 1).
10. ГОСТ 310.3–76. Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема.
11. ГОСТ 310.4–81. Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии.
12. ГОСТ 8736–2014. Песок для строительных работ. Технические условия
13. ГОСТ 8735-88. Песок для строительных работ. Методы испытаний
14. ГОСТ 31424–2010. Материалы строительные нерудные от отсеков дробления плотных горных пород при производстве щебня. Технические условия
15. ГОСТ 8267–93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия
16. ГОСТ 8269.0–97. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний.
17. Башкатов, Н. Н. Минеральные воздушные вяжущие вещества : учеб. пособие / Н. Н. Башкатов. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2018. — 148 с. — Текст : непосредственный.
18. Строительные материалы : методические указания к лабораторным работам / Б. А. Ефимов, М. Б. Каддо, В. П. Камсков [и др.]. – Москва : Издательство МИСИ–МГСУ, 2019. — URL: https://mgsu.ru/universityabout/Struktura/Kafedri/Str_materialov/teaching-materials/TextbookMaterials080501Lab.pdf (дата обращения 26.11.2024). — Текст : электронный.
19. Строительные материалы и изделия : учебное пособие / В. С. Руднов, Е. В. Владимирова, И. К. Доманская, Е. С. Герасимова ; под общ. ред. И. К. Доманской. - Екатеринбург : Изд-во Уральского ун-та, 2018. - 203 с. — Текст : непосредственный.
20. Широкий, Г. Т. Строительные материалы и изделия : учебное пособие / Г. Т. Широкий, М. Г. Бортницкая, А. И. Сидорова. - Минск : РИПО, 2022. - 403 с. — Текст : непосредственный.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Лабораторная работа № 1. Определение физических свойств строительных материалов	4
Лабораторная работа № 2. Водопоглощение. Влажность	9
Лабораторная работа № 3. Испытания гипсового вяжущего вещества	12
Лабораторная работа № 4. Исследование строительно-технических свойств воздушной извести	21
Лабораторная работа № 5. Определение основных свойств портландцемента	27
Лабораторная работа № 6. Исследование свойств песка	39
Лабораторная работа 7. Испытания крупного заполнителя	48
Список литературы	55

У ч е б н о е и з д а н и е

**Чайка Татьяна Валерьевна
Фролова Мария Александровна
Ткачук Екатерина Владимировна**

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Учебно-методическое пособие

В авторской редакции

Изд. № 161/2024. Объем 3,5 п.л. Усл. печ. л. 3,25. Уч.-изд. л. 3,43.
Издательский центр ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»