

КОМИТЕТ НАРОДНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ
ДОНЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

К лабораторным работам по курсу
"Материалы конструкций подземных сооружений"

ДОНЕЦК ДГТУ 1999

УДК 691.620.1

Методические указания по лабораторным работам по курсу "Материалы конструкций подземных сооружений"./ Сост.: С.В.Борщевский, В.А.Бабичев, В.Ф.Формос, И.В.Купенко – Донецк : ДГТУ, 1999.-30с.

Изложена методика проведения лабораторных работ по испытанию основных строительных материалов, применяемых в подземном строительстве. Даны рекомендации по обработке экспериментальных данных и порядок оформления лабораторных работ.

Методические указания предназначены для студентов всех форм обучения специальностей: 09.03 "Шахтное и подземное строительство", 7.070902 "Инженерная геодезия".

Составители: С.В.Борщевский, ст. преп., В.А.Бабичев, ст.преп.,
В.Ф.Формос, доц., И.В.Купенко, асс.

Ответственный за выпуск: проф. Н.Р.Шевцов

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Для строительства подземных сооружений и шахт используются большие количества различных строительных материалов, среди которых основными являются каменные, органические и неорганические вяжущие, цементные растворы и бетоны, металлы, пластмасса и древесина.

Инженер-шахтостроитель должен быть знаком с номенклатурой шахтостроительных материалов, их свойствами и рациональными областями применения, а также методами их лабораторного контроля, осуществляемого путем испытания образцов контролируемого материала в строительной лаборатории в соответствии с требованиями соответствующих Государственных стандартов (ГОСТ).

Лабораторные работы написаны в соответствии с учебными планами и программами и подобраны так, чтобы время их выполнения не превышало двух часов.

Лабораторные работы проводят подгруппами, численностью до 10-15 учащихся. Для повышения самостоятельности в проведении испытаний подгруппы делят на бригады, при этом необходимо, чтобы каждый студент работал самостоятельно и активно.

К каждой работе имеется краткое теоретическое введение, которое при самостоятельной подготовке позволит лучше подготовиться к выполнению предложенной работы.

В конце каждой работы приведены контрольные вопросы, фиксирующие внимание студентов на наиболее важных моментах изучаемого материала.

Лабораторную работу выполняют после изучения соответствующих теоретических вопросов по предлагаемой литературе.

1. Попов Л.Н. Лабораторный практикум по предмету “Строительные материалы и детали”. – М.: Стройиздат, 1988. – 233 с.

2. Дворкин Л.И. Строительные материалы и изделия. – Практикум. Киев: Висш.шк., 1988. – 160с.

ОБЩИЕ ПРАВИЛА РАБОТЫ В ЛАБОРАТОРИИ

Для успешного выполнения лабораторных работ каждый студент в лаборатории обязан содержать свое место в чистоте и порядке; работать в лаборатории только в халатах. Приступая к работе необходимо ознакомиться с устройством приборов и аппаратов, их принципом действия, знать методы безопасной работы при проведении испытаний. После окончания занятий студенты должны привести в порядок свое рабочее место и использованное лабораторное оборудование.

При испытаниях руководствоваться требованиями ГОСТов и настоящими указаниями.

ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ В ЛАБОРАТОРИИ

1. Помещение лаборатории, лабораторные места и столы общего пользования должны содержаться в порядке и чистоте и быть свободны от ненужных для работы предметов. Каждый работающий в лаборатории должен иметь защитные средства в зависимости от вида работы. (халат, защитные очки, рукавицы, перчатки и др.).

2. Электронагревательные приборы следует проверять каждый раз перед началом занятий и включать в сеть только соответствующего напряжения. Электропровода не должны иметь оголенных мест, контакты должны быть чистыми. Запрещается вытаскивать штепсельные вилки из розеток дерганием за провод.

3. Запрещается оставлять без надзора включенное оборудование и приборы. При обнаружении дефектов в приборах немедленно сообщить преподавателю или ответственному лаборанту. Студентам запрещается устранять неисправности.

4. Под нагревательные приборы должны быть подложены керамические плитки и асбестовый картон.

5. Вблизи нагревательных приборов не должны находиться огнеопасные вещества.

6. В случае короткого замыкания или воспламенения нагревательного материала следует нагревательный прибор немедленно отключить от сети. Место горения накрывают мокрой тряпкой. Огнетушитель применять нельзя.

7. В лабораторной аптечке обязательно должны находиться медикаменты применительно к особенностям выполняемых работ.

8. Запрещается пробовать на вкус какие-либо растворители и соли, а также пить воду из химической посуды.

9. Запрещается загромождать подступы к оборудованию (прессы, вибросито, круг истирания и т.д.).

10. При взвешивании сыпучих веществ категорически запрещается сдвигать излишки, оставленные на весах.

11. После окончания работ в лаборатории необходимо выключить рубильник на главном лабораторном щите.

ПОРЯДОК ОФОРМЛЕНИЯ РАБОТ

В процессе выполнения лабораторных студент должен наблюдать за ходом эксперимента, отмечая все его особенности. Результаты наблюдений записывают в лабораторный журнал в следующей последовательности:

1. Назначение лабораторной работы, дата выполнения.
2. Цель работы.
3. Применяемое оборудование и испытуемый материал.
4. Кратко ход работы с указанием схемы прибора и приведение необходимых формул и графиков.
5. Результаты эксперимента заносятся в таблицу.
6. Выводы о результатах работы.

Записи в лабораторном журнале (в 12-ти листовой тетради) производят шариковой ручкой с синей пастой. Рисунки, графики выполняют карандашом. Значение символов и коэффициентов, входящих в формулу, должны быть приведены под формулой в той последовательности, в какой они приведены в формуле.

В конце занятия студент должен предъявить преподавателю полностью оформленный отчет и защитить его.

1. Физические свойства

Основными физическими характеристиками шахтостроительных материалов являются следующие: истинная плотность, средняя плотность, относительная плотность, пористость, пустотность, влажность, водопоглощение, теплопроводность, морозостойкость, огнестойкость, огнеупорность.

РАБОТА 1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСТИННОЙ ПЛОТНОСТИ МАТЕРИАЛА (ГОСТ 6427-75)

Истинная плотность - это масса единицы объема материала в абсолютно плотном состоянии, т.е. без пор и пустот.

Цель работы - углубить знания о свойствах строительных материалов и ознакомиться с методами определения истинной плотности материала.

Оборудование и материалы. Прибор Ле-Шателье (рисунок 1), весы технические, сушильный шкаф, разновески, ступка стальная, сито с сеткой №0,125, чашка для взвешивания, вода дистиллированная или другая нейтральная жидкость, инертная к испытуемому материалу, фильтровальная бумага, испытуемый материал.

Ход работы. Чтобы получить материал в абсолютно плотном состоянии, т.е. ликвидировать пористость, навеску испытуемого материала около

200 г измельчают в ступке до прохождения через сито № 0,125. Порошок высушивают до постоянной массы в сушильном шкафу при $t = 105-110^{\circ}\text{C}$ и охлаждают до комнатной температуры $+20^{\circ}\text{C}$.

Прибор Ле-Шателье наполняют жидкостью до нижней нулевой черты, причем уровень устанавливают по нижнему мениску. Свободную часть объемметра тщательно осушают фильтровальной бумагой.

От высушенной пробы материала берут навеску 100 г с точностью до 0,01 г и высыпают небольшими порциями в прибор Ле-Шателье (большие порции мешают выходу воздуха и образуют в горлышке пробки) до тех пор, пока уровень жидкости в приборе не достигнет черты с делением 20 см^3 или одного из делений в пределах верхней градуированной части. Перед отсчетом удаляют пузырьки воздуха, попавшего в жидкость вместе с порошком, путем переворачивания прибора в наклонном положении на гладком резиновом коврике в течение 10 мин. После этого производят отсчет уровня жидкости в приборе, который показывает объем порошка, высыпаемого в прибор. По разности масс начальной пробы и остатка (его взвешивают) определяют массу порошка, всыпанного в объемметр.

Истинную плотность ρ , г/см^3 , материала вычисляют по формуле:

$$\rho = 1000 \cdot (m - m_1) / V_a, \quad (1)$$

где m - навеска материала до опыта, г;
 m_1 - остаток от навески, г;
 V_a - объем жидкости, вытесняемой навеской материала (объем порошка в объеммере), см^3 .

Рисунок 1 Объеммер Ле-Шателье

1 - объеммер; 2 - сосуд с водой;
 3 - термометр

Истинную плотность вычисляют с точностью до $0,01\text{ г/см}^3$ как среднее арифметическое двух определений, расхождение между которыми не должно превышать $0,02\text{ г/см}^3$.

Результаты испытаний и вычислений заносят в таблицу по образцу:

Наименование материала	m , г	m_1 , г	$m_{\text{ср}}$, г	V_a , см^3	ρ , г/см^3	$\rho_{\text{ср}}$, г/см^3
------------------------	---------	-----------	---------------------	-----------------------	--------------------------	--------------------------------------

Экспериментальные данные сравнивают с данными, приведенными в таблице 1.

Таблица 1 – Истинная и средняя плотности некоторых строительных материалов

Материал	Истинная плотность, г/см ³	Средняя плотность, г/см ³
Гранит	2800-2900	2600-2700
Кирпич керамический	2600-2800	1600-1900
Песок	2500-2700	1400-1600
Древесина сосны	1500-1600	450-600
Сталь	7850-7900	7800-7850
Гипс строительный	2600-2700	1250-1450
Портландцемент	3050-3150	1400-1700
Цемент	3000-3100	300-1300
Бетон тяжелый	2600-2900	1800-2500

Основываясь на полученных результатах, студент должен сделать вывод в соответствии с целью работы.

Вопросы для самоконтроля. Что называется истинной плотностью? Как определяют истинную плотность? Зачем измельчают материал?

РАБОТА № 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ МАТЕРИАЛОВ (ГОСТ 6427-75)

Средняя плотность - это масса единицы объема материала в естественном состоянии, т.е. с порами и пустотами. Метод определения средней плотности зависит от формы образца материала.

Цель работы - углубить знания о свойствах и знать методы определения средней плотности материала правильной и произвольной формы.

РАБОТА № 2.1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ ОБРАЗЦА ПРАВИЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ (ГОСТ 6427-75)

Оборудование и материалы - штангенциркуль, весы технические, шкаф сушильный, образцы в виде куба и параллелепипеда.

Ход работы. Образцы после изготовления высушивают в сушильном шкафу до постоянной массы при температуре 110⁰С и затем охлаждают до комнатной температуры. Штангенциркулем измеряют с точностью до 0,1 мм каждую грань образцов в трех местах и- по длине, ширине и высоте и за окончательный результат принимают среднее арифметическое трех измерений каждой грани. (Рисунок 2)

Рисунок 2 Порядок измерения образцов

Объем образца, см^3 , вычисляют по формуле:

$$V = a \cdot b \cdot h, \quad (2)$$

где a, b, h – среднее арифметическое измерений, см

После определения объема образец взвешивают и вычисляют среднюю плотность с точностью до $0,01 \text{ г/см}^3$ по формуле:

$$\rho_0 = m / V, \quad (3)$$

где m - масса образца, г ;
 V - объем образца, см^3 .

Результаты опыта заносят в следующую таблицу:

Наименование материала	Размеры, (см)											V см^3	m, г	$\rho, \text{г/см}^3$	$\rho_0^{\text{сп}}, \text{г/см}^3$		
	a ₁	a ₂	a ₃	a	b ₁	b ₂	b ₃	b	h ₁	h ₂	h ₃					h	

Данные эксперимента сравнивают с таблицей 1 и в соответствии с целью работы делают вывод.

**РАБОТА № 2.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ
 ОБРАЗЦА НЕПРАВИЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ
 МЕТОДОМ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ВЗВЕШИВАНИЯ
 (ГОСТ 6427-75)**

Оборудование и материалы. Весы технические с приспособлением для гидростатического взвешивания, шкаф сушильный, стакан стандартный емкостью 1000 мл, баня парафиновая, нить шелковая, образцы, испытуемого материала.

Ход работы: высушенные при $t = 105-110^{\circ}\text{C}$, охлажденные до комнатной температуры образцы пронумеровывают и взвешивают до 0,01 г, парафинируют и опять взвешивают. После парафинирования образец перевязывают нитью, подвешивают к крючку коромысла весов и погружают в стакан с водой так, чтобы образец не касался стенок и определяют массу образца в воде (рисунок 3).

Рисунок 3 Технические весы для гидростатического взвешивания

Среднюю плотность образца ρ_0 , г/см³, вычисляют с точностью до 0,01 г/см³ как среднее арифметическое полученных результатов по формуле:

$$\rho_0 = m / [(m_1 - m_2) / \rho_{\text{в}} - (m_1 - m) / \rho_{\text{п}}], \quad (4)$$

где m - масса сухого образца, г;

m_1 - масса парафинированного образца, г;

m_2 - масса парафинированного образца в воде, г;

$\rho_{\text{в}}$ и $\rho_{\text{п}}$ - плотность воды 1 г/см³ и плотность парафина 0,93 г/см³;

В этой формуле $(m_1 - m_2 / \rho_{\text{в}})$ – объем образца с парафином, см³, численно равный массе воды, вытесненной образцом; $(m_1 - m / \rho_{\text{п}})$ – объем парафина, затраченного на покрытие образца, см³.

Результаты испытаний записывают в следующую таблицу:

Наименование материала	m , г	m_1 , г	m_2 , г	$\rho_{\text{в}}$, г/см ³	$\rho_{\text{п}}$, г/см ³	ρ_0 , г/см ³	$\rho_0^{\text{ср}}$, г/см ³

Данные опыта сравнивают с таблицей 1 и в соответствии с целью работы делают вывод.

Вопросы для самопроверки. Различия между истинной и средней плотностью? Каков принцип геометрических измерений образцов правильной формы? Зачем парафинируют образцы при определении средней плотности? Какова суть метода гидростатического взвешивания?

РАБОТА 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТИ (ГОСТ 8735-75)

Насыпная плотность - это масса единицы объема рыхлонасыщенного материала. При транспортировании и хранении сыпучие материалы уплотняются и их насыпная плотность оказывается на 10-30% выше, чем в рыхлонасыпанном состоянии.

Цель работы - ознакомиться с методом определения насыпной плотности материалов.

Оборудование и материалы. Мерный цилиндр емкостью 1л, весы технические или торговые, шкаф сушильный, линейка металлическая, сито № 5, воронка ЛОВ, совок, средняя проба песка.

Ход работы. Пробы высушивают до постоянной массы при $t=105-110^{\circ}\text{C}$ и просеивают через сито № 5. Взвешивают мерный цилиндр с точностью до 1 г и ставят его под воронку ЛОВ. Выпускное отверстие воронки закрывают задвижкой и насыпают испытуемый материал. После этого открывают задвижку воронки и заполняют с верхом. Закрывают задвижку и металлической линейкой срезают от середины в обе стороны излишек материала вровень с краями цилиндра (рис.4).

Рисунок 4 Стандартная воронка
Затем цилиндр с материалом взвешивают с погрешностью до 1 г. Насыпную плотность материала в рыхлонасыпанном состоянии $\rho_n, \text{г/см}^3$, вычисляют с точностью до $0,01 \text{ г/см}^3$ как среднее арифметическое по формуле:

$$\rho_n = (m_1 - m_2) / V, \quad (5)$$

где m_1 - масса цилиндра с материалом, г;
 m_2 - масса цилиндра без материала, г;
 V - объем цилиндра, см^3 .

Результаты испытаний заносят в таблицу:

Наименование материала	m , г	m_1 , г	V , см^3	ρ_n , г/см^3	$\rho_n^{\text{сп}}$, г/см^3
------------------------	---------	-----------	---------------------	----------------------------	--

Данные опыта сравнивают с насыпной плотностью речного песка $1500-1800 \text{ кг/м}^3$ или горного кварцевого песка $1500-1600 \text{ кг/м}^3$. Обычно пески имеют насыпную плотность более 1200 кг/м^3 .

Вопросы для самопроверки. Что называется насыпной плотностью материала? Для чего просушивают материалы? Можно ли удалять избыток

материала в мерном цилиндре путем его уплотнения? В чем различие между средней и насыпной плотностями?

РАБОТА 5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ, ПОРИСТОСТИ И ПУСТОТНОСТИ

Цель работы – углубить знания о свойствах строительных материалов и ознакомиться с методами определения их плотности, пористости и пустотности.

Оборудование. Калькулятор.

Относительная плотность – это степень заполнения объема материала веществом, из которого состоит данный материал. Выражается она отношением средней плотности к плотности:

$$d = \rho_0 / \rho , \quad (6)$$

где ρ_0 – средняя плотность материала, г/см³;
 ρ – истинная плотность материала, г/см³.

Пористость – это степень заполнения объема материала порами. Пористость вычисляют с точностью до 0,1% по формуле:

$$П_0 = (1 - \rho_0 / \rho) \cdot 100, \quad (7)$$

где ρ_0 - средняя плотность материала, г/см³;
 ρ - истинная плотность материала, г/см³.

Пустотность – это отношение суммарного объема пустот в зернистом материале (песке, гравии, щебне) ко всему объему, занимаемому этим материалом. Пустотность определяется с точностью до 0,1% по формуле:

$$П_{\text{п}} = (1 - \rho_{\text{н}} / \rho) \cdot 100, \quad (8)$$

где $\rho_{\text{н}}$ - насыпная плотность материала, г/см³;
 ρ - истинная плотность материала, г/см³.

Для выполнения этой работы используются данные, полученные в работах 1,2,3,4. По приведенным выше формулам полученные значения относительной плотности, пористости и пустотности заносят в следующую таблицу:

Наименование материала	ρ , г/см ³	ρ_0 , г/см ³	ρ_n , г/см ³	d, %	Π_0 , %	Π_n , %
------------------------	----------------------------	------------------------------	------------------------------	------	-------------	-------------

Пористость в значительной степени определяет эксплуатационные свойства материалов, поэтому в работе следует данные испытаний сравнить с известными значениями пористости, которые, например, для стали составляют 0%, кирпича – 25-40%, обычного тяжелого бетона – 5-10%, газобетона – 55-85%.

В соответствии с темой работы и полученными результатами студент должен сделать вывод.

Вопросы для самопроверки. Что такое пористость, относительная плотность, пустотность?

РАБОТА 6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ МАТЕРИАЛА (ГОСТ 7025-78)

Влажность – это отношение массы воды, содержащейся в данный момент в порах и на поверхности материала, к массе его в сухом состоянии.

Цель работы – Углубить знания о свойствах строительных материалов и ознакомиться с методами определения их влажности.

Оборудование и материалы. Сушильный шкаф, бюксы, весы товарные и технические, испытуемый материал.

Ход работы. Образцы плотного (кирпич) или сыпучего (песок) материала в естественном влажном состоянии помещают в заранее взвешенные бюксы и взвешивают. Затем их устанавливают в сушильный шкаф и высушивают до постоянной массы. После этого бюксы с высушенными образцами охлаждают до комнатной температуры и опять взвешивают. Влажность вычисляют с точностью до 0,1% по формуле:

$$W = [(m - m_1) / m_1] \cdot 100, \quad (9)$$

где m – масса материала в естественном влажном состоянии (в данный момент), г;

m_1 – масса сухого материала, г.

Результаты испытаний и вычислений заносят в следующую таблицу:

Наименование материала	m , г	m_1 , г	W, %
------------------------	---------	-----------	------

Вывод: влажность образца%.

Вопросы для самопроверки. Что называется влажностью? Можно ли считать постоянной массу материала, если результаты двух последних измерений массы в процессе сушки будут одинаковые?

РАБОТА 7 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОПОГЛОЩЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ (ГОСТ 7025-78)

Водопоглощение – это свойство материала впитывать и удерживать в своих порах воду при непосредственном соприкосновении с ней.

Цель работы – ознакомиться с методом определения водопоглощения материала.

Оборудование и материалы. Шкаф сушильный, весы технические, сосуд с водой, нагревательные приборы, образцы испытуемого материала в соответствии с ГОСТом.

Ход работы. Образцы просушивают до постоянной массы, охлаждают до комнатной температуры и погружают в воду так, чтобы уровень воды в сосуде был выше образца не менее 20 и не более 100 мм. Образцы удерживают в воде в течение 48 часов. После этого их вынимают из воды, обтирают влажной тряпкой и взвешивают с точностью до 0,01 г.

Водопоглощение по массе V_m и по объему $V_{об}$ вычисляют с точностью до 0,1% по формулам:

$$V_m = [(m_1 - m) / m] \cdot 100; V_{об} = [(m_1 - m) / V] \cdot 100, \quad (10)$$

где m – масса сухого образца, г;

m_1 – масса водонасыщенного образца, г.

V – объем сухого образца, см³.

Водопоглощение вычисляют как среднее арифметическое результатов испытаний всех образцов и заносят в следующую таблицу:

Наименование материала	m, г	m ₁ , г	V, см ³	V _m , %	V _m ^{ср} , %	V _{об} , %	V _{об} ^{ср} , %

При необходимости перехода от одного вида водопоглощения к другому пользуются формулой:

$$V_{об} = V_m \cdot \rho_0 \quad (11)$$

Данные испытаний следует сравнивать с известными значениями водопоглощаемости, которые, например, для гранита составляют 0,1-0,5%, песчаников 0,2-18%, кирпича – не менее 8%, керамических плиток – до 4%.

По результатам испытаний и в соответствии с целью работы следует сделать вывод.

Вопросы для самопроверки. Что такое водопоглощение? Как определяется водопоглощение? Какое влияние оказывает пористость на водопоглощение?

2. Механические свойства

Основными механическими свойствами строительных материалов являются прочность, сопротивление удару, истираемость.

РАБОТА 8 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ МАТЕРИАЛОВ (ГОСТ 8462-85)

Прочность – это свойство материала сопротивляться разрушению под действием внутренних напряжений (сжатие, изгиб, срез и др.), возникающих от внешних нагрузок.

Прочность материалов характеризуется в основном пределом прочности при сжатии и изгибе, ее определяют путем испытания образцов в лаборатории на гидравлических прессах.

Цель работы - освоить методику определения прочностных свойств материалов.

8.1 Прочность при сжатии

Оборудование и материалы. Гидравлический пресс, совок, щетка, испытываемые образцы (куб, параллелепипед).

Ход работы. Приготовленные образцы осматривают, проверяя отсутствие дефектов, так как они снижают прочность. Верхнюю и нижнюю грани образцов, соприкасающихся с плитами, пресса тщательно выравнивают, подмазывая раковины и трещины гипсовым тестом. Образцы замеряют с точностью до 0,1 мм и вычисляют площадь рабочего сечения. После этого образец устанавливают на нижнюю опорную плиту пресса точно по ее центру, а верхнюю плиту винтом опускают на образец и закрепляют его между двумя опорными плитами. Проверив правильность установки образца включают пресс и дают на образец возрастающую нагрузку, при этом внимательно следят за показаниями стрелки. Момент разрушения образца устанавливают по началу обратного движения стрелки силоизмерителя при действии нагру-

жающего устройства. Предельную разрушающую нагрузку устанавливают по положению фиксирующей стрелки на шкале силоизмерителя. Схема испытания приведена на рис.5.

Рисунок 5 Схема испытания образца на сжатие

Предел прочности при сжатии вычисляют с точностью до 0,1 МПа по формуле:

$$\sigma_{сж} = F / A, \quad (12)$$

где F – разрушающая сила, Н;

A – площадь рабочего сечения образца, м².

Предел прочности при сжатии определяется как среднеарифметическое значение результатов испытаний всех образцов; данные испытаний заносят в таблицу:

Наименование материалов	F, Н	A, м ²	$\sigma_{сж}$, Н/м ²	$\sigma_{сж}^{cp}$, Н/м ²
-------------------------	------	-------------------	----------------------------------	---------------------------------------

Результаты опытов сравнивают с ГОСТом на данный материал.

Выводы: предел прочности при сжатии материала _____ МПа.

8.2 Прочность при изгибе

Оборудование и материалы. Гидравлический пресс, совок, щетка, приспособление для испытания на изгиб, испытываемые образцы.

Ход работы. Образцы осматривают и при наличии допустимых трещин ориентируют перед испытанием так, чтобы трещины располагались в растянутой зоне (внизу). Верхняя и нижняя грани образцов должны быть плоскими и параллельными. Образцы размещают тремя линиями, где первая – фиксирует положение рабочего сечения, две другие параллельные ей – фиксируют слева и справа от рабочего сечения величину расчетного пролета, который определяется стандартами на испытываемый материал. Схема разметки испытания образца на изгиб представлена на рис. 6.

Рисунок 6 Схема испытания образца на изгиб

Предел прочности при изгибе вычисляют с точностью до 0,1 МПа по формуле:

$$\sigma_{и} = 3 \cdot F \cdot l / 2 \cdot b \cdot h^2, \quad (13)$$

где F – разрушающая сила, Н;
 l – расстояние между опорами, м;
 b – ширина рабочего сечения, м;
 h – высота рабочего сечения, м.

Предел прочности при изгибе принимают как среднеарифметическое значения результатов всех испытаний. Данные испытаний заносят в таблицу:

Наименование материала	F, Н	Размеры, м			$\sigma_{и}$, МПа	$\sigma_{и}^{cp}$, МПа
		l	b	h		

Выводы: предел прочности при изгибе материала _____ МПа.

Вопросы для самопроверки. Что называется пределом прочности при сжатии и при изгибе? Как правильно устанавливать образцы в пресс при испытании на сжатие и на изгиб?

РАБОТА 9 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ УДАРУ

Сопротивление удару – это способность материала противостоять ударным (динамическим) воздействиям.

Цель работы – научить студентов определять сопротивление удару.

Оборудование и материалы. Капер лабораторный (рис.7), штангенциркуль, щетка, совок, цилиндрические образцы высотой 25 мм.

Ход работы. Образцы нумеруют и измеряют, результаты заносят в лабораторный журнал. Образец ставят на наковальню копра и наносят удары по образцу бабой, высоту падения которой увеличивают каждый раз на 1 см. первый удар наносят с высоты 1 см. Испытания продолжают до появления в образце первой трещины. После этого образец убирают, а капер готовят к испытанию следующего образца и т.д.

Сопротивление удару характеризуется работой, затраченной на разрушение образца, отнесенной к 1 м³, МДж/м³. Подсчет ведется по формуле:

$$A = [10 \cdot m \cdot (1+2+3+\dots+n)] / V, \quad (14)$$

где m – масса груза, кг;

n – порядковый номер удара, при котором образец разрушается; численно равный высоте падения груза, см;

V – объем образца, см³;

10 – коэффициент пересчета.

Показателем сопротивления удару (СП) служит порядковый номер удара, предшествующий разрушению. Например, первая трещина появилась после 24-го удара с высоты 24 см, то считают, что СП материала равно 23. По сопротивлению удару каменные материалы делят на группы: очень хрупкие (СП менее 2), хрупкие (2-5), вязкие (6-10), очень вязкие (более 10).

Данные испытаний и расчетов заносят в таблицу:

Наименование материала	Размеры образца, см		V_2 , см ³	n, см	m, кг	A, МДж / м ³
	диаметр	высота				

Вывод: сопротивление материала удару _____ МДж/м³.

Вопросы для самопроверки. Что такое СП? Как определяется сопротивление удару.

РАБОТА 10 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСТИРАЕМОСТИ МАТЕРИАЛОВ (ГОСТ 11529-86)

Истираемость – это стойкость материалов к абразивному износу.

Цель работы – научить студентов определять истираемость материалов.

Оборудование и материалы. Прибор ЛКИ-3 (рисунок), весы технические, песок кварцевый, испытуемые образцы.

Ход работы. Образцы высушивают и взвешивают с точностью до 0,1 г. На поверхность круга истирания равномерным слоем насыпают 20 г кварцевого песка. Образцы укладывают на диск лицевой поверхностью и прижимают грузом из расчета 0,06 Мпа (0,6 кг/см²). Затем включают привод круга и через 28 оборотов диска (30 м пути истирания) прибор останавливают, образец очищают от пыли, поворачивают на 90° и повторяют цикл испытания. Указанную операцию проводят 5 раз, то есть общая длина пути истирания должна составлять 150 м, а расход песка – 100 г.

После испытания образец очищают от пыли, взвешивают и вычисляют потерю массы, кг/м², по формуле:

$$\Delta m = (m_1 - m_2) / A \quad (15)$$

Где m_1 – масса образца до испытания, г;
 m_2 – масса образца после испытания, г;
 A – площадь плитки, см².

За потерю массы при истирании принимают среднеарифметическое значение результатов испытаний всех образцов. Потеря массы при истирании не должна превышать $0,07 \text{ г/см}^2$.

Данные испытаний заносят в таблицу:

Наименование материала	m_1 , г	m_2 , г	A , см^2	Δm , г/см^2
------------------------	-----------	-----------	---------------------	------------------------------

Вывод: степень истираемости материала _____ кг/м^2 (по ГОСТу _____).

Вопросы для самопроверки Как определяют истираемость? Каков принцип установки грузов на образцы?

3.Керамические материалы

Керамическими называют искусственные каменные материалы, получаемые из глиняных масс путем формирования, сушки и последующего обжига. После обжига керамические материалы приобретают значительную прочность, водостойкость, морозостойкость и т.д.

РАБОТА № 11 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАРКИ КИРПИЧА (ГОСТ 8462-85)

Марку кирпича определяют по пределу прочности при сжатии и изгибе подготовленных и испытанных на гидравлическом прессе образцов.

Цель работы – научить студентов определять марку кирпича.

Оборудование и материалы. Пресс гидравлический, пластины стеклянные, металлическая линейка, станок для распиловки материалов, опора в виде цилиндрических катков диаметром 20-30 мм, чаша для цементного раствора, лопатка, бумага оберточная, цемент № 400, песок, образцы кирпича.

Ход работы. Предел прочности при сжатии определяют следующим образом. Кирпичи распиливают на две равные части так, чтобы из половинок изготовить образцы кубовидной формы (рисунок 9).

Приготавливают раствор из равных по массе частей: цемента марки 400 и песка, просеянного через сито № 1,25 ($V/C = 0,4 / 0,42$). Половинки полностью погружают в воду на 1 минуту. Для склейки половинок на горизонтальную плоскость кладут стекло, покрытое смоченной бумагой и по бумаге расстилают приготовленный раствор слоем 3 мм.

Затем одну половинку кирпича укладывают на раствор и слегка прижимают, а верх половинки покрывают этим же раствором и укладывают на него слегка прижимая вторую половинку так, чтобы поверхности распила

были направлены в противоположные стороны, при этом толщина слоя между половинками должна быть не более 5 мм. Верхнюю часть второй половинки также покрывают раствором толщиной 3 мм и прижимают стеклом со смоченной бумагой. Излишки раствора срезают и края слоев выравнивают линейкой. В таком положении образец переворачивают на другую опорную поверхность образца. Отклонение от параллельности выравненных опорных плоскостей не должно превышать 2 мм. Готовые образцы до испытания 3 суток выдерживают в лаборатории для затвердевания раствора при температуре 20°C и относительной влажности воздуха 60-80%, после чего их испытывают на сжатие.

Перед испытанием определяют площадь поперечного сечения образца, равную произведению двух взаимно перпендикулярных сторон по плоскости склейки половинок кирпича. При этом каждую сторону вычисляют как среднеарифметическую величину двух измерений (точность измерений 1 мм) противоположащих сторон.

Образец устанавливают в центре нижней плиты прессы и прижимают верхней плитой, доводя его до разрушения. Значение разрушающего усилия фиксируют по стрелке. Предел прочности при сжатии вычисляют с точностью до 0,1 МПа по формуле (12).

Результаты испытаний заносят в следующую таблицу:

Наименование материала	F, Н	A, м ²	$\sigma_{сж}$, МПа	$\sigma_{сж}^{cp}$, МПа
------------------------	------	-------------------	---------------------	--------------------------

Предел прочности при изгибе определяют путем испытаний на прессе целого кирпича, уложенного плашмя на две опоры, расположенные на расстоянии 200 мм друг от друга (рисунок 10).

Нагрузку прикладывают в середине пролета. Для более плотного и правильного прилегания образца к опорам на кирпиче по уровню наносят три полоски шириной 2-3 см; две – в местах опирания на нижние опоры, одну под опору, передающую нагрузку. Если в кирпиче имеются трещины, то полоски располагают так, чтобы при испытании самые значительные трещины оказались на нижней грани образца.

Подготовленные образцы выдерживают в лаборатории 3 суток для затвердевания цементного теста. Перед испытанием измеряют размеры поперечного сечения кирпича по середине пролета (между опорами) с точностью до 1 мм. Предел прочности при изгибе вычисляют с точностью до 0,05 МПа по формуле (13).

Результаты испытаний записывают в следующую таблицу:

Наименование материала	F, Н	Размеры, м			$\sigma_{и}$, МПа	$\sigma_{и}^{ср}$, МПа
		l	b	h		

По результатам испытаний при сжатии и изгибе устанавливают марку кирпича, сравнивая полученные данные с требованиями стандарта.

Вывод: По результатам испытаний установлена следующая марка кирпича _____.

Вопросы для самопроверки. Для чего выравнивают поверхность кирпича цементным раствором? Как определяется марка кирпича?

РАБОТА № 12 ВОДОПОГЛОЩЕНИЕ (ГОСТ 7025-78)

Оборудование и материалы. Шкаф сушильный, весы технические, сосуд с деревянной решеткой, образцы кирпича.

Ход работы. Образцы кирпича высушивают до постоянной массы, охлаждают и взвешивают. Затем их укладывают в сосуд с водой температурой 15-20°C в один ряд на решетку так, чтобы уровень воды в нем был выше верха образцов на 2-10 см. Образцы выдерживают в воде в течение 48 часов, после чего их вынимают из сосуда, обтирают влажной тканью и немедленно взвешивают. Водопоглощение по массе в процентах вычисляют по формуле 10. Водопоглощение кирпича должно быть для полнотелого кирпича не менее 8%, для пустотелого – не менее 6%.

Вывод: Водопоглощение кирпича составляет _____%.

4. Минеральные вяжущие вещества

РАБОТА № 13 ТВЕРДОСТЬ ПОМОЛА ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО ВЕЩЕСТВА (ГОСТ 23789-79)

По степени помола гипсовые вяжущие делят на три степени: I, II, III. Максимальный остаток на сите с размерами ячеек в свету 0,2 мм не должен превышать, %: для вяжущих грубого помола – 23 (I степень), среднего помола – 14 (II степень), тонкого помола – 2 (III степень).

Цель работы – ознакомление с методом определения тонкости помола гипсового вяжущего вещества.

Оборудование и материалы. Шкаф сушильный, весы технические, прибор для механического просеивания, сито с сеткой № 02, испытуемый гипс.

Ход работы. Отвешивают с точностью до 0,1 г навеску гипса в количестве 50 г, предварительно высушенного в течение 1 ч при температуре 50-

55°С, после чего ее высыпают на сито № 02, и закрыв крышку устанавливают сито в прибор для механического просеивания (рисунок 11). Через 5-7 мин. от начала просеивания прибор останавливают, осторожно снимают поддон сита и высыпают из него прошедший сквозь сито гипс. Для контроля гипс следует просеять на бумагу вручную при снятом поддоне. Просеивание гипса считают окончанным, если в течение 1 мин. сквозь сито проходит не более 0,05 г гипса.

Тонкость помола гипса вычисляют с точностью до 0,1% по формуле:

$$T = 100 \cdot m_1 / m, \quad (16)$$

Где m – масса пробы гипса, г;
 m_1 – остаток гипса на сите после просеивания, г.

Результаты заносятся в таблицу:

Наименование материала	m , г	m_1 , г	T , %
------------------------	---------	-----------	---------

Вывод: по тонкости помола гипсовое вяжущее относится к ____ виду.

Вопросы для самопроверки: В каких единицах измеряется тонкость помола? Для чего высушивают гипс?

РАБОТА № 14 НОРМАЛЬНАЯ ГУСТОТА ГИПСОВОГО ТЕСТА (ГОСТ 23789-79)

Для изготовления изделий из гипсовых вяжущих применяют тесто нормальной густоты. Поэтому метод определения консистенции гипсового теста основан на его способности растекаться под действием силы тяжести.

Цель работы – определение нормальной густоты гипсового теста.

Оборудование и материалы. Вискозиметр Суттарда (рисунок 12), сушильный шкаф, чаша для затворения, лопатка, секундомер, вода, гипс.

Ход работы. Перед испытанием цилиндр и стеклянную пластинку смачивают водой, цилиндр ставят в центре концентрических окружностей.

Навеску гипса, равную 300 г, смешивают в чаше с 50-70% (150-210 мл) воды от массы навески, причем сначала в чашу вливают воду, а затем в течение 2-5 сек. всыпают отвешенный гипс, одновременно включая секундомер быстро выливают смесь в цилиндр и лопаткой сравнивают поверхность гипсового теста с краями цилиндра. Через 45 сек. от начала всыпания гипса в воду или через 15 сек. после окончания перемешивания цилиндр быстро поднимают строго вертикально на 15-20 мм и отводят в сторону. Ука-

занные ограничения во времени следует строго соблюдать, так как вязкость гипсового теста быстро возрастает во времени и нарушение продолжительности перемешивания и последующих операций опыта дает искаженные результаты испытания. После поднятия цилиндра гипсовое тесто разливается на стекле в лепешку (рисунок 12). Полученная на стекле лепешка из гипсового теста нормальной густоты должна иметь диаметр 180 ± 5 миллиметров. Диаметр расплыва определяют по концентрическим окружностям или измеряют линейкой в двух перпендикулярных направлениях с погрешностью не более 5 мм и вычисляют среднее арифметическое значение. Средний диаметр расплыва характеризует нормальную густоту гипсового теста. Если диаметр расплыва теста не соответствует 180 ± 5 мм, испытания повторяют с измененным количеством воды на 1-2%.

Нормальную густоту гипсового теста выражают числом миллиметров воды, приходящихся на 100 г гипса. Результаты полученных измерений записывают в следующую таблицу:

Наименование материала	Навеска гипса, г	Диаметр лепешки, см	Количество воды, %
------------------------	------------------	---------------------	--------------------

Вывод: нормальная густота гипсового теста _____ %.

Вопросы для самопроверки: В каких единицах измеряется нормальная густота? На чем основан метод определения консистенции гипсового теста?

РАБОТА № 15 СРОКИ СХВАТЫВАНИЯ ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО (ГОСТ 23789-79)

В зависимости от сроков схватывания различают следующие виды гипсового вяжущего: А – быстротвердеющий – начало схватывания от момента затворения водой не ранее 2 мин. и не позднее 15 мин; Б – нормальнотвердеющий – начало схватывания не ранее 6 и не позднее 30 мин; В – медленнотвердеющий – начало схватывания – не ранее 20 мин. и конец схватывания не нормируется.

Цель работы – определение сроков схватывания гипсового теста.

Оборудование и материалы. Прибор Вика (рисунок 13), секундомер, нож.

Ход работы. Кольцо и пластинку прибора перед началом испытания смазывают тонким слоем машинного масла.

Данную работу выполняют совместно с предыдущей (Работа № 14).

Полученное в работе № 14 нормальной густоты гипсовое тесто в течение 5-7 сек. выливают в кольцо прибора, установленное на стекле. Для удаления попавшего в гипсовое тесто воздуха кольцо с пластиной 4-5 раз

встряхивают, поднимая и спуская одну из сторон пластинки на 10 мм. Затем излишек теста срезают ножом, одновременно заглаживая его поверхность, после чего пластинку с кольцом помещают под иглу прибора. Далее иглу приводят в соприкосновение с поверхностью теста в центре кольца и закрепляют стержень зажимным винтом. Затем иглу через каждые 30 сек. опускают в тесто так, чтобы она каждый раз погружалась в новое место. После каждого погружения иглу тщательно вытирают. Глубину погружения иглы в тесто фиксируют по показанию стрелки, расположенной на подвижном стержне, и ее значение записывают в таблицу:

№ Опыта	Время, мин.	Показания иглы, мм
---------	-------------	--------------------

По полученным значениям определяют начало и конец схватывания.

Начало схватывания определяется числом минут, прошедших с момента всыпания гипса в воду (в работе № 14) до момента, когда игла при погружении впервые не дойдет до дна пластинки. Конец схватывания – промежуток времени от начала всыпания гипса в воду до момента, когда игла погружится в тесто не более чем на 1 мм.

Вывод: по срокам схватывания гипсовое тесто относится к виду ____, так как: Начало схватывания через _____ мин. Конец схватывания через _____ мин.

Вопросы для самопроверки. Какие виды гипсовых вяжущих различают по срокам схватывания? Что означают показания иглы прибора Вика?

РАБОТА № 16 МАРКИ ГИПСОВЫХ ВЯЖУЩИХ (ГОСТ 23789-79)

Минимальные пределы прочности при изгибе, МПа, образцов-балочек размером 40x40x160 мм в возрасте 2 ч должны составлять для марок: Г2 – 1,2; Г3 – 1,8; Г4 – 2,0; Г5 – 2,5; Г6 – 3,0; Г7 – 3,5; Г8 – 3,7; Г10 – 4,5; Г13 – 5,5; Г16 – 6,0; Г19 – 6,5; Г22 – 7,0; Г25 – 8,0, а пределы прочности при сжатии образцов половинок должны быть не менее чем в названии марки (например, Г13 – 13 МПа).

Цель работы – определение предела прочности гипса при изгибе и сжатии.

Оборудование и материалы. Весы торговые с разновесками, мерный цилиндр, ручная мешалка, чашка, формы для изготовления образцов балочек размерами 40x40x160 мм, нажимные пластины, пресс лабораторный мощностью не более 15 тс, прибор МИИ-100, нож секундомер, вода, машинное масло, гипсовое вяжущее.

Ход работы. Для изготовления образцов отвешивают 1 кг вяжущего, которое в течение 5-20 сек. засыпают в чашку с водой, взятой в количестве, необходимом для получения теста стандартной консистенции. После засыпания вяжущего смесь интенсивно перемешивается в течение 60 сек. до полу-

чения однородного теста, которым заполняют форму, предварительно смазанную машинным маслом. Отсеки формы заполняют одновременно, для чего чашку с гипсовым тестом равномерно водят над формами, заливают массу тонкой струей. Когда форма наполнится поверхность массы сглаживают. Для удаления воздуха наполненную форму 5 раз встряхивают. После наступления начала схватывания излишки гипсового теста снимают ножом. Через 15 мин после конца схватывания гипса образцы извлекают из формы, маркируют и хранят в помещении для испытаний. Образцы испытывают на изгиб через 2 ч после начала перемешивания вяжущего с водой.

Для проведения испытания образец устанавливают на опоры так, чтобы грани, полученные при изготовлении гладкими, (боковые грани образцов, прилегающие к стенкам форм) были обращены к плитам пресса.

Предел прочности при изгибе вычисляют в МПа по формуле:

$$\sigma_{изг} = 0,234 F \quad (17)$$

где F – разрушающая нагрузка, Н.

Предел прочности при изгибе вычисляют как среднее арифметическое результатов трех испытаний.

Схема испытания образца на изгиб показана на рисунке 6.

Полученные после испытания на изгиб шесть половинок балочек сразу же подвергают испытанию на сжатие. Для этого образцы помещают между двумя пластинами (рисунок 14) 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. Образец вместе с пластинами снимают с пресса только после того, как опыт завершен, то есть до первого появления трещины на образце.

Предел прочности при сжатии одного образца определяют с точностью до 0,1 МПа по формуле 12. В этой формуле площадь рабочего сечения образца принимается равной рабочей площади пластин размером 40x62,5 мм (25 см²). За окончательный результат принимают среднее арифметическое из четырех наибольших результатов испытаний шести образцов-половинок.

Результаты определения пределов прочности образцов при изгибе и сжатии заносятся в таблицу:

Наименование материала	При изгибе			При сжатии			
	F, Н	$\sigma_{и}$, МПа	$\sigma_{и}^{cp}$, МПа	F, Н	A, м ²	$\sigma_{сж}$, МПа	$\sigma_{сж}^{cp}$, МПа

Результаты опыта сравнивают с ГОСТом на данный материал.

Вывод: предел прочности при изгибе ___ МПа, при сжатии ___ МПа.

Вопросы для самопроверки: Почему сроки схватывания гипса определяют на тесте нормальной густоты? Как изменится результат испытаний, если тесто будет содержать повышенное или уменьшенное количество воды? Через какое время после затворения испытывают гипсовые образцы на прочность? Как изменится прочность гипсовых образцов, если проводить испытание через 2 ч, 24 ч, 7 сут и 1 мес?

РАБОТА № 17 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОНКОСТИ ПОМОЛА ЦЕМЕНТА (ГОСТ 310.2-76)

Тонкость помола цемента должна быть такой, чтобы при просеивании пробы через сито № 008 проходило не менее 85% массы просеиваемой пробы, то есть 85% зерен пробы должны иметь размер менее 80 мкм. При увеличении тонкости помола цемента повышается скорость его твердения.

Цель работы – определение тонкости помола цемента.

Оборудование и материалы: Сито с сеткой № 008, шкаф сушильный, весы технические с разновесом, прибор для механического просеивания, испытуемый цемент. Ситовой анализатор показан на рис. 11.

Ход работы. Отвешивают с точностью до 0,05 г 50 г цемента, предварительно высушенного в течение 2 ч при температуре 105-110°C, после чего высыпают на сито. Через 5-7 мин от начала просеивания прибор останавливают, осторожно снимают поддон сита и высыпают прошедший через сито цемент. Чтобы сетка меньше забивалась при дальнейшем просеивании ее прочищают с нижней стороны мягкой кистью, затем вставляют поддон и продолжают просеивание. Контрольное просеивание производят на бумагу при снятом доньшке при снятом доньшке. Просеивание считается законченным, если сквозь сито в течение 1 мин при ручном просеивании проходит не более 0,05 г цемента.

Тонкость помола цемента вычисляют с точностью до 0,1% по формуле 16. Результаты опыта заносятся в таблицу:

Наименование материала	m, г	m ₁ , г	T, %
------------------------	------	--------------------	------

Вывод: цемент удовлетворяет (не удовлетворяет) требованиям ГОСТа по тонкости помола (ГОСТ 10178-76).

Вопросы для самопроверки. Каковы требования стандарта к тонкости помола цемента? Как производится контрольное просеивание?

РАБОТА № 18 НОРМАЛЬНАЯ ГУСТОТА ЦЕМЕНТНОГО ТЕСТА (ГОСТ 310.3-76)

Определение нормальной густоты цементного теста сводится к установлению количества воды затворения (в процентах от массы взятого цемента), необходимой для придания цементному тесту определенной (условной) степени пластичности.

Цель работы – определение нормальной густоты цементного теста.

Оборудование и материалы. Прибор Вика с пестиком Тетмайера, весы технические с разновесом, чаша для затворения и лопатка для перемешивания, мерный цилиндр, секундомер, нож, ветошь, машинное масло, вода, испытуемый цемент.

Ход работы. Перед началом опыта проверяют свободное падение стержня прибора, чистоту пестика, положение стрелки на шкале прибора, которая должна стоять на нуле при соприкосновении пестика со стеклянной пластиной, смазывают кольцо и пластину тонким слоем машинного масла.

Для приготовления цементного теста берут 400 г цемента и высыпают его в чашу, предварительно протертую влажной тканью. В цементе делают углубление, в которое за один прием вливают предварительно отмеренную воду в количестве 25-26% от массы цемента (100 мл). Воду отмеряют с погрешностью не более 0,5 мл. Углубление, в которое была налита вода, заполняют цементом с помощью лопатки и через 30 сек после этого осторожно перемешивают, а затем энергично растирают тесто лопаткой во взаимно перпендикулярных направлениях, периодически поворачивая чашу на 90°. Продолжительность перемешивания и растирания с момента затворения водой – 5 мин.

Готовое цементное в один прием укладывают в кольцо, установленное на стеклянной пластине, и 5-6 раз встряхивают его, постукивая пластину о поверхность стола. Избыток теста срезают увлажненным ножом. Затем кольцо на стеклянной пластине ставят под стержень прибора и пестик приводят в соприкосновение теста в центре кольца, закрепляя пестик в таком положении зажимным винтом. После этого быстро отвинчивают зажимной винт и стержень вместе с пестиком свободно погружается в тесто. Через 30 сек с момента освобождения стержня фиксируют глубину погружения пестика по шкале прибора.

Густота цементного теста считается нормальной, если пестик не доходит до (дна) стеклянной пластинки на 5-7 мм. Если пестик погружается на большую или меньшую глубину, то готовят новые порции цементного теста соответственно с меньшим или большим количеством воды. Количество добавляемой воды для получения теста нормальной густоты, выраженной в процентах от массы цемента, определяют с погрешностью не более 0,25%.

При определении процентного содержания воды от массы цемента пользуются формулой:

$$\%H_2O = V \cdot 100\% / G$$

Результаты опыта заносятся в таблицу:

Наименование материала	h, мм	%H ₂ O	%H ₂ O ^{ср}
------------------------	-------	-------------------	---------------------------------

Вывод: нормальная густота цементного теста характеризуется количеством воды для затворения равным ____ % H₂O, что соответствует (не соответствует) ГОСТу 310.3-76.

Вопросы для самопроверки. Как оценивают густоту цементного теста и консистенцию цементного раствора? На каких приборах и в каких единицах?

РАБОТА № 19 РАСТЕКАЕМОСТЬ ЦЕМЕНТНОГО ТЕСТА (ГОСТ 310.3-76)

Метод определения растекаемости цементного теста основан на способности теста расплываться под действием силы тяжести не менее чем 180 мм.

Цель работы – определение растекаемости цементного теста.

Оборудование и материалы. Конус АзНИИ весом 300 г, подставка к конусу с концентрическими окружностями, покрытая листом стекла, весы технические, чаша для затворения лопатка для перемешивания, мерный цилиндр емкостью 500 мл, испытуемый цемент в количестве 2-3 кг. Конус АзНИИ показан на рис 15.

Ход работы. Чистый и сухой конус устанавливают на лист чистого и сухого стекла, уложенный на подставку с начерченными на ней концентрическими окружностями. Последние отстоят друг от друга на расстоянии 5 мм, диаметр наибольшей окружности – 250 мм, наименьшей – 100 мм. Для установки конуса в центре должна быть нанесена кроме того окружность, диаметр которой равнялся бы диаметру основания конуса то есть 64 мм.

Отвешивают 500 г цемента и переносят в чашу для затворения, в которую затем в один прием вливают 250 мл воды, взятые с точностью до 0,5 мл.

Содержимое чаши энергично перемешивают в течение 2 мин. Полученным тестом наполняют конус до краев, после чего плавно поднимают его вертикально вверх.

Величину растекаемости вычисляют как среднее арифметическое отсчетов диаметра расплыва в двух направлениях, соответствующих наибольшему и наименьшему значениям его.

Расплыв теста должен составлять не менее 180 мм.

Результаты опыта заносятся в таблицу:

Наименование материала	$m_{ц}$, г	V_B , мл	$D^{наиб}$, мм	$D^{наим}$, мм	$D^{ср}$, мм
------------------------	-------------	------------	-----------------	-----------------	---------------

Вывод: Величина растекаемости цементного теста составляет ____ мм, что соответствует (не соответствует) ГОСТу 310.3-76.

Вопросы для самопроверки. Что принимают за растекаемость цементного теста? На каком приборе определяют растекаемость цементного теста? Какова последовательность его определения?

РАБОТА № 20 ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМАЛЬНОЙ ГУСТОТЫ ЦЕМЕНТНОГО РАСТВОРА (ГОСТ 310.4-81)

Определение нормальной густоты цементного раствора сводится к установлению водопотребности раствора, выражаемой в виде водоцементного отношения В/Ц и используемой в дальнейшем при приготовлении раствора для изготовления образцов-балочек.

Цель работы – определение нормальной густоты цементного раствора.

Оборудование и материалы. Чаша для затворения, лопатка для перемешивания, весы технические, мерный цилиндр емкостью 250 мл, мешалка, встряхивающий столик с формой-конусом, штыковка, формы трехгнездные разъемные, нож, песок польский, испытываемый цемент.

Ход работы. Для определения нормальной густоты цементного отвешивают 1500 г песка и 500 г цемента, высыпают их в чашу в течение 1 мин. перешивают. Затем в центре сухой смеси делают лунку, вливают в нее 200 г воды (В/Ц=0,4), а после того, как вода впитается, еще раз в течение 1 мин. перемешивают смесь вручную. Раствор переносят в мешалку и перемешивают в ней в течение 2,5 мин., что соответствует 20 оборотам мешалки.

Приготовленный таким образом раствор укладывают в два приема (слоями равной толщины) в форму-конус, установленную в центре диска встряхивающего столика. Внутреннюю поверхность конуса и диск столика предварительно слегка увлажняют. Встряхивающий столик и форма-конус показаны на рисунке 16.

Слой укладываемого в конус раствора уплотняют металлической штыковкой. нижний слой штыкуют 15, а верхний – 10 раз. Во время укладки

вания и уплотнения раствора конус прижимают рукой к стеклянному диску. Излишек раствора срезают ножом и форму-конус поднимают вертикально вверх. Затем, вращая рукоятку маховика со скоростью 1 об/сек, встряхивают на столике 30 раз цементный раствор, который при этом расплывается. Штангенциркулем или стальной линейкой измеряют расплыв конуса по нижнему основанию в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Консистенцию раствора считают нормальной, если расплыв конуса составляет 106...115 мм. При меньшем расплыве конуса раствор приготавливают заново, несколько увеличивая количество воды затворения. Если расплыв конуса окажется более 115 мм, то количество воды уменьшают до получения расплыва конуса 110...115 мм.

Результаты опыта заносят в таблицу:

Наименование материала	$m_{ц}$, г	$m_{п}$, г	$m_{в}$, г	Д, см	В/Ц

Вывод. Нормальная густота цементного раствора достигается при водоцементном отношении В/Ц = ____.

Вопросы для самопроверки. В каких единицах выражается водопотребность раствора? Изложите методику определения нормальной густоты цементного раствора.

РАБОТА № 21 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАРКИ ЦЕМЕНТА (ГОСТ 310.4-81)

Марка цемента характеризуется его пределом прочности при сжатии стандартных образцов изготовленных из цементно-песчаного раствора состава 1:3 нормальной консистенции после необходимого срока твердения.

Цель работы – определение марки (активности) цемента.

Оборудование и материалы. Ванна для выдерживания образцов, штангенциркуль, пресс для испытания образцов на изгиб, пресс для испытания образцов на сжатие, стандартные опоры.

Ход работы. Данная работа выполняется совместно с работой № 20. Готовый раствор укладывают в стандартные формы, закрепленные на виброплощадке, ровным слоем толщиной 1 см и включают виброплощадку на 3 мин. В течение 2 минут вибрации все гнезда формы равномерно небольшими порциями заполняют раствором. Через 3 мин. от начала вибрации виброплощадку выключают и форму с раствором с нее снимают. Смоченным ножом срезают излишек раствора, зачищают поверхность образцов вровень с краями формы и маркируют образцы.

Готовые образцы в формах выдерживают в ванне в течение 24 ч или в шкафу, обеспечивающем относительную влажность воздуха не менее 90 %. Затем образцы расформовывают и укладывают в горизонтальном положении в ванну, где хранят до момента испытания. Образцы в воде не должны касаться друг друга. Вода должна покрывать образцы не менее чем на 2 см. Объем воды в сосуде должен быть в 4 раза больше объема образцов. Температуру воды выдерживают порядка $20 \pm 2^\circ\text{C}$, измеряя ее ежедневно. Воду, в которой хранят образцы, рекомендуется менять через каждые 14 дн. Образцы испытывают не позднее чем через 10 мин. после того как вынут из воды.

Образцы-балочки в возрасте 28 сут с момента их изготовления испытывают на изгиб, а затем каждую из полученных половинок – на сжатие.

Испытание на изгиб проводят аналогично методике, описанной в работе № 8. Схема испытания показана на рисунке 6.

Предел прочности при изгибе цементного раствора вычисляют как среднее арифметическое из двух наибольших результатов трех образцов-балочек.

Половинки балочек испытывают на сжатие на гидравлическом прессе по методике, изложенной в работе № 16. Схема испытания показана на рисунке 14.

Предел прочности при сжатии образцов из цементного раствора вычисляют как среднее арифметическое четырех наибольших результатов шести испытанных образцов.

Испытание образцов-балочек на изгиб и их половинок на сжатие проводят через 28, 14 или 7 сут. Для перевода 7- или 14-суточной прочности образцов в 28-суточную пользуются ориентировочными переводными коэффициентами: для 7-суточной прочности – 1,5; 14-суточной – 1,25.

Результаты испытаний заносят в таблицу:

Наименование материала	При изгибе			При сжатии			
	F, Н	$\sigma_{и}$, МПа	$\sigma_{и}^{cp}$, МПа	F, Н	A, м ²	$\sigma_{сж}$, МПа	$\sigma_{сж}^{cp}$, МПа

Результаты опыта сравнивают с ГОСТом на данный материал.

Вывод: цемент имеет марку_____.

Вопросы для самопроверки: Как изменится результат испытаний, если в растворе будет содержаться повышенной или уменьшенное количество воды? Через какое время после затворения испытывают образцы-балочки на прочность? Что означает марка цемента?

РАБОТА № 22 ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТИ ЩЕБНЯ (ГОСТ 8269-76)

Щебень представляет собой рыхлый материал, получаемый путем дробления крупных кусков твердых горных пород.

Насыпную плотность щебня необходимо знать для расчета состава бетона, а также для расчетов, связанных с перевозом щебня, проектированием складов крупного заполнителя и т.д.

Цель работы – определение насыпной плотности щебня.

Оборудование и материалы. Мерный цилиндр, сушильный шкаф, эксикатор, стальная линейка, воронка ЛОВ, товарные весы, испытуемый щебень.

Ход работы. Предназначенный для испытания щебень в необходимом количестве высушивают до постоянной массы и охлаждают.

Щебень засыпают в специальную воронку ЛОВ и затем открывают задвижку и щебень сыпается в цилиндр до образования конуса над краями цилиндра. Излишек щебня срезают стальной линейкой вровень с краями, цилиндр со щебнем взвешивают и вычисляют насыпную плотность с точностью до 10 кг/м^3 по формуле (5).

Насыпную плотность щебня определяют 3 раза и при этом каждый раз берут новую порцию, а затем вычисляют среднее арифметическое трех определений.

Результаты испытаний заносят в таблицу:

Наименование материала	m_1 , г	m_2 , г	V_a , см^3	ρ_n , г/см^3	$\rho_n^{\text{ср}}$, г/см^3
------------------------	-----------	-----------	-----------------------	----------------------------	--

Данные опыта сравнивают с насыпной плотностью щебня, которая составляет (в кг/м^3): из плотных пород 1600-1800, в известняковых 1300-1500, кирпича 1200-1350. Насыпная плотность гравия составляет 1500-1600 кг/м^3 .

Вывод: насыпная плотность щебня составляет _____ г/см^3 .

Вопросы для самопроверки. Что называется насыпной плотностью щебня? Для чего просушивают материал? Почему удаляют излишек материала стальной линейкой?

РАБОТА № 23 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗЕРНОВОГО СОСТАВА ЩЕБНЯ (ГОСТ 8269-87)

Зерновой состав крупного заполнителя в значительной мере влияет на качество приготовления на нем бетона. При выборе зернового состава крупного заполнителя для бетона необходимо исходить из основного требования: получить наименьший объем пустот в крупном заполнителе, а следовательно, наименьший расход цемента в бетоне заданной марки.

Цель работы. – определение зернового состава щебня.

Оборудование и материалы. Набор стандартных сит: № 70, № 40, № 20, № 10 и № 5; сушильный шкаф, эксикатор, товарные, поддон металлический, средняя пробы материала, которая берется в зависимости от размеров фракций: 5-10 мм – 5 кг; 10-20 мм – 10 кг; 20-40 мм – 20 кг; 40-70 мм – 30 кг; более 70 мм – 50 кг.

Ход работы. Среднюю пробу щебня, высушенную и охлажденную, просеивают сквозь набор стандартных сит. При этом для полноты просеивания каждое из контрольных сит энергично встряхивают над металлическим поддоном до полного прекращения падения отдельных зерен материала. Прошедшие сквозь сито зерна собирают с поддона и высыпают их в следующее контрольное сито, с меньшим размером отверстий. Так поступают с каждым из контрольных сит.

Остатки на каждом сите взвешивают с точностью до 5 г и вычисляют частные остатки на каждом сите, % к суммарной массе просеянной пробы:

$$a_i = (m_i \cdot 100) / \sum m, \quad (18)$$

где m_i – масса остатка на данном сите, кг;
 $\sum m$ – сумма частных остатков на всех ситах, кг.

По известным значениям частных остатков рассчитывают полные остатки, % на каждом сите:

$$A_i = a_{70} + \dots + a_i, \quad (19)$$

где $a_{70} + \dots + a_i$ – частные остатки на всех ситах с большими размерами отверстий плюс остаток на данном сите, %.

Результаты вычислений частных и полных остатков и просеивания щебня на контрольных ситах заносятся в таблицу:

Остаток на сите	Размеры отверстий сит, мм					
	70	40	20	10	5	Прошло через сито №5
Частный: кг %						
Полный, %						

Затем устанавливают наибольшую $D_{\text{наиб}}$ и наименьшую $D_{\text{наим}}$ крупность зерен щебня. За наибольшую крупность зерен принимают размер отверстия того верхнего сита, на котором полный остаток не превышает 5%, а за наименьшую крупность – размер отверстия нижнего сита, полный остаток на котором составляет не менее 95%. Кроме того, вычисляют значения $0,5(D_{\text{наиб}} + D_{\text{наим}})$ и $1,25D_{\text{наиб}}$.

Зерновой состав каждой фракции или смеси фракций должен находиться в пределах, указанных в таблице зернового состава щебня:

Зерновой состав щебня:

Размер контрольных сит	$D_{\text{наим}}$	$0,5(D_{\text{наим}} + D_{\text{наиб}})$	$D_{\text{наиб}}$	$1,25D_{\text{наиб}}$
Полный остаток на ситах, % по массе	От 90 до 100	От 30 до 80	До 10	До 0,5

Полученные значения соответствующих полных остатков наносят на стандартный график (ГОСТ 10268-82), приведенный на рисунке 17.

Соединяя точки ломанной линией, определяют положение кривой, которая характеризует пригодность щебня по зерновому составу для приготовления бетона. Если кривая располагается в заштрихованной части графика, то это свидетельствует о пригодности щебня для приготовления бетона.

На основании проведенных испытаний делают выводы о качестве крупного заполнителя для бетона.

При выполнении данной лабораторной работы студенты определяют зерновой состав щебня, на зернах которого нет примесей глины и он не сильно загрязнен пылью. При этом условии можно отказаться от промывания заполнителя водой.

Вывод: Кривая зернового состава щебня располагается (не располагается) в заштрихованной части графика, что свидетельствует о пригодности (не пригодности) щебня для приготовления бетона.

Вопросы для самопроверки. Содержание каких примесей является вредным для крупного заполнителя и почему? Изложите последовательность определения зернового состава щебня.

РАБОТА № 24 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗЕРНОВОГО СОСТАВА ПЕСКА (ГОСТ 8376-85)

Зерновой состав песка имеет большое значение для получения тяжелого бетона заданной марки, так как он служит для заполнения пустот между зернами крупного заполнителя совместно с цементным тестом. Практикой установлено, что для получения бетона плотной структуры при наименьшем расходе цемента целесообразно применять крупные пески, содержащие оптимальное количество средних и мелких частиц.

Зерновой состав песка характеризуется процентным содержанием в нем зерен различного размера.

Цель работы – определение зернового состава песка

Оборудование и материалы : Весы технические или торговые с разновесками, стандартный набор сит с круглыми отверстиями диаметром 5 и 2,5 мм и с сетками № 1,25; 0,63; 0,315; 0,14 по ГОСТ 3584-83, шкаф сушильный, листы белой бумаги 50х50 см, секундомер, средняя проба песка 1 кг.

Ход работы. Навеску песка 1000 г просеивают сквозь набор сит с размерами ячеек: 2,5; 1,25; 0,63; 0,315; 0,14 мм. Просеивание производят механическим или ручным способом. Окончание отсева проверяется контрольным отсевом, который выполняется путем интенсивного встряхивания вручную каждого сита с содержимым над листом чистой бумаги в течение 1 мин. Просеянный на бумагу песок взвешивают, выражают в процентах от общего веса просеиваемой навески G. Если окажется, что при контрольном отсеве прошло сквозь сито 0,1% (до 1 г), просеивание прекращают. Если же прошло более 0,1% (более 1 г), просеивание продолжают до следующего контрольного отсева.

После окончания просеивания остатки на каждом сите взвешивают с точностью до 1 г. По результатам просеивания вычисляют:

1. Частный остаток на каждом сите с точностью до 0,1% по формуле:

$$a_i = (G_i / G) \cdot 100, \quad (20)$$

где G_i – вес остатка на данном сите, г;
 G – вес просеиваемой навески, г

2. Полный остаток на каждом сите с точностью до 0,1% по формуле:

$$A_i = a_{2,5} + \dots + a_i \quad (21)$$

где $a_{2,5} + \dots + a_i$ – частные остатки на всех предыдущих ситах с большим размером отверстий, начиная с сита с отверстиями диаметром 2,5 мм, %;

3. Модуль крупности песка с точностью до 0,1% по формуле:

$$M_k = \Sigma A_i / 100 = (A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,14}) / 100 \quad (22)$$

где A_i – полные остатки на всех контрольных ситах, %.

Результаты определения зернового состава песка записывают в следующую таблицу:

Остаток на сите	Размеры отверстий сит, мм					Прошло через сито 0,14 мм
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	
Частный: г %						
Полный, %						

По модулю крупности и полному остатку на сите № 0,63 определяют группу песка по крупности (ГОСТ 8736-85).

Группа песков	M_k	Полный остаток на сите № 0,63, % по массе
Повышенной крупности	3,0-3,5	65-75
Крупный	2,5-3,0	45-65
Средний	2,0-2,5	30-45
Мелкий	1,5-2,0	10-30
Очень мелкий	1,0-1,5	Менее 10

На график (рисунок 18) наносят значения соответствующих полных остатков и соединяют полученные точки ломанной линией. Если кривая зернового состава песка располагается в заштрихованной части графика, значит песок считается пригодным для бетона. Левее и выше заштрихованной об-

крупность зерен щебня – 40 мм; влажность среднего кварцевого песка $V_n = 3\%$; влажность щебня $V_{щ} = 1\%$.

1. Определяют расход воды на 1 м^3 бетонной смеси заданной подвижности по таблице водопотребности бетонной смеси.

Водопотребность бетонной смеси

Подвижность бетонной смеси ОК, см	Расход воды, кг/м ³ , при наибольшей крупности заполнителя, мм					
	Гравия			Щебня		
	10	20	40	10	20	40
1-2	185	170	155	195	180	165
3-4	195	180	165	205	190	175
5-6	200	185	170	210	195	180
7-8	205	190	175	215	200	185
9-10	215	200	185	225	210	195

Примечания 1. Данные таблицы справедливы для бетонной смеси портландцементе и песке средней крупности.

2. При применении мелкого песка расход воды увеличивается на 10 кг, а при использовании крупного песка уменьшается на 10 кг.

Учитывая заданную подвижность ОК – 3 см и крупность зерен щебня 40 мм, расход воды на 1 м^3 бетонной смеси составляет 175 кг

2. Определяют водоцементное отношение по формуле:

$$B / Ц = AR_{ц} : (R_b + 0,5AR_{ц}) = 0,65 : 47 : (30 + 0,5 \cdot 0,65 \cdot 47) = 0,675$$

Значение $A = 0,65$ выбрано по таблице коэффициентов A и A_1 как для высококачественных материалов.

3. Определяют расход цемента на 1 м^3 бетона с точностью до 1 кг:

$$Ц = B : (B / Ц) = 175 / 0,675 = 259 \text{ кг.}$$

4. Определяют расход щебня в сухом состоянии на 1 м^3 бетона:

$$Щ = 1 / (V_{щ} \cdot \alpha / \rho_{н.щ.}) + 1 / \rho_{щ} = 1 / (0,43 \cdot 1,3 / 1600) + 1 / 2800 = 1403 \text{ кг}$$

Значение коэффициента раздвижки зерен $\alpha = 1,3$, выбрано по таблице коэффициента α для пластичных бетонных смесей.

Значения коэффициента α для пластичных бетонных смесей

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

Примечание. При других значениях Ц и В/Ц коэффициент α находят интерполяцией.

5. Определяют расход песка в сухом состоянии на 1 м³ бетона

$$П = [1 - (259/3100 + 175/1000 + 1403/2800)] \cdot 2620 = 630 \text{ кг}$$

В результате расчетов получают ориентировочный номинальный (лабораторный) состав бетона, кг/м³ :

Цемент – 259
 Вода – 175
 Песок – 630
 Щебень – 1403

 Итого – 2467

Полученное значение является расчетной средней плотностью бетонной смеси $\rho_{б.см} = 2467 \text{ кг/м}^3$.

6. Определяют коэффициент выхода бетона с точностью до 0,01 по формуле:

$$\beta = 1 / (V_{ц} + V_{п} + V_{щ}) = 1 / (Ц/\rho_{н.ц} + П/\rho_{н.п} + Щ/\rho_{н.щ}) = 1 / (259/100 + 630/1500 + 1403/1600) = 0,66$$

Значение коэффициента выхода бетона β обычно находится в пределах 0,55 – 0,75.

Таблица – Значения коэффициентов А и А₁

Характеристики заполнителей и цемента	А	А ₁
Высококачественные	0,65	0,43
Рядовые	0,60	0,40
Пониженного качества	0,55	0,37

Примечания: 1. К высококачественным материалам относят щебень из плотных горных пород высокой прочности, песок оптимальной крупности и портландцемент высокой активности без добавок или с минимальным количеством гидравлической добавки; заполнители должны быть чистые и фракционированные. 2. К рядовым материалам относят портландцемент средней активности или высокомарочный шлакопортландцемент. 3. К материалам пониженного качества относят крупные заполнители низкой прочности, мелкие пески и цементы низкой активности.

7. После выполнения расчета состава бетона готовят пробный замес бетонной смеси и определяют ее подвижность.
Расход материалов на пробный замес определяют по формулам:

$$C_{пр} = C \cdot V_{пр} / 1000; B_{пр} = B \cdot V_{пр} / 1000; П_{пр} = П \cdot V_{пр} / 1000; \\ K_{пр} = K \cdot V_{пр} / 1000,$$

где $V_{пр}$ – объем замеса бетонной смеси, укладываемой в стандартный усеченный конус из листовой стали

$$V_{пр} = (\pi \cdot H / 3) \cdot (R^2 + R \cdot r + r^2) = (3,14 \cdot 0,3 / 3) \cdot (0,1^2 + 0,1 \cdot 0,05 + 0,05^2) = \\ = 5,495 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3,$$

где H – высота конуса 0,3 м; R – радиус нижнего основания конуса 0,1 м; r – радиус верхнего основания конуса 0,05 м.

Исходя из вышеприведенного номинального состава бетона рассчитываем расход материалов на пробный замес, кг:

$$\begin{aligned} \text{Цемент} & - 259 \cdot 5,495 \cdot 10^{-3} = 1,423 \\ \text{Вода} & - 175 \cdot 5,495 \cdot 10^{-3} = 0,961 \\ \text{Песок} & - 630 \cdot 5,495 \cdot 10^{-3} = 3,462 \\ \text{Щебень} & - 1403 \cdot 5,495 \cdot 10^{-3} = 7,710 \end{aligned}$$

Методика приготовления пробного замеса в условиях строительной лаборатории состоит в следующем. Цемент тщательно перемешивают и просеивают через сито с сеткой № 1,25, остаток на сите удаляют. Заполнители высушивают до постоянной массы при температуре не выше 80°C. Компоненты дозируют по весу с точностью $\pm 0,1\%$.

Ручное приготовление бетонной смеси выполняют на металлическом бойке. Сначала высыпают песок, затем добавляют цемент и перемешивают до получения смеси однородного цвета; затем добавляют крупный и всю

смесь перемешивают до тех пор, пока щебень не будет равномерно распределен в сухой смеси. В середине смеси делают углубление, куда вливают половину отмеренной воды, осторожно перемешивают и, добавив остальную часть воды, энергично перемешивают бетонную смесь до достижения ею однородности. Длительность перемешивания от начала затворения должна составлять при объеме замеса до 3 л – 5 мин.

Подвижность пластичной бетонной смеси определяют с помощью стандартного усеченного из листовой стали, имеющего размеры: высота 30 см, диаметр нижнего основания 20 см и верхнего – 10 см.

Бетонную смесь сдвигают к одной стороне бойка. Конус, предварительно смоченный внутри водой, устанавливают на свободную часть бойка. Затем конус заполняют тремя равными по высоте слоями бетонной смеси с уплотнением каждого слоя 25-кратным штыкованием металлическим стержнем диаметром 16 и длиной 600 мм с округленными концами. Во время штыкования конус должен быть плотно прижат к основанию бойка.

После укладки и штыкования последнего слоя конус снимают строго вертикально так, чтобы не разрушить бетонный конус. Освобожденная от формы бетонная смесь под действием собственной массы оседает. После окончания осадки бетонного конуса стандартную форму устанавливают рядом.

На верхнее основание конуса 4 укладывают металлическую линейку 3, от нижнего ребра которой другой линейкой 2 измеряют осадку бетонной смеси 1 с точностью до 0,5 см. Время на подъем конуса должно составлять 5-7 секунд.

Общее время с начала наполнения конуса до момента измерения подвижности – 10 минут.

Осадку бетонной смеси определяют дважды, за результат принимают среднее арифметическое двух определений, отличающихся одно от другого не более чем на 1 см при ОК=4 см, не более чем на 2 см при ОК=5-9 см и не более чем на 3 см при ОК=10 см. Значение осадки конуса, см, характеризует подвижность бетонной смеси.

Приготовленный пробный замес показал осадку конуса 1 см, то есть меньше заданной. Для увеличения подвижности бетонной смеси добавляют 10% цемента и воды:

Цемент – $1,423 \cdot 0,1 = 0,1423$ кг,

Воды – $0,961 \cdot 0,1 = 0,0961$ кг.

Бетонную смесь с добавкой цемента и воды дополнительно хорошо перемешивают и проверяют подвижность. Если при проверке подвижности осадка конуса окажется 3 см, то есть будет соответствовать заданной, опыт заканчивают и устанавливают расход материалов с учетом добавления 10% цемента и воды, определяя их абсолютный объем, м³:

$$\begin{aligned}
\text{Цемент} & - (1,423+0,1423) / 3100 = 0,0005, \\
\text{Вода} & - (0,961+0,0961) / 1000 = 0,00106, \\
\text{Песок} & - 3,462 / 2620 = 0,00132, \\
\text{Щебень} & - 7,710 / 2800 = 0,00275, \\
\hline
\text{Всего:} & \qquad \qquad \qquad 0,00563
\end{aligned}$$

В том случае, когда подвижность бетонной смеси получается больше требуемой, добавляют небольшими порциями песок и крупный заполнитель, сохраняя отношение их постоянным.

8. Зная объем бетонной смеси пробного откорректированного замеса и фактический расход материалов, рассчитывают расход материалов на 1 м³ бетонной смеси, кг/м³:

$$\begin{aligned}
Ц' & = Ц_3 \cdot 1 / V_3 = 1,5653 / 0,00563 = 278, \\
В' & = В_3 \cdot 1 / V_3 = 1,0571 / 0,00563 = 188, \\
П' & = П_3 \cdot 1 / V_3 = 3,462 / 0,00563 = 615, \\
Щ' & = Щ_3 \cdot 1 / V_3 = 7,710 / 0,00563 = 1369, \\
\hline
\text{Всего:} & \qquad \qquad \qquad 2450
\end{aligned}$$

Фактическая плотность свежесушеной бетонной смеси $\rho_{б.см} = 2450 \text{ кг/м}^3$, то есть отличается от расчетной всего лишь на 0,689%.

9. Производственный (полевой) состав бетона вычисляют, учитывая влажность заполнителей - песка 3% и щебня 1%:

$$\begin{aligned}
Ц_к & = Ц = 278 \text{ кг}, \\
В_к & = В - П \cdot (В_п / 100) - Щ \cdot (В_щ / 100) = 188 - 615 \cdot (3/100) + \\
& + 1359 \cdot (1/100) = 156 \text{ кг}, \\
П_к & = П + П \cdot (В_п / 100) = 615 + 615 \cdot (3/100) = 633 \text{ кг}, \\
Щ_к & = Щ - Щ \cdot (В_щ / 100) = 1369 + 1369 \cdot (1/100) = 1383 \text{ кг}.
\end{aligned}$$

Производственный состав бетона по весу будет:

$$(Ц_к / Ц) : (П_к / Ц) : (Щ_к / Ц) = 1 / (633/278) / (1383/278) = 1 : 2,3 : 5.$$

Дозировку составляющих бетонной смеси на замес бетономешалки (1200 л) определяют по формулам:

$$\begin{aligned} \Pi &= \Pi_{\kappa} / 1000 = (0,66 \cdot 1200 \cdot 278) / 1000 = 220 \text{ кг}, \\ B &= B_{\kappa} / 1000 = (0,66 \cdot 1200 \cdot 156) / 1000 = 124 \text{ кг}, \\ \Pi &= \Pi_{\kappa} / 1000 = (0,66 \cdot 1200 \cdot 633) / 1000 = 501 \text{ кг}, \\ \Pi &= \Pi_{\kappa} / 1000 = (0,66 \cdot 1200 \cdot 1383) / 1000 = 1095 \text{ кг}. \end{aligned}$$