

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Тольяттинский государственный университет  
Архитектурно-строительный институт  
Кафедра «Промышленное и гражданское строительство»

**В.Н. Шишканова**

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Практикум**



© ФГБОУ ВО «Тольяттинский  
государственный университет», 2017

ISBN 978-5-8259-1136-6

УДК 691(075.8)  
ББК 38.300.6я73

Рецензенты:

канд. техн. наук, директор ООО «Экспертный центр Кузнецова»

*А.В. Кузнецов;*

канд. техн. наук, доцент Тольяттинского государственного  
университета *А.В. Крамаренко.*

Шишканова, В.Н. Определение свойств строительных материалов : практикум / В.Н. Шишканова. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2017. – 1 оптический диск.

В практикуме представлена методика выполнения лабораторных работ по определению свойств строительных материалов.

Предназначен для студентов направления подготовки бакалавров 08.03.01 «Строительство» очной и заочной форм обучения.

Текстовое электронное издание.

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

Минимальные системные требования: IBM PC-совместимый компьютер: Windows XP/Vista/7/8; PIII 500 МГц или эквивалент; 128 Мб ОЗУ; SVGA; CD-ROM; Adobe Acrobat Reader.

© ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», 2017

Редактор *Г.В. Данилова*

Технический редактор *Н.П. Крюкова*

Компьютерная верстка: *Л.В. Сызганцева*

Художественное оформление,

компьютерное проектирование: *И.И. Шишкина*

Дата подписания к использованию 27.03.2017.

Объем издания 6,5 Мб.

Комплектация издания: компакт-диск, первичная упаковка.

Заказ № 1-90-16.

Издательство Тольяттинского государственного университета

445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14,

тел. 8 (8482) 53-91-47, [www.tltsu.ru](http://www.tltsu.ru)

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ .....	5
ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ .....	6
Лабораторная работа 1. Горные породы и породообразующие минералы. Природные каменные материалы .....	12
Лабораторная работа 2. Определение плотности, пористости, водопоглощения и теплопроводности материалов .....	29
Лабораторная работа 3. Определение прочности и водостойкости .....	36
Лабораторная работа 4. Физико-механические свойства древесины .....	39
Лабораторная работа 5. Кирпич и керамические камни .....	43
Лабораторная работа 6. Определение марки кирпича .....	48
Лабораторная работа 7. Испытание физико-механических свойств крупного заполнителя тяжелого бетона .....	52
Лабораторная работа 8. Испытание песка как заполнителя для бетонов и растворов .....	60
Лабораторная работа 9. Стандартные испытания гипсовых вяжущих .....	68
Лабораторная работа 10. Определение марки портландцемента ...	77
Лабораторная работа 11. Подбор состава и приготовление тяжелого бетона .....	88
Лабораторная работа 12. Газобетон .....	101
Лабораторная работа 13. Строительные растворы .....	106
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	115

## ВВЕДЕНИЕ

Материаловедение — одна из главных дисциплин для строителей всех профессий. Все здания и инженерные сооружения возводятся из строительных материалов, поэтому правильный их выбор, умение оценить их качество и обеспечить нормальные условия эксплуатации конструкций из этих материалов — все это необходимо для строителей любой специальности.

Практикум включает два раздела. В первом разделе приведены общие сведения об организации лабораторных работ, требования к технике безопасности при выполнении работ и содержание отчета после выполнения лабораторной работы. Во втором разделе даны теоретические сведения и описание лабораторных работ по курсу «Строительные материалы».

В лабораторных работах по каждой теме содержатся:

- общие сведения об изучаемом материале с формулировкой задач исследования;
- цель исследовательской лабораторной работы;
- порядок выполнения лабораторной работы;
- описание методов испытаний материалов;
- указания по составлению выводов и рекомендаций, которые могут быть получены в результате исследования;
- контрольные вопросы для проверки подготовки студентов к лабораторным работам.

Использование практикума в учебном процессе научит студентов в практической работе выбирать оптимальные решения по использованию материалов для нужд строительства.

Студентам заочной формы обучения практикум поможет выполнить контрольные работы по курсу «Строительные материалы».

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Изучение курса «Строительные материалы» предусмотрено учебным планом подготовки бакалавров по направлению 08.03.01 «Строительство».

По своему содержанию и направлению практикум призван обеспечить получение углубленных знаний по испытанию строительных материалов.

По каждой лабораторной работе необходимо составить отчет.

По окончании изучения программного материала студенты заочной формы обучения выполняют контрольную работу, вариант которой определяется последней цифрой учебного шифра студента. Контрольная работа выполняется в отдельной тетради, на каждой странице которой следует оставить поля для замечаний преподавателя. Оформленная контрольная работа высылается в университет на рецензирование в сроки, установленные графиком. Получив проверенную работу, студент должен сделать в ней необходимые исправления. Незачтенная контрольная работа выполняется повторно с учетом замечаний преподавателя.

Студент-заочник допускается к сдаче экзамена при наличии отчетов по лабораторным и контрольной работам.

Практикум поможет самостоятельно освоить материал по определению свойств и качества строительных материалов и выполнить контрольную работу.

Ниже приведены планируемые результаты обучения по дисциплине «Строительные материалы», соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Формируемые и контролируемые компетенции	Планируемые результаты обучения
Способность участвовать в проектировании и изыскании объектов профессиональной деятельности (ПК-4)	<i>Знать:</i> — основные тенденции развития производства строительных материалов и конструкций в условиях рынка и методы повышения их конкурентоспособности; — определяющее влияние качества материалов на долговечность и надежность строительных конструкций, методы защиты их от различных видов коррозии

Формируемые и контролируемые компетенции	Планируемые результаты обучения
	<p><i>Уметь:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– выбирать соответствующий материал для конструкций, работающих в заданных условиях эксплуатации, используя вариантный метод оценки;</li> <li>– анализировать условия воздействия внешней среды на материалы в конструкциях и сооружениях, пользуясь нормативными документами, определять степень агрессивности среды на выбор материалов;</li> <li>– устанавливать требования к материалам по назначению, технологичности, механическим свойствам, долговечности, надежности, конкурентоспособности и другим свойствам в соответствии с потребительскими свойствами конструкций, в которых они используются, с учетом условий эксплуатации конструкций;</li> <li>– прогнозировать долговечность строительных материалов и подбирать соответствующие материалы для определенных условий эксплуатации зданий и сооружений</li> </ul> <p><i>Владеть:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– методикой расчета потребности материалов для изготовления и монтажа конструкций;</li> <li>– методами обследования и производства экспертизы конструкций зданий, подлежащих ремонту, реставрации и надстройки для определения их состояния, коррозии и ресурса материалов;</li> <li>– источниками требований к материалу по номенклатуре показателей качества;</li> <li>– способностью вести сбор информации для разработки и выбора оптимального материала для конструкции, работающей в заданных условиях эксплуатации</li> </ul>
<p>Владение технологией, методами доводки и освоения технологических процессов строительного производства, эксплуатации, обслуживания зданий, сооружений, инженерных систем, производства строительных материалов, изделий и конструкций,</p>	<p><i>Знать:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– основные тенденции развития производства строительных материалов и конструкций в условиях рынка и методы повышения их конкурентоспособности;</li> <li>– технико-экономическое значение экономии материальных, трудовых и энергетических ресурсов при изготовлении и применении строительных материалов и изделий;</li> <li>– взаимосвязь состава, строения и свойств материала, принципы оценки показателей качества;</li> <li>– методы оптимизации строения и свойств материала с заданными свойствами при максимальном ресурсосбережении;</li> <li>– определяющее влияние качества материалов на долговечность и надежность строительных конструкций, методы защиты их от различных видов коррозии;</li> </ul>

Формируемые и контролируемые компетенции	Планируемые результаты обучения
<p>машин и оборудования (ПК-8)</p>	<p>– мероприятия по охране окружающей среды и созданию экологически чистых материалов, безопасности труда при изготовлении и применении материалов и изделий</p> <p><i>Уметь:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– анализировать условия воздействия внешней среды на материалы в конструкциях и сооружениях, пользуясь нормативными документами, определять степень агрессивности среды на выбор материалов;</li> <li>– устанавливать требования к материалам по назначению, технологичности, механическим свойствам, долговечности, надежности, конкурентоспособности и другим свойствам в соответствии с потребительскими свойствами конструкций, в которых они используются, с учетом условий эксплуатации конструкций;</li> <li>– выбирать соответствующий материал для конструкций, работающих в заданных условиях эксплуатации, используя вариантный метод оценки;</li> <li>– производить испытания строительных материалов по стандартным методикам</li> </ul> <p><i>Владеть:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– методикой расчета потребности материалов для изготовления и монтажа конструкций;</li> <li>– навыками организации складирования, комплектования и упаковки штучных, рулонных, плиточных, жидкотекучих и пастообразных материалов с целью их сохранности;</li> <li>– умением осуществлять контроль наличия документов Госсанэпиднадзора, подтверждающих экологическую чистоту и радиационную безопасность используемых материалов, их соответствие заявленным сертификатам качества производителей;</li> <li>– источниками требований к материалу по номенклатуре показателей качества;</li> <li>– опытом совместной работы с технологами и специалистами в разработке технологических регламентов на производство и технических условий на применение материалов</li> </ul>



## Организация работ

Лабораторные занятия продолжительностью 2 часа проводятся с подгруппой студентов, состоящей не более чем из 8...12 человек.

Выполнению лабораторных работ предшествует собеседование по теоретическим и методическим вопросам, которые изучаются студентами самостоятельно. Для проверки подготовки студентов к работе используются контрольные вопросы.

По окончании работ рабочее место приводится в порядок.

## Отбор проб

Для определения качества материалов в лабораторных условиях испытывают, как правило, не весь материал, а лишь некоторую его часть (средняя проба). *Средней пробой* называется небольшая часть материала, отбираемая определенным образом от его общей массы. Свойства средней пробы должны полностью соответствовать свойствам испытываемого материала той партии, от которой она была отобрана.

*Партией* считается определенное количество материала (по массе, по объему, в штуках), которое соответствует нормативным документам. В этих же документах регламентированы правила отбора и величина средней пробы для определения качества материала.

Пробы штучных материалов (кирпич) отбирают по несколько штук из разных мест партии. Пробы сыпучих рыхлых материалов (песок, щебень, гравий, цемент, гипс) отбирают специальными щупами-пробоотборниками из каждого вида тары из разных мест по площади и глубине слоя. Это количество материала называется *первичной средней пробой*. В дальнейшем из нее отбирают среднюю лабораторную пробу путем сокращения ее объема до количества, достаточного для выполнения испытаний двукратной повторности. Чаще всего это делается путем квартования: тщательно перемешанную пробу насыпают на ровную площадку в виде правильного усеченного конуса, который делят на четыре равные части двумя взаимно пересекающимися плоскостями. Две противоположные части отбрасывают, а оставшиеся соединяют вместе. Перемешивают и, если это необходимо, опять подвергают квартованию до получения двойного количества лабораторной пробы. Одну половину пробы

подвергают лабораторным испытаниям. Вторую половину пробы хранят как арбитражную.

### **Требования к технике безопасности при выполнении работ**

Перед началом работ преподаватель проводит общий инструктаж по технике безопасности при выполнении лабораторных работ. Студенты, получившие инструктаж, должны расписаться в специальном журнале. После этого они допускаются к проведению лабораторных работ и обязуются выполнять следующие правила:

- перед началом занятий ознакомиться с заданием, применяемым оборудованием, инструментом и материалами;
- четко знать и строго выполнять установленные ПРАВИЛА пожарной безопасности, не допускать действий, которые могут привести к пожару или возгоранию;
- немедленно сообщить преподавателю о замеченных неисправностях и нарушениях правил техники безопасности;
- не трогать, не включать без разрешения преподавателя или лаборанта рубильники, пускатели и другие электрические приборы и оборудование;
- во время работ использовать защитную рабочую одежду (халаты, перчатки), имеющиеся в лаборатории;
- выполнять в лаборатории только ту работу, которая поручена, не загромождать свое рабочее место оборудованием и материалами, не относящимися к этой работе;
- не допускается загромождать подступы к электрооборудованию, щитам, шкафам, ящикам, средствам пожаротушения;
- запрещается оставаться в лаборатории одному, обязательное присутствие второго лица необходимо для оказания помощи при несчастном случае, пожаре и т. п.;
- если произошел несчастный случай, немедленно сообщить об этом преподавателю для оказания помощи и составления акта.

Помещение лаборатории необходимо содержать в чистоте. Мусор выносить за пределы здания в специально отведенное место.

Каждый, обнаруживший пожар или возгорание, ОБЯЗАН:

- сообщить в пожарную охрану;
- приступить к тушению пожара имеющимися на рабочем месте средствами пожаротушения (огнетушитель, песок и т. д.);
- принять меры по вызову администрации учебного заведения, подразделений к месту пожара.

### **Отчет**

После выполнения лабораторной работы составляется отчет в специальной тетради. В отчет рекомендуется включать:

- наименование и цель работы;
- краткие общие сведения об исследуемом материале и технические требования к нему;
- краткое описание выполненной работы, используемых приборов и оборудования, методик испытаний;
- результаты исследований, полученные всей подгруппой, в виде сводных таблиц и графических зависимостей;
- анализ результатов работы с общими выводами и рекомендациями.

Защита лабораторных работ осуществляется по мере завершения отдельных работ или на итоговом занятии.

Студенты, пропустившие занятия, должны отработать их в конце семестра по графику.

## Лабораторная работа 1

### ГОРНЫЕ ПОРОДЫ И ПОРОДООБРАЗУЮЩИЕ МИНЕРАЛЫ. ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

**Цели:** исследовать основные свойства природных каменных материалов и изучить их зависимость от условий образования, состава, структуры и состояния исходных горных пород. Определить области применения изучаемых горных пород в строительстве.

**Материалы:** коллекция горных пород, принадлежащих к различным генетическим группам, коллекция породообразующих минералов.

**Оборудование** – лупа.

#### ***Краткие теоретические сведения***

***Горные породы*** – это природные образования, состоящие из одного (мономинеральные) или нескольких (полиминеральных) минералов.

***Минерал*** – природное тело, однородное по химическому составу и физическим свойствам. Минерал является продуктом физико-химических процессов, происходящих в земной коре.

В земной коре более 7000 минералов и их разновидностей. Большинство из них встречаются редко и лишь немногие (около 100) встречаются часто и в достаточно больших количествах, входят в состав тех или иных горных пород. Такие минералы называют породообразующими.

***Структура минералов.*** Природные минералы в большинстве имеют кристаллическое строение, и лишь некоторые – аморфное. Минералы обладают однородностью строения, состава и свойств. Свойства кристаллических минералов могут быть одинаковыми по всем направлениям (изотропность) или разными по различным направлениям (анизотропность). Аморфные минералы не имеют кристаллической решетки и по своим свойствам они изотропны. Для них характерна неправильная внешняя форма.

***Химический состав минералов.*** Каждый минерал имеет свой химический состав. В отдельных случаях можно встретить минералы

сходного химического состава, но в этом случае они обязательно имеют различное внутреннее строение, а следовательно, и различную внешнюю форму.

*Физические свойства минералов.* Каждый минерал имеет определенные физические свойства. Для строительной отрасли необходимо учитывать такие свойства, как цвет, прозрачность, блеск, спайность, плотность, твердость.

По цвету минералы делятся на две группы: светлые (кварц, полевые шпаты, гипс, кальцит) и темные (роговая обманка, авгит).

По способности пропускать свет через свою толщу минералы делятся на три группы: прозрачные (кварц, мусковит), полупрозрачные (гипс, халцедон) и непрозрачные (пирит, графит).

По блеску (способности поверхности отражать свет в различной степени) минералы подразделяются на несколько групп: стеклянные (силикаты), жирные (тальк), шелковистые (асбест) и др.

По спайности (способности раскалываться или расщепляться по определенным направлениям с образованием ровных плоскостей – плоскостей спайности) минералы делятся на следующие группы:

- минералы, имеющие весьма совершенную спайность (минералы легко расщепляются по плоскостям спайности);
- минералы, имеющие совершенную спайность (минералы практически всегда раскалываются по плоскостям спайности);
- минералы, имеющие несовершенную спайность (раскалывание минералов не всегда проходит по плоскостям спайности);
- минералы, у которых спайность отсутствует (минералы при раскалывании образуют неровные поверхности).

По плотности минералы делятся на три группы: тяжелые ( $\rho > 4,0 \text{ г/см}^3$ ), средние ( $\rho = 2,5 \dots 4,0 \text{ г/см}^3$ ) и легкие ( $\rho < 2,5 \text{ г/см}^3$ ).

По твердости (способности минерала противостоять внедрению в него другого более твердого тела) минералы делятся на четыре группы: мягкие, средние, твердые и очень твердые (табл. 1).

Горные породы представляют собой природные минеральные агрегаты, которые «рождаются» в земной коре. Каждой породе свойственно известное постоянство химического и минерального составов, структуры, а иногда и условий залегания в земной коре.

## Твердость природных минералов

Эталонный минерал, химическая формула	Твердость по шкале Мооса	Микротвердость, МПа	Визуальные признаки	Группа по твердости
Тальк, $3\text{MgO}_4\text{SiO}_2\text{H}_2\text{O}$	1	24	Легко чертится ногтем	Мягкие
Гипс, $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2	360	Чертится ногтем	То же
Кальцит, $\text{CaCO}_3$	3	1090	Легко чертится стальным ножом	Средней твердости
Флюорит (плавиковый шпат), $\text{CaF}_2$	4	1890	Чертится стальным ножом под нажимом	То же
Апатит, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{OH}, \text{Cl})_2$	5	5360	С трудом царапается стальным ножом	То же
Ортоклаз, $\text{K}_2\text{OAl}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2$	6	7967	Царапает стекло при сильном нажиме	Твердые
Кварц, $\text{SiO}_2$	7	11200	Чертит стекло	То же
Топаз, $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot \text{SiO}_2\cdot \text{H}_2\text{O}$	8	14270	Режет стекло	Очень твердые
Корунд, $\text{Al}_2\text{O}_3$	9	20600	Чертит топаз	То же
Алмаз, С	10	100600	Чертит корунд	То же

**Основные породообразующие минералы, характерные для магматических (изверженных) горных пород**

**Кварц** – представлен диоксидом кремния  $\text{SiO}_2$ . Кварц может не только входить в состав полимерных пород, но и находиться в виде самостоятельной горной породы (кварцевые пески, стекло, горный хрусталь).

Плотность  $2650 \text{ кг/м}^3$ . Твердость – 7. Блеск стеклянный, излом жирный. Температура плавления  $1710 \text{ }^\circ\text{C}$ . Кварц – один из самых прочных минералов, предел прочности при сжатии кристаллов кварца  $1000\text{...}2000 \text{ МПа}$ . Стойкость к выветриванию и химическая стойкость – очень высокая. Стоек к действию кислот, кроме плавиковой кислоты, обладает высокой атмосферостойкостью. Обычно цвет

кварца молочно-белый, крупные прозрачные кристаллы кварца называются *горным хрусталем*, окрашенные в лиловый цвет — *аметистом*.

**Полевые шпаты** — по химическому составу это алюмосиликаты, т. е. соединения кремнезема с оксидом алюминия и оксидами щелочных металлов  $K_2O$ ,  $Na_2O$ ,  $CaO$ .

Разновидности полевых шпатов:

— *ортоклаз*  $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ ;

— *плагиоклазы*: альбит (натриевый полевой шпат) —  $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$  и анортит (кальциевый полевой шпат) —  $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ .

Предел прочности на сжатие полевых шпатов — 120...170 МПа, плотность — от 2500 (ортоклаз) до 2760 кг/м<sup>3</sup> (анортит).

Они легко выветриваются, т. е. разрушаются под действием влаги и углекислого газа. Результатом выветривания является новый минерал — *каолинит*  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ , входящий в состав глин, а иногда и кальций  $CaCO_3$ .

**Слюды** — по составу сложные водные алюмосиликаты, представлены двумя видами: биотитом и мусковитом.

**Биотит** — магнезиально-железистая слюда черного цвета, легко выветривается. Твердость 2, плотность 3000 кг/м<sup>3</sup>.

**Мусковит** — калиевая слюда, не содержит примеси оксида магния и железа, как биотит, поэтому он прозрачен, почти бесцветен, тугоплавкий и химически стоек (выше, чем у биотита). Твердость слюд 2...3, для них характерна спайность в одном направлении, расщепляется на тонкие упругие пластинки. Плотность 2800...3100 кг/м<sup>3</sup>. Слюды понижают прочность пород, морозостойкость, в песках считаются вредной примесью.

**Железисто-магнезиальные минералы.** К ним относятся:

— *пироксены* (например, авгит);

— *амфиболы* (роговая обманка);

— *оливин*.

Они имеют сложный состав, в основном это силикаты магния и железа. Твердость 5,5...7,5. Плотность высокая 3000...4000 кг/м<sup>3</sup>. Прочность при сжатии высокая 300...400 МПа. Повышенная вязкость при ударах.

Эти минералы передают свой темный цвет и высокие механические свойства изверженным породам, в которые они входят.

**Каолинит**  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  — водный силикат алюминия. Основной минерал глинистых пород. Жирен на ощупь. Плотность  $2600 \text{ кг/м}^3$ , твердость 1...2,5.

**Гидрослюды** — образуются при разложении слюд и силикатов (полевых шпатов). К ним относится **вермикулит**, способный при нагревании увеличиваться в 20 раз.

### **Основные породообразующие минералы, характерные для осадочных горных пород**

**Кальцит**  $\text{CaCO}_3$  — известковый шпат, образует крупно-, средне-, мелкозернистые породы. Цвет белый, желтый, бурый. Блеск стеклянный, твердость 3, плотность  $2700 \text{ кг/м}^3$ . Растворяется в воде, насыщенной  $\text{CO}_2$ . Характерный отличительный признак — бурно вскипает (растворяется) в 10%-ной соляной кислоте.

**Магнезит**  $\text{MgCO}_3$  — плотность и твердость несколько большие, чем у кальцита, соответственно  $3000 \text{ кг/м}^3$  и 4. В отличие от кальцита растворяется в разбавленных кислотах лишь при нагревании. Минерал встречается в виде кристаллических зернистых агрегатов и скрытокристаллических масс.

**Доломит**  $\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$  — довольно распространенный минерал, по свойствам занимающий промежуточное положение между кальцитом и магнезитом. В кислотах растворяется только в порошке и при нагревании. Цвет белый, буроватый с разными оттенками, блеск стеклянный. Твердость 3...4, плотность  $2900 \text{ кг/м}^3$ .

**Гипс**  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Для гипса, развивающегося в пустотах и трещинах, характерно волокнистое строение и шелковистый блеск. Гипс легко растворим в воде (в 75 раз больше, чем кальцит), мягкий. Плотность  $2300 \text{ кг/м}^3$ , твердость 2. Гипс образует мономинеральную породу того же наименования.

**Ангидрит**  $\text{CaSO}_4$  — безводная разновидность гипса. Плотность  $2800...3000 \text{ кг/м}^3$ , твердость 3...3,5. При действии на него воды постепенно переходит в гипс.

В зависимости от условий образования все горные породы подразделяются на три большие группы: **магматические (изверженные), осадочные и метаморфические** (табл. 2).



Таблица 2

## Классификация горных пород

Изверженные (магматические)				Осадочные				Метаморфические (видоизмененные)	
Массивные		Обломочные		Химические осадки	Органо-генные отложения	Механические отложения		Продукты видоизменения изверженных пород	Продукты видоизменения осадочных пород
Глубинные (интрузивные)	Излившиеся (эффузивные)	Рыхлые	Цементированные	Рыхлые (слабые, пористые)		Цементированные			
Граниты, сиениты, диориты, габбро	Порфириты, диабазы, базальты, андезиты	Вулканические пеплы, пемзы	Вулканические туфы	Гипс, ангидрит, магнезит, доломиты, известковые туфы, некоторые виды известняков	Известняки, мел, ракушечник, диатомиты, трепелы	Глины, пески, гравий	Песчаники, конгломераты, брекчии	Гнейсы	Мраморы, кварциты

## Свойства и область применения пород

**Изверженные** (магматические) породы — образовались из расплавленной магмы, поднявшейся из глубин земли и отвердевшей при остывании. Различные условия охлаждения магмы привели к образованию изверженных пород с различными свойствами и строением.

**Глубинные породы** — образовались при застывании магмы на глубине в земной коре. Остывали они медленно и сравнительно равномерно. Поэтому они массивны, плотные и состоят из тесно сросшихся более или менее крупных кристаллов (более 5 мм, 1...5 мм, 0,5...1 мм).

Свойства глубинных пород: большая плотность, высокая прочность на сжатие, высокая морозостойкость, малое водопоглощение, большая теплопроводность. Имеют зернистое кристаллическое строение, гранитное, как говорят иногда.

**Граниты** — обладают благоприятным для строительного камня минеральным составом, состоят из 25...30 % кварца, 35...40 % натриево-калиевых шпатов, 20...25 % плагиоклаза и 5...10 % слюды.

Плотность 2600 кг/м<sup>3</sup>,  $R_{сж} = 100...300$  МПа, а при растяжении 1/40...1/60  $R_{сж}$  (невысокое), стойкость против выветривания, высокая морозостойкость, малая пористость (не более 1,5 %), водопоглощение до 0,5 %, высокая кислотостойкость.

Эти высокие свойства позволяют широко применять граниты для изготовления облицовочных плит, полов, бортовых камней, при строительстве гидротехнических сооружений, в качестве щебня высокопрочных и морозостойких бетонов.

Близки по свойствам к гранитам **сиениты**, состоящие из калиевых (50...70 %) и натриевых полевых шпатов (10...30 %), цветных минералов (10...20 %). Если присутствует кварц (10...15 %), то породу называют кварцевым сиенитом.

Однако сиениты мягче гранитов, легче поддаются полировке, обладают большей вязкостью.

**Диориты** — породы серого цвета, их минералогический состав: 65...70 % плагиоклаза, 25...30 % роговой обманки с пироксенами или биотитом.

Плотность 2700...2900 кг/м<sup>3</sup>,  $R_{сж} = 180...200$  МПа.

Трудно обрабатываются, обладают большим сопротивлением истиранию, хорошо полируются, стойки против выветривания. Применяют в дорожном строительстве и в виде облицовочных плит.

**Габбро** — порода в свежем состоянии темно-серого или почти черного цвета, состоит из равного количества плагиоклаза и пироксена, реже присутствует биотит и роговая обманка. Высокая плотность 2900...3160 кг/м<sup>3</sup> и  $R_{сж} = 100...300$  МПа. Стоек против выветривания, трудно обрабатывается, но дает долговечную полировку. Применяют в виде щебня и облицовочных плит в гидротехнических и других видах сооружений.

**Излившиеся (эффузивные)** породы — образовались на поверхности земли при вулканической деятельности, излиянии магмы из глубин и застывании на поверхности или в приповерхностном слое земной коры при быстром охлаждении магмы. Так как часть магмы уже содержала кристаллы отдельных хорошо сформированных кристаллов, вкрапленных в основную скрытокристаллическую массу, то излившиеся породы состоят из отдельных хорошо сформированных кристаллов, вкрапленных в основную скрытокристаллическую массу. Такое строение называют порфировое.

Свойства излившихся пород:

- если застывали мощным слоем, то строение подобно строению глубинных пород;
- если слой магмы был тонкий и охлаждение ее было быстрое, то масса получилась стекловатной, мелкокристаллической, а в результате выделения газов при уменьшении давления верхние слои становились пористыми.

Из излившихся пород в строительстве используют **кварцевые и бескварцевые (полевошпатовые) порфиры**.

**Кварцевые порфиры** — по составу и свойствам близки к гранитам, но более хрупки и менее стойки при колебаниях температуры вследствие крупных вкраплений. Используют в виде щебня или штучного камня.

**Трахиты** — по минеральному и химическому составу схожи с сиенитом, но более пористы. Используются как кислотоупорный материал и в качестве строительного камня.

**Диабазы** – порода мелкозернистая, по составу аналогичная габбро, но имеет в своем составе примеси кварца и роговой обманки. Применяют в виде щебня, плит, облицовочного материала. Отличается высокой твердостью, прочностью (300...400 МПа). Плавленный диабаз стоек к кислотам и щелочам, из него при температуре 1200...1350 °С отливают различные изделия.

**Базальты** – излившиеся аналоги габбро. Высокая твердость и прочность позволяют использовать их в качестве материалов для дорожных покрытий.

**Порфирит и андезит** – аналоги диорита. Используются как облицовочный материал и щебень, как заполнитель в кислотоупорных бетонах.

**Обломочные породы** – образовались при быстром охлаждении раздробленной, выбрасываемой при извержении вулканов лавы. Обломочные породы делятся на рыхлые и цементированные. Рыхлые породы образовались путем выделения газов из быстро остывающей магмы. Выделяющиеся газы вспучивали массу и при последующем быстром остывании вспученной массы образовалась стекловидная пористая порода – **пемза**.

**Цементированные вулканические туфы** – образовались, когда во время извержений к жидкой лаве примешивались пепел и песок. В результате быстрого охлаждения туфы имеют стекловидное строение.

**Пемза** – в состав входит до 70 % кремнезема  $\text{SiO}_2$  и до 15 % глинозема  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Пористость ее до 80 %,  $R_{\text{сж}} = 0,4...2,0$  МПа, твердость 6, плотность в куске 400...1400 кг/м<sup>3</sup>. Залегает пемза в виде обломков размером 5...50 мм. Используют ее как щебень для легких бетонов, как теплоизоляционный материал и как активную добавку к извести и цементам (из-за наличия в пемзе активного кремнезема).

**Вулканический пепел** – размеры частиц пепла от 0,1 до 2 мм. Является активной минеральной добавкой для воздушной извести и портландцемента, применяют для получения легких растворов и бетонов.

**Вулканические туфы** – в их состав входят  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Хорошо сопротивляются выветриванию, мало теплопроводны и, несмотря на большую пористость, морозостойки. Хорошо обрабатываются.

Используют в качестве песка щебня для легких бетонов и растворов, крупных стеновых блоков, в качестве облицовочного материала для фасадов зданий.

**Осадочные горные породы** — образовались при осаждении веществ из водной среды и при распаде горных пород (выветривание и разрушение). Большинство пород имеют более пористое строение, чем плотные изверженные породы, а потому и меньшую прочность. Некоторые из них легко растворяются (например, гипс) или распадаются в воде на мельчайшие частицы (например, глина).

Три группы осадочных горных пород: химические, органогенные и механические.

**Химические осадки** представляют собой горные породы, образовавшиеся при осаждении минеральных веществ из водных растворов с последующим их уплотнением и цементацией (гипс, ангидрит).

**Гипс** — горная порода, состоит в основном из минералов гипса —  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Применяют в качестве воздушного вяжущего, строительного гипса и для облицовки внутренних помещений.

**Ангидрит** — состоит из ангидрита  $\text{CaSO}_4$ . Применяют в качестве облицовки.

**Магнезит** — состоит из минерала магнезита  $\text{MgCO}_3$ . Применяют в качестве сырья для магнезитового вяжущего и огнеупорных материалов.

**Доломит** — состоит из минерала доломита  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$  с примесями глинистого, железистого и других веществ. По свойствам доломиты близки к плотным известнякам. Применяют доломит для производства щебня, изготовления облицовочных плит, огнеупоров и вяжущего вещества.

**Известковые туфы** — образовались при выделении  $\text{CaCO}_3$  из кислого углекислого кальция, растворенного в воде.

Очень пористые известковые туфы используют как сырье для производства извести, а плотные — в виде штучных камней для кладки стен и в качестве щебня для легких бетонов.

**Органогенные породы** — образовались в результате отложения остатков водорослей и животных организмов с последующим их уплотнением и цементацией.

**Известняк** — состоит в основном из минерала кальцита  $\text{CaCO}_3$ . Плотность 1700...2600 кг/м<sup>3</sup>,  $R_{сж} = 10...100$  МПа. Применяют для производства щебня, облицовочных плит и архитектурных деталей, для производства извести и портландцемента.

**Известняк-ракушечник** – пористая горная порода, состоит из раковин и обломков, сцементированных известковым веществом. Применяют для изготовления стеновых камней и блоков, как заполнители для легких бетонов.

**Мел** – состоит из чистого  $\text{CaCO}_3$  (карбоната кальция), иногда примеси – глинистое вещество и зерна кварца. Применяют в качестве белого пигмента, для приготовления замазки, при производстве извести, портландцемента и стекла.

**Диатомиты** – слабосцементированная, очень пористая кремнеземистая порода. Плотность 400...1000 кг/м<sup>3</sup>, пористость 60...70 %.

**Трепелы** – очень легкая глиноподобная порода, содержащая аморфный кремнезем в виде мелких шариков опала.

Плотность 500...1200 кг/м<sup>3</sup>, пористость 60...70 %, коэффициент теплопроводности 0,17...0,23 Вт/м · °С.

Применение диатомитов и трепелов: для изготовления теплоизоляционных материалов, легкого кирпича, как активные минеральные добавки при производстве гидравлических вяжущих.

**Механические отложения** (обломочные породы) – образовались в результате физического выветривания горных пород под влиянием воды и температуры. Продукты разложения переносились ветром и водным потоком и где-то оседали.

Механические отложения представляют собой рыхлую смесь, состоящую из отдельных зерен разрушившейся первичной горной породы (глины, пески, гравий). В ряде случаев эти рыхлые смеси цементируются глиной, кальцитом или кремнеземом и образуют при этом сплошные горные породы. В зависимости от крупности зерен и их цементации различают нижеследующие породы.

**Песок** – смесь зерен крупностью 0,16...5,0 мм. В зависимости от условий образования различают пески горные, речные, морские, дюнные, барханные. Применяют для приготовления растворов и бетонов.

**Гравий** – зерна окатанной формы крупностью 5...70 мм. Применяют в качестве заполнителей бетона.

**Песчаники** – горная порода, состоящая из зерен кварца, сцементированная глинистым, кремнеземистым или известковым веществом. Прочность песчаника зависит от цементирующего вещества,

крупности и формы цементированных зерен. Используют как щебень для бетона, облицовки опор мостов и зданий, для дорожных покрытий, так как он имеет высокие морозостойкость и прочность при истирании.

**Конгломераты** — горная порода, состоящая из цементированных зерен гравия.

**Брекчия** — горная порода, состоящая из цементированных зерен щебня. Используют их в качестве щебня для бетонов, штучного камня и облицовочных плит.

**Метаморфические (видоизмененные) горные породы** — образовались из магматических и осадочных пород путем их преобразования под влиянием высокой температуры и давления.

В процессе метаморфизма происходило изменение структуры горных пород, перекристаллизация, и породы получились более плотные, чем исходные осадочные. Они чаще всего имеют сланцеватую структуру.

**Гнейсы** — по минералогическому составу аналог гранита. Используют их как облицовочные плиты, в виде бутового камня для кладки фундаментов, для тротуаров.

**Мрамор** — кристаллическая порода, образовалась из известняков и доломитов. Прочность до 300 МПа. Легко пилится на плиты, хорошо полируется (твердость небольшая 3...3,5). Используется мрамор для облицовки внутренних частей здания.

Правильный выбор области применения природных каменных материалов в строительстве основывается на подробных сведениях о составе, структуре, строении и основных свойствах исходных горных пород, которые зависят от условий их образования.

### **Виды каменных материалов и их применение**

Природными каменными материалами называют материалы и изделия, получаемые механической обработкой (дроблением, раскалыванием, распиливанием и т. д.) горных пород.

В табл. 3 приведены сведения о применении горных пород в строительстве.

## Применение горных пород в строительстве

Область применения	Наименование породы	Метод переработки
Бутовый камень	Гранит, известняк, диорит, песчаник	Взрыв, выломка, раскалывание
Камни для гидро-сооружений	Гранит, диорит, диабаз, габбро	Взрыв, выломка, распиливание
Бортовые камни, булыжник, брусчатка	Гранит, диорит, диабаз, габбро	Раскалывание, вытесывание
Камни и блоки для кладки стен	Пористые известняки, известняки-ракушечники	Распиливание
Плиты и камни для облицовки стен	Гранит, габбро, лабрадорит, мрамор, кварцит, магнезит	Распиливание, полирование, раскалывание, шлифование
Щебень	Гранит, диорит	Дробление, рассев
Гравий	Рыхлые залежи гравия	Просеивание
Песок	Рыхлые залежи песка	Просеивание
Вязущие вещества	Глина, известняк, гипс, мергель, магнезит, доломит	Дробление, помол, обжиг
Керамика	Глина	Помол, обжиг
Каменное литье	Гранит, диорит, диабаз, габбро	Измельчение, плавление, литье

**Бутовый камень** (бут) – крупные куски камня неправильной формы размером 150...500 мм и массой 20...40 кг. Из бута возводят плотины, кладут фундаменты, его применяют для подпорных стенок, перерабатывают в щебень.

**Щебень** – куски камня неправильной формы размером от 5 до 70 мм, получаемые дроблением крупных кусков горных пород с последующим рассевом.

**Гравий** – окатанные (округлые) зерна размером от 5 до 70 мм, получаемые из рыхлых залежей рассевом.

**Песок** – состоит из зерен различных минералов (кварца, полевого шпата, слюды и т. д.) размером 0,16...5 мм. Песок различают природный и дробленый. Щебень, гравий и песок используют как заполнитель для бетона. Песок (кварцевый, полевошпатный) находит применение практически во всех отраслях строительного производства.



**Блоки** из природного камня объемом более 0,1 м<sup>3</sup>. Применяют их для наружных и внутренних стен, фундаментов и стен подвалов.

**Стеновые камни** из туфов и известняков. Размеры основных типов камней 390×190×188, 490×240×188, 390×190×288 мм. Применяют для кладки наружных и внутренних стен и перегородок. Каждый камень заменяет в кладке 8...12 кирпичей.

**Камни и плиты** из гранита и изверженных пород для облицовки гидротехнических сооружений, набережных, цокольной части зданий.

Толщина плит — 15...25 см или 30 и более см.

Для наружной облицовки зданий можно применять атмосферостойкие осадочные породы: известняки, доломиты, туфы и т. д. (плиты толщиной 4...10 см).

**Бортовые камни**, отделяющие проезжую часть дороги от тротуара (высота 30...40 см), изготавливают главным образом из сиенита и гранита.

**Брусчатка** — колотые или тесаные камни из изверженных или плотных осадочных пород, имеющие форму, близкую к кубу. Брусчатка — очень долговечное и декоративное покрытие улиц и площадей.

**Булыжный и колотый камень** используют для устройства верхних покрытий дорог, оснований под дороги, укрепления откосов земляных сооружений и для берегоукрепительных работ.

Булыжный камень представляет собой зерна горной породы с овальными поверхностями размером до 300 мм.

Колотый камень имеет форму, близкую к многогранной призме или усеченной пирамиде.

Ко всем видам каменных материалов предъявляются свои требования по прочности при сжатии, износу, истираемости, удару, морозостойкости, атмосферостойкости, долговечности и другим характеристикам. На каждый вид строительного материала имеется свой ГОСТ (стандарт), где указываются все требования, предъявляемые к данному виду материала.

Основной причиной коррозии каменных материалов в строительных конструкциях является физико-химическое воздействие воды. Стойкость каменных материалов против коррозии тем выше, чем они плотнее (меньше пористость). Одним из способов повы-

шения поверхностной плотности является флюатирование, при котором карбонатные породы пропитывают солями кремнефтористоводородной кислоты (флюатами), например, флюатами магния. В результате происходящей реакции в поверхностных порах камня выделяются практически не растворимые в воде фториды кальция, магния и кремнезем.

Стойкость против выветривания пористых материалов существенно повышается также гидрофобизацией, т. е. пропиткой каменного материала гидрофобными (водоотталкивающими) составами (кремнийорганическими жидкостями и другими полимерными материалами, растворами парафина, стеарина или металлических мыл в легкорастворяющихся органических растворителях), препятствующими проникновению влаги в материал.

**Глины и глинистые породы** служат сырьем для цементной промышленности, строительной керамики, производства теплоизоляционных и стеновых материалов, пористых заполнителей и огнеупоров.

**Карбонатные породы** (известняки, доломиты, известково-доломитовые породы, мел, мергель, мергельно-меловые породы) применяют в производстве вяжущих, стекла, стеновых и облицовочных материалов, для изготовления бетонных и железобетонных конструкций.

**Гипс** (гипсовый камень, ангидрит) — сырье для получения гипсовых вяжущих и изделий на их основе, обязательный компонент цементов.

Ценным сырьем для получения пористых заполнителей, добавок к цементам являются **кремнистые породы** (трепел, опока, диатомит).

Среди **магматических пород** наибольшее распространение получили отделочно-облицовочные материалы: граниты, базальты, диабазы. По тому же назначению применяются такие **метаморфические породы**, как мрамор и кварцит. Мрамор — это «живой» природный камень, которому нет замены по своей респектабельности и красоте.

## Методика выполнения работы

Путем внешнего осмотра рассматривают образцы минералов и горных пород. Все данные изучения минералов и горных пород заносят в табл. 4 и 5 по форме, приведенной ниже. При этом рассматриваются химический состав и свойства минералов, минералогический состав горных пород, их структура, свойства и область применения.

Заполнять таблицу свойств минералов и горных пород необходимо, учитывая следующие рекомендации в строках: химический состав – записывают химическую формулу (например, для минерала кварца –  $\text{SiO}_2$ ); минералогический состав – устанавливают, из каких породообразующих минералов состоит горная порода и записывают их химическую формулу (например, известняк – кальцит  $\text{CaCO}_3$ ).

Структуру (строение) определяют на изломе куска породы. Структура может быть зернисто-кристаллическая, скрытно-кристаллическая (тонкозернистая), порфировая, зернистая. Цвет определяют по наружному осмотру.

Блеск может быть металлический (пирит, стеклянный кварц), перламутровый (слюда), жирный (талък), шелковый (асбест).

Твердость определяют по шкале Мооса.

Таблица 4

### Породообразующие минералы

№ п/п	Наименование	Химическая формула	Свойства		
			цвет	блеск	твердость
1					
2					

Таблица 5

### Горные породы

№ п/п	Наименование	Состав (породообразующие минералы)	Структура	Плотность	Область применения
1					
2					

### **Контрольные вопросы**

1. Что называют породообразующим минералом и горной породой?
2. Назовите породообразующие минералы изверженных и осадочных горных пород.
3. Общая классификация горных пород.
4. Применение горных пород в строительстве.
5. Назовите мономинеральные горные породы.
6. Перечислите осадочные горные породы.
7. Назовите изверженные горные породы.
8. Укажите метаморфические горные породы.

## Лабораторная работа 2

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ, ПОРИСТОСТИ, ВОДОПОГЛОЩЕНИЯ И ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МАТЕРИАЛОВ

#### Часть 1. Определение истинной и средней плотности

**Цель** – ознакомиться с сущностью понятий «плотность истинная и средняя» и методами их определения для образцов правильной и неправильной геометрической формы.

**Материалы:** набор образцов горных пород правильной геометрической формы, навеска размолотого в порошок керамического кирпича массой около 70 г и кусок кирпича неправильной формы массой 50...70 г; бетонный (растворный) образец-куб; куб из дерева с ребром 4...5 см; образец пенопласта в форме параллелепипеда массой 10...30 г.

**Приборы и приспособления:** весы лабораторные технические с приспособлением для гидростатического взвешивания, весы торговые, стандартный объемомер (колба Ле-Шателье), стеклянная палочка, стеклянные (фарфоровые) стаканы вместимостью 100 и 50 см<sup>3</sup>; линейки измерительные, чашечка фарфоровая.

#### Краткие теоретические сведения

Под свойствами строительных материалов понимают их способность определенным образом реагировать на отдельные или совокупные внешние или внутренние воздействия – силовые, тепловые, усадочные, водной или иной среды и т. д.

**Истинная плотность** – масса единицы объема материала в абсолютно плотном состоянии, т. е. без учета пустот или пор.

$$\rho = m / V_a. \quad (1)$$

Размерность истинной плотности кг/м<sup>3</sup>, г/см<sup>3</sup>.

**Средняя плотность** характеризует массу единицы объема материала в естественном состоянии (вместе с порами и пустотами).

Эта важная физическая характеристика определяется путем деления массы  $m$  образца на его объем  $V_0$  и выражается:

$$\rho_0 = m / V_0 \text{ в кг/м}^3, \text{ г/см}^3. \quad (2)$$

Коэффициент плотности материала вычисляется по формуле

$$K_{\text{плотн}} = \rho_0 / \rho. \quad (3)$$

Относительная плотность  $d$  – отношение средней плотности материала к плотности стандартного вещества.

За стандартное вещество принята вода при температуре 4 °С, имеющая плотность 1000 кг/м<sup>3</sup>.

Относительная плотность (безразмерная величина) определяется по формуле

$$d = \rho_0 / \rho_{\text{ст}}. \quad (4)$$

**Пористость материала (%)** – степень заполнения объема материала порами. Обычно пористость рассчитывают исходя из средней и истинной плотности материала:

$$\Pi = (\rho - \rho_0 / \rho) 100 = (1 - \rho_0 / \rho) 100. \quad (5)$$

**Водопоглощение** – способность материала впитывать и удерживать воду. Характеризуется оно количеством воды, поглощаемой сухим материалом. Водопоглощение, %, вычисляют по формулам:

$$W_m = (m_2 - m_1 / m_1) 100 \text{ (водопоглощение по массе);} \quad (6)$$

$$W_v = (m_2 - m_1 / V) 100 \text{ (объемное водопоглощение),} \quad (7)$$

где  $m_2$  – масса материала в насыщенном водой состоянии, кг;  $m_1$  – масса материала в сухом состоянии, кг;  $V$  – объем материала в естественном состоянии, м<sup>3</sup>.

Водопоглощение строительных материалов изменяется в зависимости от объема пор, их вида и размеров и от природы вещества.

**Коэффициент насыщения пор водой:**

$$K_{\text{нас}} = W_v / \Pi, \quad (8)$$

где  $W_v$  – водопоглощение по объему, %;  $\Pi$  – пористость насыщенного образца, %.

**Теплопроводность** – способность материала пропускать через свою толщину тепловой поток при наличии разности температур по обе стороны материала.

Значение теплопроводности материала характеризуется **коэффициентом теплопроводности**, равным количеству теплоты (в джоу-

лях), проходящей через образец материала толщиной 1 м, площадью 1 м<sup>2</sup> в течение 1 часа при разности температур на противоположных поверхностях образца 1 °С.

Величина теплопроводности обозначается  $\lambda$ , Вт/(м · °К).

Теплопроводность материала зависит от вида материала, его строения, пористости, характера и количества замкнутых пор, его влажности и плотности, а также от средней температуры, при которой происходит передача тепла. Но во всех случаях теплопроводность твердого вещества во много раз превышает теплопроводность воздуха. Поэтому, чем больше в материале пор (т. е. чем больше в нем воздуха), тем ниже будет его теплопроводность.

Если материал влажный, т. е. воздух в порах частично замещен водой, то теплопроводность материала резко возрастает. Причина этого в том, что теплопроводность воды в 25 раз выше, чем воздуха.

При замерзании воды в порах материала его теплопроводность повышается еще в большей степени, так как теплопроводность льда в 4 раза выше теплопроводности воды.

### **Ход работы**

#### *1. Определение истинной плотности кирпича*

Пробу тонкоразмолотого кирпича (размер частиц должен быть менее размера пор в кирпиче) массой около 70 г помещают в стаканчик и взвешивают на технических весах с погрешностью не более 0,05 г ( $m_1$ ).

В объеммер (рис. 1, а) наливают воду до нижней риски, нанесённой до расширения на горле колбы. Горло объеммера подсушивают фильтрованной бумагой (или тряпочкой). Затем порошок кирпича из взвешенного стакана осторожно с помощью стеклянной палочки пересыпают в объеммер до тех пор, пока уровень воды не поднимется до верхней отметки (потери порошка недопустимы). Объем засыпанного порошка  $V_n$  равен объему между верхней и нижней метками объеммера (20 или 10 см<sup>3</sup>) и указывается на объеммере.

Массу порошка кирпича (г), засыпанного в объеммер, определяют, взвешивая остатки порошка в стакане  $m_2$  и вычисляя ее как разность масс  $m_1 - m_2$ .

Истинную плотность ( $\text{г/см}^3$ ) рассчитывают по формуле

$$\rho = (m_1 - m_2) / V_n. \quad (9)$$

## II. Определение средней плотности материалов

Образец материала правильной формы. Образцы куба бетона (раствора), дерева и пенопласта измеряют линейкой с погрешностью 1 мм и рассчитывают объем образцов  $V_{\text{ест}}$ ,  $\text{см}^3$ . Затем определяют их массу  $m$  с погрешностью 5 г для бетона, 1 г для раствора и 0,1 г для дерева и пенопласта. Среднюю плотность ( $\text{г/см}^3$ ) рассчитывают по формуле  $\rho_m = m / V_{\text{ест}}$ , а затем переводят ее в  $\text{кг/м}^3$ , умножая полученное значение на 1000. Полученные данные заносят в таблицу.

Образец неправильной формы. Трудность определения средней плотности на таких образцах заключается в определении объема образца. Его невозможно рассчитать по результатам геометрических измерений. Для определения объема используют метод гидростатического взвешивания, основанный на законе Архимеда: объем тела оценивают по объему вытесненной телом воды, который, в свою очередь, определяют по выталкивающей силе, действующей на погруженный в воду образец.

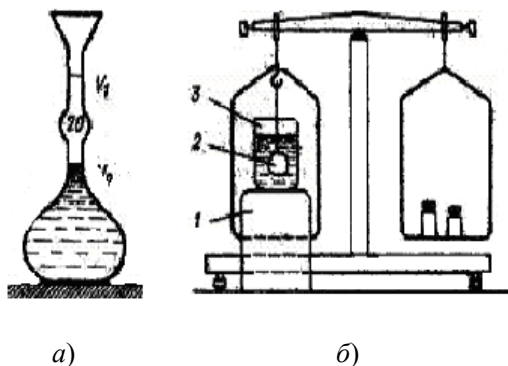


Рис. 1. Объеммер (а) и весы для гидростатического взвешивания (б):  
1 – П-образная подставка; 2 – образец материала; 3 – стакан с водой

Образец кирпича взвешивают в сухом состоянии, определяя его массу  $m_{\text{сух}}$ . Далее образец постепенно заливают водой и периодически (через 1...2 мин) взвешивают; перед взвешиванием образец об-



тирают мягкой тканью. Заканчивают насыщение образца водой после того, как два последовательных взвешивания будут различаться не более чем на 0,05 г. Значение массы образца в этот момент принимают за массу насыщенного водой образца  $m_{\text{нас}}$ .

Насыщенный водой образец подвешивают на тонкой проволочке к коромыслу технических весов и еще раз определяют его массу  $m_{\text{нас}}$ . Затем образец, не снимая с весов, погружают в воду, используя приспособление для гидростатического взвешивания (рис. 1, б) и определяют массу гирь, уравновешивающих образец, находящийся в воде, —  $m_{\text{вод}}$ .

По результатам двух взвешиваний рассчитывают естественный объем образца:

$$V_{\text{ест}} = (m_{\text{нас}} - m_{\text{вод}}) / \rho_{\text{H}_2\text{O}}, \quad (10)$$

где  $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \text{ г/см}^3$ .

Среднюю плотность  $\rho_m$  рассчитывают по приведенной ранее формуле.

Все результаты заносят в сводную табл. 6.

Таблица 6

Результаты определения структурных характеристик и свойств материалов

Материал	Плотность, кг/м <sup>3</sup>		Пористость, %
	истинная	средняя	
Бетон (раствор)			
Кирпич керамический			
Древесина (сосна)			
Пенопласт полистирольный			

## Часть 2. Определение пористости материалов

**Цель** — научиться рассчитывать пористость и водопоглощение материала.

### Ход работы

#### *Определение пористости материалов*

Используя найденные значения истинной и средней плотности, указанные в табл. 6, рассчитывают пористость бетона, кирпича, дерева и пенопласта по формуле

$$\Pi = [(\rho - \rho_m) / \rho] 100. \quad (11)$$

Все испытания проводят на трех-пяти образцах и в табл. 6 заносят данные средних значений структурных характеристик и свойств материалов.

#### *Определение водопоглощения*

Водопоглощение рассчитывают для образца керамического кирпича, используя данные, полученные в лабораторной работе 2 (II), массу сухого образца кирпича  $m_{\text{сух}}$  и массу насыщенного водой образца  $m_{\text{нас}}$ .

Водопоглощение по массе  $W_m^n$  определяют по формуле

$$W_m^n = (m_{\text{нас}} - m_{\text{сух}} / m_{\text{сух}}) 100. \quad (12)$$

Водопоглощение по объему  $W_o^n$  рассчитывают по найденному водопоглощению по массе  $W_m^n$  и средней плотности кирпича  $\rho_m$ , определённой в работе II.

$$W_o^n = W_m^n (\rho_m / \rho_{H_2O}), \quad (13)$$

где  $\rho_{H_2O}$  — плотность воды, выраженная в тех же единицах, что и  $\rho_m$ .

По результатам табл. 6 студенты делают вывод о других свойствах исследованных материалов (морозостойкости, теплопроводности и т. п.) и их использовании.

### **Часть 3. Определение коэффициента теплопроводности**

Теплопроводность характеризуется коэффициентом теплопроводности  $\lambda$  — это количество тепла, проходящего через стену толщиной 1 м, площадью 1 м<sup>2</sup> за время 1 ч при разности температур на противоположных поверхностях стены 1 °С.  $\lambda$  выражается в Вт/(м·°С)

$$\lambda = \frac{Q \cdot \alpha}{S(t_1 - t_2)z}. \quad (14)$$

Для теплотехнических и теплофизических расчетов необходимо значение коэффициента теплопроводности, а также факторов, влияющих на его значение. Зная среднюю плотность материала, можно вычислить коэффициент теплопроводности по формуле В.П. Некрасова

$$\lambda = 1,16\sqrt{0,0196 + 0,22 \cdot \rho_o^2} - 0,16. \quad (15)$$

Точное значение  $\lambda$  материала определяют экспериментально.

### **Контрольные вопросы**

1. Что называется средней плотностью?
2. Как определяется средняя плотность?
3. Что называется пористостью?
4. Как определяется пористость?
5. На какие свойства оказывает влияние пористость?
6. Что называется водопоглощением?
7. Как определяется водопоглощение?
8. Как определяется коэффициент насыщения и его значение?
9. Что называется теплопроводностью?
10. Как зависит величина теплопроводности от средней плотности?
11. Как определить величину коэффициента теплопроводности?
12. Что называется прочностью, пределом прочности?
13. Как определяется величина предела прочности?
14. Как определяется коэффициент размягчения и его значение?

## Лабораторная работа 3

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ И ВОДОСТОЙКОСТИ

**Цель** – ознакомиться с методом экспериментального определения предела прочности материала при сжатии и оценки его водостойкости по коэффициенту размягчения.

**Материалы:** образцы-кубы (не менее 6 шт.) из бетона или затвердевшего гипсового вяжущего с ребром 7 см.

**Оборудование:** пресс гидравлический; фарфоровая или металлическая чашка с водой, измерительная линейка.

#### Краткие теоретические сведения

**Прочность** материала называется его способность, не разрушаясь, сопротивляться воздействию внешних нагрузок. В строительных материалах, подвергаемых воздействию нагрузок, возникают различные напряжения: сжатия, растяжения, изгиба, кручения, среза. В зависимости от условий работы в конструкциях их испытывают на прочность при сжатии, растяжении, изгибе и т. д. Требования по прочности к строительным материалам изложены в соответствующих нормативных документах (СНиП, ГОСТ, ТУ и т. п.).

Сжатию хорошо сопротивляются каменные материалы (гранит, бетон) и хуже (в 5...50 раз) – растяжению, изгибу, удару, поэтому их используют в конструкциях, работающих на сжатие.

Одновременно на сжатие, изгиб и растяжение хорошо работают металл и древесина.

Прочность строительных материалов характеризуется значением предела прочности  $R$  – напряжением в испытуемом образце материала в момент его разрушения.

**Предел прочности при сжатии:**

$$R_{сж} = P / F, \text{ МПа}, \quad (16)$$

где  $P$  – разрушающая сила, Н;  $F$  – площадь поперечного сечения образца до испытания, м<sup>2</sup>.

Форма стандартных образцов (в виде куба, цилиндра, призмы), их размер, методика их изготовления и испытания указываются в ГОСТах на соответствующие материалы. Так, для оценки прочности бетона приняты образцы-кубы размером 150×150×150 мм.

Размеры и форму образцов строго выдерживают, так как они влияют на результат испытания. Например, у кубиков малых размеров предел прочности при сжатии меньше, чем у кубиков больших размеров того же материала. При испытании кубов бетона размером 70×70×70 мм в соответствии с требованиями ГОСТ имеется коэффициент пересчета прочности образцов данного размера на прочность образцов стандартного размера (150×150×150 мм)  $k = 0,85$ , для образцов-кубов размером 100×100×100 мм –  $k = 0,95$ , для образцов-кубов размером 200×200×200 мм –  $k = 1,05$ .

На прочность материала влияют не только форма и размер образца, но и характер его поверхности и скорость приложения нагрузки. Результат получается завышенным при быстром нагружении образца. Поэтому, чтобы результаты прочности были правильными, необходимо строго следовать указаниям стандартов на методы испытания материалов.

**Водостойкость** – способность материала сохранять в той или иной мере свои прочностные свойства при увлажнении. Числовой характеристикой водостойкости служит так называемый коэффициент размягчения:

$$K_{\text{разм}} = R_{\text{нас}} / R_{\text{сух}}, \quad (17)$$

где  $R_{\text{нас}}$  и  $R_{\text{сух}}$  – предел прочности при сжатии соответственно водонасыщенного и сухого образцов материала, МПа.

$$K_{\text{разм}} = 0 \dots 1.$$

К водостойким относятся строительные материалы с  $K_{\text{разм}} \geq 0,8$ .

Материалы с  $K_{\text{разм}} < 0,8$  в местах, подверженных систематическому увлажнению, применять не разрешается.

### **Ход работы**

Бетонные или гипсовые образцы-кубы нумеруют (номер ставят на поверхности, которая была боковой при формировании), измеряют площадь занумерованной поверхности и заносят полученные значения в табл. 7. Образцы делят на две группы: № 1, 2, 3 и № 4, 5, 6. Образцы первой группы испытывают сухими, второй – помещают в воду перед испытанием на 10...15 мин в зависимости от размеров образца.

Сухие и влажные образцы помещают в пресс занумерованной (боковой) поверхностью вверх. Опускают плиту пресса до поверх-

ности образца и нагружают. Момент разрушения определяют по остановке или началу обратного хода стрелки силоизмерителя визуально по появлению трещин на образце. Результаты испытаний образцов-кубов заносят в табл. 7.

Предел прочности при сжатии (МПа) рассчитывают по формуле

$$R_{сж} = P_{разр} / F, \quad (18)$$

где  $F$  – площадь поперечного сечения образца,  $m^2$ .

Таблица 7

### Результаты испытаний

Показатели	Образец							
	сухой				водонасыщенный			
	1	2	3	средняя	4	5	6	средняя
Площадь поперечного сечения образца, $cm^2$								
Разрушающая нагрузка $P_{разр}$ , кг								
Предел прочности при сжатии, $kg/cm^2$ (МПа)								
Коэффициент размягчения, $K_{разм}$								

По результатам испытаний сухих и водонасыщенных образцов определяют среднюю прочность гипсового камня в сухом и водонасыщенном состоянии и ее значение заносят в табл. 7.

Водостойкость испытываемого материала оценивают по коэффициенту размягчения:

$$K_{разм} = R_{нас} / R_{сух}, \quad (19)$$

где  $R_{нас}$  – предел прочности в водонасыщенном состоянии, МПа;  $R_{сух}$  – предел прочности в сухом состоянии, МПа.

По полученному значению  $K_{разм}$  делают вывод о водостойкости гипсового камня.

### Контрольные вопросы

1. Что называется прочностью, пределом прочности?
2. Как определяется величина предела прочности?
3. Как определяется коэффициент размягчения, его значение?

## Лабораторная работа 4

### ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ

**Цель** – определить влажность, плотность и прочность древесины.

**Материалы:** малые чистые образцы-призмы испытываемой древесины размером 2×2×4 и 2×2×6 см по 3 шт.

**Оборудование:** штангенциркуль, весы лабораторные, психрометр и психрометрическая таблица, номограмма равновесной влажности, пресс гидравлический с максимальным усилением 50...10 кН, металлический брусок шириной 20 мм и длиной 40...60 мм.

#### Краткие теоретические сведения

Для количественной характеристики содержания воды в древесине используют показатель – влажность. Под влажностью древесины понимают выраженное в процентах отношение массы воды к массе сухой древесины:

$$W = (m - m_0) / m_0 \cdot 100, \quad (20)$$

где  $m$  – начальная масса образца древесины, г;  $m_0$  – масса образца абсолютно сухой древесины, г.

По содержанию влаги различают:

- мокрую древесину с влажностью до 100 % и более;
- свежесрубленную древесину с влажностью 35 % и более;
- воздушно-сухую древесину с влажностью 15...20 %;
- комнатно-сухую древесину с влажностью 8...15 %;
- абсолютно сухую, получаемую путем высушивания древесины до постоянной массы при температуре 105...110 °С.

Древесине свойственен ряд положительных свойств.

К достоинствам этого материала, объясняющим причины широкого использования его в строительстве, можно отнести, во-первых, достаточно высокую прочность – при сжатии предел прочности составляет 35...70 МПа, при растяжении и изгибе пределы прочности равны 80...120 МПа. Прочность при сжатии поперек волокон составляет примерно 0,15...0,3 от предела прочности вдоль волокон.

Во-вторых, необходимо отметить легкость древесины – средняя плотность ее составляет примерно 400...600 кг/м<sup>3</sup> (у самых распространенных пород – ели, сосны, лиственницы, дуба).

В связи с тем что механические свойства древесины зависят от влажности, для получения сравнимых результатов испытания прочность древесины при фактической влажности пересчитывают на прочность при стандартной 12%-ной влажности. При фактической влажности 8...20 % пересчет производят по формуле

$$R_{сж}^{12} = R_{сж}^w [1 + \alpha (W - 12)], \quad (21)$$

где  $R_{сж}^{12}$  и  $R_{сж}^w$  – предел прочности образцов соответственно при 12%-ной и фактической влажности  $W$  в момент испытаний;  $\alpha$  – поправочный коэффициент на влажность, показывающий, насколько изменяется прочность при изменении влажности на 1 %.

Значения  $\alpha$  при сжатии и изгибе составляют 0,04, при смятии – 0,035.

Сочетание высокой прочности и легкости обеспечивает высокий коэффициент конструктивного качества (ККК) древесины.

Данный коэффициент равен отношению предела прочности при сжатии материала к его средней плотности.

У древесины этот коэффициент равен 0,7 и выше, тогда как у кирпича 0,06...0,15, у стали марок 3 и 5 – от 0,5 до 1,0.

## Ход работы

### 1. Определение равновесной влажности древесины

Показания психрометра

Температура сухого термометра \_\_\_\_\_ °С.

Температура влажного термометра \_\_\_\_\_ °С.

Разность температур \_\_\_\_\_ °С.

Влажность воздуха по психрометрической таблице  $\varphi =$  \_%.

Равновесная влажность древесины, соответствующая температуре и влажности воздуха,  $W_p =$  \_\_\_\_\_ %.

### 2. Определение средней плотности древесины

Размеры образца, см:  $a =$  \_\_\_\_\_;  $b =$  \_\_\_\_\_;  $h =$  \_\_\_\_\_.

Объем образца  $V_c =$  \_\_\_\_\_ см<sup>3</sup>.

Масса образца  $m =$  \_\_\_\_\_ г.



Средняя плотность образца древесины при влажности  $W_p$   
 $\rho_m^w = m / V_e = \text{_____} \text{ г/см}^3 = \text{_____} \text{ кг/м}^3$ .

Средняя плотность образца древесины при стандартной 12%-ной влажности:

$$\rho_m^{12} = \rho_m^w + 2,5 (12 - W_p) = \text{_____} \text{ кг/м}^3$$

Среднее значение плотности испытуемой древесины при стандартной влажности рассчитывают как среднее арифметическое испытаний трех образцов.

### 3. Определение прочности древесины

**Прочность на сжатие вдоль волокон.** Испытания проводят на образцах в виде прямоугольных призм сечением 20×20 мм и высотой вдоль волокон 30 мм.

Площадь поперечного сечения образца  $S$  (см<sup>2</sup>) вычисляют, измеряя его размеры с погрешностью 0,1 мм.

Образец помещают строго на центр плиты пресса и медленно нагружают образец, фиксируя разрушающую нагрузку  $P$  (кН).

Предел прочности образца при сжатии вдоль волокон (МПа) при влажности  $W_p$  определяют по формуле

$$R_{\text{сж}}^w = (P / S) 10. \quad (22)$$

Предел прочности испытуемой древесины при сжатии вдоль волокон вычисляют как среднее арифметическое испытаний трех образцов.

Для пересчета предела прочности на стандартную влажность (12 %) используют формулу

$$R_{\text{сж}}^{12} = R_{\text{сж}}^w [1 + \alpha (W - 12)], \quad (23)$$

где  $W$  – влажность древесины в момент испытаний, %;  $\alpha = 0,04$  – поправочный коэффициент.

**Прочность на сжатие поперек волокон.** Испытания проводят на образцах в виде прямоугольных призм с основанием 20×20 мм и длиной вдоль волокон 60 мм. Образец укладывается на центр плиты пресса. Усилие на образец передается через металлическую накладку, устанавливаемую крестообразно на образец. Ширина рабочей площадки накладки, вдавливаемой в древесину, – 20 мм. Из-за того, что ребра накладки закруглены ( $R = 2$  мм), расчетная ширина при-

нимается 18 мм. Таким образом, площадь рабочей поверхности при испытании  $S = (1,8 \cdot b) \text{ см}^2$ .

За разрушающее усилие  $P_{\text{усл}}$  (кН) принимают усилие, при котором накладка входит в образец на 2...4 мм, а на торцах образца появляются первые трещины. По найденному  $P_{\text{усл}}$  рассчитывают условный предел прочности образца при смятии поперек волокон:

$$R_{\text{см}}^w = (P_{\text{усл}} / S) 10, \quad (24)$$

где  $b$  – ширина образца, см.

Условный предел прочности древесины при смятии вычисляют как среднее арифметическое испытаний трех образцов.

Для пересчета предела прочности на стандартную влажность (12 %) используют формулу

$$R_{\text{см}}^{12} = R_{\text{см}}^w [1 + \alpha (W - 12)], \quad (25)$$

где  $\alpha$  – поправочный коэффициент на влажность, равный для всех пород 0,035;  $W$  – влажность древесины в момент испытаний, %.

### Контрольные вопросы

1. Что такое равновесная влажность древесины?
2. Сравните древесину и кирпич по плотности.
3. Какие пороки могут быть у древесины?
4. Как предохранить древесину от гниения?
5. Как защитить древесину от возгорания?
6. Как пересчитывается предел прочности древесины на стандартную влажность?
7. Как определяется средняя плотность древесины?
8. Какие материалы можно получить из отходов древесины?

## Лабораторная работа 5

### КИРПИЧ И КЕРАМИЧЕСКИЕ КАМНИ

**Цели:** ознакомиться с различными видами кирпича и керамических стеновых камней, научиться определять их размеры, среднюю плотность, теплопроводность, оценивать качество керамического кирпича по внешнему виду.

**Материалы:** коллекция различных видов кирпича керамического (обыкновенного пластического прессования, полусухого формования, нескольких видов пустотелого кирпича, лицевой кирпич) и для сравнения силикатный кирпич, а также пустотелые керамические камни.

**Приборы и приспособления:** весы, линейки.

#### Краткие теоретические сведения

**Стеновые материалы** — это кирпич и камни (последние отличаются от кирпича большими размерами).

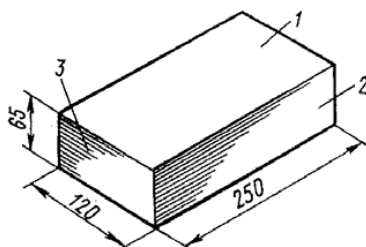


Рис. 2. Кирпич керамический обыкновенный пластического формования:  
1 — постель; 2 — ложок; 3 — тычок

#### Классификация изделий

Изделия подразделяют на **рядовые и лицевые**.

Лицевые кирпич и камень изготавливают:

- с гладкой и рифленой поверхностью;
- с поверхностью, офактуренной торкретированием, ангобированием, глазурованием, двухслойным формованием, нанесением полимерного покрытия.

Кирпич изготавливают полнотелым и пустотелым, камень — только пустотелым.

У обыкновенного керамического кирпича есть два существенных недостатка:

- 1) относительно высокая плотность (1600...1800 кг/м<sup>3</sup>);
- 2) небольшие размеры.

Высокая плотность предопределяет большую теплопроводность кирпича и, как следствие, большую толщину стен и их большую массу.

Небольшой размер обыкновенного кирпича объясняется двумя причинами:

- масса кирпича, укладываемого вручную, не должна превышать 4,3 кг;
- получение крупного массивного керамического изделия затруднительно, так как сушка и обжиг таких изделий протекают долго и, как правило, сопровождаются большими деформациями и растрескиванием изделий.

Решение этих проблем возможно путем формирования крупно-размерных керамических изделий со сквозными пустотами. Наличие пустот не только снижает массу и, соответственно, плотность изделий, но и ускоряет и облегчает процессы сушки и обжига, так как изделие прогревается быстрее и равномернее через наружные и внутренние поверхности. А именно неравномерность влажности и температуры по сечению изделия вызывает коробление и растрескивание. Поэтому пустотелые камни и кирпич имеют меньше дефектов и прочность их, несмотря на большой процент пустот (до 45 %), такая же, как у полнотелого кирпича.

Эти же пустоты снижают плотность кирпича и камней до 1400...1200 кг/м<sup>3</sup> и, соответственно, теплопроводность до 0,6...0,4 Вт/(м · °К).

Пустотелыми считаются кирпич и камни, объем пустот которых более 13 %.

Форма и размер пустот могут быть различными.

По показателю средней плотности изделия подразделяют на классы, по теплотехническим характеристикам в зависимости от класса средней плотности — на группы в соответствии с табл. 8.

Таблица 8

**Классы средней плотности и группы изделий  
по теплотехническим свойствам**

Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Классы средней плотности изделий	Группы изделий по теплотехническим характеристикам	Коэффициент теплопроводности кладки в сухом состоянии $\lambda$ , Вт / (м · °С)
До 800	0,8	Высокой эффективности	До 0,20
801...1000	1,0	Повышенной эффективности	Св. 0,20 до 0,24
1001...1200	1,2	Эффективные	Св. 0,24 до 0,36
1201...1400	1,4	Условно-эффективные	Св. 0,36 до 0,46
Св. 1400	2,0	Малоэффективные (обыкновенные)	Св. 0,46

Водопоглощение изделий должно быть не менее 6,0 %.

***Размеры кирпича***

Таблица 9

**Номинальные размеры кирпича (в миллиметрах)**

Вид изделия	Обозначение вида	Номинальные размеры			Обозначение размера изделия
		Длина	Ширина	Толщина	
Кирпич	КР	250	120	65	1 НФ
		250	85	65	0,7 НФ
		250	120	88	1,4 НФ
		250	60	65	0,5 НФ
		288	138	65	1,3 НФ
		288	138	88	1,8 НФ
		250	120	55	0,8 НФ
Кирпич с горизонтальными пустотами	КРГ	250	120	88	1,4 НФ
		250	200	70	1,8 НФ

Предельные отклонения от номинальных размеров не должны превышать на одном изделии, мм:

- по длине кирпича:  $\pm 4$ ;
- по ширине кирпича:  $\pm 3$ ;
- по толщине кирпича: лицевого  $\pm 2$ , рядового  $\pm 3$ .

### ***Внешний вид изделий***

На лицевых изделиях *допускаются единичные вспучивающиеся* (например, известковые) *включения* глубиной не более 3 мм, общей площадью не более 0,2 % площади лицевых граней.

На рядовых изделиях допускаются вспучивающиеся включения общей площадью не более 1,0 % площади вертикальных граней изделия.

На лицевых и клинкерных изделиях *не допускаются высолы*.

Дефекты внешнего вида изделия, размеры и число которых превышают значения, указанные в табл. 10, не допускаются.

Таблица 10

Дефекты внешнего вида изделия

Вид дефекта	Значение	
	Лицевые изделия	Рядовые изделия
Отбитости углов глубиной, отбитости ребер и граней длиной более 15 мм, шт.	Не допускаются	4
Отбитости углов глубиной, отбитости ребер и граней длиной не более 15 мм, шт.	2	Не регламентируются
Отдельные посечки суммарной длиной, мм, не более: — для кирпича — для камня	40 80	Не регламентируются
Трещины, шт.	Не допускаются	4
<i>Примечания.</i> 1. Отбитости глубиной менее 3 мм не являются браковочными признаками. 2. Трещины в межпустотных перегородках, отбитости и трещины в элементах пазогребневого соединения не являются дефектом. 3. Для лицевых изделий указаны дефекты лицевых граней.		

У изделий *допускаются черная сердцевина и контактные пятна* на поверхности.

В партии *не допускается половняк* (две части изделия, образовавшиеся при его раскалывании) *более 5 % объема партии*.

## Ход работы

Для каждого вида кирпича и стенового камня определяют массу одного кирпича (камня), его размеры и объём. По этим данным находят их среднюю плотность  $\rho_T$  (кг/м<sup>3</sup>). По формуле рассчитывают теплопроводность материалов, Вт/(м · К):

$$\lambda = 1,16\sqrt{0,0196 + 0,22(\rho_M / \rho_{H_2O})^2} - 0,16, \quad (26)$$

где  $\rho_{H_2O} = 1000$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>.

Все полученные данные заносят в табл. 11.

Таблица 11

Свойства различных видов кирпича и стеновых камней

Вид кирпича (камня)	Масса, г	Размеры, см			Объем, см <sup>3</sup>	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Теплопроводность, Вт/(м·К)
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>h</i>			

## Контрольные вопросы

1. Что является сырьем для производства керамических материалов?
2. Какую роль в керамической шихте выполняют отошающие добавки?
3. Понятие о глине, свойства глины.
4. Назовите группы добавок и их влияние на свойства кирпича.
5. Назовите способы получения кирпича, их достоинства, недостатки.
6. По каким показателям характеризуется качество кирпича по внешнему виду?
7. Как определяется водопоглощение кирпича?
8. Назовите производственные дефекты кирпича.
9. Что такое «дутики» в керамическом кирпиче?

## Лабораторная работа 6

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАРКИ КИРПИЧА

**Цель** – ознакомиться с понятием «марка кирпича» и методом её определения.

**Материалы:** кирпич керамический обыкновенный, быстротвердеющее вяжущее, два листа стекла и тонкой бумаги (можно газетной) размером не менее 15×15 см.

**Приборы и приспособления:** пресс гидравлический с максимальным усилием 250...500 кН, разрывная машина или пресс с приспособлением для испытания на изгиб с максимальным усилием 10...50 кН, чаша и лопаточка для приготовления раствора.

#### Краткие теоретические сведения

Марки керамических изделий в зависимости от пределов прочности при сжатии и при изгибе приведены в табл. 12.

Таблица 12

Пределы прочности изделий при сжатии и изгибе

Марка изделий	Предел прочности при сжатии изделий, МПа		Предел прочности при изгибе, МПа					
			полнотелого кирпича		пустотелого кирпича формата менее 1,4 НФ		пустотелого кирпича формата 1,4 НФ	
	Средний для пяти образцов	Наименьший для отдельного образца	Средний для пяти образцов	Наименьший для отдельного образца	Средний для пяти образцов	Наименьший для отдельного образца	Средний для пяти образцов	Наименьший для отдельного образца
M1000	100,0	80,0	>4,4	4,4	>3,4	3,4	>2,9	2,9
M800	80,0	64,0						
M600	60,0	48,0						
M500	50,0	40,0						
M400	40,0	32,0						
M300	30,0	25,0	4,4	2,2	3,4	1,7	2,9	1,5
M250	25,0	20,0	3,9	2,0	2,9	1,5	2,5	1,3
M200	20,0	17,5	3,4	1,7	2,5	1,3	2,3	1,1
M175	17,5	15,0	3,1	1,5	2,3	1,1	2,1	1,0
M150	15,0	12,5	2,8	1,4	2,1	1,0	1,8	0,9
M125	12,5	10,0	2,5	1,2	1,9	0,9	1,6	0,8



Марка изделий	Предел прочности при сжатии изделий, МПа		Предел прочности при изгибе, МПа					
			полнотелого кирпича		пустотелого кирпича формата менее 1,4 НФ		пустотелого кирпича формата 1,4 НФ	
	Средний для пяти образцов	Наименьший для отдельного образца	Средний для пяти образцов	Наименьший для отдельного образца	Средний для пяти образцов	Наименьший для отдельного образца	Средний для пяти образцов	Наименьший для отдельного образца
M100	10,0	7,5	2,2	1,1	1,6	0,8	1,4	0,7
M75	7,5	5,0	–	–	–	–	–	–
M50	5,0	3,5	–	–	–	–	–	–
M35	3,5	2,5	–	–	–	–	–	–
M25	2,5	1,5	–	–	–	–	–	–

### Ход работы

Образцы испытывают в воздушно-сухом состоянии. Работа по определению марки кирпича складывается из двух этапов: приготовление образцов и испытание образцов.

Для испытания на сжатие образец готовят следующим образом. Полнотелый кирпич распиливают (раскалывают) строго пополам, а затем из этих половинок на быстротвердеющем растворе (марки не ниже 100 кгс/см<sup>2</sup>) изготавливают как бы модель стены (рис. 3, а). При испытании пустотелого кирпича образец готовят из двух целых кирпичей, уложенных постелями друг на друга. Подготовку опорных поверхностей кирпича производят шлифованием, для образцов из клинкерного кирпича применяют выравнивание цементным раствором. Допускаются иные способы выравнивания опорных поверхностей образцов.

При выравнивании поверхностей кирпича цементным раствором на ровном горизонтальном основании укладывают стеклянную пластинку со смоченным листом тонкой бумаги и на неё наносят слой раствора толщиной 3...5 мм. На раствор укладывают смоченную половинку кирпича, на кирпич снова наносят слой раствора и укладывают вторую половинку так, чтобы грани, образовавшиеся при распиливании кирпича, были обращены в противоположные стороны. Сверху на кирпич наносят слой раствора толщиной 3...5 мм, который накрывают стеклянной пластинкой со смоченным

листом бумаги. Стекло́нные пластины должны выровнять поверхность кирпича так, чтобы плиты пресса плотно прилегали к образцу во время испытаний, что, в свою очередь, обеспечит равномерную передачу нагрузки на образец. Смоченный лист бумаги предотвратит сцепление раствора со стеклом.

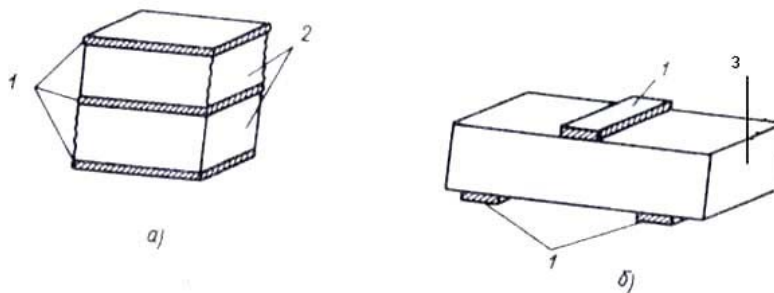


Рис. 3. Схема кирпича на сжатие (а) и изгиб (б) при определении его марки по прочности: 1 – выравнивающие слои; 2 – половинки кирпича; 3 – целый кирпич

После затвердевания раствора образец вынимают из стеклянных пластин и испытывают на сжатие.

Образец устанавливают в центре опорной плиты машины для испытаний на сжатие, совмещая геометрические оси образца и плиты, и прижимают верхней плитой машины. При испытаниях нагрузка на образец должна возрастать следующим образом: до достижения примерно половины ожидаемого значения разрушающей нагрузки – произвольно, затем поддерживают такую скорость нагружения, чтобы разрушение образца произошло не ранее чем через одну минуту. Значение разрушающей нагрузки регистрируют.

Предел прочности при сжатии изделий, МПа (кгс/см<sup>2</sup>), определяют по формуле

$$R_{\text{сж}} = P / F,$$

где  $P$  – наибольшая нагрузка, установленная при испытании образца, Н (кгс);  $F$  – площадь поперечного сечения образца (без вычета площади пустот), вычисляют как среднеарифметическое значение площадей верхней и нижней поверхностей (см<sup>2</sup>).

Значение предела прочности при сжатии образцов кирпича вычисляют с точностью до 0,1 МПа как среднеарифметическое значение результатов испытаний пяти образцов.

Для испытания на изгиб на широкие грани (постели) кирпича наносят выравнивающие полоски из быстротвердеющего раствора шириной 20...30 мм и толщиной 3...5 мм по схеме, указанной на рис. 3, б. Плоскость полосок выравнивают стеклом.

После затвердевания раствора образец устанавливают в испытательную машину (пресс) с максимальной нагрузкой 10...50 кН на опоры по стандартной схеме. Опоры – цилиндрические катки диаметром 20...30 мм или треугольные призмы с закругленным ребром располагают по центрам выравнивающих полосок раствора. Нагрузка также передаётся через каток или призму.

Предел прочности образца (МПа) при изгибе вычисляют по формуле

$$R_n = 30 P_{\text{разр}} L / 2 b h^2, \quad (27)$$

где  $P_{\text{разр}}$  – разрушающая нагрузка; кН;  $L$  – длина пролета между опорами, равная 20 см;  $b$  – ширина кирпича, см;  $h$  – высота (толщина) кирпича, см.

Предел прочности кирпича при изгибе определяют как среднее арифметическое результатов испытаний пяти образцов.

Марку кирпича по прочности устанавливают по значениям пределов прочности кирпича при сжатии и изгибе в соответствии с требованиями ГОСТа к прочности кирпича той или иной марки (табл. 12).

### **Контрольные вопросы**

1. Описать испытание кирпича на сжатие и изгиб.
2. Как устанавливают марку кирпича по прочности?
3. Какой кирпич называется полнотелым?
4. Какой кирпич называется пустотелым?
5. Какой кирпич называют клинкерным?

## Лабораторная работа 7

### ИСПЫТАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КРУПНОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА

**Цели:** изучить физико-механические свойства крупного заполнителя тяжёлых бетонов и освоить методы определения качественных показателей щебня и гравия.

**Материалы:** щебень, гравий и щебень из гравия с размером зёрен 5...80 мм.

**Приборы, инструменты, оборудование:** весы с разновесами, мерные цилиндры, набор стандартных сит, штангенциркуль, пресс гидравлический, металлические линейки, цилиндры диаметром 75 и 150 мм.

#### Краткие теоретические сведения

В качестве крупного заполнителя для бетона используют гравий и щебень. В зависимости от насыпной плотности и структуры зерен крупного заполнителя различают плотные (тяжелые) заполнители (насыпная плотность более  $1200 \text{ кг/м}^3$ ), используемые для тяжелого бетона, и пористые (насыпная плотность равна или менее  $1200 \text{ кг/м}^3$ ), используемые для легкого бетона.

**Насыпная плотность** крупного заполнителя — один из важных качественных показателей. Она зависит от плотности зерен заполнителя и его межзерновой пустотности. Насыпная плотность  $P_{\text{нас}}$  определяется путем взвешивания пробы заполнителя в сосуде с известной вместимостью по формуле

$$P_{\text{нас}} = (m - m_c) / V_c, \quad (28)$$

где  $m$  — масса пробы заполнителя с сосудом, кг;  $m_c$  — масса сосуда, кг;  $V_c$  — вместимость сосуда,  $\text{м}^3$ .

**Межзерновая пустотность** показывает, какую долю составляют пустоты между зернами крупного заполнителя от его объема в рыхлонасыпном состоянии. Она может быть определена по формуле для расчета пористости, если известны насыпная плотность  $P_{\text{нас}}$  заполнителя и его плотность в куске  $p_m$ ,

$$\alpha = (p_m - p_{\text{нас}}) / p_m. \quad (29)$$

Межзерновая пустотность обычно составляет 0,4...0,5. Это означает, что около половины объема крупного заполнителя занимает воздух. При использовании в бетоне важно, чтобы межзерновая пустотность заполнителя была возможно меньше. В этом случае снижается расход цемента при сохранении требуемых свойств бетона. Уменьшить межзерновую пустотность заполнителя можно правильным подбором зернового состава так, чтобы мелкие зерна занимали пустоты между крупными.

**Зерновой состав.** По крупности зерен щебень и гравий разделяют на следующие фракции: 5...10, 10...20, 20...40, 40...70 мм. Для массивных конструкций допускается использовать фракции большего размера. В строительстве применяют крупный заполнитель в виде смеси фракций, обеспечивающей минимальную межзерновую пустотность, или в виде отдельных фракций при условии последующего их смешения в заданных соотношениях. Чем меньше межзерновая пустотность, тем меньше расход цементно-песчаного раствора (а в конечном счете цемента), заполняющего в бетоне пустоты между зернами заполнителя.

Содержание различных фракций в крупном заполнителе нормируется стандартами.

**Прочность** крупного заполнителя для тяжелых бетонов должна быть в 1,5...2 раза выше прочности бетона. Оценка прочности заполнителя может производиться по прочности той породы, из которой получен заполнитель, путем испытания выпиленных из нее кернов (цилиндрических образцов) или путем оценки дробимости самого заполнителя. Дробимость заполнителя оценивается по количеству мелочи, образующейся при сдавливании пробы заполнителя (гравия или щебня) в стальной форме под определенным усилием. Показатель дробимости  $D_p$  (%) вычисляют с погрешностью до 1 % по формуле

$$D_p = (m_1 - m_2 / m_1) 100, \quad (30)$$

где  $m_1$  — испытываемая проба щебня (гравия), кг;  $m_2$  — остаток на контрольном сите после просеивания раздробленной в цилиндре пробы щебня (гравия), кг.

В зависимости от дробимости при сжатии в цилиндре щебень подразделяют на следующие марки по прочности: М1400, М1200, М1000, М800, М600, М400, М300 и М200.

В зависимости от вида горной породы и марки по дробимости содержание зерен слабых пород в щебне и гравии не должно быть более указанного в табл. 13.

Таблица 13

Содержание зерен слабых пород в щебне и гравии

Вид породы и марка по дробимости щебня и гравия	Содержание зерен слабых пород, % по массе
Щебень из изверженных, метаморфических и осадочных горных пород марок: 1400; 1200; 1000	5
800; 600; 400	10
300	15
Щебень из гравия и валунов и гравий марок: 1000; 800; 600	10
400	15

**Морозостойкость** заполнителя должна быть выше проектной морозостойкости бетона.

**Вредными примесями** в крупном заполнителе, как и в песке, являются органические, пылеватые и глинистые. Методы их определения такие же, как и для песка. Особенно вредна глина на поверхности заполнителя, так как препятствует его сцеплению с цементным камнем. Количество пылеватых, глинистых и илистых примесей, определяемых отмучиванием, не должно быть более 1...3 % в зависимости от вида заполнителя и класса бетона. Глина в виде комков снижает морозостойкость бетона, поэтому ее присутствие недопустимо.

В крупном заполнителе не должно быть зерен, содержащих активный кремнезем, так как это может со временем вызвать разрушение бетона.

Радиационно-гигиеническая оценка содержания естественных радионуклидов обязательна для всех заполнителей, и в особенности для полученных из промышленных отходов (металлургических шлаков и т. п.).

Щебень в *зависимости от содержания зерен пластинчатой и игловатой формы* подразделяют на пять групп, которые должны соответствовать указанным в табл. 14.

Таблица 14

Содержание зерен пластинчатой и игловатой формы в щебне

Группа щебня	Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы, % по массе
1	До 10 включительно
2	Св. 10 до 15 включительно
3	Св. 15 до 25 включительно
4	Св. 25 до 35 включительно
5	Св. 35 до 50 включительно

*Примечание.* По согласованию изготовителя с потребителем допускается выпуск щебня из изверженных горных пород, содержащего свыше 50 %, но не более 65 % зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы.

К пластинчатым и игловатым зернам относят такие, в которых толщина или ширина меньше длины в три и более раза.

### Ход работы

#### 1. Определение насыпной плотности

Для определения насыпной плотности щебня используют стандартные цилиндры объёмом 5 л – для фракции 5...10 мм и 20 л – для фракции 10...20 мм.

Определяют массу цилиндров, затем высушенный до постоянной массы щебень насыпают в цилиндр с высоты 10 см до образования конуса. Излишек материала снимают вровень с краями цилиндра без уплотнителя, затем взвешивают цилиндр со щебнем и подсчитывают насыпную плотность  $\rho_n$  в кг/м<sup>3</sup> по формуле

$$\rho_n = m_1 - m_2 / V, \quad (31)$$

где  $m_2$  – масса мерного цилиндра, кг;  $m_1$  – масса мерного цилиндра с песком, кг;  $V$  – объём цилиндра, м<sup>3</sup>.

Результат подсчитывают как среднее арифметическое из двух определений.

#### 2. Определение зернового состава щебня одной фракции

Крупный заполнитель подразделяют по крупности на четыре фракции: 5...10, 10...20, 20...40 и 40...80 мм. Щебень, гравий и ще-

бень из гравия могут поступать в виде смеси двух или большего числа фракций. Зерновой состав каждой фракции или смеси фракций должен находиться в требуемых ГОСТом пределах (табл. 15).

Таблица 15

Пределы зернового состава крупного заполнителя

Размер отверстий контрольных сит	$D_{\text{наим}}$	$0,5 (D_{\text{наиб}} + D_{\text{наим}})$	$D_{\text{наиб}}$	$1,25 D_{\text{наиб}}$
Полные остатки на ситах по массе, %	От 90 до 100	От 30 до 60	До 10	До 0,5

Из щебня одной фракции, высушенного до постоянной массы, отбирают пробу: для фракции 5...10 мм – в количестве 5 кг; для фракции 10...20 мм – 10 кг.

Пробу просеивают через контрольные сита с диаметрами отверстий: наименьший –  $D_{\text{наим}}$ , средний –  $0,5 (D_{\text{наиб}} + D_{\text{наим}})$ , наибольший –  $D_{\text{наиб}}$  размеров зёрен щебня данной фракции, а также через сито отверстиями размером  $1,25 D_{\text{наиб}}$ . Затем определяют частные и полные остатки на каждом сите в процентах от массы всей пробы.

Частный остаток ( $a_i$ ) – это отношение массы остатка на данном сите  $m_i$  к массе всей навески:

$$a_i = m_i / m \cdot 100 \%. \quad (32)$$

Полный остаток на любом сите  $A_i$  равен сумме частных остатков на этом сите и всех ситах большего размера.

Полученные результаты сопоставляют с величинами, указанными в табл. 15, и дают заключение о соответствии крупного заполнителя требованиям стандарта по зерновому составу.

### 3. Определение формы зёрен щебня

Свойства крупного заполнителя зависят от формы зёрен. Форму зерен щебня и гравия характеризуют содержанием зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы.

Пластинчатые (лещадные) и игольчатые зёрна увеличивают пустотность щебня, вызывают перерасход цемента в бетоне, ухудшают его удобоукладываемость.

Для определения содержания в щебне пластинчатых (лещадных) и игольчатых зёрен берут навеску щебня, равную 0,25 кг для фракции 5...10 мм и 1,0 кг для фракции 10...20 мм. Визуально от-



бирают зёрна, толщина или ширина которых меньше длины в три и более раза.

В сомнительных случаях отношения размеров зёрен определяют с помощью передвижного шаблона или штангенциркуля. Взвешивают количество пластинчатых (лещадных) и игольчатых зёрен и вычисляют их содержание в % по массе.

Исходя из результатов, определяют группу щебня по содержанию зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы.

#### 4. Определение прочности щебня

Прочность крупного заполнителя определяют методом раздавливания его пробы в сухом или насыщенном водой состоянии в металлическом цилиндре с вычислением показателя дробимости  $D_p$  (%) по формуле (30).

$$D_p = (m_1 - m_2 / m_1) \cdot 100 \%,$$

где  $m_1$  – испытываемая проба заполнителя, кг;  $m_2$  – остаток на контрольном сите после просеивания раздробленной в цилиндре пробы заполнителя, кг.

Марку щебня определяют по показателю дробимости (табл. 16 и 17) в зависимости от вида горной породы и способа испытания.

Таблица 16

Марка щебня по прочности из осадочных и метаморфических пород

Марка щебня по прочности	Потери, % по массе, при испытании щебня из осадочных или метаморфических пород	
	в сухом состоянии	в насыщенном водой состоянии
1200	До 11	До 11
1000	Св. 11 до 13	Св. 13 до 15
800	Св. 13 до 15	Св. 13 до 15
600	Св. 15 до 19	Св. 15 до 20
400	Св. 19 до 24	Св. 20 до 28
300	Св. 24 до 28	Св. 28 до 38
200	Св. 28 до 35	Св. 38 до 54

## Марка щебня по прочности из изверженных пород

Марка щебня по прочности	Потери, % по массе, при испытании щебня	
	из интрузивных пород	из эффузивных пород
1400	До 12	До 9
1200	Св. 12 до 16	Св. 9 до 11
1000	Св. 16 до 20	Св. 11 до 13
800	Св. 20 до 25	Св. 13 до 15
600	Св. 25 до 34	Св. 15 до 20

Для определения показателя дробимости из щебня фракции 5...10 или 10...20 мм отбирают пробу массой 0,5 кг для испытания в цилиндре диаметром 75 мм.

Пробы щебня при испытании в сухом состоянии высушивают до постоянной массы, а при испытании в насыщенном водой состоянии отпускают в воду на 2 часа.

После насыщения водой с поверхности зёрен щебня удаляют влагу мягкой влажной тканью.

Стальной цилиндр заполняют щебнем, свободно засыпая его с высоты 50 мм так, чтобы после разравнивания уровень материала на 15 мм не доходил до края. Затем ставят плунжер и на прессе разрушают щебень, доводя максимальное давление до 5 тн.

Щебень взвешивают до испытания или сразу после испытания, затем просеивают через сито, диаметр которого в четыре раза меньше минимальной фракции щебня.

При испытании щебня в насыщенном водой состоянии пробу после просеивания промывают водой на сите и удаляют поверхностную влагу зёрен щебня мягкой влажной тканью. Остаток щебня на сите взвешивают и определяют показатель дробимости с точностью до 1 %.

Результат испытаний находят как среднее значение из двух определений.

### **Контрольные вопросы**

1. Для каких целей применим крупный заполнитель в бетоне?
2. Какие материалы применяют в качестве крупного заполнителя?
3. Какие фракции крупного заполнителя выпускаются?
4. Какая форма зерен крупного заполнителя предпочтительна для бетонных работ? Почему?
5. Какая прочность крупного заполнителя должна быть при его применении в бетоне?
6. Какими показателями оценивается прочность крупного заполнения? Как она определяется?

## Лабораторная работа 8

### ИСПЫТАНИЕ ПЕСКА КАК ЗАПОЛНИТЕЛЯ ДЛЯ БЕТОНОВ И РАСТВОРОВ

**Цели:** ознакомиться с требованиями ГОСТов к пескам, используемым в качестве заполнителей растворов и бетонов, и провести испытания песка в соответствии с этими требованиями.

**Материалы:** песок сухой кварцевый – 5 кг.

**Приборы и приспособления:** стандартный набор сит, сосуд вместимостью 1 дм<sup>3</sup>, совок, весы торговые с набором гирь, мензурка вместимостью 100...500 см<sup>3</sup>.

#### Краткие теоретические сведения

Песок может быть природным и искусственным.

**Природный песок** – рыхлая смесь зерен крупностью 0,16...5 мм – состоит главным образом из зерен кварца SiO<sub>2</sub>, возможна примесь полевых шпатов, слюды, известняка. Реже встречаются пески иного состава, например полевошпатные, известняковые. Природные пески добывают в карьерах и подвергают только рассеву и промывке. Насыпная плотность природного песка 1300...1500 кг/м<sup>3</sup>.

По происхождению природные пески разделяют на горные (овражные), речные и морские.

**Горные (овражные)** пески образуются в результате выветривания горных пород и последующего переноса продуктов выветривания ветром и ледниками. Угловатая и шероховатая поверхность зерен способствует хорошему сцеплению их с вяжущим. Недостаток таких песков – загрязненность глиной и примесь в них гравия.

**Речные и морские** пески более чистые, но их зерна, как правило, округлой формы в результате длительного воздействия воды.

**Искусственные пески**, используемые значительно реже, бывают тяжелые и легкие.

**Тяжелые** пески, получаемые дроблением плотных горных пород (базальта, диабазы, мрамора), применяют для специальных целей (отделочные растворы, кислотостойкие бетоны и растворы).

*Легкие* пески получают дроблением пористых горных пород (пемза, туф) или изготавливают специально. Например, перлитовый песок получают термическим вспучиванием вулканических стекол, керамзитовый – обжигом глиняного сырья. Эти пески применяют для теплоизоляционных и акустических растворов и бетонов.

**Оценка качества песка.** Поступающий на строительство песок должен отвечать требованиям ГОСТа по зерновому (гранулометрическому) составу, наличию примесей и загрязнений.

*Зерновой состав* песка определяют на стандартном наборе сит с размерами ячеек: 5; 2,5; 1,25; 0,63; 0,315 и 0,16 мм. Навеску сухого песка просеивают через набор сит и определяют сначала частные (%), а затем полные остатки на каждом сите. Полный остаток на любом сите равен сумме частных остатков на этом сите и всех ситах большего размера. Размеры полных остатков характеризуют зерновой состав песка.

На основании результатов ситового анализа рассчитывают безразмерный показатель – модуль крупности песка ( $M_{кр}$ ):

$$M_{кр} = (A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16}) / 100, \quad (33)$$

где  $A_{2,5}, A_{1,25}, A_{0,63}, A_{0,315}, A_{0,16}$  – полные остатки на ситах с размерами ячеек соответственно 2,5; 1,25; 0,63; 0,315 и 0,16 мм.

В зависимости от  $M_{кр}$  и  $A_{0,63}$  пески подразделяют на группы по крупности, указанные в табл. 18.

Таблица 18

Группы песка по крупности

Группа песка	Модуль крупности $M_{кр}$			
Повышенной крупности	Св.	3,0	до	3,5
Крупный	"	2,5	до	3,0
Средний	"	2,0	"	2,5
Мелкий	"	1,5	"	2,0
Очень мелкий	"	1,0	"	1,5
Тонкий	"	0,7	"	1,0
Очень тонкий	До 0,7			

Полный остаток песка на сите № 063 должен соответствовать значениям, указанным в табл. 19.

Значения полного остатка песка на сите № 063  
(в процентах по массе)

Группа песка	Полный остаток на сите № 063
Повышенной крупности	Св. 65 до 75
Крупный	" 45 " 65
Средний	" 30 " 45
Мелкий	" 10 " 30
Очень мелкий	До 10
Тонкий	Не нормируется
Очень тонкий	"

*Примечание.* По согласованию предприятия-изготовителя с потребителем в песке класса II допускается отклонение полного остатка на сите № 063 от вышеуказанных не более чем на  $\pm 5\%$ .

Чем мельче песок, тем больше необходимо воды для его смачивания (водопотребность песка) и вяжущего для обмазывания поверхности его частиц.

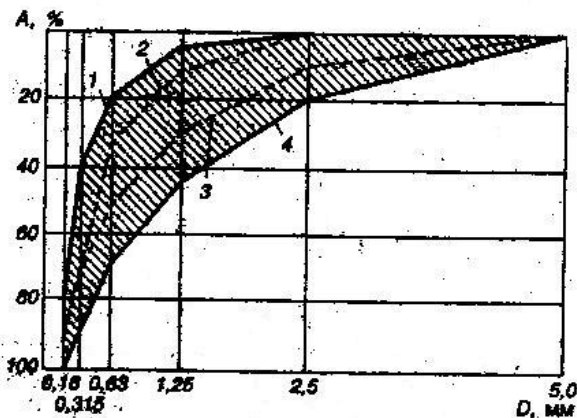


Рис. 4. График зернового состава песка: 1 – допустимая нижняя граница крупности песка ( $M_{кр} = 1,5$ ); 2 – рекомендуемая нижняя граница крупности песка ( $M_{кр} = 2,0$ ) для бетонов класса В 15 и выше; 3 – рекомендуемая нижняя граница крупности песка ( $M_{кр} = 2,5$ ) для бетонов класса В 25 и выше; 4 – допустимая верхняя граница крупности песка ( $M_{кр} = 3,25$ ) для растворов и бетонов (заштрихованная область – пески, допустимые для использования в растворах и бетонах)

Зерновой состав песка для бетонов нормируется ГОСТом по остаткам на всех ситах. Зерновой состав песка удобно представить графически, если по горизонтали отложить размеры отверстий сит, а по вертикали – полные остатки на ситах. На рис. 4 в виде заштрихованной области указаны допустимые пределы колебаний зернового состава песков для бетона.

Содержание в песке зерен крупностью свыше 10; 5 и менее 0,16 мм в зависимости от класса не должно превышать значений, указанных в табл. 20. Для песков, применяемых в составе асфальтобетонных смесей, содержание зерен менее 0,16 мм не нормируется.

Таблица 20

Содержание в песке зерен крупностью свыше 10; 5 и менее 0,16 мм (в процентах по массе)

Класс песка	Группа песка	Содержание зерен крупностью		
		св. 10 мм	св. 5 мм	менее 0,16 мм
I	Повышенной крупности, крупный и средний	0,5	5	5
	Мелкий	0,5	5	10
II	Повышенной крупности	5	20	10
	Крупный и средний	5	15	15
	Мелкий и очень мелкий	0,5	10	20
	Тонкий и очень тонкий	Не допускается		Не нормируется

Таблица 21

Содержание в песке пылевидных, глинистых частиц и глины в комках (в процентах по массе)

Класс песка	Группа песка	Содержание пылевидных и глинистых частиц	Содержание глины в комках
I	Повышенной крупности, крупный и средний	2	0,25
	Мелкий	3	0,35
II	Повышенной крупности, крупный и средний	3	0,5
	Мелкий и очень мелкий	5	0,5
	Тонкий и очень тонкий	10	1,0

*Примечание.* Содержание пылевидных и глинистых частиц в очень мелком песке класса II по согласованию с потребителем допускается до 7 % по массе

*Присутствие в песке пылеватых, илистых и глинистых примесей* снижает прочность и морозостойкость бетонов и растворов. Содержание в песке пылевидных и глинистых частиц, а также глины в комках не должно превышать значений, указанных в табл. 21.

*Присутствие в песке органических примесей* замедляет схватывание и твердение цемента и тем самым снижает прочность бетона и раствора. Для оценки количества органических примесей пробу песка обрабатывают раствором едкого натра NaOH и сравнивают цвет раствора с эталоном. Если цвет раствора темнее эталона, песок нельзя использовать в качестве заполнителя.

В природном песке могут содержаться и *неорганические примеси*, которые вызывают химическую коррозию цементного камня. К этой группе примесей относятся серноокислые и сернистые соединения (например, пирит  $\text{FeS}_2$ ).

*Слюда* также относится к числу вредных примесей, так как ее листочки легко расслаиваются по плоскостям спайности.

Аморфные модификации кремнезема (опал, халцедон и др.) иногда содержатся в заполнителе. Кремнезем вступает в химическую реакцию со щелочами, имеющимися в цементе ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ), при этом образуются вещества, вызывающие расширение и растрескивание бетона.

*Влажность и насыпная плотность песка.* Песок изменяет свой объем и, соответственно, насыпную плотность при изменении влажности в пределах от 0 до 20 %. При влажности 3...10 % плотность песка резко снижается по сравнению с плотностью сухого песка, потому что каждая песчинка покрывается тонким слоем воды, и общий объем песка возрастает. При дальнейшем увеличении влажности вода входит в межзерновые пустоты песка, вытесняя воздух, и насыпная плотность песка снова увеличивается. Изменения насыпной плотности песка при изменении влажности необходимо учитывать при дозировке песка по объему.



## Ход работы

### 1. Определение зернового состава песка

Высушенную пробу песка массой 1 кг пропускают через стандартный набор сит (5; 2,5; 0,63; 0,315 и 0,16 мм). Остатки на каждом из сит  $a$  (частные остатки) взвешивают с погрешностью 5 г. Также взвешивают пыль, прошедшую через сито 0,16 мм и оставшуюся на поддоне. Результаты заносят в таблицу. Далее вычисляют значения частных остатков  $a$  в % и заносят во вторую строку табл. 22.

Таблица 22

Результаты просеивания песка

Показатели	Размеры отверстий сит, мм						Проход через сито № 0,16
	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	
Остатки частные ( $a$ ), г							
То же, %							
Остатки полные ( $A$ ), %							

Затем рассчитывают полные остатки  $A$  на каждом сите как сумму частных остатков на данном сите и всех вышележащих, например:

$$A_{0,63} = a_{2,5} + a_{1,25} + a_{0,63}.$$

Далее подсчитывают общее количество просеянного песка, равное сумме частных остатков на ситах и поддоне (проход через сито № 0,16), и потери при просеве.

Пригодность песка по зерновому составу для использования в бетонах определяют, строя кривую просеивания песка и кривые по ГОСТу. Если кривая испытуемого песка укладывается между стандартными кривыми, ограничивающими область песков, допустимых для использования, песок по зерновому составу считается пригодным.

Модуль крупности песка вычисляют по формуле

$$M_{кр} = (A_{2,5} + A_{1,25} + \dots + A_{0,16}) / 100.$$

Крупность песка определяют по модулю крупности песка  $M_{кр}$  и полному остатку на сите № 063 (ГОСТ 8736–2014, табл. 1 и 2).

Кроме того, необходимо определить содержание в песке пылевидных и глинистых частиц, а также глины в комках, и сравнить их количество с требованиями стандарта (ГОСТ 8736–2014, табл. 4).

## 2. Определение насыпной плотности песка различной влажности

Для работы берут пробу сухого песка массой 2 кг. Насыпную массу определяют с помощью цилиндрического сосуда вместимостью 1 дм<sup>3</sup> (заранее надо определить массу пустого сосуда  $m_c$ , г). Совком с высоты 10 см песок засыпают в мерный сосуд до тех пор, пока песок не образует конус над краями сосуда. Избыток песка срезают вровень с краями сосуда, и сосуд с песком взвешивают, определяя массу песка в сосуде:

$$m_0 = m_{c+n} - m_c, \quad (34)$$

где  $m_{c+n}$  — масса сосуда с песком.

Затем всю пробу (2 кг) сухого песка собирают в тазик вместимостью 3...4 дм<sup>3</sup> и увлажняют до 5 %. Для этого мензуркой отмеряют 100 см<sup>3</sup> воды и выливают ее в песок, который тщательно перемешивают до достижения равномерной влажности во всем объеме. Увлажненный песок насыпают в мерный сосуд вместимостью 1 дм<sup>3</sup> (так же, как и сухой песок — без уплотнения). Сосуд с песком взвешивают и вычисляют массу находящегося в нем песка по указанной формуле.

Эту операцию повторяют еще 3...4 раза, доводя влажность взятой пробы песка (2 кг) последовательно до 10, 15 и 20 % (для мелкого песка возможно и до 25 %). Заканчивают испытание в тот момент, когда над поверхностью песка начнет выступать вода.

Полученные данные заносят в табл. 23, по ним вычисляют насыпную плотность песка и строят график изменения плотности песка ( $\rho_{нас}$ ) в зависимости от его влажности ( $W_m$ ).

Таблица 23

Результаты испытаний песка

Показатели	Влажность песка $W$ , % по массе					
	0	5	10	15	20	25
Добавка воды, см <sup>3</sup>						
Масса песка в сосуде, г						
Насыпная плотность песка, кг/м <sup>3</sup>						

### **Контрольные вопросы**

1. Понятие о мелком заполнителе. Происхождение, размеры частиц.
2. Загрязненность песка глинистыми, илистыми частицами: как определяется, сколько допускается, как влияет на качество бетонов и растворов.
3. Загрязненность органическими примесями: как определяется, сколько допускается, как влияет на качество бетонов и растворов.
4. Зерновой состав: что называется полным остатком, классификация песка по назначению модуля крупности, построение кривой просеивания.

## Лабораторная работа 9

### СТАНДАРТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГИПСОВЫХ ВЯЖУЩИХ

**Цели:** ознакомиться с требованиями ГОСТа к гипсовым вяжущим (гипсу) и изучить методы определения стандартной консистенции, сроков схватывания и марки по прочности гипса в соответствии с ГОСТом.

**Материалы:** гипс строительный – 1,3 кг; вода водопроводная.

**Приборы и приспособления:** весы торговые, мерный цилиндр вместимостью 500 или 250 см<sup>3</sup>; чаша для перемешивания и ручная мешалка; вискозиметр Суттарда; прибор Вика с иглой, трехгнездная форма для изготовления образцов 4×4×16 см.

#### Краткие теоретические сведения

Гипсовые вяжущие материалы относятся к неорганическим вяжущим веществам воздушного твердения. Их получают термической обработкой или обжигом природного гипсового камня, который измельчают до, во время или после термообработки.

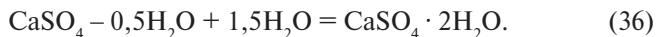
При нагревании природного гипса до температуры 150...170 °С двухводный гипс превращается в полуводный:



Свойства гипсовых вяжущих зависят от количества воды затворения. При затворении гипса воды всегда берут больше, чем это необходимо для химической реакции. На химическую реакцию нужно только 14,72 % воды, а практически для получения теста нормальной густоты требуется 60...70 % воды.

Гипсовые вяжущие вещества применяют для изготовления гипсовых растворов, бетонов, декоративных изделий, перегородочных плит, панелей, сухой штукатурки, используемых только внутри здания.

*Химизм твердения гипса* заключается в переходе полуводного сульфата кальция при затворении его водой в двухводный:



Строительный и высокопрочный гипс – быстросхватывающиеся вяжущие вещества. Для замедления их сроков схватывания в воду

затворения добавляют животный клей или сульфитно-дрожжевую бражку (СДБ).

### *Технические свойства гипса*

Строительный гипс имеет *ряд особенностей*:

- быстро схватывается и твердеет;
- обладает повышенной водопотребностью и пористостью;
- в начальный период твердения увеличивается в объеме;
- обладает низкой водостойкостью;
- подвержен значительным деформациям ползучести.

**Водопотребность гипсового вяжущего** определяется количеством воды, % массы вяжущего, необходимым для получения гипсового теста **стандартной консистенции** (диаметр расплыва  $180 \pm 5$  мм).

Гипсовое тесто такого расплыва считают **тестом нормальной густоты**, а количество воды, при этом затраченное, называют **нормальной густотой** гипсового вяжущего.

**Гипс строительный** должен удовлетворять требованиям ГОСТ 125 по тонкости помола, прочности и срокам схватывания.

Марки гипсовых вяжущих: Г-2, Г-3, Г-4, Г-5, Г-6, Г-7, Г-10, Г-13, Г-16, Г-19, Г-22, Г-25.

В строительстве используется в основном гипс марок от Г-4 до Г-7.

Высокопрочный гипс показывает прочность до 40...50 МПа.

В зависимости от сроков схватывания различают быстротвердеющие, нормальнотвердеющие и медленнотвердеющие гипсовые вяжущие.

Для замедления сроков схватывания гипса в воду затворения добавляют животный клей, лигносульфонаты технические (ЛСТ) или сульфитно-дрожжевую бражку (СДБ).

В зависимости от степени помола, определяемой максимальным остатком пробы гипса при просеивании на сите с отверстиями 0,2 мм, различаются следующие виды вяжущих, приведенные в табл. 24.

Виды вяжущих в зависимости от степени 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

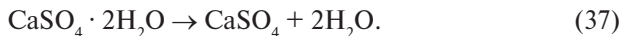
**Маркируют** гипсовые вяжущие по всем трем показателям:

- 1) скорости схватывания;
- 2) тонкости помола;
- 3) прочности.

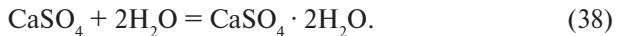
Например, гипсовое вяжущее Г-7 АП – быстротвердеющее (А), среднего помола (II), прочность на сжатие не менее 7 МПа.

**Высокообжиговые гипсовые** вяжущие вещества (ангидритовое вяжущее – ангидрит-цемент и высокообжиговый гипс) изготавливают обжигом двухводного гипса при температуре 600...700 °С.

Получается безводный сульфат кальция.



Ангидритовое вяжущее медленно схватывается (слабо реагирует с водой):



Прочность при сжатии 10,0...20,0 МПа.

Используют для строительных растворов и низкомарочных бетонов, предназначенных только для службы в сухой среде.

### Ход работы

#### 1. Определение стандартной консистенции

Сущность метода количественной оценки стандартной консистенции (нормальной густоты) гипсового теста состоит в определении диаметра расплыва теста, вытекающего из полого цилиндра без дна (вискозиметра Суттарда).

Диаметр расплыва теста стандартной консистенции должен быть равен  $(180 \pm 5)$  мм. Консистенцию выражают в % как отноше-

ние массы воды, необходимой для получения теста, к массе гипсового вяжущего.

Перед началом испытаний на стол укладывают квадратный лист стекла размером не менее 240 мм. Чтобы облегчить измерения, на стекло или бумагу, находящуюся под стеклом, наносят концентрические окружности диаметром от 150 до 220 мм через каждые 10 мм и диаметром от 170 до 190 мм через 5 мм. Цилиндр 1 (рис. 5), изготовленный из нержавеющей металла и имеющий полированную внутреннюю поверхность, ставят в центр стеклянной пластинки 2. Внутреннюю поверхность цилиндра и пластинку перед испытанием протирают влажной тканью.

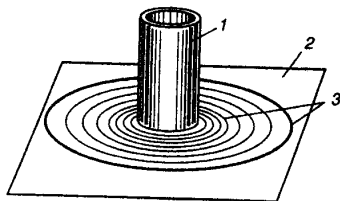


Рис. 5. Вискозиметр Сутгарда: 1 – цилиндр; 2 – стеклянная пластинка; 3 – концентрические окружности

Для определения стандартной консистенции отвешивают 300...350 г гипса и отмеривают 45...55 % воды от массы гипса. Все измерения проводят с погрешностью не более 0,1 %. Воду вливают в чистую чашку и туда же в течение 2...5 с всыпают отвешенное количество гипса. Полученную массу перемешивают ручной мешалкой в течение 30 с, начиная отсчет от момента всыпания гипса в воду. После окончания перемешивания цилиндр, установленный в центре пластинки, заполняют гипсовым тестом, излишки которого срезают линейкой. Через 45 с, считая от начала перемешивания, цилиндр быстро поднимают вверх на высоту 15...20 см. Время перемешивания должно строго соблюдаться, так как вязкость гипсового теста быстро возрастает во времени и нарушение продолжительности перемешивания дает искаженные результаты испытания.

Диаметр расплыва измеряют непосредственно после поднятия цилиндра в двух взаимно перпендикулярных направлениях с по-

грешностью не более 5 мм и вычисляют среднее арифметическое значение. Если диаметр расплыва отличается от  $(180 \pm 5)$  мм, испытание повторяют с измененным количеством воды, добываясь требуемого расплыва.

## 2. Определение сроков схватывания

Сроки схватывания гипса определяют с помощью прибора Вика с иглой (рис. 6) на тесте стандартной консистенции. Для испытания берут 200 г гипса и воду в количестве, соответствующем тесту стандартной консистенции. Гипс всыпают в воду, одновременно включая секундомер, и перемешивают в течение не более 1 мин до получения однородного теста.

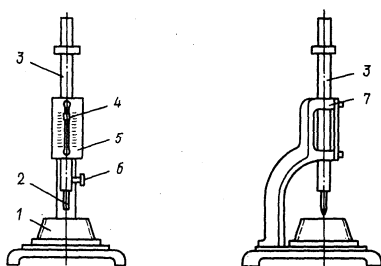


Рис. 6. Прибор Вика с иглой: 1 – кольцо; 2 – игла; 3 – стержень; 4 – стрелка-указатель; 5 – шкала; 6 – стопорный винт; 7 – держатель

Готовое тесто выливают в коническое кольцо-форму, установленное на пластинке. Кольцо-форму после каждого испытания тщательно очищают и смазывают машинным маслом. Чтобы удалить попавший в тесто воздух, кольцо с пластинкой 5...6 раз встряхивают, поднимая и опуская одну из сторон пластинки на 10...15 мм. Затем излишек теста срезают ножом, одновременно заглаживая его поверхность, после чего пластинку с кольцом устанавливают на прибор Вика.

Стержень прибора устанавливают так, чтобы игла 2 касалась поверхности гипсового теста. Далее отпускают зажимный винт и игла под действием силы тяжести стержня погружается в тесто. Погружения производят с интервалом 30 с, начиная с целого числа минут (обычно 2 мин). После каждого погружения иглу тщательно вытирают, а пластинку вместе с кольцом передвигают так, чтобы игла



при новом погружении попадала в другое место поверхности гипсового теста.

*Начало схватывания* фиксируют как момент от начала приготовления цементного теста (затворения цемента) до момента, когда игла впервые не дойдет до дна кольца 1 на 1...2 мм (фиксируют по шкале 5).

*Концом схватывания* считается время от момента всыпания гипса в воду до момента, когда игла погрузится в тесто не более чем на 1...2 мм.

По полученным данным определяют, к какой группе относится испытуемый гипс (А, Б или В) по срокам схватывания (табл. 25).

Таблица 25

Виды вяжущих по срокам схватывания, определяемым на приборе Вика

Вид гипса	Индекс сроков схватывания	Срок схватывания, мин	
		Начало, не ранее	Конец, не позднее
Быстротвердеющий	А	2	15
Нормальнотвердеющий	Б	6	30
Медленнотвердеющий	В	20	Не нормируется

### 3. *Определение марки гипса по прочности*

Сущность испытания заключается в определении пределов прочности стандартного образца-балочки размером 40×40×160 мм, которую испытывают на изгиб, а образовавшиеся половинки балочки – на сжатие.

Образцы формируют из теста стандартной консистенции. Для этого берут 1200 г гипса и количество воды, необходимое для получения теста нормальной густоты. Гипс всыпают в воду и интенсивно перемешивают в течение 60 с. Образцы формируют в трехгнездных формах (рис. 7), которые предварительно очищают и смазывают машинным маслом. Все три гнезда формы заполняют одновременно, для чего чашку с гипсовым тестом равномерно продвигают над формой. Для удаления воздуха заполненную форму встряхивают 5...6 раз.

После наступления начала схватывания излишки гипсового теста срезают линейкой. Через  $(15 \pm 5)$  мин после конца схватывания образцы извлекают из формы.

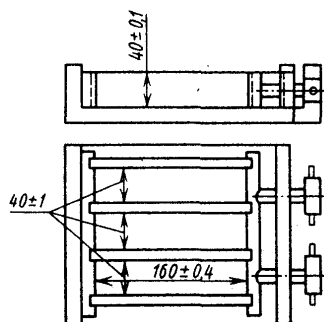


Рис. 7. Разъемные металлические формы для изготовления образцов-балочек из гипсового теста и цементного раствора

Испытания начинают через 2 ч после начала перемешивания.

Образцы испытывают на изгиб на машине МИИ-100 или на другой испытательной машине, развивающей усилие до 5 кН. Балочки устанавливают на опоры таким образом, чтобы те грани, которые были горизонтальными при изготовлении, при испытании находились бы в вертикальном положении (рис. 8, а). Испытания и расчет предела прочности при изгибе проводят в соответствии с инструкцией, прилагаемой к испытательной машине. Предел прочности при изгибе испытываемого портландцемента вычисляют как среднее арифметическое из двух наибольших результатов испытаний трех образцов.

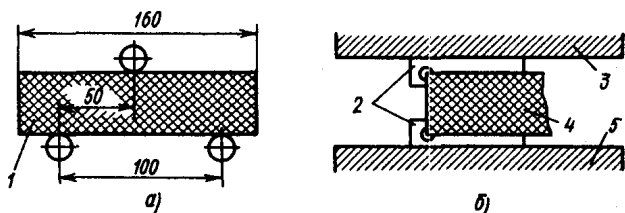


Рис. 8. Схемы испытаний образцов на изгиб (а), на сжатие (б) при определении марки гипса и цемента: 1 — образец; 2 — металлические накладки; 3, 5 — плиты пресса; 4 — половинка образца

*Предел прочности при сжатии* определяется испытанием половинок образцов-балочек, получившихся после испытаний на изгиб (шесть штук). Для того чтобы результаты испытаний половинок ба-

лочки были сопоставимы, несмотря на разный размер, используют металлические накладки, через которые нагрузка от плит пресса передается на образец (рис. 8, б). Площадь поверхности накладок, соприкасающейся с образцом, равна 25 см<sup>2</sup>. Половинку балочек помещают между двумя накладками 2 таким образом, чтобы боковые грани, которые при изготовлении прилегали к продольным стенкам формы, находились на плоскостях пластинок, а упоры накладок плотно прилегали к торцовой грани образца 4.

Образец с пластинками центрируют на опорной плите 5 пресса. Средняя скорость нарастания нагрузки на образец при испытании должна составлять  $(5 \pm 1,25)$  кН/с. Предел прочности при сжатии  $R_{сж}$  (МПа) каждого образца вычисляют по формуле

$$R_{сж} = 10F / A, \quad (39)$$

где  $F$  – разрушающая нагрузка, кН;  $A$  – площадь металлических пластинок, см.

Предел прочности при сжатии гипсовых образцов вычисляют по результатам испытаний как среднее арифметическое из четырех результатов (наибольший и наименьший результаты не учитывают).

Марку по прочности гипсового вяжущего устанавливают в соответствии с требованиями стандарта по наименьшему значению предела прочности при сжатии или изгибе (табл. 26).

Таблица 26

Минимальный предел прочности гипсовых вяжущих

Марка вяжущего	Предел прочности образцов-балочек размерами 40×40×160 мм в возрасте 2 часов, не менее, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	
	при сжатии	при изгибе
Г-2	2 (20)	1,2 (12)
Г-3	3 (30)	1,8 (18)
Г-4	4 (40)	2,0 (20)
Г-5	5 (50)	2,5 (25)
Г-6	6 (60)	3,0 (30)
Г-7	7 (70)	3,5 (35)
Г-10	10 (100)	4,5 (45)
Г-13	13 (130)	5,5 (55)
Г-16	16 (160)	6,0 (60)

Марка вяжущего	Предел прочности образцов-балочек размерами 40×40×160 мм в возрасте 2 часов, не менее, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	
	при сжатии	при изгибе
Г-19	19 (190)	6,5 (65)
Г-22	22 (220)	7,0 (70)
Г-25	25 (250)	8,0 (80)

### Контрольные вопросы

1. Что такое неорганические вяжущие и какие материалы к ним относятся?
2. Исходное сырье для получения гипсовых вяжущих. Напишите реакции.
3. Что называется нормальной плотностью гипсового теста и как она определяется?
4. Что называется сроками схватывания и как они определяются?
5. Классификация гипсовых вяжущих по срокам схватывания.
6. Как определяется прочность гипсовых вяжущих?
7. Применение гипсовых вяжущих.

## Лабораторная работа 10

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАРКИ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА

**Цель** – изучить методику определения марки портландцемента.

**Материалы:** портландцемент (или какой-либо другой вид цемента на основе портландцементного клинкера) – 0,5 кг; песок кварцевый стандартный с модулем крупности  $M_k = 2,5...2,7$  – 1,5 кг (количества даны в расчете на одну бригаду), вода водопроводная.

**Приборы и приспособления:** весы торговые, сферическая чаша для приготовления цементного раствора, круглая лопаточка, встряхивающий столик, трехгнездная форма для изготовления образцов-балочек 4×4×16 см, лабораторная виброплощадка, ванна с гидравлическим затвором.

#### Краткие теоретические сведения

**Портландцемент** – гидравлическое вяжущее, получаемое тонким измельчением портландцементного клинкера и небольшого количества гипса (1,5...3 %). Клинкер получают обжигом до спекания сырьевой смеси, обеспечивающей в портландцементе преобладание силикатов кальция. К клинкеру для замедления схватывания цемента добавляют гипс. Для улучшения некоторых свойств и снижения стоимости портландцемента допускается введение минеральных добавок.

**Производство портландцемента.** Основные операции при получении портландцемента: приготовление сырьевой смеси, обжиг ее до получения цементного клинкера и помол клинкера совместно с добавками.

Соотношение компонентов сырьевой смеси выбирают с таким расчетом, чтобы полученный при обжиге клинкер имел следующий химический состав (%):  $\text{CaO} - 62...68$ ,  $\text{SiO}_2 - 18...26$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 - 4...9$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 2...6$ .

Максимальная температура обжига 1450 °С. Удаляется из сырья  $\text{CO}_2$ , а оксид кальция  $\text{CaO}$ , образовавшийся в результате разложения известняка, взаимодействует с кислотными оксидами  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , образующимися при разложении глины. Продукты

взаимодействия, частично плавясь и спекаясь друг с другом, образуют так называемый **портландцементный клинкер** — плотные твердые куски серого цвета. В состав портландцементного клинкера входят четыре основных минерала и небольшое количество стеклообразного вещества.

Таблица 27

Минералогический состав портландцементного клинкера

Минерал	Формула	Количество, %
Трехкальциевый силикат (алит)	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ( $\text{C}_3\text{S}$ )	42...65
Двухкальциевый силикат (белит)	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ( $\text{C}_2\text{S}$ )	12...35
Трехкальциевый алюминат	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ( $\text{C}_3\text{A}$ )	4...14
Четырехкальциевый алюмоферрит	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ( $\text{C}_4\text{AF}$ )	10...18

Для получения портландцемента клинкер размалывают в трубных или шаровых мельницах с гипсом и другими добавками. Свойства портландцемента зависят от его минерального состава и тонкости помола клинкера.

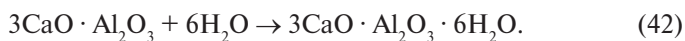
**Твердение портландцемента.** При смешивании с водой частицы портландцемента начинают растворяться, причем одновременно могут происходить гидролиз (разложение водой) и гидратация (присоединение воды) продуктов растворения с образованием гидратных соединений. По этой схеме (гидролиз и гидратация) взаимодействуют с водой главные компоненты клинкера алит  $\text{C}_3\text{S}$  и белит  $\text{C}_2\text{S}$ :



Необходимо подчеркнуть особенности этих реакций:

- $\text{C}_3\text{S}$  взаимодействует с водой намного активнее, чем  $\text{C}_2\text{S}$ ;
- при взаимодействии силикатов кальция с водой выделяется растворимый в воде компонент  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  — *воздушная известь*, создающая щелочную реакцию в твердеющем цементе;
- $\text{C}_3\text{S}$  выделяет  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в 3 раза больше, чем  $\text{C}_2\text{S}$ ; общее количество  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  достигает 15 % от массы цементного камня.

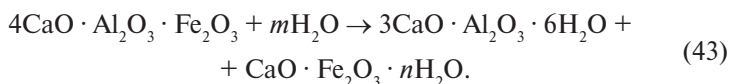
Алюминат кальция  $\text{C}_3\text{A}$  подвергается только гидратации, причем этот процесс идет очень быстро с образованием крупных кристаллов:



Добавка гипса, вводимая при помолу клинкера, изменяет характер начального периода твердения  $\text{C}_3\text{A}$  и замедляет схватывание цемента на несколько часов из-за образования эттрингита



Четырехкальциевый алюмоферрит  $\text{C}_4\text{AF}$  взаимодействует с водой медленнее, чем  $\text{C}_3\text{A}$ , образуя гидроалюминат и гидроферрит кальция.



Основной продукт твердения портландцемента — гидросиликаты кальция — практически нерастворимы в воде. Они выпадают из раствора сначала в виде геля (жесткого студня). Этот гель пронизывают, укрепляя его, кристаллы  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Гель гидросиликатов кальция со временем кристаллизуется. Остальные продукты взаимодействия клинкера с водой также участвуют в формировании структуры цементного камня и, естественно, влияют на его свойства.

Процесс гидратации зерен портландцемента из-за малой их растворимости растягивается на длительное время (месяцы и годы). Чтобы этот процесс мог протекать, необходимо постоянное присутствие воды в твердеющем материале. Однако нарастание прочности со временем замедляется. Поэтому качество цемента принято оценивать по прочности, набираемой им в первые 28 суток твердения.

### **Коррозия цементного камня**

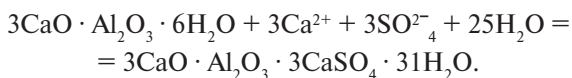
Портландцемент, будучи гидравлическим вяжущим, при нахождении в воде твердеет, набирая все большую прочность. Вместе с тем, если вода (а еще хуже — водные растворы солей и кислот) начинает *фильтроваться* (просачиваться) сквозь цементный камень, то начинается его разрушение. Этот процесс называется коррозией цементного камня. Коррозия протекает тем интенсивнее, чем выше капиллярная пористость цементного камня. Развитие коррозии приводит к разрушению цементных растворов и бетонов. В зависимости от действующих коррозионных агентов различают несколько видов коррозии.

**Физическая коррозия (выщелачивание).** Один из продуктов взаимодействия с водой силикатов кальция – гидроксид кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , количество которого достигает 15 % от объема всех продуктов твердения. Это вещество заметно растворимо в воде (около 2 г/л). Поэтому при фильтрации пресной воды через цементный камень происходит вымывание  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и вынос его на поверхность. На бетоне появляются белесые выцветы. Чем больше вымывается  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  из цементного камня, тем более пористым он становится. Это вызывает усиление фильтрации воды и т. д.

Чтобы увеличить стойкость цементного камня к выщелачиванию, используют цементы с пониженным содержанием  $\text{C}_3\text{S}$ , а также добавляют к цементу активные минеральные (пуццолановые) добавки, связывающие  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в нерастворимые гидросиликаты.

**Солевая и сульфатная коррозия.** Еще сильнее разрушает цементный камень фильтрующаяся через него *минерализованная* (содержащая соли) вода. В этом случае внутри цементного камня происходят различные химические реакции между растворенными в воде солями и продуктами твердения цемента.

Особенно опасна *сульфатная коррозия*, вызываемая водой, содержащей сульфат-ион  $\text{SO}_4^{2-}$  (в частности, растворы  $\text{CaSO}_4$ ). Строители столкнулись с разрушением от этого вида коррозии в начале XX века. Бетон на портландцементе в морских сооружениях часто растрескивался, а в трещинах была видна белая масса из крупных кристаллов (они за свой нрав получили название «дракончики» или «цементная бацилла»). Впоследствии было установлено, что причиной разрушения является образование в цементном камне сложного комплексного соединения: *гидросульфоалюмината кальция* (эттрингит). Эттрингит образуется при взаимодействии гидроалюмината кальция, находящегося в цементном камне, с поступающими с водой ионами  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{SO}_4^{2-}$  по следующей схеме:



Объем эттрингита за счет большого содержания химически связанной (кристаллизационной) воды в 2,5 раза превышает объем исходного гидроалюмината, что и вызывает разрушение затвердевшего цементного камня. Необходимо отметить, что эта же реакция



образования этtringита, но проводимая целенаправленно, используется для получения расширяющихся цементов — «дракончик» оказался ручным.

Основные пути защиты цементных материалов от коррозии следующие:

- правильный выбор типа цемента;
- снижение капиллярной пористости цементного камня, например, за счет уменьшения количества воды затворения (снижение В/Ц);
- надежная гидроизоляция, не допускающая фильтрации воды сквозь материал.

### **Технические характеристики портландцемента**

**Плотность** портландцемента в зависимости от вида и количества добавок составляет 2900...3200 кг/м<sup>3</sup>, насыпная плотность в рыхлом состоянии 1000...1100 кг/м<sup>3</sup>, в уплотненном — до 1700 кг/м<sup>3</sup>.

**Тонкость помола** характеризуется количеством цемента, проходящим через сито с сеткой № 008 (размер отверстий 0,08 мм), и его удельной поверхностью. Согласно ГОСТу через сито с сеткой № 008 должно проходить не менее 95 % цемента, при этом удельная поверхность у обычного портландцемента должна быть в пределах 2000...3000 см<sup>2</sup>/г и у быстротвердеющего портландцемента 3500...5000 см<sup>2</sup>/г.

**Сроки схватывания** портландцемента, рассчитываемые от момента затворения, должны быть: начало — не ранее 45 мин; конец — не позднее 10 ч.

**Прочность** портландцемента характеризуется его маркой. Марку портландцемента определяют по пределу прочности при сжатии и изгибе образцов-балочек 40×40×160 мм, изготовленных из цементно-песчаного раствора (состава 1:3) стандартной консистенции и твердевших 28 сут (первые сутки в формах на влажном воздухе и 27 сут в воде при 20 °С).

Промышленность выпускает портландцемент четырех марок: 400; 500; 550 и 600 (цифра соответствует округленной в сторону уменьшения средней прочности образцов при сжатии, выраженной в кгс/см<sup>2</sup>).

**Тепловыделение при твердении.** Твердение портландцемента сопровождается выделением большого количества теплоты. Так как эта теплота выделяется в течение длительного времени (дни, недели), заметного разогрева цементного бетона или раствора не происходит. Однако если объем бетона велик (например, при бетонировании плотин, массивных фундаментов), то потери теплоты в окружающее пространство будут незначительны по сравнению с общим количеством выделяющейся теплоты и возможен разогрев бетона до температуры 70...80 °С, что приведет к его растрескиванию.

**Равномерность изменения объема.** При твердении цементное тесто уменьшается в объеме. Усадка на воздухе составляет около 0,5...1 мм/м. При твердении в воде цемент немного набухает (до 0,5 мм/м). Однако изменение объема при твердении должно быть равномерным. Это свойство проверяют на лепешках из цементного теста, которые не должны растрескиваться после пропаривания в течение 3 ч (до пропаривания лепешки 24 ч твердеют на воздухе). Неравномерность изменения объема возникает из-за присутствия в цементе свободных СаО и MgO, находящихся в виде пережога.

### **Современные виды цементов**

По ГОСТ 30515–97 «Цементы. Общие технические условия» цементы *по назначению* подразделяют:

- на общестроительные;
- специальные.

По виду клинкера цементы подразделяют на основе:

- портландцементного клинкера;
- глиноземистого (высокоглиноземистого) клинкера;
- сульфоалюминатного (-ферритного) клинкера.

**По вещественному составу** цементы подразделяют на типы, характеризующиеся различным видом и содержанием минеральных добавок. Вид и содержание минеральных добавок регламентируют в нормативных документах на цемент конкретного вида или группу конкретной продукции.

**По прочности на сжатие** цементы подразделяют на классы: 22,5; 32,5; 42,5; 52,5. В нормативных документах на цементы конкретных видов могут быть установлены дополнительные классы прочности.

Для некоторых специальных видов цемента с учетом их назначения классы прочности не устанавливают.

Для цемента конкретных видов, выпускаемых по ранее утвержденным нормативным документам до их пересмотра или отмены, сохраняется подразделение цемента по прочности на сжатие по маркам.

Классы прочности на сжатие цемента аналогичны установленным EN 197-1. Значения классов прочности имеют вероятностный характер и установлены с доверительной вероятностью 95 %.

**По скорости твердения** общестроительные цементы подразделяют:

- на нормальнотвердеющие (Н) – с нормированием прочности в возрасте 2 (7) и 28 сут;
- быстротвердеющие (Б) – с нормированием прочности в возрасте 2 сут, повышенной по сравнению с нормальнотвердеющими, и 28 сут.

**По срокам схватывания** цементы подразделяют:

- на медленносхватывающиеся – с нормируемым сроком начала схватывания более 2 ч;
- нормальнотвердеющие – с нормируемым сроком начала схватывания от 45 мин до 2 ч;
- быстросхватывающиеся – с нормируемым сроком начала схватывания менее 45 мин.

Классификацию цемента **по специальным требованиям** при необходимости устанавливают в нормативных документах на конкретные виды специальных цемента.

Согласно **ГОСТ 31108–2003** «Цементы общестроительные. Технические условия» общестроительные цементы **по вещественному составу** подразделяют на пять типов:

- 1) ЦЕМ I – портландцемент (не содержит минеральных добавок в качестве основного компонента);
- 2) ЦЕМ II – портландцемент с минеральными добавками;
- 3) ЦЕМ III – шлакопортландцемент;
- 4) ЦЕМ IV – пуццолановый цемент;
- 5) ЦЕМ V – композиционный цемент.

*По содержанию портландцементного клинкера и добавок* цементы типов ЦЕМ II – ЦЕМ V подразделяют на подтипы А и В.

По прочности на сжатие в возрасте 2 (7) сут (скорости твердения) каждый класс цементов, кроме класса 22,5, подразделяют на два под-класса: Н (нормальнотвердеющий) и Б (быстротвердеющий).

По ГОСТ 10178–85 «Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия» цемент *по вещественному составу* классифицируют на следующие виды:

- портландцемент (без минеральных добавок);
- портландцемент с добавками (с активными минеральными добавками не более 20 %);
- шлакопортландцемент (с добавками гранулированного шлака более 20 %).

*По прочности при сжатии в 28-суточном возрасте* цемент подразделяют на марки:

- портландцемент – 400, 500, 550 и 600;
- шлакопортландцемент – 300, 400 и 500;
- портландцемент быстротвердеющий – 400 и 500;
- шлакопортландцемент быстротвердеющий – 400.

### **Ход работы**

Марку цемента определяют по прочности на изгиб и сжатие образцов-балочек, изготовленных из цементно-песчаного раствора состава 1:3 нормальной консистенции и твердевших во влажных условиях 28 сут при температуре  $(20 \pm 2)$  °С.

Работа по определению марки цемента складывается из следующих операций: приготовления цементно-песчаного раствора и проверки его консистенции, формования образцов, их влажного твердения и испытания на прочность спустя 28 сут после формования.

1. *Приготовление цементно-песчаного раствора нормальной консистенции.*

Для изготовления трех образцов-балочек отвешивают 500 г портландцемента и 1500 г стандартного песка (стандартным песком считается чистый кварцевый песок с модулем крупности  $M_k = 2,5 \dots 2,7$ ). Если такого песка нет, то его можно получить промывкой и рассевом имеющегося песка на ситах и подбором фракций в нужном соотношении.

Цемент и песок высыпают в протертую влажной тканью сферическую чашу и перемешивают 1 мин. Затем в центр сухой смеси заливают 200 г воды –  $V/C = 0,4$ . Это количество принято ориентировочно; точное же количество устанавливают в процессе работы, так как оно зависит от свойств цемента и песка.

Воде дают впитаться в сухую смесь и затем тщательно перемешивают с перетираем всей массы в течение 5 мин. Приготавливаемая растворная смесь не является кладочным или штукатурным раствором, а представляет собой как бы модель бетона, поэтому она значительно менее пластична, чем традиционная растворная смесь, которой пользуются каменщики и штукатуры.

По окончании перемешивания определяют консистенцию растворной смеси. Для этого раствор загружают в коническую форму (рис. 9, б) с воронкой, установленную на встряхивающем столике (рис. 9, а) в два приема (слоями равной толщины). Каждый слой уплотняют штыковкой диаметром 20 мм и массой около 400 г. Нижний слой штыкуют 15 раз, верхний – 10. Штыкование ведут от периферии к центру, придерживая форму рукой. Излишек раствора срезают ножом и металлическую форму-конус снимают вертикально вверх.

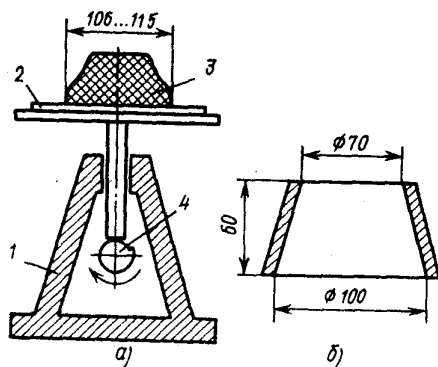


Рис. 9. Схема встряхивающего столика (а) и коническая форма (б):  
1 – станина; 2 – столик; 3 – испытуемый раствор; 4 – эксцентрик

Полученный конус цементного раствора встряхивают на столике 30 раз, вращая рукоятку с частотой  $1\text{ с}^{-1}$ . Затем металлической ли-

нейкой (или штангенциркулем) измеряют диаметр конуса раствора по нижнему основанию в двух взаимно перпендикулярных направлениях и берут среднее значение.

Консистенция раствора считается нормальной, если среднее значение расплава конуса составляет 106...115 мм. Если расплав конуса менее 106 мм или конус при встряхивании рассыпается, готовят новую порцию раствора с увеличенным количеством воды. Если расплав более 115 мм, то новую порцию раствора готовят с меньшим содержанием воды. Погрешность в определении требуемого соотношения В/Ц должна быть не более 0,02, т. е. в пересчете на воду 10 г.

## *2. Изготовление образцов*

Приготовленный раствор нормальной консистенции используют для изготовления образцов. Для этого применяют разъемные металлические формы (рис. 7). Перед заполнением формы растворной смесью ее внутренние поверхности слегка протирают машинным маслом. Для облегчения укладки растворной смеси можно использовать металлическую насадку, устанавливаемую на форму. Подготовленную форму закрепляют в центре лабораторной виброплощадки.

Сначала форму заполняют на 1...2 см растворной смесью и включают виброплощадку. Затем в течение 2 мин вибрации все три гнезда формы равномерно небольшими порциями заполняют раствором. Через 3 мин от начала вибрации виброплощадку отключают и снимают с нее форму. Возможно заполнение формы полностью заранее с послойным штыкованием и последующей вибрацией также 3 мин.

Излишек раствора срезают смоченным водой ножом, поверхность образцов заглаживают и затем каждый образец маркируют.

Образец в формах хранят в течение первых суток ( $24 \pm 2$ ) ч на столике в ванне с гидравлическим затвором или другом приспособлении, обеспечивающем влажность воздуха не менее 90 % (например, в полиэтиленовом пакете вместе с влажной тканью).

Через сутки образцы осторожно вынимают из форм и помещают на 27 сут в воду при  $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ . Спустя 28 сут ( $1 + 27$ ) твердения образцы испытывают на изгиб и сжатие по методике, описанной в работе «Определение марки гипса».

Для определения *марки цемента* вычисляют среднее арифметическое из двух наибольших результатов, полученных при испытании на изгиб, и среднее арифметическое из четырех результатов (наибольший и наименьший отбрасывают), полученных при испытании на сжатие.

Вычисленные таким образом значения  $R_{изг}$  и  $R_{сж}$  сравнивают с требованиями ГОСТ для определения марки цемента (оба значения должны быть не ниже требуемых (табл. 28).

Таблица 28

Марки портландцемента (ПЦ) и шлакопортландцемента (ШПЦ)

Вид цемента	Марка	Предел прочности, МПа (кгс/см <sup>2</sup> ), не менее	
		при изгибе	при сжатии
ШПЦ	300	4,4 (45)	29,4 (300)
ПЦ; ШПЦ	400	5,4 (55)	39,2 (400)
ПЦ; ШПЦ	500	5,9 (60)	49,0 (500)
ПЦ	550	6,1 (62)	53,9 (550)
ПЦ	600	6,4 (65)	58,8 (600)

### Контрольные вопросы

1. Понятие о портландцементе и портландцементном клинкере.
2. Минералогический состав портландцементного клинкера.
3. Что называется нормальной плотностью цементного теста, как она определяется?
4. Что называется сроками схватывания и как они определяются?  
Требования ГОСТа.
5. Как определяется равномерность изменения объема цемента?  
Требования ГОСТа.
6. Определение марки по прочности. Условия твердения цемента.  
Срок набора марочной прочности.

## Лабораторная работа 11

### ПОДБОР СОСТАВА И ПРИГОТОВЛЕНИЕ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА

**Цели:** научиться рассчитывать соотношения цемента, воды, песка и крупного заполнителя для получения бетонной смеси с заданной удобоукладываемостью и бетона с заданной маркой и проверять проведенный расчет.

**Материалы:** цемент, песок кварцевый, щебень фракции 5...10 и 10...20 мм, суперпластификатор СП-3, вода.

**Приборы и приспособления:** боек для приготовления бетонной смеси, две лопаты, стандартный конус, штыковка, форма на три образца-куба  $10 \times 10 \times 10$  см (или  $15 \times 15 \times 15$ ), виброплощадка, весы.

#### Краткие теоретические сведения

Бетон на минеральных вяжущих веществах представляет собой композиционный материал, получаемый в результате формования и твердения рационально подобранной бетонной смеси, состоящей из вяжущего вещества, воды, заполнителей и специальных добавок.

Правильно подобранный состав бетонной смеси должен обеспечить бетону к определенному сроку заданные свойства (прочность, морозостойкость, водонепроницаемость, плотность, долговечность и др.).

В зависимости от основного назначения современные бетоны подразделяются на конструкционные и специальные (жаростойкие, химически стойкие, декоративные, высокопрочные, гидротехнические, аэродромные (дорожные)).

*По виду заполнителей* бетоны могут быть на следующих заполнителях:

- плотных (тяжелые бетоны);
- пористых (легкие бетоны);
- специальных (жаростойкие, радиационно-защитные и другие бетоны).

*По структуре* бетоны могут быть плотной, поризованной, ячеистой и крупнопористой структуры.



**Свойства бетонной смеси.** Бетонная смесь состоит из цементного теста, мелкого и крупного заполнителя.

**Удобоукладываемость** — способность бетонной смеси под действием определенных приемов и механизмов легко укладываться в форму и уплотняться, не расслаиваясь. Удобоукладываемость бетонных смесей в зависимости от их консистенции оценивают по подвижности и жесткости.

**Подвижность** служит характеристикой удобоукладываемости пластичных смесей, способных деформироваться под действием собственного веса. Подвижность характеризуется осадкой стандартного конуса, отформованного из испытываемой бетонной смеси. Для этого металлическую форму-конус, установленную на горизонтальной поверхности, заполняют бетонной смесью в три слоя, уплотняя каждый слой штыкованием. Избыток смеси срезают, форму-конус снимают и измеряют осадку конуса из бетонной смеси — ОК, значение которой (в сантиметрах) служит показателем подвижности.

**Пластификация бетонных смесей** осуществляется с помощью химических веществ: гидрофилизующих — сульфатно-дрожжевая бражка (СДБ), лигносульфонат натрия, гидрофобизирующих — мылонафт и др., микропенообразующих — омыленный древесный пек и т. п., комплексных добавок, суперпластификаторов (например, С-3), весьма значительно повышающих подвижность бетонных смесей.

**Жесткость** — характеристика удобоукладываемости бетонных смесей, у которых не наблюдается осадки конуса ( $ОК = 0$ ). Ее определяют по времени вибрации (в секундах), необходимому для выравнивания и уплотнения предварительно отформованного конуса из бетонной смеси в приборе для определения жесткости.

В зависимости от удобоукладываемости различают жесткие и подвижные бетонные смеси.

Жесткие бетонные смеси содержат небольшое количество воды и, соответственно, пониженное количество цемента в сравнении с подвижными смесями у бетонов равной прочности. Жесткие смеси требуют интенсивного механического уплотнения: длительного вибрирования, вибротрамбования, виброштампования и т. п. Используют такие смеси при изготовлении сборных железобетонных изделий в заводских условиях, в построечных условиях жесткие смеси применяют редко.

Подвижные смеси отличаются большим расходом воды и цемента. Эти смеси представляют собой густую массу, которая легко разжижается при вибрировании. Подвижные смеси можно транспортировать бетононасосами по трубопроводам.

Показатели удобоукладываемости бетонной смеси назначают в зависимости от типа конструкции, ее размеров, густоты армирования и применяемого способа изготовления.

**Связность** — способность бетонной смеси сохранять однородную структуру, т. е. не расслаиваться в процессе транспортирования, укладки и уплотнения. Очень важно сохранить однородность бетонной смеси при перевозке, укладке в форму и уплотнении. При механических воздействиях на бетонную смесь в результате ее тиксотропного разжижения часть воды как наиболее легкого компонента отжимается вверх. Крупный заполнитель, плотность которого обычно больше плотности растворной части (смеси цемента, песка и воды), опускается вниз. Легкие заполнители (керамзит и др.), наоборот, могут всплывать. Все это делает бетон неоднородным, снижая его прочностные показатели и морозостойкость.

Указанные свойства бетонной смеси обеспечиваются правильным подбором состава бетона.

Основными показателями качества бетона в зависимости от его назначения и условий работы являются:

- класс прочности на сжатие — В;
- класс прочности на осевое растяжение —  $B_t$  (назначается, когда этот показатель является основным и контролируется);
- марка по морозостойкости — F (назначается для конструкций, подвергающихся в увлажненном состоянии попеременному замораживанию и оттаиванию);
- марка по водонепроницаемости — W (назначается для конструкций с ограниченной проницаемостью);
- марка по средней плотности — D (назначается для конструкций, к которым предъявляются дополнительно теплоизоляционные требования).

**Прочность бетона** определяется активностью цемента и величиной соотношения между количеством воды и цемента в цементном тесте (В/Ц), применяемом для изготовления бетона.

Установлено, что зависимость прочности бетона от В/Ц с некоторым приближением можно представить в виде формулы

– для бетонов с Ц/В до 2,5

$$R_0 = A R_{ц} (Ц / В - 0,5);$$

– для бетонов с Ц/В более 2,5

$$R_0 = A_1 R_{ц} (Ц / В + 0,5).$$

Здесь  $R_{ц}$  представляет собой активность цемента, определенную испытанием на сжатие кубов 7,07×7,07×7,07 см из раствора состава 1:3 (цемент: «нормальный» вольский песок) в 28-суточном возрасте.

Величину коэффициентов  $A$  и  $A_1$ , отражающих влияние на  $R_0$  качества крупного заполнителя, выбирают из табл. 29.

Таблица 29

Значения коэффициентов  $A$  и  $A_1$

Заполнители бетона	$A$	$A_1$
Высококачественные	0,65	0,43
Рядовые	0,60	0,40
Пониженного качества	0,55	0,37

Установленные значения показателя качества бетона должны быть обеспечены в проектном возрасте, который указывается в рабочих чертежах и назначается в соответствии с нормами проектирования в зависимости от условий твердения, способов возведения и сроков фактической загрузки конструкций.

Обычно за проектную прочность бетона принимают результаты испытания образцов-кубов с размером 15×15×15 см, выдержанных в течение 28 суток в нормальных условиях твердения (температуре  $20 \pm 2$  °С и относительной влажности не <95 %).

Иногда, учитывая, что прочность бетона со временем имеет тенденцию к росту, а необходимости в загрузке конструкций в ближайшее время не намечается, проектную прочность назначают исходя из прочности в 3-месячном ( $R_{90}$ ) и даже в 6-месячном ( $R_{180}$ ) возрасте.

Приближенно можно считать, что прочность бетона при благоприятных условиях – высокой влажности воздуха, положительной температуре и других – увеличивается прямо пропорционально логарифму времени твердения:

$$R_n = R_{28} (\lg n / \lg 28), \quad (44)$$

где  $n$  — количество суток твердения.

К возрасту одного года тяжелый бетон в этих условиях самоупрочняется на 70...90 % от  $R_{28}$ .

Прочность бетона в конструкциях характеризуется марками и классами.

**Марка бетона.** По среднему арифметическому значению прочности бетона устанавливают его марку — округленное значение прочности (причем округление идет всегда в нижнюю сторону). Для тяжелого бетона установлены следующие марки по прочности на сжатие: 50, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700 и 800 кгс/см<sup>2</sup>.

При обозначении марки используют индекс «М»; например, марка бетона М400 означает, что его средняя прочность не менее 40 МПа.

Отличительная особенность бетона — *значительная неоднородность его свойств*. Для строителя важно получить бетон не только с заданной средней прочностью, но и с минимальными отклонениями (особенно в низшую сторону) от этой прочности. Показателем, который учитывает возможные колебания качества бетона, является класс бетона.

**Класс бетона** по пределу прочности при сжатии (в МПа) определяют с помощью образцов размером 15×15×15 см (с умножением на коэффициент 0,778), изготовленных из бетонной смеси и испытанных через 28 суток твердения при хранении в нормальных условиях. ГОСТом установлены следующие классы тяжелого бетона по прочности на сжатие (МПа): 3,5, 5, 7,5, 10, 12,5, 15, 20, 25, 30, 52,5, 40, 45, 50, 55 и 60.

Для производства тяжелого бетона в качестве мелкого заполнителя могут применяться пески, отвечающие требованиям ГОСТ 8736.

Выбор крупного заполнителя должен производиться с учетом марки бетона, размера и вида конструкций. Для тяжелых бетонов рекомендуются следующие виды заполнителя: щебень, получаемый дроблением естественного камня, гравий (ГОСТ 8267), щебень из доменного шлака (ГОСТ 5578).

## **Ход работы**

Работа состоит из двух частей: I – расчетная – «Подбор состава тяжелого бетона», II – практическая – «Приготовление бетонной смеси и проверка свойств смеси и бетона».

### **Часть I. Подбор состава тяжелого бетона**

Меняя расход воды и цемента, марку используемого цемента, вид и количество крупного и мелкого заполнителя, можно получить бетоны, значительно различающиеся между собой по строительным свойствам – прочности, морозостойкости, водопоглощению, усадке и стоимости. Оптимальным для конкретных условий строительства и последующей эксплуатации будет такой состав бетона, который, удовлетворяя техническим требованиям строительства, имеет наименьшую стоимость. Наиболее дефицитной и дорогостоящей частью бетона является цемент. Поэтому обычно стремятся подобрать состав с минимальным расходом цемента.

Оптимальный состав бетона определяют расчетно-экспериментальным методом в три этапа:

- 1) проектирование состава бетона на основе исходных данных с помощью формул, графиков и таблиц;
- 2) уточнение состава бетона на пробных замесах;
- 3) определение фактического расхода составляющих материалов на  $1 \text{ м}^3$  бетона, исходя из расхода материалов на оптимальный пробный замес и объема этого замеса, вычисленного по экспериментально определенной средней плотности бетонной смеси.

Окончательно состав бетона может быть выражен в виде расхода материалов на  $1 \text{ м}^3$  бетона или в частях по массе или объему по отношению к цементу (В/Ц при этом всегда выражается по массе).

Для проектирования состава бетона необходимо иметь следующие исходные данные: назначение бетона; требуемую марочную прочность бетона на сжатие (в возрасте 28 дн); требуемую удобоукладываемость бетонной смеси; вид и марку (активность) цемента; плотность истинную, среднюю и насыпную всех компонентов; зерновой состав заполнителей и пустотность крупного заполнителя (для проведения учебного замеса в лабораторных условиях целесо-

образно принять расчетную прочность бетона (марку) 200 кгс/см<sup>2</sup>, а подвижность бетонной смеси (ОК) – 2...4 см).

Рассчитывают состав тяжелого бетона в следующем порядке.

1. *Обеспечение требуемой прочности бетона.* Зависимость прочности бетона через 28 сут твердения от его состава имеет вид:

$$R_6 = AR_{ц} (\text{Ц} / \text{В} \pm 5), \quad (45)$$

где  $R_{ц}$  – активность (марка) цемента, кгс/см<sup>2</sup>; Ц/В – соотношение цемента и воды; А – коэффициент, зависящий от вида бетона и качества заполнителей.

При возможности выбора марки (активности) цемента рекомендуется, чтобы его марка (активность) была в 2...2,5 раза выше требуемой прочности бетона. Меньшая разница в этих показателях ведет к увеличению расхода цемента, при большей разнице необходимо в цемент вводить тонкомолотые минеральные добавки (молотые гранулированные шлаки, золы ТЭС, молотый известняк и т. п.).

Указанная формула позволяет определить соотношение воды и цемента В/Ц, которое при данном качестве заполнителей А и данной активности цемента  $R_{ц}$  обеспечивает получение требуемой прочности бетона:

– для пластичных смесей (при  $\text{В}/\text{Ц} \geq 0,4$ )

$$\text{В}/\text{Ц} = AR_{ц} / (R_6 + 0,5A_1R_{ц}),$$

– для особо жестких смесей (при  $\text{В}/\text{Ц} < 0,4$ )

$$\text{В}/\text{Ц} = AR_{ц} (R_6 - 0,5A_2R_{ц}).$$

2. *Расход воды* определяют из заданной удобоукладываемости (подвижности или жесткости) бетонной смеси по графикам или справочным таблицам (табл. 30). Расход воды выражают в л (кг) на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси.

3. *Расход цемента* Ц (кг). Зная расход воды, определяют

$$\text{Ц} = \text{В} : (\text{В}/\text{Ц}).$$

Если рассчитанный расход цемента окажется ниже допустимого (табл. 31), его увеличивают; при этом добавляют соответствующее количество воды с таким расчетом, чтобы сохранилось принятое значение В/Ц.

4. *Расход заполнителей* (песка и крупного заполнителя) рассчитывают, решая совместно два уравнения, характеризующие строение бетонной смеси.

Таблица 30

Расход воды, л, на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси

Характеристика бетонной смеси		Наибольшая крупность заполнителя, мм					
		гравия			щебня		
осадка конуса (ОК), см	жесткость, с	10	20	40	10	20	40
—	40...50	150	135	125	160	150	135
—	25...35	160	145	130	170	160	145
—	15...20	165	150	135	175	165	150
—	10...15	175	160	145	185	175	160
2...4	—	190	175	160	200	190	175
5...7	—	200	185	170	210	200	185
8...10	—	205	190	175	215	205	190
10...12	—	215	205	190	225	215	200
12...16	—	220	210	197	230	220	207
16...20	—	227	218	203	237	228	213

*Примечания.*

1. Табличные данные справедливы для бетона с песком средней крупности  $M_k = 2,25$  и водопотребностью 7 %. При применении песка иной крупности и водопотребности расход воды увеличивают (или уменьшают) на 5 л на каждый процент увеличения (или уменьшения) водопотребности:

Модуль крупности $M_k$	.....	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
Водопотребность $V_n$ , %	.....	10	8	6	5	4

2. При применении пуццолановых цементов расход воды увеличивается на 15...20 л.

3. При расходе цемента свыше 400 кг на 1 м<sup>3</sup> бетона расход воды увеличивают на 1 л на каждые 10 кг цемента сверх 400 кг.

Объем 1 м<sup>3</sup> (1000 дм<sup>3</sup>) плотно уложенной бетонной смеси складывается из абсолютных (без воздушных пустот) объемов цемента, воды, мелкого и крупного заполнителя:

$$C / p_c + V + П / p_n + K / p_k = 1, \quad (46)$$

где  $C$ ,  $V$ ,  $П$ ,  $K$  — расходы соответственно цемента, воды, песка и крупного заполнителя, кг;  $p_c$ ,  $p_n$ ,  $p_k$  — соответственно истинные плотности цемента, песка, крупного заполнителя, кг/м<sup>3</sup>.

Таблица 31

Минимально допустимые расходы цемента, кг, в бетоне в зависимости от способа его уплотнения и условий эксплуатации

Условия эксплуатации бетона	Уплотнение вибрацией	Без вибрации
Постоянно соприкасается с водой, подвержен частому замораживанию и оттаиванию	240	265
Не защищен от атмосферных воздействий	220	250
Защищен от атмосферных воздействий	200	220

Пустоты между зернами крупного заполнителя должны быть заполнены растворной смесью с учетом некоторой раздвижки зерен, значение которой определяется коэффициентом раздвижки:

$$\alpha K_{\text{раз}} K / p_{\text{нас}}^{\text{к}} = \text{Ц} / p_{\text{ц}} + \text{П} / p_{\text{п}} + \text{В}, \quad (47)$$

где  $p_{\text{нас}}^{\text{к}}$  – насыпная плотность крупного заполнителя;  $\alpha$  – межзерновая пустотность крупного заполнителя;  $K_{\text{раз}}$  – коэффициент раздвижки зерен заполнителя.

Коэффициент раздвижки зерен для жестких бетонных смесей принимают равным 1,05...1,15, в среднем – 1,1; для пластичных смесей  $K_{\text{раз}}$  принимают по табл. 32.

Таблица 32

Коэффициент раздвижки зерен  $K_{\text{раз}}$  в зависимости от расхода цемента и В/Ц

Расход цемента, кг, на 1 м <sup>3</sup> бетона	В/Ц					
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
250	–	–	–	1,26	1,32	1,38
300	–	–	1,30	1,36	1,42	–
350	–	1,32	1,38	1,44	–	–
400	1,31	1,40	1,46	–	–	–
500	1,44	1,52	1,56	–	–	–
550	1,52	1,56	–	–	–	–

Решая совместно приведенные выше уравнения, получаем формулы для определения расхода (в кг на 1 м<sup>3</sup> бетона):

– крупного заполнителя

$$K = 1 / (\alpha K_{\text{раз}} / p_{\text{нас}}^{\text{к}} + 1 / p_{\text{к}}), \quad (48)$$



– песка

$$\Pi = [1 - (\text{Ц} / p_{\text{ц}} + \text{В} + \text{К} / p_{\text{к}})] p_{\text{п}}. \quad (49)$$

Получают расчетный состав бетона в виде расхода материалов Ц, В, П, К в кг для получения 1 м<sup>3</sup> бетона. Расчетная плотность бетонной смеси (кг/м<sup>3</sup>):

$$p_{\text{б.с}}^p = \text{Ц} + \text{В} + \text{П} + \text{К}. \quad (50)$$

## **Часть II. Приготовление бетонной смеси и проверка свойств смеси и бетона**

*Приготовление смеси.* Исходя из рассчитанного состава бетона, определяют расход материалов на пробный замес объемом  $V_{\text{зам}} = 7 \dots 12 \text{ дм}^3 = 0,007 \dots 0,012 \text{ м}^3$ . Точное значение объема пробного замеса рассчитывается из необходимости заполнить стандартный конус ( $V = 7 \text{ дм}^3$ ), а затем из той же смеси отформовать три образца-куба размером  $10 \times 10 \times 10 \text{ см}$  ( $V = 3 \text{ дм}^3$ ) или размером  $15 \times 15 \times 15 \text{ см}$  ( $V = 11 \text{ дм}^3$ ).

Расход материалов на замес объемом  $V_{\text{зам}}$  (м<sup>3</sup>) вычисляют, умножая расход материалов на 1 м<sup>3</sup> бетона на объем замеса. Например,  $\text{Ц}_{\text{зам}} = \text{Ц} \cdot V_{\text{зам}}$  (кг) и т. д.

Расчитанные на замес количества сухих материалов отвешивают на торговых весах с погрешностью для цемента не более 10 г, для заполнителей – не более 50 г. Воду отмеряют мерным цилиндром с погрешностью не более 10 г.

Сухие компоненты высыпают в боек (мелкое плоскодонное корыто), предварительно смочив его поверхность, и перемешивают. Затем в несколько приемов при постоянном перемешивании добавляют воду и продолжают перемешивание. Общая продолжительность перемешивания не менее 5 мин.

*Оценка подвижности смеси.* Готовую бетонную смесь для определения ее подвижности загружают в стандартный конус, установленный на металлический поддон. Перед испытанием конус и все приспособления очищают и протирают влажной тканью. Загрузку бетонной смесью производят в три слоя, штыкуя каждый слой 25 раз. Конус во время наполнения должен быть плотно прижат к поддону. После уплотнения бетонной смеси ее избыток срезают ровень с верхним краем конуса.

Далее конус плавно снимают с бетонной смеси и ставят рядом с ней. Осадку конуса бетонной смеси (ОК) определяют, укладывая металлическую линейку ребром на верх конуса и измеряя расстояние от нижней грани линейки до верха бетонной смеси с погрешностью не более 0,5 см.

Если ОК отличается более чем на 1 см от запроектированной, то необходимо ввести добавки, корректирующие подвижность смеси, но не изменяющие прочность бетона.

Если ОК менее заданного значения (смесь жесткая), необходимо добавить воду и одновременно цемент, чтобы рассчитанное В/Ц смеси не изменилось. Обычно добавляют по 10 % от расчетного количества воды и цемента. Массу добавок фиксируют в тетради. Затем смесь повторно перемешивают и вновь определяют ОК. Если смесь не достигнет требуемой подвижности, то вводят добавки, пока не получают желаемого результата.

Если ОК более заданной величины, можно снизить подвижность, добавив песок и крупный заполнитель (в соотношении, принятом при расчете смеси). Количество добавок и порядок действий с ними такой же, как и при добавке воды и цемента.

*Изготовление образцов.* Из смеси, имеющей требуемую подвижность, формируют образцы для определения прочности бетона. Для этого используют разборные металлические формы размером 10×10×10 или 15×15×15 см (последние являются стандартными), позволяющие получить образцы правильной геометрической формы.

Форму перед заполнением смазывают и взвешивают с погрешностью не более 50 г ( $m_{\phi}$ , кг). Бетонную смесь укладывают в форму в два-три слоя, уплотняя каждый слой штыкованием 10...20 раз от краев к центру. Затем формы с некоторым избытком смеси устанавливают на виброплощадку и вибрируют 1...2 мин (до появления жидкости на поверхности). По окончании уплотнения поверхность бетона выравнивают кельмой, срезая избыток смеси, и очищают от смеси, налипшей на боковые поверхности формы. Форму с бетоном взвешивают с погрешностью не более 50 г ( $m_{\phi+b}$ , кг).

Зная объем бетонной смеси в форме  $V_{б.с}$  (дм<sup>3</sup>), можно определить фактическую плотность бетонной смеси  $\rho_{б.с}^{\phi}$  (кг/м<sup>3</sup>):

$$p_{\text{б.с}}^{\text{ф}} = 1000 (m_{\text{ф+б}} - m_{\text{ф}}) / V_{\text{б.с}} \quad (51)$$

и сравнить ее с рассчитанной  $p_{\text{б.с}}^{\text{р}}$ .

Отформованные образцы хранятся в формах 24...30 ч, затем распалубливаются и хранятся до испытаний на воздухе, но так, чтобы исключить высыхание бетона (обычно их покрывают влагоемкой тканью, которую периодически увлажняют).

*Определение прочности бетона.* Марочная прочность бетона в соответствии со стандартами определяется после 28 сут нормального твердения. Однако при необходимости можно испытать бетонные образцы в другом возрасте (не ранее чем через три дня после изготовления) и с достаточной точностью рассчитать 28-дневную прочность по формуле

$$R_{28} = R_n (\lg 28 / \lg n), \quad (52)$$

где  $R_n$  – прочность бетона, МПа, в возрасте  $n$  дней.

Испытания бетона проводят на прессах с максимальным усилием для образцов  $10 \times 10 \times 10$  см – 500 кН,  $15 \times 15 \times 15$  см – 1000 кН.

Образцы очищают от пыли и устанавливают строго в центре нижней плиты пресса так, чтобы верхняя (при формовании) грань образца оказалась в вертикальной плоскости. Верхнюю плиту пресса опускают до соприкосновения с образцом для выравнивания плоскостности, а затем немного приподнимают так, чтобы образовался зазор 2...5 мм. После этого включают пресс и нагружают образец со скоростью 0,4...0,8 МПа/с до его разрушения. Разрушающая нагрузка  $F_p$  (кН) фиксируется на силоизмерительной шкале по показанию пассивной стрелки, отмечающей максимальное усилие пресса в ходе испытания.

Предел прочности при сжатии  $R_{\text{сж}}$  (МПа) испытываемого образца рассчитывают по формуле

$$R_{\text{сж}} = 10 F_p / A, \quad (53)$$

где  $A$  – площадь поперечного сечения образца, см<sup>2</sup>.

Если шкала пресса градуирована в кгс, то вместо коэффициента 10 в формуле следует использовать коэффициент 0,1.

При испытании образцов, твердевших не 28 дн, делают перерасчет их прочности на 28-дневную по указанной ранее формуле.

Прочность бетона данного замеса устанавливают, рассчитывая среднее арифметическое результатов испытания (при испытании трех образцов для расчета берут два наибольших значения). При размере образцов 15×15×15 см рассчитанная прочность является марочной прочностью бетона, если размер образцов был 10×10×10 см, то полученное значение умножают на коэффициент 0,95.

### **Контрольные вопросы**

1. Понятие о бетоне и бетонной смеси.
2. Исходные данные для подбора состава бетона.
3. Последовательность подбора состава бетона.
4. Определение подвижности и жесткости бетонной смеси.
5. Факторы, влияющие на подвижность бетонной смеси и способы ее регулирования.
6. Определение марки и класса бетона.

## Лабораторная работа 12

### ГАЗОБЕТОН

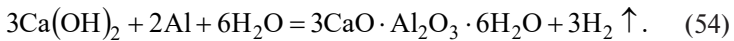
**Цели:** определить состав бетона, приготовить бетонную смесь, определить марку и среднюю плотность бетона.

**Материалы:** цемент, известь негашеная молотая, песок кварцевый, алюминиевая пудра, 5%-ное гидрофильное ПАВ, вода.

**Приборы и приспособления:** сферическая металлическая чаша для приготовления газобетонной смеси, круглая лопаточка, форма на три образца-куба 10×10×10 см, весы технические с разновесами, термометр, электронагреватель для подогрева заполнителей и воды, мерный цилиндр, пресс гидравлический ПГ-10.

#### Краткие теоретические сведения

Газобетон представляет собой искусственный каменный материал, полученный в результате затвердевания вспученной при помощи порообразования смеси вяжущего, кремнеземистого компонента и воды. Чаще всего в газобетоне порообразователем служит алюминиевая пудра, которая, реагируя с гидроксидом кальция, выделяет водород по реакции:



При выделении водорода происходит вспучивание смеси. При этом образуется своеобразная структура макропор (ячеек), равномерно распределенных в объеме бетона и разделенных друг от друга тонкими, но достаточно прочными перегородками (мембранами). Макропоры имеют диаметр 0,5...2,0 мм. Такая структура называется ячеистой. Газобетон относится к ячеистым бетонам.

Физико-механические свойства ячеистых бетонов характеризуются следующими показателями: маркой по пределу прочности при сжатии образцов – кубов с ребром 150 мм, 28-суточном твердении в нормальных температурно-влажностных условиях хранения. По этому показателю ячеистые бетоны разделяются на марки: М15; 25; 35; 50; 75; 100; 150 или на классы: В1; В1,5; В2,5; В3,5; В5; В7,5; В10.

По показателю средней плотности установлены следующие марки ячеистых бетонов (кг/м<sup>3</sup>): Д<sub>200</sub>; Д<sub>300</sub>; Д<sub>400</sub>; Д<sub>500</sub>; Д<sub>600</sub>; Д<sub>700</sub>; Д<sub>800</sub>; Д<sub>900</sub>; Д<sub>1000</sub>; Д<sub>1100</sub>; Д<sub>1200</sub>.

Ячеистые бетоны применяются в качестве теплоизоляционных материалов в виде плит для теплоизоляции стен и перекрытий, укрытия поверхностей заводского оборудования и трубопроводов.

**Материалы:** цемент, песок, известь-кипелка, алюминиевая пудра, вода.

**Приборы и приспособления:** сферическая чаша, мерный цилиндр, формы 10×10×10 мм, весы технические с разновесами, пресс гидравлический ПГ-10.

### Ход работы

**Расчет состава газобетона** производится с одним из следующих значений его средней плотности: 700, 900, 1000, 1200 кг/м<sup>3</sup>. Состав газобетона рассчитывается, исходя из вида вяжущего, активности извести, водотвердого отношения и качественных характеристик вяжущего, добавки и песка.

Долю цемента от общего количества вяжущего определяют по формуле

$$K_{\text{ц}} = \frac{a}{a + \text{в}}, \quad (55)$$

где  $a$  — количество цемента, доли единицы;  $\text{в}$  — количество извести, доли единицы.

Долю извести от общего количества вяжущего определяют по формуле

$$K_{\text{и}} = \frac{\text{в}}{a + \text{в}}. \quad (56)$$

Расход цемента на 1 м<sup>3</sup> газобетона определяют по формуле

$$\text{Ц} = 0,9 \cdot K_{\text{ц}} \cdot \rho_0 \cdot c, \quad \text{кг/м}^3, \quad (57)$$

где  $\rho_0$  — средняя плотность газобетона в сухом состоянии, кг/м<sup>3</sup>;  $c$  — количество смешанного вяжущего, доли единицы; 0,9 — коэффициент, учитывающий химически связанную воду в газобетоне.

Расход извести на 1 м<sup>3</sup> газобетона определяют по формуле

$$\text{И} = \frac{0,9 \cdot K_{\text{и}} \cdot \rho_0 \cdot c}{A}, \quad \text{кг/м}^3, \quad (58)$$

где  $A$  — активность извести, доли единицы.

Расход песка на 1 м<sup>3</sup> газобетона определяют по формуле

$$\Pi = 0,9 \cdot p \cdot \rho_0, \text{ кг/м}^3, \quad (59)$$

где  $p$  – количество песка, доли единицы.

Расход воды находят по формуле

$$B = \frac{B}{T} (\Pi + И + \Pi), \text{ л/м}^3, \quad (60)$$

где  $\frac{B}{T}$  – водотвердое отношение, значение которого принимается 0,44...0,48.

Абсолютный объем цемента, извести, песка и воды перед вспучиванием вычисляют по формулам:

$$V_{\text{ц}} = \frac{\Pi}{\rho_{\text{ц}}}, \quad V_{\text{и}} = \frac{И}{\rho_{\text{и}}}, \quad V_{\text{п}} = \frac{\Pi}{\rho_{\text{п}}}, \quad V_{\text{в}} = \frac{B}{\rho_{\text{в}}}, \quad (61)$$

где  $\rho_{\text{ц}}$ ,  $\rho_{\text{и}}$ ,  $\rho_{\text{п}}$ ,  $\rho_{\text{в}}$  – соответственно плотность цемента, извести, песка, воды, кг/м<sup>3</sup>.

Расход алюминиевой пудры на 1 м<sup>3</sup> газобетона определяют по формуле

$$\frac{1000 - V}{\frac{273 + t}{273} \cdot 1254 \cdot G}, \text{ кг}, \quad (62)$$

где  $V$  – суммарный абсолютный объем материала перед вспучиванием, равный  $V_{\text{ц}} + V_{\text{и}} + V_{\text{п}} + V_{\text{в}}$ , л;  $t$  – температура смеси при замесе газобетона, °С;  $G$  – коэффициент использования алюминиевой пудры, доли единицы.

Коэффициент вспучивания газобетонной смеси определяют по формуле

$$K_{\text{в}} = \frac{1000}{V}. \quad (63)$$

### *Изготовление контрольных образцов*

Готовится замес газобетонной смеси объемом 4 л. Для этого пересчитывается расход материала на этот объем. Результаты пересчета записываются в табл. 33.

В сферическую чашу засыпают песок, цемент, известь и тщательно перемешивают. Взвешивают алюминиевую пудру и перемешивают в 100 см<sup>3</sup> воды, подогретой до 60...70°. В смесь подливают расчетное количество воды, подогретой до 50...60°, учитывая, что 100 см<sup>3</sup> ее израсходовано на получение водно-алюминиевой суспен-

зии. Смесь перемешивают в течение 2 мин. Затем в нее добавляют водно-алюминиевую суспензию и перемешивают в течение 1...3 мин.

Таблица 33

Результаты пересчета расхода материала на изготовление образца газобетона

Объем замеса, л	Расход материалов на замес, кг				
	цемент	известь	песок	вода	алюминиевая пудра
1000					
4					

Из смеси изготавливают три контрольных образца куба с ребром 100 мм. Чтобы смесь не оседала, металлическую форму подогревают до 40°. Заливают форму смесью с учетом коэффициента вспучивания. При коэффициенте вспучивания 1,5 заливку формы высотой 100 мм следует производить на высоту 70...75 мм.

Образовавшийся избыток раствора (горбуша) срезается тонкой проволокой через 1...2 часа. Через 1...2 суток образцы освобождают от форм и помещают на 28 суток во влажные условия твердения.

***Определение средней плотности и предела прочности при сжатии газобетона***

Для определения средней плотности газобетона контрольные образцы высушивают до постоянной массы. Каждый образец взвешивают и измеряют его размеры.

Среднюю плотность газобетона рассчитывают как среднее арифметическое значение трех определений.

Высушенные контрольные образцы испытывают на сжатие на гидравлическом прессе. Предел прочности при сжатии газобетона вычисляют как среднее арифметическое значение испытаний трех образцов. Полученное значение предела прочности при сжатии приводят к прочности стандартных образцов-кубов с ребром 150 мм умножением на коэффициент 0,9. Результаты испытаний записывают в табл. 34.



Результаты испытаний образца газобетона

Номер образца	Средняя плотность газобетона, г/см <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, МПа	Марка газобетона по прочности	Группа газобетона
1				
2				
3				

### Контрольные вопросы

1. Понятие о ячеистых бетонах.
2. За счет чего происходит породообразование в газобетоне? Написать реакции.
3. По каким признакам классифицируются ячеистые бетоны?
4. Как определяется средняя плотность газобетона?
5. Как определяется прочность газобетона?
6. Где применяются ячеистые бетоны?

## Лабораторная работа 13

### СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ

**Цели:** научиться производить расчет состава растворной смеси заданной марки для кирпичной кладки. Изучить основные свойства растворной смеси и затвердевшего раствора.

**Материалы:** цемент, известь, песок кварцевый, вода.

**Приборы и приспособления:** стандартный конус, сферическая чашка, кельма, весы технические с разновесом, цилиндр мерный емкостью 1 литр, ванна с гидравлическим затвором, нож, шпатель, стальной стержень диаметром 10...12 мм, форма на три образца-куба 7,07×7,07×7,07 см, гидравлический пресс ГП-10.

#### Краткие теоретические сведения

*Строительный раствор* — это искусственный каменный материал, полученный в результате затвердевания растворной смеси, состоящей из вяжущего, воды, мелкого заполнителя и добавок, улучшающих свойства смеси и раствора.

Данная смесь до начала схватывания вяжущего вещества называется строительной *растворной смесью*.

Чтобы обеспечить однородность, пластичность и водоудерживающую способность растворной смеси при минимально возможном расходе вяжущего вещества, применяют минеральные или органические пластификаторы. Необходимо учитывать, что избыточное количество вяжущего и минерального пластификатора в составе раствора увеличивает его водопотребность и усадку при твердении.

Растворные смеси с малой водоудерживающей способностью склонны к расслоению, что нарушает однородность смеси и понижает прочность раствора. Лучший состав и качество растворной смеси достигаются в том случае, когда пустоты в песке заполнены тестом из вяжущего вещества, воды и добавок, а поверхность зерен песка покрыта тонким слоем этого теста.

Строительные растворы классифицируют:

- по основному назначению;
- применяемому вяжущему;
- средней плотности.

По основному назначению растворы подразделяют:

- на кладочные (в том числе и для монтажных работ);
- облицовочные;
- штукатурные.

По применяемым вяжущим растворы подразделяют:

- на простые (на вяжущем одного вида);
- сложные (на смешанных вяжущих).

По средней плотности различают растворы тяжелые и легкие.

Средняя плотность,  $D$ , затвердевших растворов в проектном возрасте должна быть, кг/м<sup>3</sup>:

- тяжелые растворы..... 1500 и более;
- легкие растворы..... менее 1500.

К материалам, применяемым для изготовления строительных растворов (вяжущее вещество, мелкий заполнитель, вода, добавки), предъявляются соответствующие требования.

*Вяжущее вещество.* Вид вяжущего вещества зависит от условий работы и прочности раствора. Марка вяжущего по прочности должна быть больше марки раствора в 3...4 раза.

В качестве *вяжущих материалов* следует применять гипсовые вяжущие, известь строительную, портландцемент и шлакопортландцемент, цементы пуццолановые и сульфатостойкие, цементы для строительных растворов, глину и другие, в том числе смешанные вяжущие, по нормативным документам на конкретный вид вяжущих.

Вяжущие материалы для приготовления растворов следует выбирать в зависимости от их назначения, вида конструкций и условий их эксплуатации.

Расход цемента на 1 м<sup>3</sup> песка в растворах на цементном и цементосодержащих вяжущих должен быть не менее 100 кг, а для кладочных растворов – в зависимости от вида конструкций и условий их эксплуатации.

Содержание щелочей в цементных вяжущих, предназначенных для приготовления штукатурных и облицовочных растворов, не должно превышать 0,6 % по массе.

*Мелкий заполнитель.* Для тяжелых растворов лучше применять кварцевый песок; для легких растворов – пески из пемзы, туфа, ракушечника, керамзита.

Наибольшая крупность зерен заполнителя должна быть, мм, не более:

- кладочные (кроме бутовой кладки) .....2,5;
- бутовая кладка ..... 5,00;
- штукатурные (кроме накрывочного слоя) ..... 2,5;
- штукатурные накрывочного слоя ..... 1,25;
- облицовочные ..... 1,25.

Содержание зерен песка размером более 2,5 мм для штукатурных растворов и более 1,25 мм для облицовочных и штукатурных накрывочных растворов не допускается.

Содержание вредных примесей в заполнителях не должно превышать требований стандартов к мелким заполнителям.

*Вода* не должна содержать вредных примесей: растворимых солей, сульфатов и хлоридов.

*Специальные добавки.* Пластификаторы снижают расход вяжущего вещества, придают смесям необходимую пластичность и повышают ее водоудерживающую способность. Для этого применяются неорганические тонкодисперсные порошки (глина, известь, молотые шлаки, зола, тонкомолотый трепел и диатомит) и органические поверхностно-активные вещества (ЛСТ, СНВ, мылонафт).

Кладочные строительные растворы предназначены для надежного соединения между собой отдельных элементов кладки, равномерного распределения нагрузки в ней и монтажа стен из панелей и блоков.

Цементные растворы применяют для подземной кладки и кладки ниже гидроизоляционного слоя. Цементно-известковые и цементно-глиняные растворы используются как в подземных, так и наземных частях зданий и сооружений. Известковые растворы используются в наземных частях зданий с небольшими нагрузками.

Кладочные растворные смеси и растворы должны обладать рядом свойств, главными из которых являются удобоукладываемость, водоудерживающая способность и прочность при сжатии.

*Удобоукладываемость* – способность растворной смеси распределяться на основании тонким однородным слоем, прочно сцепляющимся с поверхностью. Характеризуется подвижностью, ко-

торая определяется по глубине погружения конуса в исследуемую растворную смесь.

*Водоудерживающая способность* – способность растворной смеси не расслаиваться при транспортировании и сохранять достаточное количество воды в тонком слое смеси, уложенной на пористое основание.

*Прочность при сжатии.* На прочность кладочного раствора, работающего на плотном основании, влияют те же факторы, что и для бетонов, т. е. активность вяжущего и водоцементное отношение согласно закону прочности раствора:

$$R_p = 0,4R_{ц}(\text{Ц} / \text{В} - 0,3). \quad (64)$$

Прочность растворов, уложенных на пористое основание, повышается примерно в 1,5 раза за счет уменьшения воды и уплотнения раствора при твердении по сравнению с растворами, уложенными на плотное основание. После отсоса части воды в растворной смеси устанавливается постоянное водоцементное отношение.

Прочность раствора  $R_p$  (МПа), работающего на пористом основании, определяется в зависимости от расхода вяжущего вещества Ц ( $\text{т}/\text{м}^3$ ), его активности  $R_{ц}$  и крупности песка  $k$ :

$$R_p = k \cdot R_{ц}(\text{Ц} - 0,05) + 4, \quad (65)$$

где  $k$  – коэффициент крупности песка, зависящий от качества песка: для крупного песка – 2,2; песка средней крупности – 1,8; мелкого песка – 1,4.

Нормируемые показатели качества затвердевшего раствора должны быть обеспечены в проектном возрасте. За проектный возраст раствора, если иное не установлено в проектной документации, следует принимать 28 сут для растворов на всех видах вяжущих, кроме гипсовых и гипсосодержащих. Проектный возраст растворов на гипсовых и гипсосодержащих вяжущих – 7 сут.

Прочность растворов на сжатие в проектном возрасте характеризуют марками: М4, М10, М25, М50, М75, М100, М150, М200.

Марку по прочности на сжатие назначают и контролируют для всех видов растворов.

Для растворов установлены следующие марки по морозостойкости: F10, F15, F25, F35, F50, F75, F100, F150, F200.

## Ход работы

### 1. Подбор состава раствора

1.1. Состав раствора рассчитывается из заданной марки подвижности растворной смеси, а также качественных характеристик компонентов.

Расчет компонентов ведут на 1 м<sup>3</sup> песка. Количество цемента в тоннах на 1 м<sup>3</sup> песка определяют по формуле

$$\text{Ц} = \frac{R_p - 4}{k \cdot R_{\text{ц}}} + 0,5, \quad (66)$$

где  $R_p$  – заданная марка раствора;  $R_{\text{ц}}$  – активность цемента, кг/см<sup>2</sup>;  $k$  – коэффициент, зависящий от вида вяжущего и крупности песка. Для портландцемента и местного песка он принимается равным 0,6; для песка средней крупности – 0,8...0,9; для крупного – 1,0.

1.2. Количество объемных частей песка (П), приходящихся на 1 объемную часть цемента, имеющего среднюю насыпную плотность  $\rho_{\text{н.ц}}$ , т/м<sup>3</sup>, определяют из формулы

$$\text{П} = \frac{\rho_{\text{н.ц}}}{\text{Ц}}, \quad (67)$$

где расход цемента измеряют в т/м<sup>3</sup>.

1.3. Минимальное количество объемных частей известкового теста «И», приходящихся на 1 объемную часть цемента и необходимых для получения раствора требуемой подвижности, определяют по эмпирической формуле

$$\text{И} = 0,15 \text{ П} - 0,3. \quad (68)$$

1.4. Количество составных частей раствора:

$$\text{ч.р} = \text{Ц} + \text{И} + \text{П}. \quad (69)$$

Количество объемных частей цемента принимают за единицу.

1.5. Определяем расход материалов на замес объемом 2 литра.

Цемент – 2/ч.р.

Известкового теста – (2/ч.р) · И.

Песка – (2/ч.р) · П.

1.6. Количество воды принимаем из расчета водовяжущего отношения, равного 0,8...0,9.

$$\text{В/Ц} + \text{И} = 0,8 - 0,9.$$

Это количество теста ориентировочное, его уточняют на опыте проверкой подвижности и нерасплаиваемости растворной смеси.

### 2. Изготовление пробного замеса раствора

Для изготовления растворной смеси дозировку составных частей производят по массе. Задают определенное значение подвижности растворной смеси. Объем пробного замеса принимают равным 2...3 л. Отвешивают рассчитанное количество песка и высыпают его в сферическую чашку, к песку добавляют рассчитанное количество цемента, тщательно перемешивают до получения однородной сухой смеси. В центре слоя делают небольшое углубление и заливают рассчитанное количество известкового теста, перемешивают с 70...80 % воды затворения. Компоненты перемешивают 2...3 минуты, выливают оставшееся количество воды и вновь перемешивают компоненты кельмой в течение 2...3 минут, после чего определяют подвижность растворной смеси.

### 3. Определение подвижности свежеприготовленного раствора

Подвижность определяется на приборе (рис. 10) и оценивается глубиной погружения конуса в раствор.

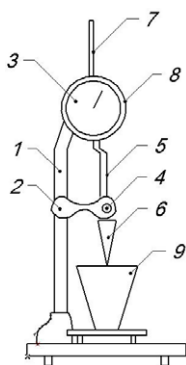


Рис. 10. Прибор для определения подвижности растворной смеси:  
1 – штатив; 2 – держатель; 3 – диск; 4 – кнопка; 5 – стержень; 6 – конус;  
7 – штанга; 8 – циферблат; 9 – сосуд

Перед испытанием свежеприготовленный раствор перемешивают 2...3 минуты, наполняют им сосуд примерно на 1 см ниже его

краев, уплотняют 25-ю нажимами стального стержня диаметром 10...12 мм, и встряхивают сосуд 5...6 раз легким постукиванием о стол.

При установке на горизонтальной поверхности (столе) острие конуса приводят в соприкосновение с поверхностью раствора, закрепляют стержень конуса пусковым винтом и записывают в журнале первый отсчет по шкале. Затем отпускают винт, предоставляя конусу возможность в течение 10 с свободно погружаться в раствор. По истечении этого времени записывают второй отсчет по шкале. Подвижность растворной смеси определяют как разность двух отсчетов. Величину подвижности вычисляют как среднее арифметическое результатов двух испытаний. Когда фактическая подвижность отличается от заданной на  $\pm 0,5$  см, состав раствора корректируют. Если подвижность оказалась меньше заданной, добавляют воду в количестве 5...10 % ее расхода на опытный замес. Если подвижность больше заданной, добавляют песок в количестве 5...10 % его расхода на пробный замес.

После корректировки вновь определяют подвижность растворной смеси до соответствия заданной.

Результаты записывают в табл. 35.

Таблица 35

Результаты определения подвижности растворной смеси

Материалы	Расход материалов на пробный замес, кг			Подвижность раствора, см
	1	2	3	
Цемент				
Известковое тесто				
Песок				
Вода				

4. *Определение предела прочности раствора на сжатие*

Изготовление образцов из свежеприготовленного раствора подвижностью 5 см и более производят в формах без поддона. Сбранную и смазанную форму устанавливают на керамический полнотельный кирпич, покрытый влажной непроклеенной бумагой. Затем три отделения формы заполняют раствором за один приём с некоторым избытком, уплотняют его в каждом отделении 25 с нажимами



стержня диаметром 10...12 мм, срезают избыток растворной смеси влажным ножом и заглаживают поверхность.

Форму с растворной смесью выдерживают до распалубки в ванне с гидравлическим затвором. Через 24 ч образцы освобождают из формы и хранят в течение оставшегося до испытания времени в нормальных условиях.

Через 28 суток гидравлического твердения образцы испытывают на сжатие на гидравлическом прессе. Предел прочности каждого образца на сжатие вычисляют по формуле

$$R_{сж} = P / F \text{ кг/см}^2 \text{ (МПа)}, \quad (70)$$

где  $P$  – разрушающая нагрузка, кг;  $F$  – рабочая площадь образца (площадь поперечного сечения), см<sup>2</sup>.

Предел прочности раствора на сжатие вычисляют как среднее арифметическое результатов испытаний трех образцов-кубов.

Марка раствора устанавливается по величине предела прочности раствора на сжатие.

Результаты опытов записывают в табл. 36.

Таблица 36

Результаты определения предела прочности раствора на сжатие

Номер образца	Рабочая площадь образца (см <sup>2</sup> )	Разрушающая нагрузка (кг)	Предел прочности на сжатие, кг/см <sup>2</sup> (МПа)	Марки раствора
			Образца раствора	
1				
2				
3				

### 5. Пример подбора состава раствора

Требуется установить состав раствора марки 50 для наземной кладки здания из полнотелого кирпича. Подвижность растворной смеси 7...9 см.

Вяжущее – портландцемент марки 300 средней плотностью 1100 кг/м<sup>3</sup> (1,1 т/м<sup>3</sup>).

Песок средней крупности, пустотностью 40 % и средней плотностью в рыхлонасыпном состоянии 1200 кг/м<sup>3</sup> (1,2 т/м<sup>3</sup>).

1. Определяем расход цемента на 1 м<sup>3</sup> песка:

$$Ц = ((R_p - 4) / K R_u) + 0,05 = (50 - 4 / 0,9 \cdot 300) + 0,05 = 0,22.$$

2. Количество объемных частей песка на 1 объемную часть цемента:

$$\Pi = 1,1/0,22 = 5.$$

3. Количество объемных частей известкового теста на 1 объемную часть цемента:

$$И = 0,15\Pi - 0,3 = 0,45.$$

4. Находим количество составных частей раствора:

$$1 + 0,45 + 5 = 6,45.$$

5. Расход материалов на опытный замес объемом 2 л составляет:  
цемента:  $2/6,45 = 0,31$  кг;  
известкового теста:  $(2/6,45) 0,45 = 0,14$ ;  
песка:  $(2/6,45) 5 = 1,55$ .

Количество воды принимается из расчета водоцементного отношения, равного 0,8...0,9

$$В/Ц + И = 0,8...0,9;$$

воды

$$В = 0,8 (0,31 + 0,14) = 0,36 \text{ л.}$$

### **Контрольные вопросы**

1. Понятие о растворной смеси и растворе.
2. Классификация строительных растворов.
3. Качество заполнителя для строительных растворов.
4. Свойства растворной смеси.
5. Свойства отвердевшего строительного раствора.
6. Применение строительных растворов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Основин, В.Н. Справочник по строительным материалам и изделиям / В.Н. Основин, Л.В. Шуляков, Д.С. Дубяго. — 5-е изд. — Ростов н/Д : Феникс, 2008. — 444 с. — (Строительство и дизайн).
2. Алимов, Л.А. Строительные материалы : учеб. для бакалавров, обуч. по направлению «Строительство» / Л.А. Алимов. — М. : Академия, 2012. — 320 с. — (Бакалавриат).
3. Алимов, Л.А. Технология строительных изделий и конструкций. Бетонведение : учебник / Л.А. Алимов. — М. : Академия, 2010. — 425 с. — (Высшее профессиональное образование. Строительство).
4. Арзамасов, В.Б. Материаловедение : учебник для вузов / В.Б. Арзамасов. — М. : Экзамен, 2009. — 350 с.
5. Дворкин, Л.И. Строительное материаловедение : учеб.-практ. пособие [Электронный ресурс] / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин. — М. : Инфра-Инженерия, 2013. — 832 с.
6. Лесовик, В.С. Строительные материалы и изделия : лабораторный практикум [Электронный ресурс] / В.С. Лесовик, Н.И. Алфимова, Л.Н. Соловьева. — Белгород : БГТУ : ЭБС АСВ, 2013. — 110 с.
7. Шишканова, В.Н. Современные строительные материалы : практикум для студентов, обуч. по напр. «Строительство» / В.Н. Шишканова. — Тольятти : ТГУ, 2008. — 78 с.
8. Шишканова, В.Н. Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций : учеб. пособие по дисциплине «Строит. материалы при реконструкции, восстановлении и кап. ремонте зданий и сооружений» / В.Н. Шишканова. — Тольятти : ТГУ, 2013. — 123 с.
9. Оценка качества цементов : практикум по дисц. «Материаловедение и технология конструкционных материалов» и «Управление качеством в строительстве» / сост. В.Н. Шишканова. — Тольятти : ТГУ, 2010. — 42 с.
10. Шишканова, В.Н. Строительные материалы и изделия : учеб.-метод. пособие для студ. заочной формы обучения / В.Н. Шишканова. — Тольятти : ТГУ, 2007. — 62 с.
11. Строительное материаловедение : учеб. пособие для вузов / под общ. ред. В.А. Невского. — 2-е изд., доп. и перераб. — Ростов н/Д : Феникс, 2009. — 589 с. — (Высш. образование).

12. Белов, В.В. Краткий курс материаловедения и технологии конструкционных материалов для строительства : учеб. пособие для вузов / В.В. Белов, В.Б. Петропавловская. — М. : АСВ, 2006. — 204 с.
13. Рыбьев, И.А. Строительное материаловедение / И.А. Рыбьев. — М. : Высш. шк., 2004. — 701 с.
14. Барташевич, А.А. Материаловедение / А.А. Барташевич. — Ростов н/Д : Феникс, 2004.
15. Микульский, В.Г. Строительные материалы / В.Г. Микульский, В.В. Козлова. — М. : АСВ, 2004.
16. Технология бетона, строительных изделий и конструкций / Ю.М. Баженов [и др.]. — М. : АСВ, 2004.