

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

С. А. ЛЮБИШИНА

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Утверждено редакционно-издательским советом ФГБОУ ВО «КГТУ»
в качестве учебно-методического пособия по выполнению
лабораторных работ для студентов бакалавриата
по направлению подготовки 08.03.01 Строительство

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО "КГТУ"
2023

Рецензент

кандидат технических наук, доцент кафедры строительства ФГБОУ ВО
«Калининградский государственный технический университет»

Л. В. Узунова

Любишина, С. А.

Строительные материалы: учеб.-метод. пособие по выполнению лабораторных работ для студентов бакалавриата по напр. подгот. 08.03.01 Строительство / С. А. Любишина. – Калининград: ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. – 57 с.

Учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ по дисциплине Строительные материалы для обучающихся в бакалавриате по направлению подготовки 08.03.01 Строительство содержит рекомендации по подготовке к лабораторным занятиям, проведению измерений и обработке результатов полученных данных, использованию основных нормативных документов, справочной и иной литературы в области строительного материаловедения, а также критерии оценивания. В описании лабораторных работ по каждой теме содержится цель лабораторной работы, порядок выполнения работы, описание методов испытаний материалов, используемое оборудование и принадлежности, указания по составлению выводов и рекомендаций в отчете.

Рис. 16, табл. 15, список лит. – 16 наименований

Учебно-методическое пособие рассмотрено и одобрено методической комиссией ученого совета Института морских технологий, энергетики и строительства 25.06. 2023 г., протокол № 06

УДК 691

© Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Калининградский государственный
технический университет», 2023 г.
© Любишина С. А., 2023 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Организация проведения лабораторных работ	7
Требования к оформлению отчета	7
Номенклатура показателей качества.....	8
Техника безопасности.....	9
при работе в учебных лабораториях (ГОСТ 12.4.113-82).....	9
СОДЕРЖАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА.....	10
Лабораторная работа 1. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.....	11
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	11
Лабораторная работа 2. ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ	17
Лабораторная работа 3. ИСПЫТАНИЕ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА	23
Лабораторная работа 4. ИСПЫТАНИЕ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ ДЛЯ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА	29
Лабораторная работа 5. ПОДБОР СОСТАВА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ.....	34
ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА.....	34
Лабораторная работа 6. ПОДБОР СОСТАВА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ.....	45
КЛАДОЧНОГО РАСТВОРА	45
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	50
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ.....	51
ПРИЛОЖЕНИЕ. Пример оформления титульного листа отчета.....	52

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Строительные материалы» входит в общепрофессиональный модуль основной профессиональной образовательной программы бакалавриата по направлению подготовки 08.03.01 Строительство.

Она опирается на компетенции, знания, умения и навыки, полученные при изучении таких дисциплин, как «Математика», «Физика», «Химия».

Дисциплина «Строительные материалы» является базовой при изучении дисциплин «Основы строительных конструкций», «Железобетонные и каменные конструкции», «Конструкции из дерева и пластмасс», «Металлические конструкции», «Основания и фундаменты зданий, сооружений», «Технологические процессы в строительстве», «Технология возведения зданий и сооружений».

Целью изучения дисциплины является формирование у обучающихся знаний о строении и свойствах строительных материалов, представлений о функциональной взаимосвязи материала и конструкции, определяющей выбор и оптимизацию свойств материала исходя из назначения, долговечности и условий эксплуатации конструкции; формирование знаний о составе, структуре и технологических основах получения материалов с заданными функциональными свойствами, инструментальных методах контроля качества и сертификации на стадиях производства и потребления.

Производство строительных материалов и изделий отличается большим многообразием видов и широким ассортиментом продукции. Инженер-строитель должен уметь хорошо разбираться в обширной номенклатуре этой продукции, выбирать для конкретных условий применения наиболее эффективные и подходящие ее виды с учетом качественных показателей, владеть знаниями в области технологии строительных материалов, представлять физико-химическую сущность процессов переработки исходного сырья в готовый продукт.

Целью лабораторных работ является:

- формирование умений определять качество строительных материалов на основе экспериментального исследования их свойств;
- формирование навыков проведения лабораторных испытаний, экспериментов, исследований свойств строительных материалов.

Заданием по лабораторным работам по курсу «Строительные материалы» является ознакомление студентов с основными техническими требованиями нормативной литературы, предъявляемыми к тому или иному материалу; изучение стандартных методов испытания свойств материала и его характеристик, методов расчета состава конгломератных систем (бетонная

смесь, кладочные раствор), выявление зависимостей и закономерностей свойств материалов, установление соответствия между полученными данными и маркой материала.

Научиться оценивать качество материалов, находить возможные пути регулирования и управления этим качеством и уметь определять области рационального применения материалов в практике современного строительства можно только на основе глубокого изучения связи между составом, строением и свойствами материала.

В ходе выполнения лабораторных работ получают зависимости типов: «состав – свойство», «состав – строение», «строение – свойство», «состояние – свойство», «технологический параметр – свойство» и др. Анализируя эти зависимости, проводят оптимизацию составов и режимов, выбор вида и количества добавок, прогнозируют изменение свойств материалов в зависимости от условий их работы и рекомендуют области применения этих материалов.

Для проведения лабораторных работ необходима тщательная теоретическая и методическая подготовка студентов, поэтому лабораторные работы по основным темам и разделам дисциплины «Строительные материалы» позволяют расширить, углубить и закрепить знания, полученные на лекционных занятиях, и активизируют самостоятельную работу студентов.

Описание лабораторных работ по каждой теме содержит:

- цель работы;
- порядок выполнения;
- описание методов испытаний материалов;
- используемое оборудование и принадлежности;
- указания по составлению выводов и рекомендаций в отчете, которые могут быть получены в результате работы.

Текущий контроль знаний проводится преподавателем в форме защиты выполненных и оформленных согласно предъявляемым требованиям лабораторных работ, данный вид контроля производится на протяжении всего семестра.

Оценка результатов выполнения задания по каждой лабораторной работе проводится при защите студентом отчёта. Результаты защиты оцениваются преподавателем по системе «зачтено – не зачтено». Критерии оценивания представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Система оценок и критерии выставления оценки лабораторных работ

Система оценок Критерий	2	3	4	5
	0-50 %	51-69 %	70-84 %	85-100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
1. Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно-корректно связывать между собой (только некоторые из которых может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полной системой знаний и системным взглядом на изучаемый объект
2. Работа с информацией	Не в состоянии находить необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	Может найти необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, систематизировать необходимую информацию, выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
3. Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта	Не может делать научно-корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	В состоянии осуществлять научно-корректный анализ предоставленной информации	В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные задачи данные	В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи
4. Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

Организация проведения лабораторных работ

Лабораторные занятия проводятся с подгруппой студентов, состоящей из 8–16 человек, которые получают общее задание на лабораторную работу. Части общего задания выполняют 4 звена по 2–4 человека в каждом.

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

При выполнении работ назначается дежурное звено студентов, которое несет ответственность за сохранность и исправность приборов, оборудования и инструментов. По окончании работ каждому звену необходимо привести в порядок свое рабочее место, сдать дежурным, которые, в свою очередь, сдают приведенную в порядок лабораторию преподавателю.

К выполнению лабораторной работы студент приступает после тщательной проработки теоретического материала по учебнику, конспекту лекции, а также ознакомления с описанием лабораторных работ по методическим указаниям.

После этого он детально знакомится с аппаратурой, реактивами и методами испытаний. Точно уяснив задачу и методику ее решения, студент приступает к ее практическому выполнению.

Результаты измерений, наблюдений необходимо записывать сразу после их получения. Небрежности, допущенные в записи измерений, могут привести к грубым ошибкам и неправильным выводам.

При выполнении работы студент схематично зарисовывает приборы и установки с натуры. После окончания эксперимента необходимо обработать полученные результаты, провести надлежащие расчеты, сравнить полученные результаты с требованиями государственного стандарта на данный материал и дать заключение о качестве материала по данному испытанию, а затем и в целом по материалу.

Лабораторная работа считается выполненной в том случае, если руководитель дает положительную оценку полученным результатам.

Отчет по лабораторной работе сдается преподавателю.

Требования к оформлению отчета

После выполнения лабораторной работы каждый студент (звено) составляет отчет в соответствии с требованиями ГОСТ 2.105-2019. В отчет необходимо 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 полученных исследований в виде сводных таблиц и графических зависимостей;
- анализ результатов работы с общими выводами и рекомендациями.

Список используемой литературы включает все источники, использованные при выполнении лабораторной работы и оформлении отчета, дается в соответствии с требованиями ГОСТ 7.0.100-2018.

Оформленная лабораторная работа подписывается студентом-исполнителем, а после ее зачтения – преподавателем.

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

Номенклатура показателей качества

Применение различных физико-технических величин в соответствии с принятым государственным стандартом осуществляется в единицах СИ (ГОСТ 8.417-2002), которые в значительной мере упрощают ведение измерений, в том числе и расчетов, применяемых в строительной технике, так как исключают многие коэффициенты, которые ранее приходилось учитывать в зависимости от выбора той или иной системы единиц.

Единицы СИ являются универсальными почти для всех физических величин, встречающихся в строительной практике. Все конечные результаты лабораторных работ представляются в единицах СИ, а также в единицах, образованных с помощью соответствующих приставок (десятичные, кратные и дольные) от этих единиц. В таблице 2 приведены измерения и условные обозначения физико-механических технологических свойств строительных материалов.

Таблица 2 – Измерения и условия обозначения физико-механических технологических свойств строительных материалов

Свойства	Условные обозначения	Единицы измерения
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Плотность		
истинная	ρ	г/см^3
средняя	ρ_m	$\text{г/см}^3, \text{кг/м}^3$
насыпная	ρ_n	$\text{кг/м}^3, \text{кг/л}$
Влажность	W	%

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Водопоглощение по массе по объему	W_M W_o	% %
Теплопроводность	λ	Вт/м К
Прочность		
при сжатии	$R_{сж}$	МПа
при изгибе	$R_{изг}$	МПа
при растяжении	$R_{раст}$	МПа
на удар	U	число ударов
на истирание	I	%
пористых заполнителей	$\delta_{сж.з}$	МПа
щебня и гравия по дробимости	Dp	%
Морозостойкость	$M_{рз}$	циклы
Пористость	$V_{пор}$	%
Пустотность (объем межзерновых пустот)	$V_{м.п.}$	%
Твердость	$НВ$ порядковый номер по шкале Мооса П	число (10 = 0,1 мм)
Растяжимость (для органических вяжущих)	D	см
Водопотребность вяжущих бетонных и растворных смесей	$НГ$ B	% л

Техника безопасности при работе в учебных лабораториях (ГОСТ 12.4.113-82)

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

– перед началом занятий ознакомиться с заданием, применяемым оборудованием, инструментом и материалами;

- не приступать к выполнению работы без разрешения преподавателя;
- немедленно сообщить преподавателю или лаборанту 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;
- при выполнении работ использовать защитную рабочую одежду (халаты, фартуки), имеющуюся в лаборатории;
- выполнять в лаборатории только ту работу, которая поручена, не загромождать свое рабочее место оборудованием и материалами, не относящимися к выполняемой работе;
- 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 или лаборанту для оказания помощи и составления акта.

По окончании работы выключить оборудование, убрать все материалы и испытанные образцы в специально отведенное место, очистить и сложить все инструменты, прибрать свое рабочее место и только после этого покинуть лабораторию с разрешения руководителя или лаборанта.

В случае несоблюдения правил ТБ, производственной санитарии и внутреннего распорядка в лаборатории строительных материалов студент к дальнейшим занятиям не допускается.

СОДЕРЖАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА

В ходе лабораторного практикума студенты выполняют лабораторные работы по следующим темам:

1. Физико-механические свойства строительных материалов.
2. Изучение свойств керамических материалов.
3. Испытание портландцемента.
4. Испытание заполнителей для тяжелого бетона.
5. Подбор состава и определение свойств тяжелого бетона.
6. Подбор состава и определение свойств кладочного раствора.

Лабораторная работа 1

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: формирование умений и навыков определения физико-механических свойств строительных материалов.

Задание по лабораторной работе: используя предлагаемую ниже методику, определить физико-механические свойства образцов строительного материала, изучить зависимость свойств материала от состава, структуры и состояния исходных горных пород, сделать вывод о качестве и пригодности использования материала в строительстве.

Оборудование и принадлежности: пикнометр, весы электронные, весы для гидростатического взвешивания, пресс гидравлический.

Порядок выполнения лабораторной работы

Для работы необходимы три образца строительного материала в виде куба $2 \times 2 \times 2$ см или цилиндра $a = h = 2,5$ см, образец того же материала неправильной формы и материал, измельченный в порошок. Все материалы высушены до постоянной массы.

Для материалов, используемых в строительстве, наиболее общими и чаще встречающимися в практике являются следующие свойства:

физические – истинная плотность, средняя плотность, пористость, теплопроводность, водопоглощение, водонасыщение, коэффициент водонасыщения, морозостойкость;

механические – прочность при сжатии, прочность при изгибе, прочность на удар, коэффициент размягчения, коэффициент конструктивного качества и т. д.

Лабораторная работа состоит из экспериментальной (лабораторные испытания) и расчетной части.

Описание методов испытаний

1. Определение истинной плотности

Истинная плотность – это масса единицы объема абсолютно плотного материала (без пор).

Для исключения пор материал измельчается в тонкий порошок. Берется навеска порошка m_1 . Абсолютно плотный объем ее точно определяется при помощи пикнометра – колбы с длинным узким горлышком, на котором нанесена черта, точно указывающая объем его внутреннего пространства (рисунок 1).

Пикнометр наполняют дистиллированной водой до черты и взвешивают m_2 .

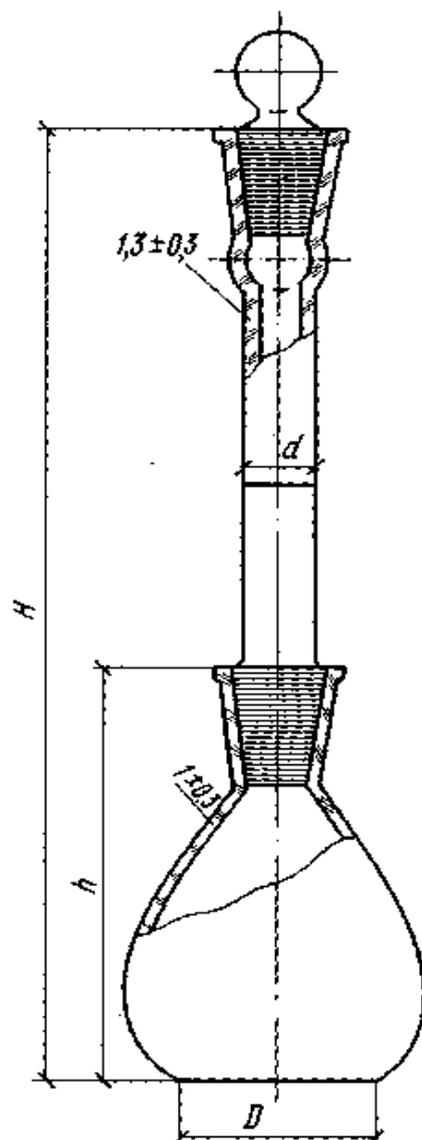


Рисунок 1 – Пикнометр

Затем воду выливают, пикнометр высушивают, всыпают в него навеску порошка материала, наполняют водой до половины колбы и ставят в вакуум-шкаф для удаления пузырьков воздуха, после чего доливают водой до черты и взвешивают m_3 (рисунок 2).

Определение истинной плотности материала проводят дважды, пока расхождение между двумя параллельными результатами не будет превышать $0,02 \text{ г/см}^3$.

$$\rho = m_1 / (m_1 + m_2 - m_3),$$

где ρ – истинная плотность материала, г/см^3 ; m_1 – масса материала, г; m_2 – масса пикнометра с водой, г; m_3 – масса пикнометра с материалом и водой, долитой до риски, г.

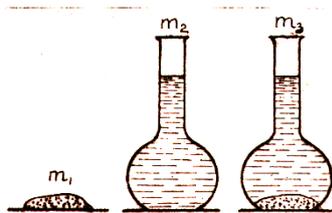


Рисунок 2 – Определение истинной плотности с помощью пикнометра

2. Определение средней плотности

Средняя плотность – это масса единицы объема материала в естественном состоянии (с учетом пор, имеющих в материале). При определении средней плотности образца правильной формы его взвешивают, определяют размеры и подсчитывают объем

$$\rho = \frac{m}{V_{ест}},$$

где ρ_0 – средняя плотность материала, г/см³; m – масса материала, г; $V_{ест}$ – объем материала, см.

Средняя плотность куска материала неправильной формы определяется методом гидростатического взвешивания (рисунок 3). С этой целью взвешивают образец материала неправильной формы в воздухе m_1 . Образец опускают в расплавленный парафин, затем вынимают и после застывания парафина снова взвешивают в воздухе m_2 (парафинирование образца производится для закрытия пористой поверхности образца).

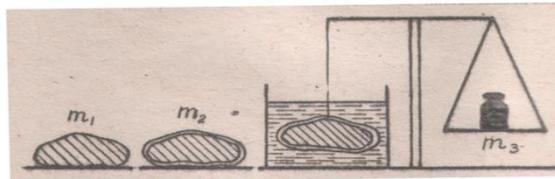


Рисунок 3 – Определение объема материала гидростатическим взвешиванием

Объем парафина на образце составит

$$V_{нар} = (m_1 - m_2) / \rho_0$$

Запарафинированный образец материала взвешивают в воде на гидростатических весах m_3 . Согласно закону Архимеда, объем парафинированного образца:

$$V_{o.n.} = m_2 - m_3.$$

Объем образца без парафина:

$$V_{ест} = m_2 - m_3 - V_{нар}.$$

Вычисляют значение средней плотности материала:

$$\rho_0 = m_1 / (m_2 - m_3 - V_{нар}),$$

где m_1 – масса материала при взвешивании на воздухе, г; m_2 – масса запарафинированного материала при взвешивании на воздухе, г; m_3 – масса запарафинированного материала при взвешивании в воде на гидростатических весах; $V_{нар}$ – истинная плотность парафина, равная 0,9 г/см³.

3. Характерные влажности

Для оценки строительных материалов практическое значение имеют две характерные влажности – водопоглощение и водонасыщение.

Водопоглощение – это влажность, приобретенная материалом, находящимся при нормальном давлении воздуха. При водопоглощении вода не заполняет все открытые поры из-за наличия в них воздуха.

Для определения водопоглощения влажный образец слегка обтирают влажной тканью, взвешивают – масса m_2 . Масса сухого образца – m_1 известна и записана на его поверхности.

Водопоглощение определяют по формуле:

$$W_{ног} = [(m_2 - m_1) / m_1] \cdot 100\%,$$

где $W_{ног}$ – водопоглощение материала, %; m_1 – масса сухого материала, г; m_2 – масса влажного материала, г.

Водонасыщение – это влажность, которую приобретает материал, находясь в воде при условии вакуума, кипячения или большого давления.

При водонасыщении все открытые поры заполняются водой. Для определения водонасыщения образец, на котором определяли водопоглощение, снова помещается в воду и устанавливается в вакуум-шкаф для полного заполнения открытых пор водой. Через некоторое время образец вынимают из воды, обтирают влажной тканью и взвешивают – m_3 .

Водонасыщение определяют по формуле:

$$W_{нас} = [(m_3 - m_1) / m_1] \cdot 100\%,$$

где $W_{нас}$ – водонасыщение материала, %; m_3 – масса водонасыщенного материала, г.

Объемное водонасыщение – это отношение массы воды, содержащейся в открытых порах материала, к объему занимаемого им пространства:

$$W_{нас}^0 = [(m_3 - m_1) / V_{есм}] \cdot 100\%,$$

где $W_{нас}^0$ – водонасыщение по объему, %; $V_{есм}$ – объем материала, см.

Объемное водонасыщение характеризует открытую пористость в материале.

4. Прочность при сжатии

Характеризуется разрушающей силой F , отнесенной к единице площади поперечного сечения образца S . Образец материала правильной формы и определенных размеров устанавливают между плитами гидравлического прессы и разрушают. Предел прочности при сжатии определяют по формуле:

$$R_{сж} = F / S,$$

где $R_{сж}$ – предел прочности при сжатии, МПа; F – разрушающая сила, Н; S – площадь поперечного сечения образца, м².

Помимо испытания на сжатие сухого образца, испытывают влажный образец после определения его водонасыщения и подсчитывают аналогично предел прочности при сжатии влажного образца.

Водостойкость – это способность материала не разрушаться и не изменять своих свойств при работе во влажных или водных условиях. Водостойкость материала можно оценивать по коэффициенту размягчения, который определяется по формуле:

$$K_p = R_{сж}^{вл} / R_{сж}.$$

Если $K_p \geq 0,8$, значит, материал водостойкий, и его можно применять для изготовления конструкций, работающих во влажных или водных условиях.

Расчетная часть лабораторной работы

Имея данные, полученные при лабораторном испытании материалов, студент обязан произвести расчеты, по которым определяются следующие свойства:

Относительная плотность – это отношение средней плотности вещества (с порами) и истинной плотности:

$$\alpha = \rho_0 / \rho$$

Пористость – это отношение объема пор, содержащихся в материале к объему занимаемого им пространства:

$$N = V_{пор} / V_{ест}$$

Пористость можно подсчитать и по формуле:

$$n = 1 - \alpha = (1 - \rho_0 / \rho) \cdot 100\%,$$

где n – пористость, %; α – относительная плотность, %.

Коэффициент теплопроводности – характеризует количество тепла, которое проходит за 1 ч через образец материала площадью 1 м² при толщине в 1 м и разности температур на его поверхностях в 1 °С. Значение коэффициента теплопроводности зависит от структуры и плотности материалов.

$$\lambda = 1,16[\sqrt{(0,0196 + 0,22\rho^2)} - 0,14].$$

Морозостойкость – характеризуется количеством циклов попеременного замораживания и оттаивания влажного образца без его разрушения и изменения других свойств. Морозостойкость материала зависит

от наличия открытых пор. При замораживании влажного образца вода, содержащаяся в открытых порах, замерзает, увеличивается в объеме и разрушает материал. Чем больше объем пор материала заполнен водой, тем вероятнее его разрушение. О степени заполнения в материале открытых пор водой судят по значению коэффициента водонасыщения: если $K_{вн} \leq 0,7$ – материал морозостоек, если $K_{вн} \geq 0,7$ – материал неморозостоек.

Коэффициент конструктивного качества – это отношение предела прочности при сжатии материала и его средней плотности:

$$KKK = R_{сж} / \rho_0 ,$$

где $R_{сж}$ – предел прочности при сжатии, МПа; ρ_0 – средняя плотность, кг/м³.

Необходимо стремиться получать материалы с большим значением KKK , т. е. чтобы материал выдерживал большую прочность при сжатии и обладал малой плотностью.

Форма отчета

В отчете по лабораторной работе по результатам испытаний необходимо установить и проанализировать зависимости между плотностью, водопоглощением и открытой пористостью материалов.

Увязать полученные результаты с назначением и условиями эксплуатации различных изделий.

Составить аргументированные рекомендации о возможности применения данного материала для изготовления тех или иных конструкций.

Контрольные вопросы

1. Для чего горную породу измельчают в тонкий порошок при определении истинной плотности?
2. С какой целью образцы неправильной формы покрывают слоем парафина при определении плотности образцов горной породы?
3. Почему мрамор не рекомендуется применять для наружной облицовки зданий и сооружений?
4. Что такое относительная плотность?
5. Какие факторы влияют на морозостойкость материалов?

Лабораторная работа 2 ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: формирование умений и навыков определения физико-механических свойств керамических материалов, навыков установления зависимости между свойствами материалов и их маркой по прочности.

Задание по лабораторной работе: используя нижеприведенную методику, определить основные свойства изделий строительной керамики (исходные данные для исследований принять по таблице 3); исследовать их зависимость от степени спекания; определить показатели плотности, пористости и водопоглощения; установить марку керамического кирпича по прочности. Сравнить полученные результаты с данными, приведенными в таблице 4.

Оборудование и принадлежности: металлическая линейка, металлический угольник, стальной молоток, сушильный шкаф, сосуд с деревянной решеткой, технические весы с разновесами, электрическая плита, цементный раствор, стекло, покрытое смоченной бумагой, гидравлический пресс.

Таблица 3 – Исходные материалы для исследований

Вид керамики	Интервал обжига, °С	Водопоглощение, %
Кирпич керамический рядовой	800...1100	> 8
Плитки для внутренней облицовки	950...1100	< 16
Плитки для полов	1150...1250	< 3,8
Трубы канализационные	1100...1160	≤ 11

Порядок выполнения лабораторной работы

Для решения задач, поставленных в работе, каждое звено студентов испытывает образцы одного из видов строительной керамики, исходные данные по которым приведены в таблице 3.

Для каждого вида строительной керамики определяются показатели водопоглощения, открытой пористости и плотности образцов. Кроме того, каждое звено студентов испытывает образцы кирпича для определения пределов прочности при изгибе и сжатии.

Описание методов испытаний

1. Определение водопоглощения, открытой пористости и плотности

Для испытаний берутся образцы кирпича в виде целых изделий и отколотые или выпиленные образцы из облицовочных плиток и плиток для полов объемом 50–100 см³. Образцы высушиваются до постоянной массы,

очищаются от пыли и грязи, взвешиваются: кирпичи с погрешностью 1 г, а другие образцы – с погрешностью 0,01 г.

Для определения водопоглощения образцы стеновой керамики насыщают водой комнатной температуры в течение 48 ч. Предварительно определяют геометрические размеры кирпича с погрешностью 0,1 мм.

Каждый линейный размер вычисляют как среднее арифметическое трех измерений – двух параллельных друг другу ребер и средней линии между ними. Затем образцы кирпича укладывают в сосуд с водой на ложковые грани в один ряд на подкладку. Уровень воды в сосуде должен быть выше верха образцов в пределах 2–10 см. Расстояние между образцами должно быть не менее 2 см.

Через 48 ч образцы вынимают из сосуда с водой, обтирают влажной мягкой тканью и взвешивают не позднее чем через 5 мин, чтобы определить их массу в насыщенном водой состоянии. Масса воды, вытекшая из пор образца на чашку весов, должна включаться в массу насыщенного водой образца.

Образцы керамических плиток насыщаются водой при их кипячении в течение 3 ч с последующим охлаждением в воде при температуре 20 ± 2 °С. При кипячении образцы помещают на сетчатую подставку. Охлажденные в воде образцы вытирают влажной тканью и взвешивают.

При необходимости ускорения испытаний допускается производить насыщение образцов кирпича в течение 2 ч, а образцов плиток и труб – в течение 1 ч кипячением, при этом процесс насыщения остается неизменным, а установленный показатель водопоглощения по массе в процентах умножается на коэффициент 1,1 (установлен сравнительными определениями водопоглощения).

Для определения открытой пористости образца, равной его водопоглощению по объему $W_{об}$, и средней плотности образца необходимо определить его объем.

Для образцов неправильной геометрической формы применяют объеммер или лабораторные весы с кронштейном для гидростатического взвешивания (рисунок 4).

На чашку 3 весов 1 ставят стакан 4 с водой, куда опускают парафинированный образец 5, подвесив его за нитку 6 на кронштейне 7. Образец предварительно взвешивают на воздухе. После установки на весы стакана с водой его взвешивают и, повторно нажав кнопку ВКЛ, обнуляют дисплей 2. После опускания образца в воду дисплей весов покажет массу образца в воде. Разница масс образца на воздухе и в воде равна его объему в мл.

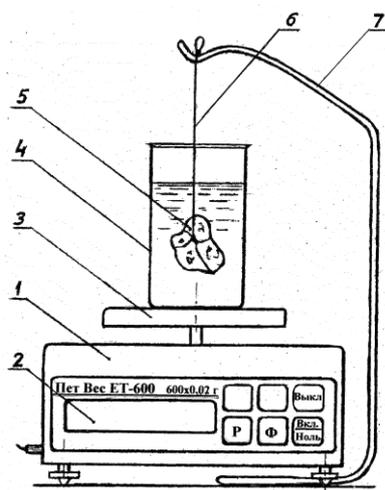


Рисунок 4 – Схема гидростатического взвешивания:
 1 – весы; 2 – дисплей; 3 – чаша; 4 – стакан; 5 – образец материала; 6 – нитка;
 7 – кронштейн

Водопоглощение по объему показывает степень заполнения водой объема образца и характеризует величину открытой пористости образца:

$$W_{об} = p_{от} = [(m_{нас} - m_{сух}) / (\rho_{воды} \cdot V_{обр})] \cdot 100\% ,$$

где $m_{сух}$ – масса сухого образца, г; $m_{нас}$ – масса насыщенного водой образца, г;
 $\rho_{воды}$ – плотность воды, г/см³; $V_{обр}$ – объем образца, см³.

Плотность образцов изделий строительной керамики определяют по формуле:

$$\rho_{обр} = m_{сух} / V_{обр}, \text{ г/см}^3,$$

где $m_{сух}$ – масса сухого образца, г; $V_{обр}$ – объем образца, см³.

Водопоглощение, открытую пористость и плотность керамических материалов и изделий вычисляют как среднее арифметическое результатов параллельных испытаний трех образцов.

2. Определение пределов прочности кирпича при изгибе и сжатии

Для испытания на изгиб используют целые кирпичи (без трещин), на постелях которых выравнивают места опирания катков и приложения нагрузки слоем цементно-песчаного раствора толщиной не более 3 мм и шириной 25–30 мм. Вместо раствора допускается применять прокладки из строительного войлока толщиной 5 мм.

Образцы до испытания выдерживают в помещении не менее 3 суток. Обмер образцов производят металлической линейкой с погрешностью 1 мм. Высоту определяют как среднее арифметическое значение двух измерений боковых граней, а ширину – как среднее арифметическое двух измерений верхней и нижней граней.

При испытании образец укладывают на ложок ($b = 120$ мм, $h = 65$ мм) на два опорных катка 2, расстояние между которыми $l = 200$ мм, посередине

пролета прикладывают сосредоточенную нагрузку через третий каток 1 (рисунок 5). Нагрузку на образец передают через прокладки из раствора или войлока 3 , непрерывно и равномерно со скоростью, обеспечивающей его разрушение не ранее чем через 20 с после начала испытания.

Предел прочности при изгибе отдельного образца определяют по наибольшей нагрузке N , установленной при испытании, с учетом геометрических характеристик его сечения.

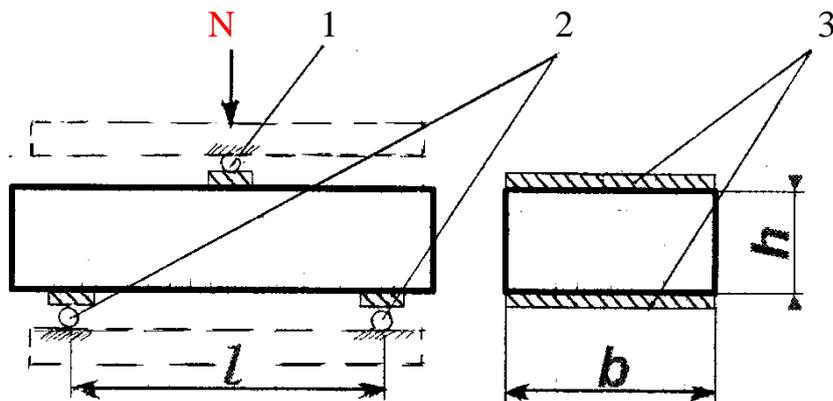


Рисунок 5 – Схема испытания кирпича на изгиб: 1 – стержни цилиндрические стальные для восприятия нагрузки при испытании; 2 – места опирания образца на упоры; 3 – слой цементного раствора состава 1:3 толщиной 3–5 мм; N – разрушающая нагрузка

Пределы прочности при сжатии и изгибе для кирпича испытываемой партии вычисляют с погрешностью 0,1 МПа как среднее арифметическое значение результатов испытания пяти образцов.

Для испытания на сжатие кирпич распиливают или разделяют любым способом на две равные половины без раздробления.

Допускается применять половинки, полученные в результате испытания кирпича на изгиб. Обе половины кирпича накладывают постелями одна на другую местами распила в разные стороны и соединяют цементно-песчаным раствором. Верхнюю и нижнюю поверхности образцов выравнивают тем же раствором с соблюдением их параллельности.

Вместо раствора допускается применять прокладки из строительного войлока толщиной 5 мм.

Испытание производят на прессе, устанавливая образец в центре опорной плиты и плотно прижимая верхней плитой пресса, которая должна прилегать по всей верхней грани образца (рисунок 6).

Нагрузка на образец при испытании должна возрастать равномерно со скоростью, обеспечивающей его разрушение через 20–60 с после начала испытания. Величина разрушающей нагрузки должна составлять не менее 10 % от предельно развиваемого прессом усилия. Предел прочности при сжатии отдельного образца вычисляют путем деления максимальной нагрузки,

отмеченной при испытании, на площадь поперечного сечения образца, которая вычисляется как среднее арифметическое двух измерений площадей верхней и нижней граней.

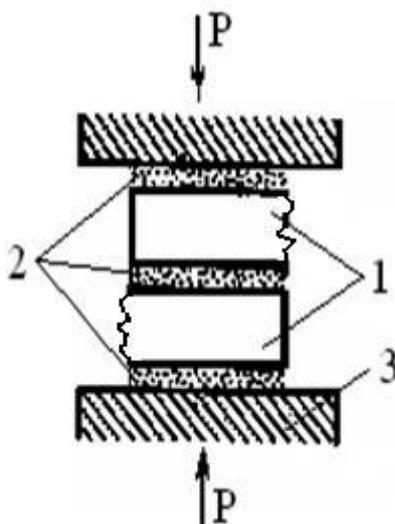


Рисунок 6 – Схема испытания кирпича на сжатие:

1 – кирпичи; 2– слой цементного раствора состава 1:3 толщиной 3–5 мм; 3 – плита пресса;
P – разрушающая нагрузка

По этим результатам с учетом наименьших показателей прочности, установленных при испытании отдельных образцов, в соответствии с техническими требованиями ГОСТ 530-2012, устанавливаются марка кирпича по прочности (таблица 4).

Все четыре показателя прочности испытанной партии кирпича ($R_{сж}$ средний, $R_{сж}$ наименьший, $R_{изг}$ средний, $R_{изг}$ наименьший) должны соответствовать данным одной строки таблицы ГОСТа для определяемой марки.

Если хотя бы один из четырех показателей окажется меньше – марка партии кирпича принимается на одну ступень (строку) ниже.

Таблица 4 – Технические требования к прочности керамического кирпича

Марка кирпича	Предел прочности, МПа, не менее					
	при сжатии		при изгибе			
	для кирпича всех видов и камней		для полнотелого кирпича пластического формования		для полнотелого кирпича полусухого формирования и пустотелого кирпича	
	средняя для пяти образцов ?	наименьший для отдельного образца	средний для пяти образцов	наименьший для отдельного образца	средний для пяти образцов	наименьший для отдельного образца
300	30,0	25,0	4,4	2,2	3,4	1,7
250	25,0	20,0	3,9	2,0	2,9	1,5

200	20,0	17,5	3,4	1,7	2,5	1,3
175	17,5	15,0	3,1	1,5	2,3	1,1
150	15,0	12,5	2,6	1,4	2,1	1,0
125	12,5	10,0	2,5	1,2	1,9	0,9
100	10,0	7,5	2,2	1,1	1,6	0,8
75	7,5	5,0	1,8	0,9	1,4	0,7

Форма отчета

По результатам испытаний необходимо установить и проанализировать зависимости между плотностью, водопоглощением и открытой пористостью изделий строительной керамики различной степени спекания.

Увязать полученные результаты с назначением и условиями эксплуатации различных изделий. Сделать выводы о соответствии испытанных материалов требованиям ГОСТ по водопоглощению.

Дать заключение о марке керамического кирпича по прочности.

Контрольные вопросы.

1. Что является сырьем для производства керамических материалов?
2. Какую роль в керамической шихте выполняют отощающие добавки?
3. По какому показателю оценивают степень спекания керамического черепка?
4. Как практически определяется показатель открытой пористости керамических образцов?
5. Как устанавливают марку керамического кирпича по прочности?

Лабораторная работа 3 ИСПЫТАНИЕ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА

Цель работы: формирование умений и навыков определения свойств и марки портландцемента.

Задание по лабораторной работе: на основе предложенной ниже методики определить свойства портландцемента, установить его марку.

Оборудование и принадлежности: прибор Вика, сферическая чашка, лопатка для перемешивания, встряхивающий столик Б. Г. Скрамтаева, бачок для кипячения, ванна с гидравлическим затвором, виброплощадка лабораторная, прессы гидравлические для испытания на изгиб и на сжатие, формы–балочки, технические весы с набором разновесов.

На лабораторную работу отводится два занятия. На первом занятии студенты определяют нормальную плотность цементного теста, равномерность изменения объема при твердении, сроки схватывания и изготавливают образцы для определения марки цемента. На втором занятии производится осмотр лепешек, испытание образцов на изгиб и сжатие, определяется марка цемента.

Порядок выполнения лабораторной работы

Для решения задач исследования, поставленных в работе, каждое звено студентов проводит следующие испытания:

- определяет нормальную плотность НГ цементного теста;
- подбирает стандартную консистенцию цементно-песчаной растворной смеси и изготавливает из нее 3 образца – балочки размером 4 x 4 x 16 см;
- испытывает образцы–балочки в возрасте 28 суток для определения пределов прочности при изгибе и сжатии;
- по результатам определения пределов прочности при изгибе и сжатии определяет марку цемента по прочности.

Описание методов испытаний

1. Определение нормальной плотности

Нормальная плотность *НГ* цементного теста характеризуется минимальным количеством воды затворения, выраженной в процентах от массы цемента:

$$НГ = В/Ц \cdot 100 \%$$

Определяют на приборе Вика (рисунок 7):

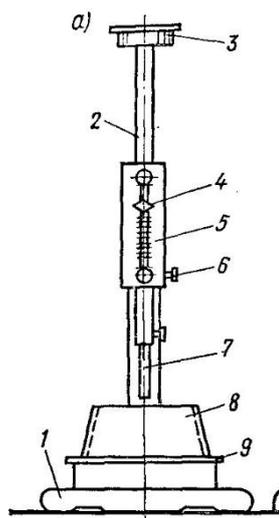


Рисунок 7 – Схема прибора Вика:

1 – металлическая станина; 2 – подвижный стержень; 3 – площадка для дополнительного груза; 4 – указатель; 5 – шкала; 6 – зажимный винт; 7 – пестик или стальная игла; 8 – кольцо; 9 – стеклянная пластина

Для приготовления цементного теста в протертую влажной тряпкой чашку высыпают 400 г цемента и вливают 25-30 % (по заданию преподавателя) от массы цемента воды. Смесь перемешивают, а затем в течение 5 мин энергично растирают. Приготовленным тестом заполняют кольцо прибора. Легкими ударами о стол тесто уплотняют и срезают вровень с краями влажным ножом. Кольцо устанавливают на столик прибора, пестик протирают влажной тряпкой, доводят его до соприкосновения с поверхностью теста и закрепляют стержень зажимным винтом. Затем винт отпускают, и пестик под действием массы стержня погружается в тесто. Через 30 с берут отчет по шкале и определяют глубину погружения пестика. В тесте нормальной густоты пестик останавливается, не дойдя на 5-7 мм до пластинки, на которой установлено кольцо. Если зазор не составляет 5-7 мм, приготавливают новое тесто, соответственно с большим или меньшим количеством воды для получения требуемого результата.

2. Испытание цемента на равномерность изменения объема

Твердение цемента сопровождается изменением первоначального объема пластичного теста (усадкой или набуханием). Это изменение объема должно происходить равномерно, в противном случае цементный камень разрушится, образуя трещины. Цементный камень, полученный из качественного цемента, при твердении изменяется в объеме равномерно. В цементе же, полученном с нарушениями технологического процесса, возможно наличие в свободном состоянии окислов кальция и магния, которые при гашении увеличиваются в

объеме и создают неравномерные изменения в цементном камне, приводящие к его разрушению. Такой цемент признается недоброкачественным.

Для испытания из теста нормальной густоты изготавливают две лепешки массой 75 г, укладывают на стекло и заглаживают влажным ножом от краев к середине. Затем каждую лепешку помечают (снабжают этикеткой) и помещают на 1 сутки в ванну с гидравлическим раствором, т. е. во влажные условия.

Через сутки лепешки снимают с пластины и кладут на решетку в бачок с водой, где их кипятят в течение 3 ч для ускорения твердения. Затем лепешки охлаждают и осматривают. Цемент считается выдержавшим испытания на равномерность изменения объема, если лепешки не получили искривления и не имеют радиальных, доходящих до краев трещин или сеток трещин, видимых невооруженным глазом. Если появляются трещины усыхания или при простукивании одной о другую издают металлический звук, цемент считается доброкачественным.

3. Определение сроков схватывания цементного теста

Это испытание производят с помощью прибора Вика (см. рисунок 7), в подвижном стержне которого закреплена игла. Масса прибора вместе с иглой составляет 300 г.

Перед испытанием иглу доводят до соприкосновения с пластиной, на которой установлено кольцо, и отмечают нулевое деление.

Кольцо заполняют цементным тестом нормальной густоты. Иглу прибора доводят до соприкосновения с поверхностью, и в таком положении стержень с иглой закрепляют. Затем освобождают стержень, давая игле свободно погружаться в тесто. В начале испытания, пока тесто еще не загустело, рекомендуется во избежание сильного удара иглы о пластинку слегка придерживать ее при погружении. После загустения теста игле дают возможность погружаться свободно. Иглу погружают через каждые 10 мин в новое тесто. Каждый раз после погружения ее следует вытирать.

За начало схватывания принимают время от момента затворения водой до того момента, когда игла не будет доходить до пластинки 1–2 мм. Концом схватывания считают время от начала затворения до момента, когда игла опустится в тесто не более чем на 1–2 мм. По госстандарту начало схватывания должно наступать не ранее 45 мин, а конец схватывания – не позднее 10 ч. При проведении лабораторной работы студенты определяют только время начала схватывания.

4. Определение марки цемента

Марка цемента устанавливается по показателям прочности при изгибе и сжатии стандартных образцов – балочек, изготовленных из цементно–песчаного раствора состава 1 : 3 (Ц : П) пластичной консистенции, на

28-е сутки твердения в нормальных условиях (1 сутки во влажной среде и 27 суток в воде).

Для приготовления растворной смеси берут стандартный песок – среднезернистый чистый кварцевый (наилучшим образом этим условиям удовлетворяет песок вольских карьеров). Цемент и песок берут в весовом соотношении $C : П = 1 : 3$. В протертую влажной тряпкой чашу отвешивают 500 г цемента и 1500 г песка и перевешивают их в сухом состоянии. Определение количества воды затворения (нормальной густоты растворной смеси) производится следующим образом. Вливают отмеренное (начиная с $V/C = 0,4$) количество воды и производят перемешивание в течение 5 мин. Проверяют консистенцию полученной растворной смеси по ее расплыву на встряхивающем столике Б. Г. Скрамтаева (рисунок 8). Для этого растворную смесь укладывают в форму–конус 7 двумя слоями равной высоты. Каждый слой уплотняют металлической штыковкой диаметром 20 мм: нижний слой штыкуют 15 раз, верхний – 10 раз. Во время укладки и уплотнения смеси конус прижимают рукой к стеклянному диску столика 6. Предварительно диск и внутреннюю поверхность формы–конуса протирают влажной тканью. Излишек смеси срезают ножом и форму–конус медленно поднимают. Затем, вращая рукоятку маховика 8, встряхивают диск столика 30 раз в течение 30 с, при этом смесь расплывается, сохраняя сплошность. Встряхивание происходит от кулачка 3 на валу 2 и стойки с роликом 4, на которой закреплен диск 5 со стеклом 6. Замеряют нижнее основание конуса, оно должно быть в диаметре 106–115 см. При меньшем расплыве приготовление смеси повторяют с большим количеством воды. Так по расплыву конуса подбирают количество воды, соответствующее нормальной густоте растворной смеси для изготовления образцов.

Образцы–балочки изготавливают в специальных формах по три штуки сразу. Форму закрепляют на виброплощадке, в каждое гнездо укладывают растворную смесь слоем 1,0–1,5 см, включают вибростол и засекают время. В течение 2 мин при непрерывном вибрировании форму доверху наполняют растворной смесью, а затем вибрируют еще 1 мин, после этого поверхность образцов выравнивают, каждый образец снабжают этикеткой, где должны быть записаны дата изготовления, шифр группы и фамилия одного из членов бригады.

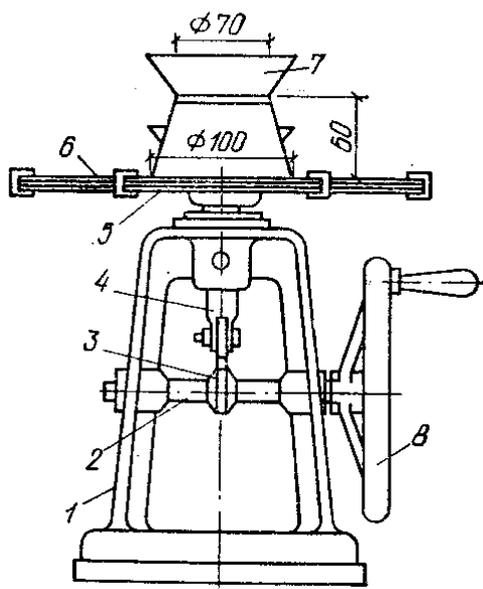


Рисунок 8 – Встряхивающий столик Б. Г. Скрамтаева:
 1 – основание; 2 – вал; 3 – кулачок; 4 – ролик; 5 – диск; 6 – стекло; 7 – форма-конус;
 8 – маховик

После изготовления образцы в формах помещают в ванну с гидравлическим раствором, где они хранятся при комнатной температуре в течение суток и набирают прочность, необходимую для расформирования. Затем образцы вынимают и кладут в воду температурой 18–20 °С. Вода должна полностью покрывать образцы. Образцы в воде выдерживают 27 суток, через 14 суток воду меняют.

5. Определение прочности

На следующем занятии образцы–балочки испытывают на изгиб, а образовавшиеся половинки балочек испытывают на сжатие:

- предел прочности цемента при изгибе в серии из 3 образцов–балочек вычисляют как среднее арифметическое двух наибольших результатов испытания;

- предел прочности цемента при сжатии серии из 6 образцов–половинок вычисляют как среднее арифметическое четырех наибольших результатов испытания;

- при определении предела прочности при сжатии средняя скорость нарастания нагрузки должна быть 1,5–2,5 МПа/с.

Испытание образцов и определение значений прочностей при изгибе и при сжатии производится аналогично испытанию гипсовых образцов, изложенному в лабораторной работе 6.

Если образцы испытывают раньше или позже 28 суток, то прочность можно подсчитать по формуле:

$$R^{28}_{сж} = (R^n_{сж} \cdot \lg 28) / \lg n,$$

где n – возраст твердения образцов 3–90 суток.

Форма отчета

В конце работы студенты должны по результатам испытаний произвести расчет предела прочности при сжатии в возрасте 28 суток твердения, сделать оценку качества цемента и определить марку цемента, сопоставив полученные результаты расчета с требованиями ГОСТ (таблица 5).

Таблица 5 – Соотношение марок и классов портландцемента

Марка портландцемента (ГОСТ 31108-2020, ГОСТ30515-2013)	Класс прочности (ГОСТ 31108- 2020)
300	22,5Н
400	32,5Н
400Б	32,5Б
500	42,5Н
500Б	42,5Б
550	52,5Н
600	52,5Б

Класс и марка выражаются в разных единицах измерения – в МПа и кгс/см² соответственно. Различия в численных значениях класса и марки при выражении их в одинаковых единицах измерения обусловлены только разными условиями испытания цемента.

Контрольные вопросы

1. Какова роль гипсового камня в портландцементе?
2. Влияет ли увеличение расхода воды затворения на прочность цементного камня?
3. Как влияет длительное хранение цемента на его активность?
4. К какому виду вяжущего вещества относится портландцемент?
5. Почему при изготовлении марочных образцов из цементно-песчаной растворной смеси применяется специальный песок?
6. В каких условиях твердеют образцы цементного раствора для определения марки цемента?

Лабораторная работа 4

ИСПЫТАНИЕ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ ДЛЯ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА

Цель работы: формирование умений и навыков определения свойств мелкого и крупного заполнителя для тяжелого бетона.

Задание по лабораторной работе: на основе изложенной ниже методики определить свойства заполнителей, необходимые для расчета состава бетона; сделать вывод о их пригодности для изготовления бетона.

Оборудование и принадлежности: металлический цилиндр для дробления, набор стандартных сит, гидравлический пресс, набор мерной посуды, торговые и технические весы с набором разновесов.

Заполнителями тяжелого бетона называют природные и искусственные рыхлозернистые каменные материалы, предназначенные совместно с вяжущими для приготовления бетона. Заполнители играют следующую роль в бетоне:

- образуют твердый и прочный скелет бетона;
- позволяют экономить вяжущее;
- обеспечивают прочность и долговечность бетона;
- позволяют изменять свойства бетона в больших пределах.

Различают два типа заполнителей в зависимости от размеров зерен: мелкий заполнитель (песок) с размерами зерен от 0,14 до 5 мм и крупный заполнитель (щебень, дресва, гравий) с размерами зерен от 5 до 80 мм.

Пригодность заполнителей для приготовления бетона определяется: для песка – крупностью, зерновым составом, содержанием пылеватых, илистых, глинистых и органических примесей; для крупного заполнителя – прочностью, зерновым составом, пустотностью и содержанием примесей.

Описание методов испытаний

КРУПНЫЙ ЗАПОЛНИТЕЛЬ

1. Определение средней плотности в куске

Щебень в бетоне занимает объем, ограниченный поверхностью его зерен. Для его расчета необходимо знать объёмную массу щебня в куске, массу единицы объёма зёрен щебня с их порами, но без пустот между зёрнами.

Для его определения навеску щебня массой $m_1 = 1$ кг насыщают водой, погружая в воду на 30 мин, затем удаляют воду с поверхности зерен мягкой влажной тканью и навеску помещают в стеклянный цилиндр ёмкостью 1000 мл, предварительно заполненный водой до отметки 500 мл. Приращение объёма воды ΔV и дает объем навески щебня.

Объёмная масса зерен щебня в куске рассчитывается по формуле:

$$\rho_o^{\text{ш}} = m_1 / \Delta V.$$

2. Определение насыпной плотности щебня

Щебень насыпают в предварительно взвешенный сосуд m_1 объемом $V = 5$ л с высотой 10 см до образования над верхом цилиндра конуса, который снимают линейкой. Цилиндр со щебнем взвешивают m_2 и насыпную плотность щебня определяют по формуле:

$$\rho_{\text{ш}}^{\text{н}} = (m_2 - m_1) / V.$$

3 Определение пустотности щебня

Объем межзерновых пустот в щебне n определяют по формуле:

$$n = (1 - \rho_{\text{ш}}^{\text{н}} / \rho_o^{\text{ш}}) \cdot 100\%,$$

где $\rho_{\text{ш}}^{\text{н}}$ – насыпная плотность щебня; $\rho_o^{\text{ш}}$ – плотность щебня в куске.

Необходимо, чтобы пустотность в крупном заполнителе была минимальной, т. е. минеральный скелет должен быть плотным, что обеспечивает наименьший расход вяжущего, повышение прочности и долговечности бетона и снижение его стоимости. Для обеспечения наименьшей межзерновой пустотности заполнителя должны содержать зерна различной крупности.

4. Определение зернового (гранулометрического) состав щебня

Гранулометрический состав показывает соотношения в щебне зерен разных размеров, что позволяет судить об объеме пустот между зернами.

Для его определения берут навеску щебня массой 5 кг и просеивают через набор стандартных сит с размерами отверстий 70, 40, 20, 10, 5 мм и дно. Взвесив остатки на каждом сите, определяют в процентах: частные остатки (отношение массы остатка на данном сите к массе просеиваемой пробы) и полные остатки (сумма частных остатков на данном сите и на всех предыдущих).

В крупном заполнителе содержание зерен различной крупности должно соответствовать требованиям (таблица 6):

Таблица 6 — Требования к зерновому составу щебня

Размер частиц	1,25 $D_{\text{наиб}}$	$D_{\text{наиб}}$	$D_{\text{сред}}$	$D_{\text{наим}}$
Полный остаток, %	0	0-10	30-80	90-100

Примечания: $D_{\text{наиб}}$ (наибольшая крупность) – диаметр отверстия сита (мм), на котором полный остаток не более 10 %; $D_{\text{наим}}$ (наименьшая крупность) – диаметр отверстия сита (мм), на котором полный остаток не более 90 %.

По данным зернового рассева строится график зернового состава. Если кривая входит в область допустимых значений, данный заполнитель пригоден для изготовления тяжелого бетона. Если кривая выходит из области

допустимых значений, заполнитель перед применением необходимо обогащать, т. е. либо какие-то фракции зерен отсеивать из данной партии, либо добавлять из другой партии крупного заполнителя.

5. Определение прочности щебня (гравия)

Прямое определение прочности зерен щебня (гравия), имеющих неправильную форму, весьма сложно, поэтому прочность щебня оценивают косвенным путём – по его дробимости.

Дробимость щебня (гравия) определяется следующим образом: навеску щебня, фракции 5–10 или 10–20 мм, массой 400 г насыпают в стальной цилиндр диаметром 75 мм, а сверху устанавливают плунжер.

Прибор помещают под пресс, где на щебень создают нагрузку 50 кН со скоростью 100–220 кг/мин. Часть зерен при этом разрушается. После снятия давления навеску m подвергают рассеву на сите, размер отверстий которого в 4 раза меньше минимального размера зерен в навеске (2,5 мм для фракции 10–20 мм), и определяют массу остатка на сите m_1 .

Дробимость подсчитывается по формуле:

$$D_p = [(m - m_1) / m] \cdot 100\%.$$

В зависимости от дробимости при сжатии в цилиндре щебень и гравий должны соответствовать требованиям, указанным в таблице 7.

Таблица 7 – Марки крупного заполнителя по прочности

Масса щебня по прочности	Потеря по массе, при испытании в цилиндре, %				Марка по дробимости
	Щебень из пород		Гравий	Щебень из гравия	
	осадочных	магматических			
1400	–	До 9	До 8	До 10	Др. 8
1200	До 11	9 – 11			
1000	11 – 13	11 – 13	8 – 12	10 – 14	Др. 12
800	13 – 15	13 – 15	12 – 16	14 – 18	Др. 16
600	15 – 19	15 – 12	16 – 24	18 – 26	Др. 24
400	19 – 24	–			

6. Определение содержания пылеватых, илистых и глинистых примесей

Навеску крупного заполнителя массой 3000 г (m_1) промывают водой до чистоты, высушивают до постоянной массы при 105 °С и взвешивают (m_2). Содержание в заполнителе минеральных примесей определяют по формуле:

$$O_{тм} = [(m_1 - m_2) / m_1] \cdot 100\%.$$

Содержание в щебне (гравии) этих частиц не должно превышать 1 %, так как они повышают водопотребность бетонной смеси, способны набухать во

влажных или водных условиях и ухудшают адгезию (сцепляемость поверхности зерна с цементным камнем).

7. Определение содержания органических примесей

К органическим примесям относятся остатки микроорганизмов и перегной растительного слоя. Эти вещества замедляют твердение цементного теста и образуют с водой органические кислоты (гуминовые), которые разрушают цементный камень.

Содержание органических примесей определяют колориметрической пробой, т. е. наполнитель в течение суток должен находиться в трехпроцентном растворе едкого натра, и цвет жидкости сравнивают с цветом эталона. Если цвет раствора темнее цвета эталона, наполнитель перед применением необходимо промыть известковым молоком.

МЕЛКИЙ ЗАПОЛНИТЕЛЬ

1. Определение насыпной плотности мелкого заполнителя

Определяется аналогично крупному заполнителю, объем мерного цилиндра 1 л.

2. Определение истинной плотности

Плотность определяется пикнометром и вычисляется по формуле:

$$\rho = m_1 / (m_1 + m_2 - m_3),$$

где m_1 – масса материала, г; m_2 – масса пикнометра с водой, долитой до риски, г; m_3 – масса пикнометра с материалом и водой, долитой до риски, г.

Плотность кварцевого песка равна 2,65 г/см³.

3. Определение межзерновой пустотности

Подсчитывается по формуле:

$$n = (1 - \rho^H_0 / \rho) \cdot 100 \%,$$

где ρ^H_0 – насыпная плотность песка, г/см³.

4. Определение зернового (гранулометрического) состава

Определяют рассевом песка массой 1 кг через набор стандартных сит с размерами отверстий: 5; 2,5; 1,25; 0,63; 0,315; 0,14 мм. Подсчитывают частные остатки в граммах и процентах, полные остатки в процентах. По полным остаткам подсчитывают модуль крупности, по значению которого определяют вид песка (таблица 8).

$$M_{кр} = (A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,14}) / 100,$$

где A – полные остатки соответствующего сита, %.

Таблица 8 – Классификация песков по крупности

Песок	Модуль крупности
1	2
Очень крупный	> 3,5
Повышенной крупности	3-3,5
Крупный	2,5-3
Средний	2-2,5
Мелкий	1,5-2
Очень мелкий	1-1,5
Тонкий	0,7-1
Очень тонкий	< 0,7

По полным остаткам строят график зернового состава, а их предельное значение содержится в таблице 9.

Таблица 9 – Требования к зерновому составу песка

Размер отверстий сит, мм	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14
Полные остатки, %	0	0-20	15-45	35-70	70-90	90-100

5. Определение прочности кварцевого песка

Прочность кварцевого песка не определяется, так как его высокая прочность до 1000 МПа достаточна для бетона любой марки.

6. Определение содержания пылеватых, илистых и глинистых примесей

Определяют аналогично крупному заполнителю. Масса материала 1 кг. Их содержание в песке не должно превышать 3 %.

Форма отчета

По результатам исследований отдельные звенья студентов в отчете классифицируют изучаемые пробы щебня и мелкого заполнителя, делают заключение о возможности их использования в качестве крупного и мелкого заполнителя для приготовления тяжелого бетона различного назначения. При этом следует учитывать данные по зерновому составу, крупности и насыпной плотности и их соответствия техническим требованиям.

Контрольные вопросы

1. Какие горные породы используются в качестве сырья для производства щебня для получения тяжелого бетона?
2. Чем характеризуют зерновой состав щебня?

3. Как изменится расход цемента в составе бетона при замене песка с водопотребностью 8 % на песок с водопотребностью 6 %?
4. Как подсчитать водопотребность песка?
5. Какой вид крупного заполнителя рациональнее использовать для получения подвижной бетонной смеси?
6. В чем отличие дробленых заполнителей от природных?

Лабораторная работа 5 ПОДБОР СОСТАВА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА

Лабораторная работа рассчитана на два занятия. На первом занятии производится расчет состава бетона, испытание свойств бетонной и свежееуложенной бетонной смеси и формование образцов, на втором – испытание образцов и установление графической зависимости прочности бетона от C/V отношения. Исходные данные для исследований принять по таблицам 12, 13. Вариант задания определяет преподаватель.

Цель работы: формирование умений и навыков подбора состава бетонной смеси с заданной удобоукладываемостью и прочностью, испытания бетонной смеси на прочность и удобоукладываемость.

Задание по лабораторной работе: Определить расход компонентов на 1 м^3 бетонной смеси, чтобы получилась необходимая удобоукладываемость бетонной смеси и прочность бетона.

Оборудование и принадлежности: виброплощадка лабораторная, конус Абрамса, технический вискозиметр, формы – кубы, набор мерной посуды, торговые и технические весы с набором разновесов, пресс гидравлический, емкости для перемешивания.

Удобоукладываемость смеси зависит, в первую очередь, от интенсивности её уплотнения, создаваемого тем или иным способом. На практике применяются способы уплотнения с различной интенсивностью: от весьма слабой (поверхностные и глубинные вибраторы) до значительной (виброплощадки с грузом). Но при каждом способе формования необходимо добиться полного уплотнения бетонной смеси, что достигается выбором её удобоукладываемости (таблица 10).

Чем слабее интенсивность вибрации, тем выше должна быть удобоукладываемость смеси. Кроме того, в таблице 10 учитывается, что при тонкостенных изделиях или при значительной насыщенности их арматурой удобоукладываемость должна увеличиваться.

Крупность зерен в смеси, естественно, должна быть значительно меньше минимальной толщины изделия, для которого предназначена эта смесь, и меньше расстояния в свету между стержнями арматуры в изделии. На практике наибольшая крупность заполнителей HK определяется из этих условий следующим образом:

$$HK \leq 1/3a; \quad HK \geq 2/3b,$$

где a – минимальная толщина изделия; b – расстояния в свету между стержнями арматуры.

Таблица 10 – Рекомендуемая удобоукладываемость бетонных смесей в зависимости от способа уплотнения и вида конструкции

Конструкция	Способы уплотнения		
	Глубинные и поверхностные вибраторы	Виброплощадки	Виброплощадки с пригрузом, виброштампы и т. д.
Массивные конструкции со слабым армированием (блоки, фундаменты)	1-3	40-60 с	–
Массивные конструкции сильно армированные (балки, колонны, ригеля)	4-6	25-35 с	–
Конструкции среднего сечения (плоские плиты, изготавливаемые в горизонтальном положении, полы, дорожные покрытия)	4-6	25-35 с	–
Тонкостенные конструкции, насыщенные арматурой (ребристые плиты)	6-8	10-15 с	60-80 с

Расчетная часть лабораторной работы

В основу расчета положены: закон водоцементного отношения, правило постоянства водосодержания и требование плотности свежееуложенного бетона.

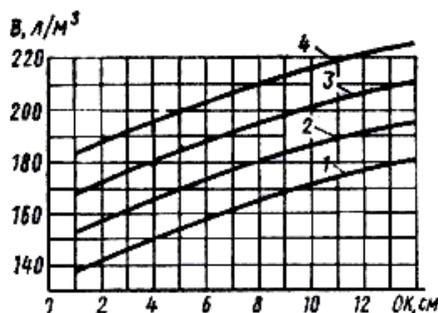


Рисунок 9 – График С. А. Миронова.

Водопотребность бетонной смеси для подвижных смесей: 1 – 80 мм; 2 – 40 мм; 3 – 20 мм; 4 – 10 мм

По графикам С. А. Миронова (рисунки 9, 10) для получения требуемой удобоукладываемости определяют водопотребность смеси – количество воды на 1 м³ бетона, учитывая вид и крупность заполнителей.

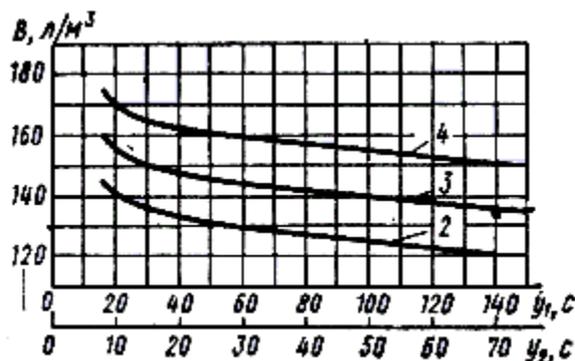


Рисунок 10 – График С. А. Миронова

Водопотребность бетонной смеси для жестких смесей: 2 – 40 мм, 3 – 20 мм, 4 – 10 мм;
 u_1 – удобоукладываемость по техническому вискозиметру, u_2 – то же, по способу
 Б. Г. Скрамтаева

Примечание: График С. А. Миронова построен для гравия и песка средней крупности. Если применяют щебень, то водопотребность, определённая по графику, увеличивается на 10 л. Если применяют мелкий песок, то водопотребность также увеличивается на 10 л, а если применяют крупный песок, то расход воды уменьшают на 10 л.

По формуле Болоея–Скрамтаева определяют водоцементное отношение, обеспечивающее требуемую прочность затвердевшего бетона:

$$R_b = A \times R_{ц} \times (Ц/B - 0,5),$$

где A – коэффициент, учитывающий качество заполнителя: для высококачественного заполнителя $A = 0,65$; для заполнителя среднего качества $A = 0,6$; для заполнителя низкого качества $A = 0,5$.

Имея данные о количестве воды на 1 м³ бетона и водоцементное отношение, определяют количество цемента на 1 м³ бетона:

$$Ц = B \cdot Ц/B.$$

Количество песка $П$ и крупного заполнителя $Г$, $Щ$ определяют путем решения системы двух уравнений:

$$Щ/\rho_{к}^{щ} + П/\rho_n + Ц/\rho_{ц} + B = 1000. \quad (1)$$

$$\alpha \cdot n_{mn} \cdot Щ/\rho_{оц}^h = П/\rho_n + Ц/\rho_{ц} + B. \quad (2)$$

Уравнение (1) показывает, что для получения 1 м³ смеси нужно взять такое количество материалов, чтобы сумма их абсолютных объёмов равнялась 1000 л. Уравнение (2) выражает требование заполнения пустот в скелете крупного заполнителя цементно-песчаным раствором с некоторой раздвижкой зерен. Коэффициент раздвижки зерен крупного заполнителя α принимается по графику (рисунок 11) в зависимости от объёма цементного теста.



Рисунок 11 – Зависимость коэффициента раздвижки зерен α от объема цементного теста $V_{ЦТ}$ на 1 м^3 бетона (при уменьшении модуля крупности песка $M_{кр}$ на 1 коэффициент α уменьшится на $0,1-0,15$, однако он не должен быть менее $1,1$):

- 1 – для жестких смесей; 2 – для пластичных смесей на мелком песке;
- 3 – то же на среднем песке; 4 – то же на крупном песке

Расход щебня:

$$\text{Щ} = 1000 / [n \cdot \alpha / \rho_0^n + 1 / \rho_0^{\text{щ}}],$$

где n – объем межзерновых пустот; ρ_0^n – насыпная плотность щебня (гравия), кг/л; $\rho_0^{\text{щ}}$ – плотность зерен щебня (гравия), кг/л; α – коэффициент раздвижки зерен.

Расход песка:

$$П = [1000 - (\text{Щ} / \rho_0^{\text{щ}} + \text{Ц} / \rho_0^{\text{ц}} + B)] \cdot \rho_n,$$

где $\rho_0^{\text{ц}}$ – истинная плотность цемента, кг/л; ρ_n – истинная плотность песка, кг/л.

Форма отчета

По окончании расчёта состава тяжелого бетона в отчете следует сделать вывод о необходимости экспериментальной проверки и возможной корректировке расчётного номинального состава сначала в лаборатории, а затем и в производственных условиях. Лишь после установления соответствия характеристик полученной бетонной смеси и самого бетона требованиям проектного задания можно сделать вывод о правильности выполненного подбора и расчёта состава бетона.

Экспериментальная часть лабораторной работы – испытания бетонной смеси и бетона

Описание методов испытаний

1. Корректирование состава бетона при расчетном В/Ц для обеспечения заданной консистенции бетонной смеси

1.1. Приготовление бетонной смеси

Бетонная смесь в лабораторных условиях может готовиться вручную или в лабораторном смесителе. При ручном способе на металлический боек, предварительно протертый влажной тканью, высыпают дозированные песок и цемент, перемешивают их до однородной массы, затем высыпают крупный заполнитель и также перемешивают до однородной массы. Затем смесь сгребают горкой, делают в ней углубление, в которое заливают воду в два–три приема, каждый раз перемешивая смесь до однородного состояния.

До момента использования бетонную смесь накрывают влажной тканью для предотвращения испарения воды.

При замешивании в лабораторном смесителе заполнители и цемент высыпают в смеситель и перемешивают сначала в сухом состоянии 15–20 с, а затем, после добавления воды доводят смесь до однородной массы.

В обоих случаях все металлические поверхности, соприкасающиеся с бетонной смесью и ее составляющими, должны быть протерты влажной тканью. Длительность приготовления бетонной смеси должна быть в пределах 2–4 мин от начала добавления воды.

1.2. Определение подвижности бетонной смеси

Подвижность бетонной смеси определяется на свежеприготовленной смеси с применением стандартного конуса (рисунок 12) и характеризуется *осадкой конуса* бетонной смеси в сантиметрах. Форму–конус 4 устанавливают на металлический лист, плотно прижимают к нему, наступив на лапки, и через воронку заполняют бетонной смесью в три слоя одинаковой высоты. Каждый слой уплотняют штыкованием металлическим стержнем диаметром 16 мм с округлыми концами 25 раз. Затем снимают воронку, избыток смеси срезают кельмой по верху конуса. Предварительно надавив на ручки конуса, освобождают лапки и в течение 3–7 с плавно снимают конус вертикально вверх и устанавливают рядом с отформованной бетонной смесью 1.

Осадку конуса определяют, укладывая одну металлическую линейку 3 ребром на верхний край металлического конуса и измеряя второй линейкой 2 расстояние от нижней грани линейки до верха осевшей бетонной смеси с погрешностью 0,5 см. Определение выполняют дважды на разных порциях смеси. Длительность испытания от начала заполнения конуса смесью при

первом определении и до момента замера осадки конуса при втором определении – не более 10 мин, а общее время нахождения показателя ОК смеси – не более 20 мин. с момента ее приготовления.

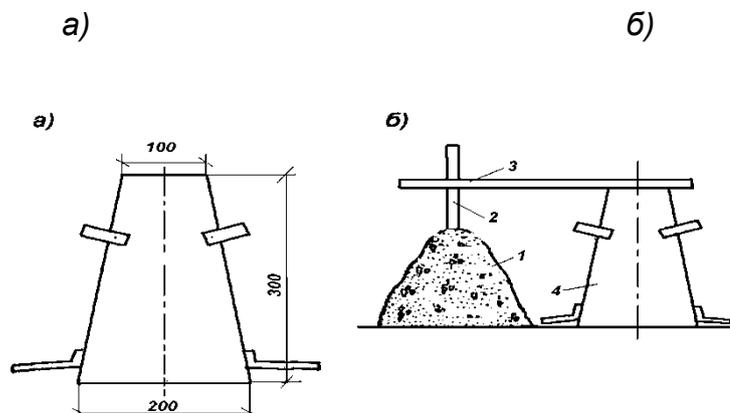


Рисунок 12 – Определение подвижности бетонной смеси:
1 – отформованный конус бетонной смеси; 2, 3 – линейки; 4 – форма-конус

За результат принимают среднее арифметическое двух определений, отличающихся между собой не более чем на 1 см – для бетонной смеси марки П1; 2 см – для марки П2; 3 см – для марок П3, П4 и П5.

Если осадка конуса бетонной смеси окажется равной 0, то ее консистенция должна характеризоваться *показателем жесткости Ж*.

1.3. Определение жесткости бетонной смеси

Жесткость бетонной смеси определяется на вискозиметре для определения жесткости по ГОСТ 10181-2014 (рисунок 13).

Заполнение конуса 3 смесью, ее уплотнение и снятие конуса с отформованной смеси производят как и при определении подвижности, только металлический конус предварительно закрепляется в кольце-зажиме 2. После снятия конуса 3 поворотом штатива 9 диск 8 устанавливают над конусом смеси и плавно опускают на его поверхность, после чего штатив закрепляют винтом втулки 10. Далее одновременно включают виброплощадку и секундомер. Вязкость смеси уменьшается, и она растекается в кольце 1 прибора. Вибрирование прекращают, а секундомер останавливают тогда, когда на поверхности начинает появляться цементное молоко из любых двух из шести отверстий диска 8 вискозиметра.

Полученное время характеризует *жесткость бетонной смеси* в с, которую определяют дважды на разных порциях. Общее время определения жесткости бетонной смеси не должно превышать 15 мин.

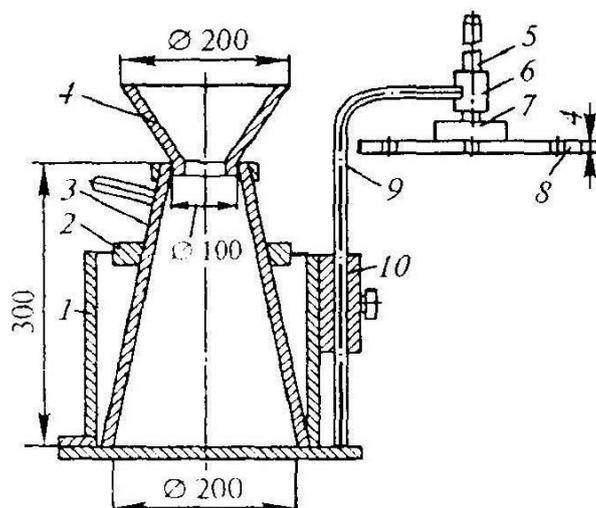


Рисунок 13 – Вискозиметр для определения жесткости бетонной смеси:

1 – форма; 2 – упоры для крепления конуса; 3 – конус; 4 – воронка; 5 – штанга; 6 – втулка;
7 – втулка для крепления диска; 8 – диск с шестью отверстиями; 9 – штатив;
10 – зажим штатива

На рисунке 14 показан упрощенный метод определения жесткости смеси в форме-кубе размером 20 x 20 x 20 см. Тот же конус, что и для определения подвижности (без лапок), также заполняется бетонной смесью. Конус снимают, а форму закрепляют на виброплощадке и включают виброплощадку и секундомер. Когда смесь заполнит углы формы, а поверхность смеси станет горизонтальной, секундомер и виброплощадку выключают.

Время в секундах, необходимое для выравнивания поверхности бетонной смеси в форме, умноженное на 1,5, соответствует жесткости бетонной смеси, определяемой по ГОСТ 10181-2014.

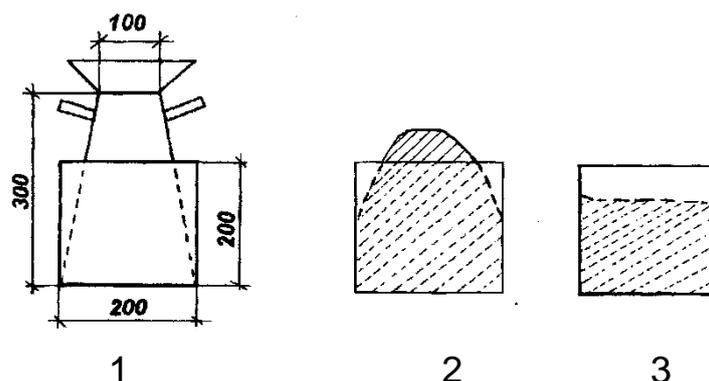


Рисунок 14 – Упрощенный метод определения жесткости бетонной смеси: 1 – конус Абрамса; 2 – жесткая бетонная смесь; 3 - подвижная бетонная смесь

1.4. Корректирование состава бетонной смеси

Корректирование производится в том случае, если бетонная смесь не удовлетворяет проектным требованиям по подвижности или жесткости. Кроме того, необходимость корректирования связана с наличием неоднородности бетонной смеси, и данное несоответствие не связано с погрешностями при дозировании.

Примеры корректировки состава бетона приведены в таблице 11. После каждого добавления корректирующих материалов смесь тщательно перемешивают и делают повторное определение подвижности или жесткости до получения заданных показателей.

Продолжительность корректирования не должна превышать 15 мин. В связи с тем, что с введением в состав бетонной смеси корректирующих материалов объем смеси увеличивается, необходимо уточнить объем замеса и произвести пересчет состава сначала на уточненный объем замеса, а затем и на 1 м³ бетонной смеси.

Таблица 11 – Примеры корректировки состава бетона

Состояние бетонной смеси	Корректирующие материалы*	
	материал	количество, % от исходного
Вытекание цементного молока из-под основания металлического конуса при его заполнении – недостаточная водоудерживающая способность заполнителей	Песок	5–10
Подвижность смеси больше (жесткость меньше) заданной – избыток цементного теста	Песок и крупный заполнитель	5–10
Подвижность смеси меньше (жесткость больше) заданной – недостаток цементного теста	Вода и цемент при расчетном В/Ц	5–10
В бетонной смеси наблюдаются пустоты между зернами крупного заполнителя (недостаток растворной составляющей смеси)	Песок, вода и цемент при расчетном В/Ц	3–5

* Порции материалов следует готовить заранее.

2. Определение коэффициента уплотнения бетонной смеси

Расчет и корректирование состава бетона по методу абсолютных объемов предполагает отсутствие в отформованной бетонной смеси газовой составляющей (поры воздухововлечения и недоуплотнения). Однако такие поры всегда имеют место, и их количество можно оценить коэффициентом уплотнения K_y . Для хорошо отформованных смесей он находится в пределах 0,96–0,98.

Коэффициент уплотнения определяют при формировании бетонной смеси в сосуде известного объема. Допускается определение K_y совмещать с изготовлением контрольных образцов–кубов.

3. Изготовление контрольных образцов–кубов

Для определения подвижности смеси используют стандартный конус Абрамса (см. рисунок 14, изображение 1), который заполняют в три приёма бетонной смесью, уплотняя каждый слой штыкованием (25 раз). После заглаживания верхней поверхности конус медленно поднимают вертикально. Подвижная смесь, освобожденная от формы, дает осадку, которая служит

мерой подвижности смеси. Смеси, не дающие осадки, называются жесткими. Определение жесткости происходит в специальном приборе (см. рисунок 13), состоящем из цилиндра, стандартного конуса, устанавливаемого в цилиндре, и диска с шестью отверстиями, укрепляемого на специальной штанге. Прибор устанавливают на виброплощадке. Конус, как и при определении подвижности, заполняют бетонной смесью, затем его снимают и устанавливают диск на поверхность смеси. Включают виброплощадку и продолжают вибрирование до тех пор, пока не начнется выделение цементного клея из двух отверстий диска. Затраченное время является показателем жесткости бетонной смеси.

Если удобоукладываемость окажется меньше расчетной, корректируют состав смеси, увеличивая на 10 % количество цементного теста, не меняя водоцементного отношения (уяснить почему) и заново ее проверяют. Если удобоукладываемость больше расчетной, увеличивают на 10 % содержание песка и крупного заполнителя, не меняя соотношения между ними.

Для откорректированной бетонной смеси определяют среднюю плотность. Для определения используют мерный цилиндр объемом 3–5 л. Бетонную смесь укладывают в цилиндр и уплотняют на виброплощадке. Время уплотнения принимается для жестких смесей равным показателю жесткости, увеличенному на 30 с, а для подвижных смесей – в пределах 5–30 с. Поверхность уплотненной смеси заглаживают вровень с краями цилиндра и при помощи взвешивания определяют массу (m) бетонной смеси в цилиндре (как разность массы цилиндра со смесью и пустого цилиндра).

Средняя плотность бетонной смеси (фактическая) рассчитывается по формуле:

$$\rho_{\phi} = m/V.$$

По полученному результату можно рассчитывать коэффициент уплотнения бетонной смеси:

$$K_{упл} = \rho_{\phi} / \rho_{\phi}^m,$$

где ρ_{ϕ}^m – теоретическая средняя плотность бетонной смеси, рассчитываемая в предположении, что бетонная смесь не содержит воздуха.

$$\rho_{\phi}^m = (B + Ц + П + Ш) / 1000.$$

По величине $K_{упл}$ судят, хорошо ли уплотнена бетонная смесь ($K_{упл} \geq 0,98$) и, следовательно, правильно ли выбрана ее удобоукладываемость. Неуплотненная бетонная смесь ($K_{упл} \leq 0,98$) является следствием ее недостаточной удобоукладываемости.

После определения средней плотности изготавливают стандартные образцы бетона – не менее трех для определения его марки. Стандартные размеры образцов 15 x 15 x 15 см. Разрешается использовать образцы 10 x 10 x 10 см при наибольшей крупности заполнителя (до 20 см).

Изготовленные образцы хранятся во влажных условиях в течение 28 сут. и затем испытываются на прочность при сжатии. Иногда образцы бетона могут быть использованы до истечения 28 сут. В этом случае прочность на 28 сутки определяют по формуле Скрамтаева:

$$R^{28}_{сж} = (R^{n}_{сж} \cdot \lg 28) / \lg n,$$

где n – возраст образцов в момент испытаний.

При испытании образцов с размерами менее 15 x 15 x 15 см необходимо учитывать завышение предела прочности на сжатие при уменьшении размеров образцов. Поэтому прочность образцов 10 x 10 x 10 см для приведения к прочности стандартных кубиков необходимо умножить на $k = 0,95$.

В случае несоответствия прочностных показателей расчетным путем вновь проводят корректировку состава бетона путем соответствующего изменения количества цемента (уяснить почему), затем также изготавливаются и испытываются образцы.

В итоге работы должен быть приведен окончательный состав бетона. При корректировке расчетного и для вычисления окончательного состава подсчитывают общую массу замеса m и определяют ее объем V_6 , учитывая фактическую среднюю плотность бетона:

$$V_6 = m / \rho_6^{\phi}.$$

По известному расходу материалов на замес и его объему находят расход материалов на 1 м³ бетонной смеси по формулам:

$$Ц = Ц \cdot 1000 / V_6; \quad П = П \cdot 1000 / V_6; \quad В = В \cdot 1000 / V_6,$$

где $Ц$, $П$, $Ш$, $В$ – окончательный расход соответствующего компонента на 1 м³ бетонной смеси, если производилась корректировка состава, кг.

Окончательный расход материалов для приготовления 1 м³ бетонной смеси записывают в виде соотношения при заданном $В/Ц$ по массе:

$$(Ц/Ц):(П/Ц):(Ш/Ц)$$

и объему

$$(V_{ц}^{ecm} / V_{ц}^{ecm}) : (V_{п}^{ecm} / V_{ц}^{ecm}) : (V_{ш}^{ecm} / V_{ц}^{ecm})$$

Естественный объем каждого компонента определяют по формулам:

$$V_{ц}^{ecm} = Ц / \rho_{оц}^H; \quad V_{п}^{ecm} = П / \rho_{он}^H; \quad V_{ш}^{ecm} = Ш / \rho_{ош}^H,$$

где $\rho_{оц}^H$, $\rho_{он}^H$, $\rho_{ош}^H$ – насыпная плотность соответствующего компонента, кг/л.

Зная расход материалов, определяют коэффициент выхода бетонной смеси, который показывает, какой объем бетонной смеси получится из 1 м³ сухих компонентов:

$$\beta = 1000 / (V_{ц}^{ecm} + V_{п}^{ecm} + V_{ш}^{ecm}).$$

Форма отчета

По полученным значениям пределов прочности бетона при сжатии строится график зависимости прочности от В/Ц отношения и интерполяцией определяется В/Ц, обеспечивающее получение бетона проектной марки (класса).

Допускается определение оптимального В/Ц производить методом экстраполяции.

После определения оптимального В/Ц записать откорректированный состав бетона, обеспечивающий запроектированную марку по показателю прочности.

По результатам испытаний образцов строятся графические зависимости

$$R_6 = f(B/C) \text{ и } R_6 = f(C/B).$$

Таблица 12 – Индивидуальные задания для расчета (нет ссылки в тексте - ссылка в начале лабораторной работы есть!)

Вариант	Назначение бетона	Бетон						Цемент*	
		R _{тp} , МПа	R _o	V _n , %	F, циклы	W	Консистенция	Вид	R _ц , МПа
1	Монолитные тонкостенные конструкции	30	—	10	—	8	П3	ПЦ	48
2	Плиты ж/б армированные	35	0,7R _{тp}	8	—	—	П1	ПЦ	50
3	Фунд. блоки	20	—	6	200	—	П1	ПЦ	40
4	Бетон для лест. маршей	20	0,7R _{тp}	9	—	—	П1	ПЦ	39
5	Сборные ЖБК	50	0,7R _{тp}	11	—	—	Ж4	ПЦ	62
6	Бетонные плиты промзданий	20	0,7R _{тp}	13	—	—	П1	ШПЦ	33
7	Бетон для плит в градирнях	40	1,0R _{тp}	5	200	6	П2	ПЦ	55
8	Железобетонные колонны	40	0,7R _{тp}	10	—	—	П1	ШПЦ	52
9	Дорожные ж/б плиты	20	1,0R _{тp}	7	400	8	П2	ПЦ	40
10	Железобетонные сваи	40	1,0R _{тp}	10	300	—	П1	ПЦ	57
11	Панели перекрытий	30	0,7R _{тp}	8	—	—	Ж2	ШПЦ	42

* Значения плотности принять: для ПЦ истинная – 3,1 г/см³, насыпная – 1,3 г/см³; для ШПЦ истинная – 2,9 г/см³, насыпная – 0,9 г/см³.

Таблица 13 – Состав бетона (нет ссылки в тексте – ссылка в начале лабораторной работы есть!)

Песок					Крупный заполнитель				
ρ _n	ρ _n ^{нас}	M _к	V _п , %	ω _п , %	Вид (горная)	ρ _{кз}	ρ _{кз} ^{нас}	НК, мм	ω _{кз} , %

g/cm^3	g/cm^3				порода)	g/cm^3	g/cm^3		
2,7	1,6	2,2	7	4,0	Щебень (диорит)	2,60	1,60	10	3,0
2,5	1,6	2,5	6	3,2	Щебень (гранит)	2,65	1,41	20	1,5
2,5	1,5	2,0	8	5,0	Гравий	2,53	1,62	20	1,0
2,6	1,7	2,2	7	3,5	Щебень (диорит)	2,65	1,45	20	2,0
2,6	1,6	2,4	7	2,0	Щебень (гранит)	2,64	1,49	20	1,7
2,4	1,5	2,4	7	3,2	Щебень (габбро)	2,45	1,42	20	2,3
2,6	1,6	2,6	6	4,2	Щебень (диорит)	2,55	1,67	20	2,0
2,5	1,7	2,7	6	3,8	Щебень (гранит)	2,64	1,43	40	1,5
2,6	1,6	2,9	6	4,0	Щебень (габбро)	2,50	1,62	20	2,2
2,6	1,5	2,3	7	4,2	Гравий	2,52	1,60	40	3,0
2,6	1,5	2,4	7	3,5	Щебень (гранит)	2,55	1,58	20	3,0

Контрольные вопросы

1. Какова цель расчёта состава бетона?
2. От каких факторов зависит марочная прочность бетона?
3. От чего зависит выбор количества воды затворения при расчёте состава бетона?
4. Чему равен коэффициент выхода бетонной смеси?
5. По каким показателям оценивается удобоукладываемость бетонной смеси?
6. Будет ли изменяться подвижность бетонной смеси при изменении вида цемента и неизменной марке?
7. Как корректируется подвижность бетонной смеси в случае превышения проектной величины?

Лабораторная работа 6 ПОДБОР СОСТАВА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ КЛАДОЧНОГО РАСТВОРА

Цель работы: формирование умений и навыков подбора состава кладочного раствора с заданной удобоукладываемостью, прочностью и водоудерживающей способностью.

Задание по лабораторной работе: определить расход всех компонентов растворной смеси на 1 м³ песка, чтобы обеспечить необходимую удобоукладываемость, водоудерживающую способность смеси и прочность раствора.

Оборудование и принадлежности: конус СтройЦНИЛ, формы-балочки, формы-кубы, емкости для перемешивания, торговые и технические весы с набором разновесов, пресс гидравлический.

Для строительных кладочных растворов необходимы сравнительно небольшое значение прочности и хорошая удобоукладываемость. Поэтому при применении цементов в качестве вяжущего их разбавляют тонкомолотыми минеральными добавками.

Так как в основном растворная смесь укладывается на пористое основание, где происходит отсос воды, смесь должна обладать хорошей водоудерживающей способностью, иначе она может оказаться «пересушенной» и не будет твердеть.

В удержании воды основное значение имеют тонкомолотые добавки-пластификаторы, в качестве которых применяются глины, известь и поверхностно-активные органические вещества.

Растворы с добавками называются смешанными. В их названии указываются вяжущее и добавка, например, цементно-известковый, цементно-глиняный растворы и т. п.

Таким образом, основными свойствами кладочных растворов являются прочность затвердевшего раствора, удобоукладываемость и водоудерживающая способность смеси.

Описание методов испытаний

1. Подбор состава кладочного раствора

Перед расчетом необходимо знать физико-механические свойства используемых материалов, задаться прочностью раствора и назначить подвижность смеси.

Из формулы $R_p = k M_{ц} \cdot Ц / 1000$ определяют расход цемента:

$$Ц = 1000 \cdot R_p / k \cdot M_{ц},$$

где $Ц$ – расход цемента по массе на 1 м^3 песка, кг; R_p – требуемая марка кладочного раствора; k – коэффициент, учитывающий крупность песка, для крупных песков $k = 1,2-1,4$; для средних песков $k = 1,0-1,2$; для мелких песков $k = 0,7-1,0$; $M_{ц}$ – марка используемого цемента.

Количество пластифицирующей добавки по объёму определяют по формуле:

$$D_{об} = 170 \cdot (1 - 0,002 Ц),$$

где $Ц$ – расход цемента на 1 м^3 песка, кг.

Известковое тесто приготавливают при соотношении воды и известково-пушонки $1 : 1$, глиняное тесто – $0,6:1$.

Расход добавки по массе рассчитывается по формуле:

$$D = D_{об} \cdot \rho_m,$$

где ρ_m – средняя плотность пластифицирующей добавки, кг/л, определяется по таблице 14.

Таблица 14 – Средняя плотность пластификаторов

Пластификатор	Плотность, кг/л
Глиняное тесто	1,6–1,8 кг/л
Зольное тесто	1,4–1,6 кг/л
Известковое тесто	1,2–1,4 кг/л

Ориентировочный расход воды можно подсчитать по формуле:

$$V_{ор} = (0,8 \div 0,9) \cdot (Ц + D),$$

где $Ц$ и D – расход цемента и пластифицирующей добавки по массе, кг.

Расход песка по массе определяют по формуле:

$$П = 1 \text{ м}^3 \cdot \rho_n,$$

где ρ_n – насыпная плотность песка, кг/м³.

Окончательный расход воды определяется практическим путём, по подвижности растворной смеси с использованием прибора, схема которого представлена на рисунке 16.

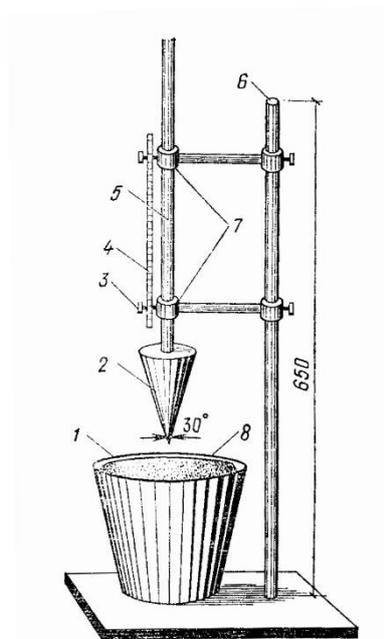


Рисунок 16 – Прибор для определения подвижности растворной смеси:
 1 – сосуд для растворной смеси; 2 – эталонный конус; 3 – винт; 4 – шкала;
 5 – штанга; 6 – стойка; 7 – зажимы; 8 – растворная смесь

Далее производится пересчет всех компонентов смеси для приготовления лабораторного замеса объемом на 4 л песка.

2. Лабораторные испытания растворной смеси

Отдозированные по массе песок и цемент перемешивают в сухом состоянии до однородной массы. Отдозированная пластифицирующая добавка разбавляется отмеренным количеством воды и в виде «молока» вливается в сухую смесь. Полученная растворная смесь тщательно перемешивается в течение 5 мин. Свежеприготовленной растворной смесью наполняют ведро прибора примерно на 1 см ниже его краёв. Уложенную смесь штыкуют 25 раз металлическим стержнем и выравнивают легким постукиванием ведерка о стол.

Острые конуса приводят в соприкосновение с поверхностью смеси и дают ему возможность свободно погружаться в смесь. Замеряют погружение конуса при помощи лимба или шкалы с делением и стрелкой.

Удобоукладываемость (подвижность) растворной смеси выражается в сантиметрах погружения конуса.

Если подвижность растворной смеси не удовлетворяет заданной, необходимо либо добавить больше воды, либо сделать новый замес с меньшим содержанием воды.

Из приготовленной растворной смеси для определения прочности формируют три образца в виде кубиков с ребром 7,07 см или в виде балочек размером 40 x 40 x 160 мм в формах без дна, установленных на кирпич,

покрытый смоченной фильтрованной бумагой. Смесь в один прием укладывается в форму с некоторым избытком и уплотняется 25-кратным штыкованием металлическим стержнем. Через час после укладки происходит отсос воды основанием, смесь несколько оседает. Избыток смеси срезают, и образцы в формах хранят в течение суток во влажных условиях. Затем образцы распалубливают и хранят до 28-суточного возраста в условиях, аналогичных условиям твердения раствора на производстве.

По условиям учебного процесса образцы можно испытывать и в другие сроки. При этом для приведения полученных результатов к марочной прочности полученные значения прочности умножают на переводные коэффициенты, приведенные в таблице 15.

Таблица 15 – Переводные коэффициенты для определения марочной прочности раствора*

Возраст, сутки	3	7	14	28	60	90
Коэффициент	3,03	1.82	1,25	1.00	0,83	0,77

* Приведенные коэффициенты относятся только к растворам на портландцементе и его разновидностях.

Форма отчета

По результатам испытаний в отчете делаются заключения о соответствии полученных результатов с заданной расчетной маркой раствора.

Контрольные вопросы

1. Почему в состав строительного раствора не вводится крупный заполнитель?
2. От чего в большей степени зависит подвижность растворов смесей?
3. Почему в формулу прочности раствора, работающего на пористом основании, не входит водоцементное отношение?
4. Как влияет количество введенного в растворную смесь неорганического пластификатора на прочность раствора?
5. Изменяют ли марку раствора при кладочных работах в зимнее время?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящем учебно-методическом пособии даны рекомендации по выполнению лабораторных работ по курсу «Строительные материалы». Объем сведений, рассматриваемый в настоящем курсе, призван обеспечить лишь необходимый уровень знаний и умений студентов–бакалавров и предполагает значительный объем самостоятельной работы с учебниками таких общепризнанных авторов, как Г. И. Горчаков, В. Г. Микульский, И. А. Рыбьев и других.

Грамотный выбор качественно изготовленных материалов и изделий, правильное их использование в процессе строительства и дальнейшей эксплуатации – важное условие создания безопасных строительных объектов, обладающих всеми необходимыми техническими и социальными характеристиками. Овладение знанием структуры и свойств строительных материалов является важной частью подготовки бакалавров для архитектурно-строительного комплекса России.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ Р 2.105-2019 Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам.
2. ГОСТ Р 7.0.100-2018 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание.
3. ГОСТ 8.417-2002 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин.
4. ГОСТ 12.4.113-82 Система стандартов безопасности труда. Работы учебные лабораторные. Общие требования безопасности.
5. ГОСТ 125-2018. Вяжущие гипсовые. Технические условия.
6. ГОСТ 530-2012. Кирпич и камень керамические. Общие технические условия.
7. ГОСТ 7473-2010. Смеси бетонные. Технические условия.
8. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.
9. ГОСТ 10181-2014. Смеси бетонные. Методы испытаний.
10. ГОСТ 24211-2008. Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия.
11. ГОСТ 30459-2008. Добавки для бетонов и строительных растворов. Определение и оценка эффективности
ГОСТ 31108-2020 Цементы общестроительные. Технические условия.
12. ГОСТ Р 57294-2016 Изделия стеновые из природного камня. Технические условия
13. Барабанщиков, Ю. Г. Строительные материалы + Приложение: Тесты: учеб. / Ю. Г. Барабанщиков. – Москва: КноРус, 2018. – 443 с. (ЭБС «Book.ru»).
14. Основин, В. Н. Справочник по строительным материалам и изделиям / В. Н. Основин, Л. В. Шуляков, Д. С. Дубяго. – 3-е изд. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2006. – 444 с.
15. Рыбьев, И. А. Строительное материаловедение: учеб. пособие / И. А. Рыбьев. – 2-е изд., испр. – Москва: Высшая школа, 2004. – 701 с.
16. Строительные материалы (Материаловедение. Строительные материалы): учеб. для вузов, обуч. по строит. специальностям / Г. И. Горчаков [и др.]. – 4-е изд., доп. и перераб. – Москва: АСВ, 2004. – 534 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Пример оформления титульного листа отчета

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт морских технологий, энергетики и строительства
Кафедра строительства

Отчет по лабораторной работе № _____
по дисциплине «Строительные материалы»

(ТЕМА ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ)

Руководитель работы

_____/_____/

Лабораторную работу выполнил(а)
студент(ка) группы _____

_____/_____/

«___» _____ 20__ г.

Калининград 20__ год

Учебное издание

Светлана Александровна Любишина

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ.

Редактор Э. С. Круглова

Подписано в печать 18.09.2023 г. Формат 60 × 90 1/16
Уч.-изд. л. 3,7. Печ. л. 3,3 . Тираж 27 экз. Заказ № 47

Издательство федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Калининградский государственный технический университет».
236022, Калининград, Советский проспект, 1