

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова

**Материаловедение и технология конструкционных
материалов. Часть I**

Методические указания к выполнению лабораторных работ
для студентов специальности 271501 – Строительство железных дорог,
мостов и транспортных тоннелей специализации «Строительство дорог
промышленного транспорта»

Белгород
2013

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова
Кафедра автомобильных и железных дорог

Утверждено
научно-методическим советом
университета

**Материаловедение и технология конструкционных
материалов. Часть I**

Методические указания к выполнению лабораторных работ
для студентов специальности 271501 – Строительство железных дорог,
мостов и транспортных тоннелей специализации «Строительство дорог
промышленного транспорта»

Белгород
2013

УДК 625.1.06/.07 (075)

ББК 39.311 я 7

М86

Составители: канд. техн. наук, проф. Г.С. Духовный
канд. техн. наук, ст. преп. Н.В. Селицкая
ассистент А.В. Сачкова

Рецензент канд. техн. наук, доц. А.А. Логвиненко

Материаловедение: методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов специальности 271501 – Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей специализации «Строительство дорог промышленного транспорта»/ сост.: Г.С. Духовный, Н.В. Селицкая, А.В. Сачкова. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. – 50 с.

В методических указаниях подробно изложен порядок проведения лабораторных работ по дисциплине «Материаловедение и технология конструкционных материалов».

Методические указания предназначены для студентов специальности 271501 – Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей специализации «Строительство дорог промышленного транспорта»

Данное издание публикуется в авторской редакции.

УДК 625.1.06/.07 (075)

ББК 39.311 я 7

© Белгородский государственный
технологический университет
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2013

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторный практикум составлен в соответствии с рекомендованной программой циклом работ по курсу «Материаловедение и технология конструкционных материалов».

В методических указаниях изложена методика проведения лабораторных работ по испытанию основных строительных материалов и изделий, которые применяются в промышленном и гражданском строительстве, при возведении мостов, туннелей, в строительстве метрополитенов и других сооружений. Приведено краткое описание лабораторных приборов и оборудования, дана методика расчета полученных результатов испытаний.

С целью повышения самостоятельности при подготовке и проведении лабораторных работ методические указания содержат контрольные вопросы для самоподготовки.

Общие положения о выполнении лабораторных работ

1. Каждая лабораторная работа, каждое испытание это самостоятельная исследовательская работа, приступать к выполнению которой без знания основ явлений и свойств, которые изучаются не допустимо.

2. Осознанное выполнение лабораторных работ учит применять теоретические знания в экспериментальной работе, правильно планировать опыт, проводить измерение с достаточной точностью, анализировать и получать возможные результаты.

3. Студент получает методические указания до выполнения лабораторных работ, до занятия изучает теоретическую часть, суть и методику выполнения задания, также используя конспект или учебник. На занятиях уточняет у преподавателя все вопросы, которые возникли в процессе самоподготовки, и выполняет работу.

4. При проведении испытаний необходимо строго придерживаться правил техники безопасности.

5. После окончательной обработки материалов каждого занятия их результаты заносятся в соответствующие таблицы данного практикума, и делается вывод о соответствии качества материала требованиям стандарта. Заполнение всех граф в таблицах, предусмотренных лабораторной работой, обязательно.

6. За время, которое отведено для проведения лабораторного занятия, должны быть выполнены следующие составляющие:

- текущий контроль подготовленности студентов к выполнению конкретной лабораторной работы;
- выполнение задания темы занятия;
- оформление индивидуального отчета выполненной работы;
- защита отчета перед преподавателем.

7. Студенты, которые в результате текущего контроля в начале занятия показали неудовлетворительный уровень подготовленности, к лабораторному занятию не допускаются.

8. Отработка лабораторных работ для студентов, которые не были на них допущены или пропустили их по уважительной причине, выполняется во внеучебное время.

9. Зачет лабораторной работы проводится по полученным результатам и выводами студента, с коротким опросом или собеседованием по результатам работы. В отдельных случаях защита лабораторной работы может проводиться на следующем занятии.

10. Оценивание результатов лабораторной работы в форме зачета, в зависимости от уровня работы студента на занятии, полученных результатов и сделанных выводов. При этом учитываются пропуски студентами лабораторных работ.

11. Студентам, которые имеют хотя бы одну не зачисленную лабораторную работу, не зачисляется соответствующая контрольная аттестация. Они не имеют права на получение зачета или допуска к экзамену.

Лабораторная работа № 1

Основные физико-механические свойства строительных материалов

Цель работы: ознакомиться с методами определения основных физико-механических свойств строительных материалов; изучить эти свойства.

Оборудование и материалы: весы технические, весы для гидростатического взвешивания, пикнометр вместимостью 100 см³, ступка фарфоровая, сито №2, сушильный шкаф, песчаная водяная баня, эксикатор, термометр, штангенциркуль, металлическая линейка, парафин, материалы для испытаний: горные породы и дорожно-строительные материалы.

Основные понятия

Физические свойства характеризуют физическое состояние материала (фазовое состояние, плотность, структуру), а также определяют его отношение к физическим процессам окружающей среды. Обычно к таким свойствам относят истинную и среднюю плотность, пористость, теплопроводность, звукопроницаемость, влажность, водопоглощение, усадку, светостойкость, морозостойкость и др.

1. Истинная плотность

Истинная плотность – характеризуется массой сухого материала в единице абсолютного объема, то есть объема без пор и пустот

$$\rho = \frac{m}{V_o}, \quad (1)$$

где ρ – истинная плотность, г/см³;

m – масса сухого образца, г;

V_o – объем образца в абсолютно плотном состоянии, см³.

Для определения истинной плотности материал измельчают и просеивают через сито с диаметром отверстий 5 мм. Порошок в количестве не менее 30 г высушивают до постоянной массы при температуре 105 °С и затем охлаждают в эксикаторе над концентрированной серной

кислотой или безводным хлористым кальцием, чтобы материал не поглотил воду из воздуха.

Высушенный пикнометр взвешивают на технических весах (m_1) с точностью до 0,01 г. В пикнометр помещают 10 г предварительно подготовленной пробы и вновь взвешивают (m). Затем доливают до половины объема дистиллированную воду и кипятят на песчаной или водяной бане 20...30 мин для удаления воздуха из пробы, охлаждают до температуры окружающей среды, доливают до метки, пикнометр тщательно вытирают и снова взвешивают (m_2). После этого пикнометр освобождают от порошка, моют, заполняют до метки дистиллированной водой и снова взвешивают (m_3).

Истинную плотность песка в г/см^3 вычисляют по формуле

$$\rho = \frac{(m - m_1) \rho_{\text{в}}}{m - m_1 + m_2 - m_3}, \quad (2)$$

где m — масса пикнометра с песком, г;

m_1 — масса пустого пикнометра, г;

m_2 — масса пикнометра с дистиллированной водой, г;

m_3 — масса пикнометра с песком и дистиллированной водой после удаления пузырьков воздуха, г;

$\rho_{\text{в}}$ — плотность воды, равная 1 г/см^3 .

Расхождение между результатами двух определений истинной плотности не должно быть более $0,02 \text{ г/см}^3$. В случаях больших расхождений проводят третье определение и вычисляют среднее арифметическое двух ближайших значений.

2. Средняя плотность

Средняя плотность - характеризуется массой сухого материала в единице общего объема - в естественном состоянии, то есть вместе с порами.

Среднюю плотность $\rho_{\text{ср}}$, кг/м^3 , вычисляют по формуле, как отношение массы сухого материала к его общему объему:

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{m}{V}, \quad (3)$$

где m — масса абсолютно сухого материала, г;

V — общий объем сухого материала в естественном состоянии, с порами, см^3 .

При определении средней плотности материала можно использовать образцы как правильной, так и неправильной геометрической

формы. От формы образца зависит метод определения средней плотности материала.

2.1. Определение средней плотности образца правильной геометрической формы

Для определения средней плотности образцы материала могут быть выполнены в форме куба, параллелепипеда или цилиндра. Наименьший размер стороны образца для плотных разновидностей материалов не менее 4 см, для пористых – не менее 10 см.

Образцы правильной геометрической формы предварительно высушивают до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре $105 \div 110$ °С.

При помощи штангенциркуля или линейки измеряют геометрические размеры образца и вычисляют его объем, после чего образец взвешивают на технических весах с точностью до 0,01 г.

Образец любой правильной геометрической формы измеряют в трех местах и берут средний результат с точностью до 0,1 мм.

Объем образца V , см³, имеющего форму куба или параллелепипеда, рассчитывают по формуле:

$$V = a_{cp} \cdot b_{cp} \cdot h_{cp}, \quad (4)$$

где a_{cp} , b_{cp} , h_{cp} – среднее значение размеров граней образца, см.

Объем образца V , см³, цилиндрической формы вычисляют по формуле:

$$V = \frac{\pi \cdot d_{cp}^2 \cdot h_{cp}}{4}, \quad (5)$$

где d_{cp} – средний диаметр образца, см;

h_{cp} – средняя высота цилиндрического образца, см.

Результаты измерений, взвешивания и вычисления записывают в табл. 1 и по формуле (3) рассчитывают среднюю плотность ρ_{cp} .

Таблица 1

Определение средней плотности образца правильной геометрической формы

№ п/п	Наименование материала	Геометрические размеры, см.				Объем образца, V , см ³	Масса образца, m , г	Средняя плотность, $\rho_{cp} = m/V$
1								
2								

2.2. Определение средней плотности образца неправильной геометрической формы

Среднюю плотность определяют с помощью гидростатического взвешивания. Куски материала или горной породы массой 100...200 г очищают от пыли, высушивают до постоянной массы при температуре 105 °С в сушильном шкафу и охлаждают в эксикаторе. Сухой образец взвешивают с точностью до 0,01 г (m). Затем, если образец пористый, для предотвращения поглощения влаги его покрывают тонкой парафиновой пленкой, быстро опустив его в расплавленный парафин. Пузырьки воздуха на поверхности образца удаляют горячей металлической пластинкой. Образец обвязывают тонкой нитью и взвешивают на весах гидростатического взвешивания (Архимедовых весах) на воздухе (m_1) и в воде (m_2). Разница по массе образца на воздухе и в воде будет соответствовать объему этого образца (по закону Архимеда).

Средняя плотность пористого образца, покрытого парафином:

$$\rho_{cp} = \frac{m}{\frac{m_1 - m_2}{\rho_e}}, \quad (6)$$

где m – масса сухого образца, г;

m_1 – масса образца, покрытого парафином, на воздухе, г;

m_2 – масса образца, покрытого парафином, в воде, г;

ρ_v – плотность воды, г/см³;

$\rho_{пар}$ – плотность парафина при температуре 18...20 °С (0,930 г/см³).

Для плотных строительных материалов или горных пород среднюю плотность определяют без парафинирования следующим способом. Образец взвешивают в сухом состоянии (m), затем помещают в воду для полного смачивания поверхности. После этого образец обвязывают тонкой нитью и взвешивают на весах гидростатического взвешивания (m_1). Объем образца

$$V = \frac{m - m_1}{\rho_e}, \quad (7)$$

где m – масса сухого образца, г;

m_1 – масса образца, погруженного в воду, г;

ρ_e – плотность воды, г/см³.

Среднюю плотность определяют по формуле (3).

Таблица 2

**Определение средней плотности образцов
неправильной геометрической формы**

№ п/п	Наименование материала	Масса сухого образца, г	Масса образца, погруженного в воду, г	Объем образца, см ³	Средняя плотность, г/см ³
		<i>m</i>	<i>m₁</i>	<i>V, см³</i>	$\rho = m/V$
1					
2					

3. *Насыпная плотность*

Насыпная плотность - характеризуется массой сухого материала в единице объема материала в рыхлом состоянии (с порами и межзерновыми пустотами).

При транспортировании и сохранении сыпучие материалы уплотняются. При этом значения их средней плотности оказывается на 15÷30 % выше, чем в рыхлом состоянии.

Высушенный до постоянной массы сыпучий материал (песок, щебень, гравий) насыпают с высоты 10 см в предварительно взвешенный мерный сосуд до образования конуса, после чего сосуд с сыпучим материалом взвешивают и определяют насыпную плотность:

$$\rho_n = \frac{m_1 - m}{V \cdot 1000}, \quad (8)$$

где *m* – масса мерного сосуда, г;

m₁ – масса мерного сосуда с сыпучим материалом, г;

V – объем мерного сосуда, см³.

Полученные результаты заносятся в табл. 3.

Таблица 3

Определение насыпной плотности

№ п/п	Материал	Объем мерного сосуда	Масса мерного сосуда	Масса мерного сосуда с сыпучим материалом	Насыпная плотность	
		<i>V, см³</i>	<i>m, г</i>	<i>m₁, г</i>	г/см ³	кг/м ³
1.						
2.						

4. Пористость и пустотность

Пористость материала – характеризуется степенью заполнения его общего объема порами. Пористость определяют в долях единицы по формуле

$$P_o = \frac{V_{пор}}{V_{общ}} = \frac{V_{общ} - V_{ист}}{V_{общ}} = 1 - \frac{\rho_H}{\rho_{ист}} \quad (9)$$

или в процентах по формуле

$$P_o = \frac{\rho - \rho_{cp}}{\rho} \cdot 100\% \quad (10)$$

где $V_{пор}$ – объем пор в образце материала, см³;
 $V_{общ}$ – общий объем образца, с учетом пор, см³;
 $V_{ист}$ – истинный объем образца, без пор, см³;
 ρ_H – насыпная плотность материала, г/см³;
 ρ – истинная плотность материала, г/см³.

Важнейшие свойства материалов – прочность, теплопроводность, водопоглощение, водонепроницаемость и т.д. зависят от значения и характера пористости материала.

Пористость различных природных каменных материалов колеблется от 0,3 % (габбро) до 38 % (известняк). Пористость тяжелого бетона около 10 %, легкого – 60 %, ячеистого – 80 %.

Пустотность - характеризуется степенью заполнения общего объема сыпучих материалов межзерновыми пустотами. Пустотность вычисляют по формулам

$$P_y = 1 - \frac{\rho_{cp}}{\rho_H} \quad (11)$$

или

$$P_y = \frac{\rho_{cp} - \rho_H}{\rho_{cp}} \cdot 100\% \quad (12)$$

где ρ_H – насыпная плотность материала, г/см³;
 ρ_{cp} – средняя плотность материала, г/см³.

Пористость и пустотность рассчитывают на основании результатов определения истинной, средней и насыпной плотности.

5. *Водопоглощение*

Водопоглощение характеризуется способностью сухих материалов впитывать и удерживать воду. Оно характеризует степень заполнения объема материала водой.

Определение водопоглощения по объему принято выражать отношением разницы масс насыщенного водой и сухого материала к массе сухого материала.

Образцы высушивают, очищают от пыли и взвешивают. Затем помещают в сосуд с водой при температуре 20 ± 5 °С так, чтобы слой воды над образцами был не менее 2 см и выдерживают в течение 2 ч (по ГОСТ – 48 ч). После этого каждый образец вытирают влажной мягкой тканью и взвешивают.

Для вычисления водопоглощения в % по массе пользуются формулой:

$$W = \frac{m_1 - m}{m} \cdot 100\%, \quad (13)$$

где m – масса сухого материала, г;

m_1 – масса материала, насыщенного водой, г.

Водопоглощение различных материалов по массе колеблется в широких пределах (мас.%): гранита – 0,02...0,7, тяжелого бетона – 2...4, кирпича – 8...15, пористых теплоизоляционных материалов – 100 и более.

6. *Водонасыщение и морозостойкость*

Водонасыщение – способность материала поглощать воду при выдерживании в ней насыщенного водой образца под давлением или в вакууме. В этих условиях поры освобождаются от находящегося в них воздуха и заполняются водой, поэтому показатель водонасыщения больше показателя водопоглощения.

Морозостойкость – способность материала в водонасыщенном состоянии выдерживать многократное замораживание и оттаивание без заметных разрушений и потери прочности.

Морозостойкость материала количественно оценивается маркой по морозостойкости, за которую принимают наибольшее число циклов попеременного замораживания и оттаивания, которое выдерживают образцы материала без снижения прочности на сжатие более 15 % (потеря массы не более 5 %). От морозостойкости зависит долговечность материалов в сооружениях.

Для определения водонасыщения и морозостойкости материалов требуется специальное оборудование и большие затраты времени, поэтому студенты знакомятся с этими методами теоретически.

Контрольные вопросы

1. Что такое истинная плотность?
2. Что такое средняя плотность?
3. Истинная плотность и средняя плотность – величины постоянные или переменные? И почему?
4. Зависит ли истинная плотность и средняя плотность от пористости?
5. Средняя плотность материала больше или меньше его истинной плотности и почему?
6. Что такое пористость материала и от чего она зависит?
7. Какая из указанных цифр характеризует истинную, среднюю и насыпную плотность материала: 2300, 1400, 2800 кг/м³?
8. На какие свойства строительных материалов и как влияет их пористость?
9. Как определяется морозостойкость строительных материалов и от чего она зависит?

Лабораторная работа № 2

Механические свойства строительных материалов

Цель работы: освоить методы определения механических свойств строительных материалов и горных пород; уяснить взаимосвязь физических и механических свойств материалов.

Оборудование и материалы: пресс гидравлический, полочный ба- рабан для испытания образцов на истираемость, копер ПМ для испытания образцов на хрупкость при ударе, металлическая линейка, весы, шары стальные или чугунные диаметром 48 мм, массой (405±10) г каждый, цилиндр стальной со съёмным дном и плунжером с внутренним диаметром 75 и 150 мм, сита, материалы для испытаний, образцы различных горных пород, растворного и гипсового камня, тяжелого бетона, асфальтобетона.

Основные понятия

Механические свойства строительных материалов характеризуют их способность сопротивляться деформированию и разрушению под воздействием внутренних напряжений, возникающих при приложении внешних сил.

В зависимости от условий работы в инженерных конструкциях дорожно-строительные материалы могут воспринимать воздействие статических и динамических нагрузок. В результате материал может подвергаться сжатию, растяжению, изгибу, истиранию, срезу, кручению, нагреванию, что обуславливает его деформирование и разрушение.

К основным физическим свойствам горных пород и строительных материалов относятся: прочность (предел прочности при изгибе и предел прочности при сжатии), твердость, упругость, пластичность, хрупкость, истираемость, сопротивление удару, водостойкость.

1. Предел прочности при изгибе

Сущность метода заключается в приложении сосредоточенной нагрузки к образцу, расположенному на двух опорах в середине пролета.

Определение предела прочности при изгибе производят на образцах-балочках растворного или гипсового камня размером $40 \times 40 \times 160$ см на прессе.

Образец устанавливают на двух опорах. Нагрузку прикладывают в середине пролета и равномерно распределяют по ширине образца согласно рис. 1. Нагрузка на образец должна возрастать непрерывно со скоростью, обеспечивающей его разрушение через 20 - 60 с после начала испытаний.

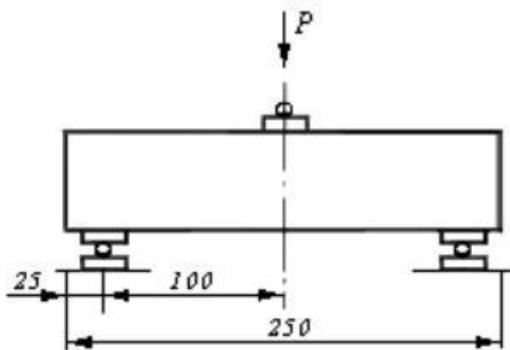


Рис. 1. - Схема испытания кирпича на изгиб

Предел прочности при изгибе $R_{изг}$, МПа (кгс/см²), образца вычисляют по формуле

$$R_{изг} = \frac{3Pl}{2bh^2}, \quad (14)$$

где P - наибольшая нагрузка, установленная при испытании образца, МН (кгс);

l - расстояние между осями опор, м (см);

b - ширина образца, м (см);

h - высота образца посередине пролета без выравнивающего слоя, м (см).

Предел прочности при изгибе образцов в партии вычисляют с точностью до 0,05 МПа (0,5 кгс/см²) как среднее арифметическое значение результатов испытаний установленного числа образцов.

При вычислении предела прочности при изгибе образцов в партии не учитывают образцы, пределы прочности которых имеют отклонение от среднего значения предела прочности всех образцов более чем на 50 % и не более чем по одному образцу в каждую сторону.

Предел прочности при изгибе вычисляют как среднее арифметическое значение двух наибольших результатов испытаний из трех.

2. Предел прочности при сжатии

Предел прочности при сжатии (напряжение, возникающее в момент разрушения образца), МПа.

Предел прочности при сжатии изделия $R_{сж}$ вычисляют как частное от деления разрушающей нагрузки P в кгс на площадь рабочей поверхности образца F , м²:

$$R_{сж} = \frac{P}{F} \quad (15)$$

При определении предела прочности при сжатии образцов растворного или гипсового камня, полученные после испытания на изгиб шесть половинок балочек подвергают испытанию на сжатие. Половинку балочки помещают между двумя пластинами таким образом, чтобы боковые грани, которые при изготовлении прилегали к стенкам формы, находились на плоскостях пластинок, а упоры пластинок плотно прилегали к торцевой гладкой поверхности образца. Образец вместе с пластинами центрируют на опорной плите пресса.

Предел прочности при сжатии отдельного образца вычисляют как частное от деления разрушающей нагрузки на рабочую площадь пластины, равную 25 см². Предел прочности при сжатии вычисляют как

среднее арифметическое значение четырех наибольших результатов испытаний шести образцов и *выражают в МПа.*

Предел прочности при сжатии тяжелого бетона определяют на образцах-кубах с ребром 15 или 10 см.

3. Истираемость

Истираемость – способность материала уменьшаться в массе и объеме под действием истирающих усилий. Истираемость имеет большое значение для материалов, используемых при строительстве и эксплуатации железных и автомобильных дорог.

Истираемость (износ) щебня определяют по потере массы зерен при испытании пробы в полочном барабане (рис. 2) с шарами.

Испытываемый щебень не должен содержать пылевидных и глинистых частиц более 1 % по массе. В противном случае щебень (гравий) предварительно промывают и высушивают.

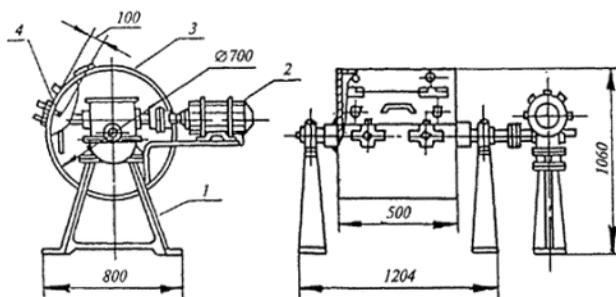


Рис. 2. – Полочный барабан:

1 - станина; 2 - двигатель; 3 - барабан; 4 - полка барабана

Подготовленную пробу загружают в полочный барабан вместе с чугунными или стальными шарами, закрепляют крышку барабана и приводят его во вращение со скоростью 30-33 об/мин.

По окончании испытания содержимое барабана просеивают через сито с отверстиями диаметром 5 мм и контрольное сито с сеткой № 1,25. Суммарные остатки на ситах взвешивают.

Истираемость щебня I , %, определяют по формуле

$$I = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100\%, \quad (16)$$

5,0 мм — » св. 20 до 40 мм.

Остаток щебня на сите после просеивания взвешивают и определяют показатель дробимости с точностью до 1 %:

$$D_p = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100\%, \quad (17)$$

где m - масса аналитической пробы щебня, г;

m_1 - масса остатка на контрольном сите после просеивания раздробленной в цилиндре пробы щебня, г.

5. Хрупкость при ударе

Хрупкость – свойство материала мгновенно разрушаться под действием внешних сил без предварительной деформации. Хрупкость противоположна пластичности. Эти характеристики зависят от температуры и режима нагружения. К хрупким материалам относят природные камни, керамические материалы, стекло, чугун, бетон и т.п.

Сущность метода определения хрупкости при ударе заключается в приложении к образцу динамической ударной нагрузки на специальном копре и фиксации количества ударов, которое выдерживает образец до появления первой трещины.

Образец кубовидной формы устанавливают на наковальню копра и прижимают металлической плитой точно по центру. Затем наносят удар с помощью гири в центр верхней плоскости образца. Первый удар наносят с высоты 1 см, второй – с 2 см, третий – с 3 см и т.д. до разрушения образца, т.е. до появления первой трещины. Показателям хрупкости служит порядковый номер удара, предшествующий разрушению.

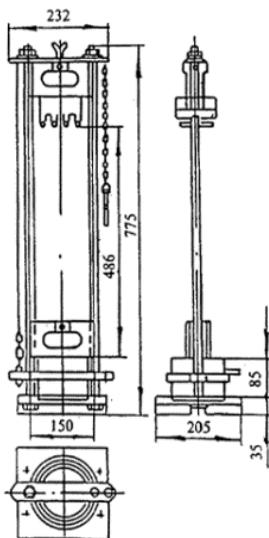


Рис. 4. Копер ПМ

По степени хрупкости материал разделяют на 4 группы:

- | | |
|-------------------------------|-----------|
| 1 – очень хрупкие..... | менее 2; |
| 2 – хрупкие..... | 2 – 5; |
| 3 – пониженной хрупкости..... | 2 – 10; |
| 4 – нехрупкие..... | более 10. |

Величину степени хрупкости вычисляют как среднее арифметическое результатов двух параллельных испытаний.

6. Твердость

Твердость – свойство материала сопротивляться прониканию в него другого материала, более твердого. Это свойство имеет большое значение для материалов, используемых в полах и дорожных покрытиях. Кроме того, твердость материалов влияет на трудоемкость его обработки.

Существует несколько способов определения твердости.

Твердость по Бринеллю для древесины, бетона определяют, вдавливая в образцы стальной шарик. О величине твердости судят по глубине вдавливания шарика или по диаметру полученного отпечатка.

Твердость природных каменных материалов определяют по шкале твердости Мооса, в которой десять специально подобранных минера-

лов расположены в такой последовательности, когда следующий по порядку минерал оставляет черту (царапину) на предыдущем, а сам им не чертится (табл. 4).

Испытуемый образец помещают на прочную подставку и острой гранью пробного минерала легким и равномерным нажатием проводят по его поверхности, затем образец внимательно осматривают.

Таблица 4

Шкала твердости минералов

Минерал	Показатель твердости
Тальк	1
Гипс	2
Кальцит	3
Флюорит (плавиковый шпат)	4
Апатит	5
Ортоклаз (полевошпатовый шпат)	6
Кварц	7
Топаз	8
Корунд	9
Алмаз	10

Степень твердости материала соответствует твердости минерала, предшествующего тому, который повреждает поверхность образца.

Контрольные вопросы

1. Какие основные свойства характеризуют качество материала и области его применения?
2. Что такое предел прочности при сжатии и марка бетона? В чем измеряются эти величины?
3. Что такое истираемость? Как она определяется?
4. Какими приборами определяют хрупкость и дробимость? Для чего нужны эти показатели?

Лабораторная работа № 3

Испытание песка

Цель работы: ознакомиться с методами испытаний песка, оценить его качество.

Оборудование и материалы: весы технические, мерный сосуд, пикнометр, песчаная или водяная баня, сушильный шкаф, эксикатор, дистиллированная вода, концентрированная серная кислота или безводный хлорид кальция; стандартный набор сит с размером отверстий 2,5; 1,25; 0,63; 0,315; 0,14 мм; сосуд для отмучивания.

Основные понятия

Песок – рыхлая смесь зерен крупностью 0,14...5 мм, образовавшаяся в результате естественного разрушения массивных горных пород (природные пески). Кроме природных песков применяют искусственные, получаемые путем дробления горных пород.

Чаще всего встречаются кварцевые пески с примесью полевого шпата, слюды и зерен других материалов, реже – полевошпатные, известковые и другие пески. В песке имеются примеси пылеватых и глинистых частиц, иногда органических веществ.

Для оценки качества песка, предназначенного для тяжелого бетона, а также для конструктивных слоев карьерных автомобильных дорог и балластной подушки железнодорожного пути, в лаборатории определяют его насыпную плотность, истинную плотность, пустотность, влажность, зерновой состав и модуль крупности, содержание пылевидных и глинистых частиц.

1. Определение насыпной плотности песка

Насыпная плотность песка зависит от степени уплотнения, влажности и пустотности. Насыпную плотность песка необходимо знать для расчета состава бетона, определения пустотности песка, а также для расчетов, связанных с перевозкой песка, проектированием складов заполнителей и т.д. Насыпную плотность песка ($\rho_{\text{нас.}}$) определяют по методике, изложенной в п. 3 лабораторной работы №1. Объем мерного сосуда, используемого для испытаний, 1 л. Количество песка, необходимого для проведения испытания, составляет 5 кг.

2. *Определение истинной плотности песка*

Для определения истинной плотности (ρ) песок готовят следующим образом: берут навеску около 30 г, просеивают ее через сито с отверстиями диаметром 5 мм. Далее работа осуществляется по методике, приведенной в п. 1 лабораторной работы №1.

3. *Определение пустотности песка*

Пустотность (объем межзерновых пустот) песка зависит от содержания в нем зерен различной крупности, их расположения и степени уплотнения песка.

Пустотность песка в стандартном неуплотненном состоянии определяют по методике, изложенной в п. 4 лабораторной работы №1.

4. *Определение зернового состава и модуля крупности*

Зерновой состав песка характеризуется крупностью отдельных фракций и количеством каждой фракции.

Зерновой состав песка определяется просеиванием высушенной пробы (1 кг) через стандартный набор сит с размерами отверстий 2,5; 1,25; 0,63; 0,315; 0,14 мм. Просеивание считается законченным, если при интенсивном встряхивании сита над листом бумаги не наблюдается падение зерен песка.

По результатам просеивания вычисляют:

а) частные остатки на каждом сите, %

$$a_i = \frac{m_i}{m} \cdot 100\%, \quad (18)$$

где m_i – масса остатка на данном сите, г;

m – масса просеиваемой навески, г;

б) полные остатки на каждом сите, определяют как сумму частных остатков на всех ситах с большим размером отверстий плюс остаток на данном сите, %

$$A_i = a_{2,5} + a_{1,25} + \dots + a_i,$$

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

Для оценки крупности песка применяется безразмерный показатель – *модуль крупности* M_k , величина которого вычисляется из отношения суммы полных остатков на ситах от 2,5 мм до 0,14 мм ко всей пробе:

$$A_i = \frac{A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,14}}{100}, \quad (19)$$

где $A_{2,5}$, $A_{1,25}$, $A_{0,63}$, $A_{0,315}$, $A_{0,14}$ – полные остатки на ситах диаметром 2,5; 1,25; 0,63; 0,315; 0,14 мм, %.

По модулю крупности и величине полного остатка на сите №0,63 определяется группа песка и его применение (табл. 5).

Таблица 5

Классификация песков по крупности

Группа песка	Модуль крупности	Полный остаток на сите №0,63, % по массе
Очень крупный Повышенной крупности	Свыше 3,5	Свыше 75
	3,0...3,5	65...75
Крупный	2,5...3,0	45...65
Средний	2,0...2,5	30...45
Мелкий	1,5...2,0	10...30
Очень мелкий	1,0...1,5	До 10
Тонкий	0,7...1,0	Не нормируется
Очень тонкий	До 0,7	То же

Определяющим показателем при назначении группы является модуль крупности.

5. Определение содержания пылевидных и глинистых частиц

Содержание пылевидных и глинистых частиц определяют по изменению массы песка после отмучивания. Навеску песка массой 1 кг помещают в сосуд для отмучивания и заливают водой до верхнего сливного отверстия. Залитый водой песок выдерживают в течение 2 ч, перемешивая его несколько раз, и тщательно отмывают от приставших к зернам глинистых частиц. После этого содержимое сосуда для отмучивания снова энергично перемешивают и оставляют в покое на 2 мин. Через 2 мин сливают образовавшуюся суспензию через два нижних отверстия прибора для отмучивания. Промывку песка в указанной последовательности повторяют до тех пор, пока вода после промывки будет оставаться прозрачной.

После отмучивания промытую навеску высушивают до постоянной массы.

Содержание в песке отмучиваемых пылевидных и глинистых частиц в процентах по массе вычисляют по формуле:

$$П_{\text{отм}} = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100, \quad (20)$$

где m – масса высушенной навески до отмучивания, г;
 m_1 – масса высушенной навески после отмучивания, г.
 Результаты испытаний песка представляют в виде табл. 6.

Таблица 6

Результаты испытания песка

Показатель	Результаты испытаний
Насыпная плотность, кг/м ³	
Истинная плотность, кг/м ³	
Пустотность, %	
Модуль крупности	
Группа песка	
Содержание пылевидных и глинистых частиц, %	

Контрольные вопросы

1. От чего зависит насыпная плотность и пустотность песка?
2. Что такое частный остаток?
3. Что такое полный остаток?
4. Что такое модуль крупности песка?
5. Сколько групп песка по крупности Вы знаете?
6. Определите группу песка, если его модуль крупности и полный остаток на сите 0,63 мм равны соответственно а) 2,4; 47%; б) 1,2; 11%.

Лабораторная работа № 4

Испытания щебня (гравия)

Цель работы: определить основные свойства щебня (гравия), оценить его качество.

Оборудование и материалы: весы технические, мерные емкости 5 и 10 л; стандартный набор сит с размером отверстий 70; 40; 20; 10; 5 мм (помимо этого набор сит с размерами отверстий 60; 40; 25 мм); копёр ПМ; полочный барабан; пресс гидравлический; цилиндр стальной со съемным дном и плунжером с внутренним диаметром 75 мм; амперметр; вольтметр; трансформатор лабораторный регулировочный; трансформатор разделительный; куб измерительный из органического стекла 50×50×50 мм; электроды размером 50×50×1 мм в количестве 2 шт.; сито с отверстиями размером 3 мм; шкаф сушильный; щебень.

Основные понятия

Щебень – рыхлая смесь, получаемая дроблением больших кусков различных горных пород, а также кирпичного боя, шлаков и др.

Гравий – рыхлая смесь зерен округлой формы, образовавшейся в результате естественного разрушения (выветривания) твердых горных пород. Помимо этого гравий может быть речным и морским.

Щебень отличается от гравия остроугольной формой и шероховатой поверхностью зерен.

Качество щебня (гравия) применяемого для строительства конструктивных слоев автомобильных дорог и балластного слоя железнодорожного пути, а также для производства бетона характеризуется зерновым составом, истинной, средней и насыпной плотностью, пустотностью, марками по дробимости, истираемости и сопротивлению удару, содержанием пластинчатых (лещадных) и игловатых зерен, удельной электрической проводимостью.

1. Определение насыпной плотности щебня

Насыпную плотность определяют с помощью мерного цилиндра, объем которого зависит от крупности щебня (гравия). Например, при наибольшей крупности щебня (гравия) 10 мм объем мерного цилиндра должен быть 5 л, при крупности 20 мм – 10 л, 40 мм – 20 л и свыше 40 мм – 50 л. Дальнейшая работа проводится по методике, изложенной в п. 3 лабораторной работы №1.

2. Определение средней плотности в зерне

С целью определения плотности горной породы произвольной формы с мелкими открытыми порами разрешается покрывать образцы парафином и выполнять испытание согласно методике, приведенной в п. 2.2 лабораторной работы №1.

Для испытания используют два куска горной породы крупностью более 40 мм и вычисляют значение средней плотности как среднее арифметическое двух измерений.

3. Определение пустотности щебня (гравия)

Пустотность щебня (гравия) рассчитывают на основании полученных значений насыпной и средней плотности, согласно п. 4 лабораторной работы №1.

4. Определение зернового состава

Сущность метода заключается в определении частных и полных остатков на стандартных ситах после просеивания пробы щебня (гравия).

Частным остатком на сите данного диаметра называют отношение массы щебня на сите этого диаметра к общей массе просеиваемой пробы, выраженное в процентах (a_i).

Полным остатком на сите данного диаметра называют сумму частных остатков к общей массе просеиваемой пробы щебня (гравия), выраженное в процентах (A_i).

Для определения зернового состава щебня (гравия) используемого для строительства автомобильных дорог отвешивается 5 кг пробы, которая просеивается через стандартный набор сит с отверстиями 70; 40; 20; 10; 5 мм; для строительства балластного слоя железнодорожного пути через набор сит с отверстиями 60; 40; 25 мм. Сита с более крупными отверстиями располагаются над ситами с более мелкими отверстиями. Просеивание ведут механическим или ручным способом. После просеивания взвешивают остатки на каждом сите, вычисляют в процентах частные и полные остатки на каждом сите и устанавливают наибольшую и наименьшую крупность щебня (гравия).

Частные остатки рассчитывают по формуле (18).

Полные остатки определяют по формуле:

$$A_i = a_{70} + a_{40} + \dots + a_i, \quad (21)$$

где a_{70} , a_{40} , a_i – частные остатки на ситах с большими размерами отверстий плюс остаток на данном сите, %;

По результатам просеивания устанавливают наибольшую $D_{\text{наиб.}}$ и наименьшую $D_{\text{наим.}}$ крупность зерен. За наибольшую крупность зерен принимают размер отверстий того верхнего сита, на котором полный остаток не превышает 5% просеиваемой пробы, за наименьшую – размер отверстий того нижнего сита, через которое проходит не более 95% просеиваемой пробы.

Кроме того вычисляют значения $0,5(D_{\text{наиб.}} + D_{\text{наим.}})$ и $1,25 D_{\text{наиб.}}$ – эти значения округляют до ближайшего размера отверстий стандартного сита.

5. Определение содержания в щебне пластинчатых (лещадных) и игловатых зерен

Пластинчатыми (лещадными) и игловатыми зернами считаются зерна щебня, толщина которых менее длины в три и более раза.

Содержание зерен пластинчатой (лещадной) или игловатой формы определяют отдельно для каждой фракции щебня (гравия).

При наличии в испытываемом щебне (гравии) какой-либо фракции в количестве менее 5% по массе содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм в этой фракции не определяют.

Для определения содержания в щебне (гравии) лещадных и игловатых зерен используют остатки на ситах, полученных при определении зернового состава щебня (гравия). При этом от фракции 10...20 мм берут навеску массой 1 кг. Рассыпав отобранный щебень (гравий) на листе белой бумаги, выбирают визуально из общей массы зерна пластинчатой и игловатой формы. В сомнительных случаях зерна измеряют передвижным шаблоном или штангенциркулем. Далее взвешивают все отобранные лещадные и игловатые зерна.

Содержание пластинчатых (лещадных) и игловатых зерен в щебне (гравии) определяют по формуле:

$$П = \frac{m_1}{m} \cdot 100\%, \quad (22)$$

где m – масса пробы, г;

m_1 – масса зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм, г.

В зависимости от содержания зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы щебень подразделяют на пять групп (табл. 7).

Таблица 7

Группа щебня по содержанию зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы

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

В щебне для дорожного строительства содержание зерен лещадной и игловатой формы должно быть не более 35%, для устройства балластного слоя железнодорожного пути не более 15%.

6. *Определение дробимости щебня при сжатии в цилиндре*

Прочность щебня и гравия характеризуют маркой, определяемой по дробимости щебня (гравия) при сжатии (раздавливании) в цилиндре. Дробимость определяют по методике п. 4 лабораторной работы №2.

Марки щебня в зависимости от потери в массе (%) при определении дробимости щебня из осадочных и метаморфических пород приведены в табл. 8, марки по дробимости щебня из изверженных пород – в табл. 9 .

Таблица 8

Марка щебня по дробимости из осадочных и метаморфических пород

Марка по дробимости щебня из осадочных и метаморфических пород	Потеря массы при испытании щебня , %
1200	До 11
1000	11...13
800	13...15
600	15...19
400	19...24
300	24...28
200	28...35

Таблица 9

Марки щебня по дробимости из изверженных пород

Марка по дробимости щебня из изверженных пород	Потеря массы при испытании щебня , %	
	из интрузивных пород	из эффузивных пород
1400	До 12	До 9
1200	12...16	9...11
1000	16...20	11...13
800	20...25	13...15
600	25...34	15...20

Дробимость щебня для покрытий и оснований автомобильных дорог должна быть в пределах 11...24%, т.е. применяемый щебень должен иметь марку по дробимости от 1200 до 400. Для щебня, используемого для возведения балластного слоя железнодорожного пути, данный показатель не нормируется.

7. Определение истираемости в полочном барабане

Щебень и гравий, предназначенные для строительства автомобильных дорог, характеризуют маркой по истираемости в полочном барабане. Истираемость (износ) щебня (гравия) определяют по потере массы зерен при испытании пробы в полочном барабане с шарами.

Для определения истираемости (износа) щебня (гравия) в полочном барабане от фракции щебня (гравия) 10...20 мм отбирают пробу массой 5 кг. При испытании щебня, предназначенного для устройства балластного слоя железнодорожного пути, берут навеску щебня (гравия) фракции 25...40 мм массой 10 кг. Подготовленную пробу загружают в полочный барабан (рис. 2) вместе с чугунными или стальными шарами.

Число чугунных или стальных шаров необходимых для испытания пробы и общее число оборотов барабана в процессе испытания щебня (гравия) принимают по данным табл. 10.

Таблица 10

Размер фракции щебня (гравия), мм	Число чугунных или стальных шаров, необходимое для испытания пробы, шт.	Число оборотов полочного барабана, необходимое для испытания пробы
Св. 10 до 20	11	500
Св. 20 до 40	12	1000

Дальнейшие испытания и расчеты по определению истираемости щебня (гравия) проводят согласно п. 3 лабораторной работы №2.

Марки по истираемости щебня и гравия, используемого для строительства автомобильных дорог должны соответствовать требованиям, приведенным в табл. 11.

Таблица 11

Марки по истираемости щебня и гравия

Марка по истираемости щебня и гравия	Потеря массы при испытании щебня, %	
	щебня	гравия
И1	До 25	До 20
И2	25...35	20...30
И3	35...45	30...40
И4	45...60	40...50

Для строительства балластного слоя железнодорожного пути может применяться только щебень, имеющий марку по истираемости И1.

8. *Определение сопротивления ударным воздействиям на копре ПМ*

Марка щебня по сопротивлению удару определяется по степени разрушения зерен и оценивается по изменению зернового состава щебня после проведенного испытания. Данный прочностной показатель необходим только для щебня, применяемого для устройства балластного слоя железнодорожного пути.

Из щебня, оставшегося после просеивания на сите отверстиями 25 (20) мм, готовят две пробы. Испытываемый щебень всыпают в специальный мерный сосуд с внутренним диаметром 105 мм и высотой 58 мм. Лишний щебень снимают вровень с краями сосуда. Сосуд с щебнем взвешивают. Массу аналитической пробы m , г, определяют по формуле

$$m = m_1 - m_2, \quad (23)$$

где m_1 – масса пробы щебня (гравия) с мерным сосудом, г;

m_2 – масса мерного сосуда, г.

Каждую пробу щебня высыпают из мерного цилиндра и стальную ступку копра ПМ и разравнивают его поверхность для достижения одного уровня расположения зерен в ступке. Пробу подвергают ударам бойка массой 5 кг, падающего с высоты 50 см.

После каждого удара бойка ступку с помощью рукоятки поворачивают на 45° и устанавливают по направлению указателей, сделанных на подставке копра ПМ.

После 40 ударов бойка все содержимое ступки просеивают через сита с отверстиями 5; 3; 1 и 0,5 мм, остатки на каждом сите взвешивают и определяют полные остатки на каждом сите.

Сопротивление щебня удару на копре У определяют по формуле:

$$У = \frac{25}{4 - A}, \quad (24)$$

где A – показатель крупности пробы после испытания, определяемый по формуле:

$$A = \frac{m_1 + m_2 + m_3 + m_4}{m}, \quad (25)$$

где m_1 , m_2 , m_3 , m_4 – полные остатки на ситах с отверстиями диаметрами 5; 3; 1 и 0,5 мм, г;

m – первоначальная масса пробы, г.

За результат испытания принимают среднеарифметическое значение сопротивления удару двух параллельных определений.

Марка щебня по сопротивлению удару должна быть У75, то есть показатель сопротивления удару должен быть более 75.

9. *Определение электроизоляционных свойств щебня для балластного слоя железнодорожного пути*

Электроизоляционные свойства щебня определяют по удельной электрической проводимости насыщенного раствора, получаемого при перемешивании размельченного щебня с дистиллированной водой.

Пробу щебня массой 6 кг измельчают в лабораторной дробилке и просеивают через сито с отверстиями размером 3 мм.

Прошедшую через сито измельченную пробу засыпают в цилиндрический сосуд до отметки 4 л равномерными слоями, уплотняя деревянной штыковкой каждый слой до постоянного объема.

Отмеренный объем измельченной пробы высыпают в цилиндрический оцинкованный сосуд объемом 10 л, заливают 3,5 л дистиллированной воды и тщательно перемешивают.

Перемешивание и определение электрической проводимости раствора производят в измерительном кубе до тех пор, пока его электрическая проводимость не стабилизируется. Постоянная электрическая проводимость раствора свидетельствует о том, что раствор стал насыщенным.

Насыщенный раствор объемом 2 л наливают в сосуд для выпаривания и выпаривают его до объема 0,2 л. Охлаждают раствор до комнатной температуры, выливают в измерительный куб и определяют электрическую проводимость следующим образом. Электроды зачищают до блеска и устанавливают на двух противоположных боковых стенках измерительного куба. Куб промывают дистиллированной водой и наливают в него полученный насыщенный раствор, электрическую проводимость которого необходимо определить. Уровень раствора должен совпадать с верхними краями электродов. Выводы электродов подключают к измерительной схеме согласно рис. 5.

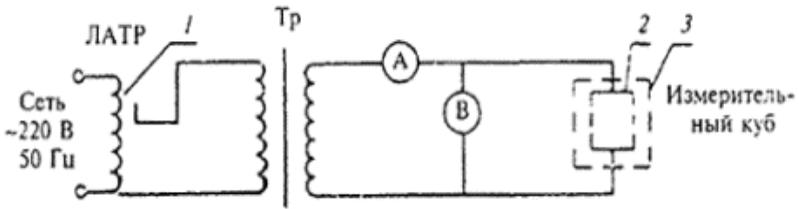


Рис. 5. Измерительная схема:

I – лабораторный регулировочный трансформатор (ЛАТР); 2 – электрод; 3 – измерительный куб

Вращением рукоятки лабораторного регулировочного трансформатора устанавливают напряжение между электродами 5 - 10 В и измеряют ток, протекающий через измерительный куб при одном и том же напряжении между электродами.

Электрическую проводимость S , См, определяют по формуле:

$$S = \frac{I}{U}, \quad (26)$$

где I – сила тока при фиксированном напряжении, А;

U – напряжение между электродами, В.

Для получения значений удельной электрической проводимости раствора необходимо вычисленные по формуле (26) значения электрической проводимости умножить на постоянный для измерительного куба коэффициент 20.

Щебень пригоден для балластного слоя железнодорожного пути, если удельная электрическая проводимость не превышает значений:

0,06 См/м в насыщенном растворе, образующемся от растворения щебня (водная вытяжка) в дистиллированной воде;

0,35 См/м в выпаренном до 0,2 л насыщенном растворе.

За результат принимают среднearифметическое значение трех параллельных определений. За результат принимают среднearифметическое значение двух параллельных определений.

Результаты испытаний представляют в виде табл. 12.

Таблица 12

Результаты испытаний щебня (гравия)

Показатель	Результаты испытания
Насыпная плотность, кг/м ³ Средняя плотность в зерне, кг/м ³ Пустотность, % Зерновой состав: - наименьшая крупность, мм - наибольшая крупность, мм Содержание зерен пластинчатой и игловатой формы, %, и группа по данному показателю Марка по дробимости в цилиндре Марка по истираемости в полочном барабане Марка щебня по сопротивлению удару Удельная электрическая проводимость, См/м	

Контрольные вопросы

1. Что такое пустотность щебня (гравия) и от чего она зависит?
2. На ситах какого размера необходимо производить определение гранулометрического состава щебня (гравия)?
3. Что такое зерна пластинчатой (лещадной) и игловатой формы?
4. Сколько групп щебня в зависимости от содержания пластинчатых (лещадных) и игловатых зерен Вы знаете?
5. Что такое марка щебня по дробимости, как она определяется?
6. Что такое марка щебня по истираемости?
7. Как определяется марка щебня по сопротивлению удару?
8. Для щебня используемого в каких конструктивных слоях дорог необходимо определять марку по сопротивлению удару и почему?
9. Что такое электроизоляционные свойства щебня; для чего их необходимо знать и нормировать?

Лабораторная работа № 5

Испытание керамического кирпича

Цель работы: произвести испытания керамического кирпича, определить его марку.

Оборудование и материалы: весы технические, угольник, линейка, пресс гидравлический, стеклянная пластина, цементный раствор, кирпич.

Основные понятия

Керамический кирпич относится к стеновым керамическим изделиям. Сплошной керамический кирпич имеет форму прямоугольного параллелепипеда размером $250 \times 120 \times 65$ мм с прямыми ребрами. Модульный кирпич имеет размер $250 \times 120 \times 88$ мм. Масса одного кирпича должна быть не более 4 кг.

Кирпич не должен иметь механических повреждений и сквозных трещин. В зависимости от предела прочности при сжатии кирпич подразделяют на марки 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300.

Плотность кирпича $1300 \div 1450$ кг/м³; теплопроводность $0,7 \div 0,82$ Вт/(м·°С); водопоглощение не менее 8%; морозостойкость не менее 15 циклов переменного замораживания и оттаивание. Кирпич применяют для кладки стен домов, изготовления сборных стеновых панелей, кладки печей и дымовых труб. Качество кирпича устанавливают осмотром, обмериванием, механическими испытаниями, определением водопоглощения и морозостойкости.

1. Оценка внешнего вида кирпича

Приготовленные образцы кирпича подвергают внешнему осмотру, в процессе которого устанавливают качество обжига кирпича: наличие пережога или недожога, трещин, сколов или округленности ребер и углов. Признаками недожога служит светлый цвет кирпича в сравнении с эталоном и глухой звук от удара молотком по кирпичу. Пережженный кирпич характеризуется оплавлением и, как правило, сильно искривлен.

После внешнего осмотра кирпич измеряют по длине, ширине и толщине, а также определяют искривления поверхностей и ребер и длину трещин.

Кирпич измеряют с помощью угольника и линейки. Угольник прикладывают к кирпичу, как показан на рис. 6 и линейкой определяют величину зазора a между угольником и плоскостью кирпича.

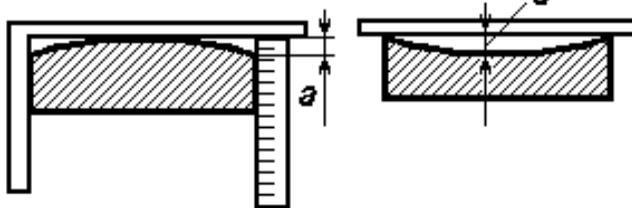


Рис. 6. Измерения отклонения геометрических размеров кирпича керамического

Результаты по внешнему осмотру и отклонения геометрических размеров заносят в табл. 13.

На основании результатов измерений и сравнения их с требованиями ГОСТ 7025-91, оценивают пригодность глиняного кирпича.

Таблица 13

Определения качества кирпича по внешним признакам

№ п/п	Показатели внешнего вида кирпича	Основные требования по ГОСТ	Результаты определения внешнего вида кирпича		
			1	2	3
1.	Размеры: длина, мм ширина, мм толщина, мм	250 120 65			
2.	Допустимые отклонения: по длине, мм по ширине, мм по толщине, мм	±5 ±4 ±3			
4.	Трещины сквозные				
5.	Степень обжига кирпича				

2. Определение марки кирпича

Марку кирпича определяют по пределу прочности при сжатии и изгибе.

2.1. Предел прочности кирпича при сжатии

Кирпич распиливают на две равных половинки, накладывают их постелями одну на другую (плоскостями распила в противоположные стороны) и скрепляют между собою цементным тестом слоем 5 мм. Тем же тестом, слоем не более 3 мм, покрывают обе поверхности параллельные шву, как показан на рис. 7.

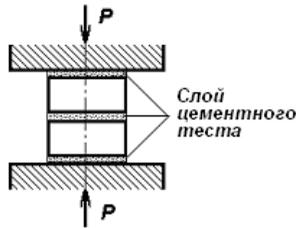


Рис. 7. Испытание кирпича на сжатие

Соединения половинок кирпича выполняют на столе. Поверхность кирпича предварительно смачивают водой. Цементное тесто кладут на стекло, покрытое смоченной бумагой, с таким расчетом, чтобы толщина слоя не превышала 3 мм. Потом одну половинку кирпича укладывают на цементное тесто и слегка прижимают, после чего верхнюю поверхность половинки кирпича покрывают тем же тестом, толщина слоя не более 5 мм и на него укладывают другую, половинку кирпича, слегка прижимая. Верхнюю поверхность второй половинки кирпича также покрывают цементным тестом, толщина слоя не более 3 мм и прижимают стеклом, предварительно накрыв тесто смоченной бумагой.

Скрепления половинок кирпича и выравнивание рабочих поверхностей образцов необходимо для равномерного распределения нагрузки по всей поверхности кирпича, при неровной поверхности давление концентрируется на отдельных выступающих участках, и полученный результат будет меньше действительного.

Для затвердения цемента образцы выдерживают до испытания на воздухе 3÷4 суток при 15-20°C.

Перед испытанием измеряют рабочую площадь граней образцов. Испытания проводят на гидравлическом прессе.

Предел прочности при сжатии кирпича $R_{сж}$, кг/см² вычисляют как частное от деления разрушающей нагрузки P в кг на площадь рабочей поверхности образца F см²:

$$R_{сж} = \frac{P}{F}, \quad (27)$$

Результаты испытаний заносят в табл. 14.

Таблица 14

Определения границы прочности кирпича на сжатие

№ п/п	Размеры кирпича		Площадь поперечного сечения F, см ²	Разрушительная нагрузка P, кг	Предел прочности при сжатии $\sigma = P/F$, кг/см ²
	длина	ширина			
	L, мм	B, мм			
1					
2					
3					
4					

2.2. Предел прочности кирпича на изгиб

Предел прочности при изгибе определяют путем испытания кирпича приложением сосредоточенной нагрузки к образцу, расположенному по постели на двух сопротивлениях на расстоянии 20 см одна от одной в середине пролета (рис. 8).

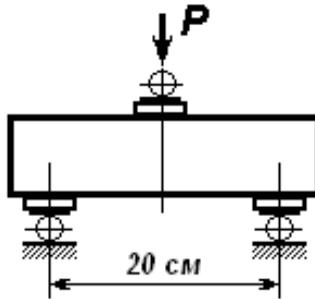


Рис. 8. Схема испытания кирпича на изгиб

Сопротивления представляют собой цилиндрические катки диаметром 20 мм. Такая же нагрузка передается посредине через каток.

Предел прочности при изгибе $\sigma_{изг}$, кг/см² рассчитывают по формуле:

$$\sigma_{изг} = \frac{3 \cdot P \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2}, \quad (28)$$

где P - разрушительная нагрузка, кг;

l - длина пролета между сопротивлениями (испытательная база) 20 см;

b - ширина кирпича 12 см;

h – высота (толщина) кирпича 6,5 см.

Результаты испытаний заносят в табл. 15.

Таблица 15

Определение предела прочности кирпича на изгиб

№ п/п	Ширина кирпича	Толщина кирпича	Расстояние между сопротивлениями	Разрушительная нагрузка, кг	Граница прочности при изгибе, кг/см ²
	В, мм	Н, мм	L, мм		
1					
2					
3					
4					

По результатам, полученным при испытании кирпича, сделать общий вывод о соответствии кирпича требованиям стандарта и установить его марку соответственно с таблицей 16.

Таблица 16

Определения марки кирпича

Марка кирпича	Пределы прочности, кгс/см ² , не менее			
	при сжатии		при изгибе	
	средний для 5 образцов	наименьший для отдельного образца	средний для 5 образцов	наименьший для отдельного образца
75	75	50	18	9
100	100	75	22	11
125	125	100	25	12
150	150	125	28	14
175	175	150	31	15
200	200	175	34	17
250	250	200	39	20
300	300	250	44	22

Контрольные вопросы

1. Основные свойства кирпича?
2. Требования к качеству кирпича?
3. Методы производства кирпича и их особенности?
4. Как определяется марка кирпича?

Лабораторная работа № 6

Испытание воздушной извести

Цель работы: произвести испытания негашеной извести, определить ее сорт.

Оборудование и материалы: весы технические, штатив с бюреткой, баня песчаная, ступка фарфоровая, сосуд Дьюара или термос, колба коническая, термометр, стеклянная пластина, стакан, стеклянные палочки, часовое стекло, комовая известь – кипелка, 1 н. раствор соляной кислоты, 1 %-ный спиртовой раствор фенолфталеина.

Основные понятия

Строительная известь представляет собой вяжущее вещество, получаемое в результате обжига до возможно полного разложения кальциевых и кальциево-магниевого горных пород (чистых или доломитизированных известняков, мела), содержащих не более 6 % глинистого вещества.

Различают известь воздушную и гидравлическую. Известь строительная (ГОСТ 9179-77) по содержанию MgO подразделяется на: кальциевую (<5 %), магнезиальную (5...20 %), доломитовую (20...40%).

Известь строительная воздушная может быть негашеной CaO – комовой («кипелка») или молотой и гидратной (гашеной) Ca(OH)₂, получаемой путем гашения комовой извести. В зависимости от количества воды, взятой для гашения, получают «пушенку», известковое тесто или молоко.

Качество строительной воздушной извести определяется в соответствии с ГОСТ 22688-77 по следующим показателям: суммарное содержание активных CaO и MgO; содержание непогасившихся зерен; влажность гидратной извести; степень дисперсности порошкообразной извести; температура и время гашения извести; равномерность изменения объема извести.

Строительную известь используют для приготовления кладочных и отделочных растворов, в производстве плотных и ячеистых автоклавных бетонов и силикатов. Кроме того, на основе извести получают местные вяжущие вещества: известково-шлаковые, известково-золевые, известково-пущоцолановые. Известь-пушенку или молотую негашеную известь применяют для укрепления грунтов.

1. Определение суммарного содержания активных оксидов кальция и магния

Расчет активности извести производится, исходя из количества соляной кислоты, израсходованной на нейтрализацию активных оксидов кальция и магния, содержащихся в известковом водном растворе (титрованием).

Пробу извести-кипелки предварительно растирают в течение 5 мин в фарфоровой ступке до полного прохождения через сито №008. Навеску массой 1 г помещают в коническую колбу вместимостью 250 мл, наливают 150 мл дистиллированной воды, добавляют 3 - 5 стеклянных бус или оплавленных стеклянных палочек длиной 5 - 7 мм, закрывают стеклянной воронкой или часовым стеклом и нагревают 5 - 7 мин до температуры кипения. Раствор охлаждают до температуры 20 - 30°C, промывают стенки колбы и стеклянную воронку (или часовое стекло) дистиллированной водой, добавляют 2 - 3 капли 1 %- ного спиртового раствора фенолфталеина и титруют при постоянном взбалтывании 1 н раствором соляной кислоты до полного обесцвечивания раствора. Титрование считают законченным, если в течение 8 мин при периодическом взбалтывании раствор останется бесцветным. Титрование следует производить медленно, добавляя кислоту по каплям.

Содержание активных окисей кальция и магния (А) в процентах для негашеной извести вычисляют по формуле

$$A = \frac{V \cdot T_{CaO} \cdot 100}{Q}, \quad (29)$$

где V - объем раствора 1 н соляной кислоты, пошедшей на титрование, мл;

T_{CaO} - титр 1 н раствора соляной кислоты, выраженный в г СаО и равный 0,0284;

Q - масса навески извести, г.

2. Определение скорости гашения извести

Скорость гашения извести является важной характеристикой ее качества. Она устанавливается по температуре и времени гашения, для определения которых используют сосуд Дьюара или бытовой термос. В него помещают навеску порошкообразной извести, массу которой (г) определяют по формуле:

$$M = \frac{1000}{A}, \quad (30)$$

где А – содержание активных оксидов кальция и магния в извести, %

В сосуд вливают 25 мл воды, имеющей температуру 20 °С, быстро перемешивают деревянной палочкой и закрывают пробкой с плотно вставленным термометром на 100 °С, и оставляют в покое. Ртутный шарик термометра должен быть полностью погружен в реагирующую смесь.

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

По полученным данным строят график, откладывая по оси абсцисс время, по оси ординат – температуру, и по максимуму устанавливают скорость гашения извести. По результатам испытания необходимо сделать вывод о скорости гашения извести и отнести известь к быстро, средне- или медленногасящейся (табл. 17).

Таблица 17

Технические требования к строительной извести

Показатель	Значение показателя сорта		
	1-й	2-й	3-й
Содержание активных оксидов СаО и MgO в негашеной извести, не менее, %	90	80	70
Количество непогасившихся зерен в негашеной извести, не более, %	7	11	14
Скорость гашения, мин:	8	8	8
- быстрогасящаяся, менее			
- среднегасящаяся, не более	25	25	25
- медленногасящаяся, более	25	25	25

3. Определение содержания непогасившихся зерен

Для определения содержания в извести непогасившихся зерен предварительно готовят известковое тесто. С этой целью в металлический сосуд цилиндрической формы вместимостью 8 - 10 л наливают 3,5 - 4 л нагретой до температуры 85 - 90°С воды и всыпают 1 кг извести, непрерывно перемешивая содержимое до окончания интенсив-

ного выделения пара (кипения). Полученное тесто закрывают крышкой и выдерживают 2 ч, затем разбавляют холодной водой до консистенции известкового молока и промывают на сите с сеткой № 063 слабой непрерывной струей, слегка растирая мягкие кусочки стеклянной палочкой. Остаток на сите высушивают при температуре 140 - 150°C до постоянной массы. Содержание непогасившихся зерен в процентах вычисляют по формуле:

$$H.З. = \frac{m \cdot 100}{1000}, \quad (31)$$

где m - остаток на сите после высушивания, г. Для проведения лабораторных испытаний количество извести целесообразно уменьшить в 10 раз.

По результатам испытаний и данным табл. 17 определяем сорт извести. Полученные данные заносим в табл. 18.

Таблица 18

Результаты опытов

Показатель	Установлено опытом
Активность, %	
Скорость гашения, мин	
Содержание непогасившихся зерен, %	
Сорт	

Контрольные вопросы

1. Каким образом используется известь в строительстве?
2. Состав негашеной гидратной и карбонатной извести.
3. Какие химические реакции происходят при гашении и твердении извести?
4. От чего зависит качество извести?

Лабораторная работа № 7

Испытание строительного гипса

Цель работы: изучить строительно-технические свойства гипса; произвести оценку качества образца гипса.

Оборудование и материалы: сито №02, весы технические, чаша и лопатка, мерные цилиндры, прибор Сутгарда, секундомер, прибор Вика, металлические разъемные формы размером 40×40×160 мм, гидравлический пресс, гипс строительный, вода.

Основные понятия

Строительным гипсом называют воздушное минеральное вяжущее вещество, полученное путем термической обработки естественного двуводного гипса ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) при температуре 120÷170 °С до превращения его в полуводный гипс ($CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$) с измельчением его в тонкий порошок или после термической обработки.

Свойства гипсовых вяжущих нормируются по ГОСТ 23789-79. Для оценки качества гипсовых вяжущих определяют: тонкость помола, стандартную консистенцию (нормальная густота) гипсового теста, сроки схватывания, прочность при изгибе и сжатии гипсового камня.

Оценку качества гипсовых вяжущих производят в соответствии с ГОСТ 23789-79.

1. Определение тонкости (степени) помола

Сущность метода заключается в определении массы гипсового вяжущего, оставшегося при просеивании на сите с ячейками размером в свету 0,2 мм (сито №02).

Пробу вяжущего массой 50 г, взвешенную с погрешностью не более 0,1 г и предварительно высушенную в сушильном шкафу в течение 1 ч при температуре (50 ± 5) °С, высыпают на сито и производят просеивание вручную или на механической установке.

Просеивание считают законченным, если сквозь сито в течение 1 мин при ручном просеивании проходит не более 0,05 г вяжущего.

Тонкость помола отдельной пробы определяют в процентах с погрешностью не более 0,1 % как отношение массы, оставшейся на сите, к массе первоначальной пробы. За величину тонкости помола принимают среднее арифметическое результатов двух испытаний.

По тонкости помола гипс относят к одной из трех групп:

- I – грубого помола (остаток на сите не более 23,0 %);
- II – среднего помола (остаток на сите не более 14,0 %);
- III – тонкого помола (остаток на сите не более 2,0 %).

2. *Определение стандартной консистенции (нормальной густоты) гипсового теста*

Стандартная консистенция (нормальная густота) гипсового теста – характеризуется диаметром расплыва гипсового теста, вытекающего из цилиндра при его поднятии. Диаметр расплыва должен быть равен (180 ± 5) мм. Количество воды является основным критерием определения свойств гипсового вяжущего: времени схватывания и предела прочности. Количество воды выражается в процентах как отношение массы воды, необходимой для получения гипсовой смеси стандартной консистенции, к массе гипсового вяжущего в граммах.

Нормальную густоту гипсового теста определяют с помощью прибора - вискозиметра Суттарда, который представляет собой латунный цилиндр высотой 100 мм и внутренним диаметром 50 мм (рис. 9).

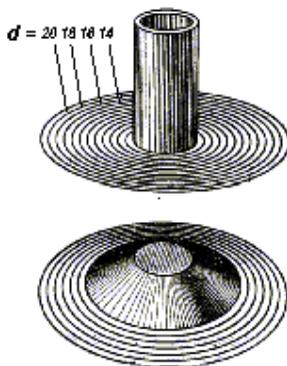


Рис. 9. Вискозиметр Суттарда

Цилиндр должен иметь хорошо отполированную внутреннюю поверхность и место соприкосновения со стеклом, на которое его устанавливают при проведении испытаний.

На стекле или бумаге под стеклом наносят ряд концентрических окружностей диаметром от 150-220 мм, причем окружности диаметром от 170 до 190 мм наносят через 5 мм, а другие - через 10 мм.

Перед испытанием цилиндр и стекло смачивают водой. Стекло-ную пластину кладут строго горизонтально, а цилиндр устанавливают в центре concentрических окружностей.

Для определения нормальной густоты теста навеску гипса (300 г) заливают водой, взятой в количестве приблизительно 150-200 мл. Гипс прибавляют к воде и быстро размешивают шпателем на протяжении 30 с до получения однородной массы, начав отсчет времени от начала высыпания гипса в воду. После окончания перемешивания, цилиндр, установленный в центре стекла, заполняют гипсовым тестом, излишки которого срезают шпателем. Через 45 с после начала высыпания гипса в воду, или через 15 с после окончания цилиндр быстрым и строго вертикальным движением поднимают вверх, при этом тесто разливается на стекле в конусообразный корж. Диаметр расплыва определяют по concentрическим окружностям или измеряют линейкой в двух перпендикулярных направлениях с погрешностью не более 5 мм и рассчитывают среднее арифметическое значение.

Если тесто образовало корж диаметром 180 ± 5 мм, значит, оно имеет нормальную густоту. В том случае, когда во время испытания диаметр коржа из гипсового теста будет больше 180 ± 5 мм, эксперимент повторяют с меньшим количеством воды (1-2%), если диаметр оказывается меньше 180 ± 5 мм, то эксперимент повторяют с большим количеством воды (1-2 %).

Нормальную густоту гипсового теста выражают процентным содержанием воды от массы сухого гипса.

$$НГ = \frac{B}{m} \cdot 100, \quad (32)$$

где B – количество воды затворения, мл;

m – масса навески гипса, г.

3. Определение сроков схватывания гипсового теста

Для определения сроков схватывания используют гипсовое тесто стандартной консистенции. Сущность метода состоит в определении времени от начала контакта гипсового вяжущего с водой до начала и конца схватывания теста.

Для определения сроков отвердевания гипсового теста используют прибор Вика, который состоит из станины, подвижного металлического стержня, латунного или пластмассового кольца в виде усеченного конуса, стеклянной пластины (рис. 10).

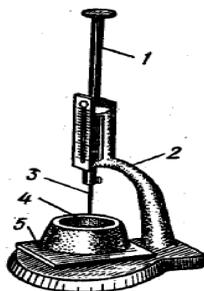


Рис. 10. Прибор Вика:

1 – подвижный стержень; 2 – станина; 3 – игла;
4 – латунное кольцо; 5 – стеклянная пластина

Перед началом испытания проверяют свободное перемещение металлического стержня с иглой (масса которого 300 г), положение стрелки, которая должна быть на нуле, если игла упирается в пластинку, чистоту иглы.

Для определения сроков отвердевания отвешивают 200 г гипса, равномерно всыпают его в посуду с водой, количество которой отвечает нормальной густоте гипсового теста, и перемешивают на протяжении 30 с.

Подвижную часть прибора с иглой устанавливают в такое положение, при котором конец иглы касается поверхности гипсового теста, а затем иглу свободно опускают в кольцо с тестом. Погружение производят один раз каждые 30 с, начиная с целого числа минут. После каждого погружения иглу тщательно вытирают, а пластинку вместе с кольцом передвигают так, чтобы игла при новом погружении попадала в другое место поверхности теста.

Глубину погружения иглы в гипсовое тесто фиксируют по показанию стрелки, расположенной на подвижном стержне.

По полученному значению определяют два момента: начало и конец отвердевания. Началом отвердевания считают промежуток времени от момента замешивания гипсового теста (высыпание гипса в воду) к моменту, когда игла не доходит до дна пластинки на 0,5 мм.

Концом отвердевания считают промежуток времени от момента замешивания гипсового теста к моменту погружения иглы в тесто не больше чем на 0,5 мм.

В зависимости от сроков отвердевания, строительный гипс относится до одной из трех групп:

А - быстротвердеющий, начало отвердевания не раньше 2 мин., конец - не позднее 10 мин.;

Б - нормальнотвердеющий, начало отвердевания не раньше 6 мин., конец - не позднее 30 мин.;

В - медленно твердеющий, начало отвердевания не раньше 20 мин., конец отвердевания не нормируется.

4. Определение марки гипса

Марка гипса характеризуется пределом прочности при сжатии и изгибе в МПа образцов-балочек размером $40 \times 40 \times 160$ мм из гипсового теста нормальной густоты.

Для изготовления трех балочек отвешивают 1,2 кг гипса и отмеривают количество воды, которая отвечает нормальной густоте теста.

После приготовления гипсового теста в сферической чаше, его заливают в металлические формы для изготовления образцов (рис.11), смазанные машинным маслом.

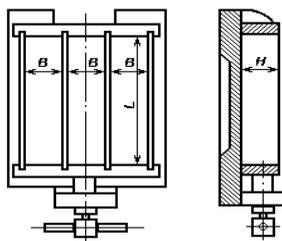


Рис. 11. Форма для изготовления образцов – балочек.
 $H - 40$ мм, $B - 40$ мм, $L - 160$ мм

После наполнения форм поверхность заглаживают шпателем.

Через 10...20 мин от конца схватывания образцы вынимают из форм и через 2 ч после затворения гипса водой образцы подвергают испытаниям на изгиб и сжатие по методике, описанной в п. 1 и 2 лабораторной работы № 2.

Полученные результаты сопоставляют с данными табл. 19 и определяют марку строительного гипса.

Таблица 19

Требования, предъявляемые к строительному гипсу

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

Результаты испытаний строительного гипса представляют в виде табл. 20.

Таблица 20

Результаты испытаний строительного гипса

Показатель	Установлено испытанием
Тонкость помола (остаток на сите, %), (группа) Нормальная плотность, % Сроки схватывания, мин: - начало - конец (группа) Марка	

Контрольные вопросы

1. Что означает запись Г-10 А III?
2. По каким показателям определяют качество гипса?

Библиографический список

1. *Горчаков Г.И., Баженов М.Ю.* Строительные материалы: Учеб. для вузов. – М.: Стройиздат, 1986. – 688 с.
2. Строительные материалы: Учеб. для вузов / Под общей ред. В.Г. Микульского. – М.: Изд-во АСВ, 1996. – 488 с.
3. *Комар А.Г., Баженов Ю.М., Сулименко Л.М.* Технология производства строительных материалов: Учеб. для вузов. – М.: Высшая школа, 1990. – 466 с.
4. *Гридчин А.М.* Дорожно-строительные материалы из отходов промышленности: Учеб. пособие. – Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 1997. – 204 с.
5. *Попов Л.Н.* Лабораторный практикум по предмету «Строительные материалы и детали»: Учеб. пособие. – М.: Стройиздат, 1988. – 223 с.
6. Лабораторный практикум по строительным материалам: учебное пособие / А.М. Гридчин, В.С. Лесовик, С.А. Погорелов и др. – Белгород: Изд-во БИИММАП, 2001. – 223 с.
7. ГОСТ 8462-85 Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе. – М.: МНТКС, 1987.
8. ГОСТ 22688-77 Известь строительная. Методы испытаний. – М.: МНТКС, 1977.
9. ГОСТ 23789-79 Вяжущие гипсовые. Методы испытаний. – М.: МНТКС, 1980.
10. ГОСТ 7025-91 Кирпич и камни керамические и силикатные. Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости. – М.: МНТКС, 1991.
11. ГОСТ 310.2-76, ГОСТ 310.3-76, ГОСТ 310.4-81 Цементы. методы испытаний. – М.: МНТКС, 1994.
12. ГОСТ 10178-85 Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия. – М.: МНТКС, 1988.
13. ГОСТ 8735-88 Песок для строительных работ. Методы испытаний. – М.: МНТКС, 1989.
14. ГОСТ Песок для строительных работ. Технические условия. – М.: МНТКС, 1994.
15. ГОСТ 8269-87 Щебень из природного камня, гравий и щебень из гравия для строительных работ. Методы испытаний. – М.: МНТКС, 1993.
16. ГОСТ 7392-2002 Щебень из плотных пород для балластного слоя железнодорожного пути. Технические условия. – М.: МНТКС, 2003.

Оглавление

Введение.....	3
Лабораторная работа № 1. Основные физико-механические свойства строительных материалов.....	5
Лабораторная работа № 2. Механические свойства строительных материалов.....	12
Лабораторная работа № 3. Испытание песка.....	20
Лабораторная работа № 4. Испытание щебня (гравия).....	23
Лабораторная работа № 5. Испытание керамического кирпича.....	33
Лабораторная работа № 6. Испытание воздушной извести.....	38
Лабораторная работа № 7. Испытание строительного гипса.....	42
Библиографический список.....	48

Учебное издание

**Материаловедение и технология конструкционных
материалов. Часть I**

Методические указания к выполнению лабораторных работ
для студентов специальности 271501 – Строительство железных дорог,
мостов и транспортных тоннелей специализации «Строительство дорог
промышленного транспорта»

Составители: Духовный Георгий Самуилович
Селицкая Наталья Владимировна
Сачкова Алиса Вадимовна

Подписано в печать 03.09.13 Формат 60×84/16. Усл.печ.л. 2,9 Уч.-изд.л. 3,1

Тираж 65 экз.

Заказ

Цена

Отпечатано в Белгородском государственном технологическом университете
им. В.Г. Шухова
308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46