

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ,  
НАУКИ И КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ  
ОРДЕНОВ ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ  
И ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

ФГБНУ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР  
ГИДРОТЕХНИКИ И МЕЛИОРАЦИИ ИМЕНИ А. Н. КОСТЯКОВА»

Д. С. Дубяго, А. Е. Новиков

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

*Рекомендовано учебно-методическим объединением  
в сфере высшего образования Республики Беларусь  
по образованию в области сельского хозяйства  
в качестве учебно-методического пособия  
для студентов учреждений образования, обеспечивающих  
получение общего высшего образования по специальности  
6-05-0811-03 Мелиорация и водное хозяйство*

Горки  
БГСХА  
2024

УДК 691(075.8)  
ББК 38.3я73  
Д79

*Рекомендовано методической комиссией  
мелиоративно-строительного факультета 25.09.2023 (протокол № 1)  
и Научно-методическим советом БГСХА 27.09.2023 (протокол № 1)*

Авторы:

старший преподаватель *Д. С. Дубяго*  
(УО «Белорусская государственная  
сельскохозяйственная академия»);

доктор технических наук, член-корреспондент РАН *А. Е. Новиков*  
(ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации  
им. А. Н. Костякова»)

Рецензенты:

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *С. М. Курчевский*;  
директор Проектного Бюро «Дельта» ЧУПП «Прометей» *Я. В. Исаева*

**Дубяго, Д. С.**  
Д79 Строительные материалы и изделия : учебно-методическое  
пособие / Д. С. Дубяго, А. Е. Новиков. – Горки : БГСХА, 2024. –  
90 с.  
ISBN 978-985-882-497-6.

Приведена подробная методика выполнения лабораторных работ по темам:  
«Основные свойства строительных материалов», «Испытание керамического  
кирпича», «Испытание дренажных керамических труб», «Испытание портланд-  
цемента», «Испытание гипсовых вяжущих веществ», «Испытание заполнителей  
для тяжелого бетона», «Подбор состава бетона», «Строительные растворы».

Для студентов учреждений образования, обеспечивающих получение обще-  
го высшего образования по специальности 6-05-0811-03 Мелиорация и водное  
хозяйство.

**УДК 691(075.8)**  
**ББК 38.3я73**

**ISBN 978-985-882-497-6**

© УО «Белорусская государственная  
сельскохозяйственная академия», 2024

## ВВЕДЕНИЕ

Строительные материалы – это природные и искусственные материалы и изделия, используемые при строительстве и ремонте зданий и сооружений. Различия в назначении и условиях эксплуатации зданий и сооружений определяют разнообразные требования к строительным материалам и их обширную номенклатуру.

Целенаправленное использование строительных материалов для строительства построек различного функционального назначения известно человечеству с древнейших времен. На начальных этапах цивилизации применяли такие материалы, которые не требовали значительных усилий и энергетических затрат для придания им заданной формы: древесину и природные камни, необожженную глину. Развитие строительной техники и технологий способствовало совершенствованию качества материалов, расширению их номенклатуры, порождало новые архитектурные формы. С открытием таких веществ, как строительный гипс и воздушная известь, появилась возможность изготавливать материалы составного типа, т. е. соединением вяжущего с сыпучими компонентами – песком и гравием.

В учебно-методическом пособии приведена подробная методика выполнения лабораторных работ. Каждая лабораторная работа выполняется подгруппой студентов. При этом каждому члену подгруппы руководитель занятий поручает конкретный участок и объем работ. В процессе проведения опытов результаты их заносятся в журнал, которые затем обрабатываются индивидуально.

Проведению лабораторной работы должно предшествовать изучение соответствующего раздела учебной литературы. Студенты должны ознакомиться во время самоподготовки с содержанием лабораторной работы, приборами и методикой ее проведения.

# Лабораторная работа 1. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

## 1.1. Общие сведения

В строительстве применяются разнообразные природные и искусственные материалы. В процессе эксплуатации они подвергаются воздействию внешней среды – физических, механических, химических факторов, которые могут изменять их технические свойства. Запроектировать и построить долговечное здание и сооружение возможно лишь при условии знания свойств применяемых материалов и грамотного их использования.

Свойства материалов оцениваются нормативными документами (СТБ, ГОСТ и др.). Это документы, в которых приведены определение и состав материала, способ его получения или происхождение, область применения, технические свойства, методы испытаний и др.

Важнейшими свойствами, характерными для всех строительных материалов, являются физические, механические, химические и технологические.

## 1.2. Физические свойства

Физические свойства определяют физическое состояние материала. К ним относят характеристику структуры и массы, отношение материала к воздействию воды, тепла, огня, радиационную стойкость.

**Истинная плотность**  $\rho_n$  – масса единицы объема абсолютно плотного материала, т. е. без пор. Вычисляется она в  $\text{кг/м}^3$ ,  $\text{кг/дм}^3$ ,  $\text{г/см}^3$  по формуле

$$\rho_n = \frac{m}{V_a}, \quad (1.1)$$

где  $m$  – масса материала, кг, г;

$V_a$  – объем материала в абсолютно плотном состоянии,  $\text{м}^3$ ,  $\text{дм}^3$ ,  $\text{см}^3$ .

**Средняя плотность**  $\rho_c$  – масса единицы объема материала в естественном состоянии, т. е. с порами. Она может быть плотностью сухого материала, материала в состоянии естественной или другой влажности. Среднюю плотность (в  $\text{кг/м}^3$ ,  $\text{кг/дм}^3$ ,  $\text{г/см}^3$ ) вычисляют по формуле

$$\rho_c = \frac{m}{V}, \quad (1.2)$$

где  $m$  – масса материала, кг, г;

$V$  – объем материала, м<sup>3</sup>, дм<sup>3</sup>, см<sup>3</sup>.

Среднюю плотность сыпучих материалов (щебня, гравия, песка, цемента и др.) называют *насыпной плотностью*. В объем входят поры непосредственно в материале и пустоты между зёрнами.

Средняя плотность большинства материалов обычно меньше истинной их плотности. Отдельные материалы, такие как сталь, стекло, битум, а также жидкие, имеют практически одинаковые истинную и среднюю плотности.

**Относительная плотность**  $d$  – отношение средней плотности материала к плотности стандартного вещества. За стандартное вещество принята вода при температуре 4 °С, имеющая плотность 1000 кг/м<sup>3</sup>. Относительная плотность (безразмерная величина) определяется по формуле

$$d = \frac{\rho_c}{\rho_{ст}}. \quad (1.3)$$

**Пористость**  $\Pi$  – степень заполнения объема материала порами. Вычисляется в процентах по формуле

$$\Pi = \left( 1 - \frac{\rho_c}{\rho_{и}} \right) \cdot 100, \quad (1.4)$$

где  $\rho_c$ ,  $\rho_{и}$  – средняя и истинная плотности материала.

Для строительных материалов  $\Pi$  колеблется от 0 до 90 %.

Для сыпучих материалов определяется пустотность (межзерновая пористость). Истинная, средняя плотности и пористость материалов – взаимосвязанные величины. От них зависят прочность, теплопроводность, морозостойкость и другие свойства материалов. Примерные значения их для наиболее распространенных материалов приведены в табл. 1.1.

**Влажность**  $W$  – содержание воды в материале в данный момент. Определяется отношением воды, содержащейся в материале в момент взятия пробы для испытания, к массе сухого материала. Вычисляется в процентах по формуле

$$W = (m_{\text{вл}} - m_{\text{с}}) / m_{\text{с}} \cdot 100, \quad (1.5)$$

где  $m_{\text{вл}}$ ,  $m_{\text{с}}$  – масса влажного и сухого материала, г.

Таблица 1.1. **Физические свойства материалов**

Наименование материала	Плотность, г/см <sup>3</sup>		Пористость, %	Теплопроводность, Вт/(м °С)
	истинная	средняя		
Гранит	2,70	2,50	7,4	2,80
Вулканический туф	2,70	1,40	52,0	0,50
Керамический кирпич: обыкновенный пустотелый	2,65	1,80	32,0	0,80
	2,65	1,30	51,0	0,55
Бетон: тяжелый легкий ячеистый	2,60	2,40	10,0	1,16
	2,60	1,00	61,5	0,35
	2,60	0,50	81,0	0,20
Сосна	1,53	0,50	67,0	0,17
Минераловатные плиты	2,70	0,05	98,0	0,047
Пенополистирол	1,05	0,04	96,0	0,03

**Водостойкость** – способность материала сохранять свою прочность при насыщении водой. Она оценивается коэффициентом размягчения  $K_{\text{разм}}$ , который равен отношению предела прочности материала при сжатии в насыщенном водой состоянии  $R_{\text{вл}}$ , МПа, к пределу прочности сухого материала  $R_{\text{сух}}$ , МПа:

$$K_{\text{разм}} = R_{\text{вл}} / R_{\text{сух}}. \quad (1.6)$$

Для разных материалов  $K_{\text{разм}} = 0-1$ . Так, глина при увлажнении не имеет прочности, ее  $K_{\text{разм}} = 0$ . Металлы, стекло полностью сохраняют прочность в воде, для них  $K_{\text{разм}} = 1$ . Строительные материалы с коэффициентом размягчения меньше 0,8 не применяют во влажной среде.

**Гигроскопичность** – способность материала поглощать воду из окружающего воздуха. Она выражается в процентах как отношение массы воды, поглощенной материалом из воздуха, к массе сухого материала при относительной влажности воздуха 100 % и температуре 20 °С.

Гигроскопичность зависит от природы материала. Одни из них, например, древесина, активно притягивают молекулы воды. Их называют *гидрофильными*. Другие же, например, битум, не смачиваются водой. Их называют *гидрофобными*. Придание материалу гидрофобных свойств улучшает его качество.

**Влагоотдача** – способность материала отдавать воду в окружающий воздух. Она характеризуется скоростью высыхания, которая определяется количеством воды, отдаваемой материалом в сутки, при относительной влажности воздуха 60 % и температуре 20 °С.

**Водопоглощение** – способность материала впитывать и удерживать в своих порах воду. Подразделяется на водопоглощение по массе и объему.

Водопоглощение по массе  $W_m$ , %, равно отношению массы поглощенной образцом воды к массе сухого образца.

Водопоглощение по объему  $W_o$ , %, равно отношению массы поглощенной образцом воды к объему образца.

Их определяют по следующим формулам:

$$W_m = \frac{m_b - m_c}{m_c} \cdot 100; W_o = \frac{m_b - m_c}{V} \cdot 100, \quad (1.7)$$

где  $m_b$  – масса образца, насыщенного водой, г;

$m_c$  – масса образца, высушенного до постоянной массы, г;

$V$  – объем образца, см<sup>3</sup>.

Между водопоглощением по массе и объему существует следующая зависимость:

$$W_o = W_m \rho_c, \quad (1.8)$$

где  $\rho_c$  – средняя плотность материала, кг/м<sup>3</sup>.

Водопоглощение всегда меньше пористости, так как поры не полностью заполняются водой.

Материалы во влажном состоянии изменяют свои свойства. Увеличивается средняя плотность, уменьшается прочность, повышается теплопроводность.

**Воздухостойкость** – способность материала не изменять длительное время свои свойства при периодическом гигроскопическом увлажнении и высыхании. Изменение влажности приводит к разбуханию и усадке материала и со временем – к его разрушению. Воздухостойкость гигроскопичных материалов повышают гидрофобизацией их поверхности, введением гидрофобных добавок при изготовлении.

**Капиллярное увлажнение и диффузия.** Капиллярное увлажнение возникает в результате способности воды подниматься по капиллярам на высоту. Высота подъема зависит от тонкости капилляров и степени

смачиваемости их стенок. Для кирпичной кладки она может быть более одного метра.

В материалах возможна диффузия воды, которая передвигается от мест с большей влажностью к местам с меньшей влажностью и равномерно распределяется по всему объему.

Для защиты от капиллярного увлажнения и диффузии воды конструкции защищают гидроизоляционными материалами. Например, между фундаментом здания и стеной устраивают гидроизоляцию.

**Водопроницаемость** – способность материала пропускать воду под давлением. Она характеризуется коэффициентом фильтрации  $K_f$ , м/ч, который равен количеству воды  $V_v$ , м<sup>3</sup>, проходящей через материал площадью  $S = 1$  м<sup>2</sup>, толщиной  $a = 1$  м за время  $\tau = 1$  ч при разности гидростатического давления  $P_1 - P_2 = 1$  м водного столба:

$$K_f = V_v a / [S (P_1 - P_2) \tau]. \quad (1.9)$$

Обратной характеристикой водопроницаемости является **водонепроницаемость** – способность материала не пропускать воду под давлением.

Водопроницаемость материала зависит от его пористости и характера пор. С водопроницаемостью сталкиваются при возведении гидротехнических сооружений, резервуаров для воды.

**Паропроницаемость** – способность материала пропускать водяной пар через свою толщину. Она характеризуется коэффициентом паропроницаемости  $\mu$ , г/(м · ч · Па), который равен количеству водяного пара  $V$ , м<sup>3</sup>, проходящего через материал толщиной  $a = 1$  м, площадью  $S = 1$  м<sup>2</sup> за время  $\tau = 1$  ч при разности парциальных давлений  $P_1 - P_2 = 133,3$  Па:

$$\mu = Va / [S (P_1 - P_2) \tau]. \quad (1.10)$$

Стены и покрытия в помещениях с повышенной влажностью следует защищать от проникновения водяного пара.

**Морозостойкость** – способность материала в водонасыщенном состоянии не разрушаться при многократном попеременном замораживании и оттаивании.

Разрушение происходит из-за того, что объем воды при переходе в лед увеличивается на 9 %. Давление льда на стенки пор вызывает растягивающие усилия в материале.

Морозостойкость материалов зависит от их плотности и степени заполнения пор водой.

**Теплопроводность** – способность материала проводить тепло. Теплопередача происходит в результате перепада температур между поверхностями, ограничивающими материал. Теплопроводность зависит от коэффициента теплопроводности  $\lambda$ , Вт/(м · °С), который равен количеству тепла  $Q$ , Дж, проходящего через материал толщиной  $\delta = 1$  м, площадью  $S = 1$  м<sup>2</sup> за время  $\tau = 1$  ч при разности температур между поверхностями  $t_1 - t_2 = 1$  °С:

$$\lambda = Q\delta / [S (t_1 - t_2) \tau]. \quad (1.11)$$

Теплопроводность материалов зависит от их средней плотности, химического состава, структуры, характера пор, влажности.

Наиболее существенное влияние на теплопроводность оказывает средняя плотность материала. При известной средней плотности можно ориентировочно вычислить коэффициент теплопроводности  $\lambda$ , Вт/(м · °С), материала в воздушно-сухом состоянии:

$$\lambda = 1,163 \cdot \left( \sqrt{0,0196 + 0,22\rho_c^2} - 0,14 \right). \quad (1.12)$$

Теплопроводность материала значительно возрастает при увлажнении. Это объясняется тем, что коэффициент теплопроводности воды составляет 0,58 Вт/(м · °С), воздуха – 0,023 Вт/(м · °С), т. е. в 25 раз меньше. Коэффициенты теплопроводности отдельных материалов приведены в табл. 1.1.

**Теплоемкость** – способность материала поглощать тепло при нагревании. Она характеризуется удельной теплоемкостью  $c$ , Дж/(кг · °С), которая равна количеству тепла  $Q$ , Дж, затраченного на нагревание материала массой  $m = 1$  кг, чтобы повысить его температуру на  $t_2 - t_1 = 1$  °С:

$$c = Q / [m (t_2 - t_1)]. \quad (1.13)$$

Удельная теплоемкость каменных материалов составляет 755–925, лесных – 2420–2750 Дж/(кг · °С). Наибольшую теплоемкость имеет вода – 4900 Дж/(кг · °С).

Теплоемкость учитывается при расчете теплоустойчивости стен и перекрытий отапливаемых зданий, подогрева материалов в зимний период.

**Огнестойкость** – способность материала не разрушаться от действия высоких температур и воды в условиях пожара.

По огнестойкости материалы подразделяются на негоряемые, трудногоряемые и сгораемые. *Несгораемые* материалы не горят, не тлеют и не обугливаются. Это каменные материалы, металлы.

*Трудногоряемые* материалы обугливаются, тлеют или с трудом воспламеняются. При удалении источника огня или высокой температуры эти процессы прекращаются. Это древесина, пропитанная антипиренами.

*Сгораемые* материалы горят или тлеют. При удалении источника огня или высокой температуры горение и тление продолжают. К ним относятся все незащищенные органические материалы.

**Огнеупорность** – способность материала выдерживать длительное воздействие высоких температур, не размягчась и не деформируясь. По степени огнеупорности материалы подразделяются на следующие группы: *огнеупорные*, *тугоплавкие* и *легкоплавкие*. Огнеупорные выдерживают температуру 1580 °С и выше, тугоплавкие – 1350–1580 °С, легкоплавкие – менее 1350 °С.

**Радиационная стойкость и защитные свойства материалов.** Радиационная стойкость – способность материала сохранять свою структуру и свойства при воздействии ионизирующих излучений. Под влиянием излучений в материале могут произойти глубокие изменения – переход от кристаллического состояния в аморфное.

Защитные свойства материалов определяются их способностью задерживать гамма- и нейтронное излучения. Они оцениваются по толщине слоя материала, который ослабляет величину ионизирующего излучения в два раза. Толщина слоя половинного ослабления излучений составляет для бетона 0,1 м, для свинца – 0,18 м.

Для защиты от гамма-излучения применяются материалы повышенной плотности – особо тяжелые бетоны, свинец, грунт; от нейтронного излучения – вода и материалы, содержащие связанную воду: лимонитовая руда, бетоны с добавками бора, кадмия, лития.

### 1.3. Механические свойства

К основным механическим свойствам материалов относят прочность, упругость, пластичность, релаксацию, хрупкость, твердость, истираемость и др.

**Прочность** – способность материала сопротивляться разрушению и деформациям от внутренних напряжений, возникающих в результате воздействия внешних сил или других факторов, таких как неравномерная осадка, нагревание и т. п. Оценивается она пределом прочности. Им называют напряжение, возникающее в материале от действия нагрузок, вызывающих его разрушение.

Различают пределы прочности материалов при сжатии, растяжении, изгибе, срезе и пр. Они определяются испытанием стандартных образцов на испытательных машинах. Предел прочности при сжатии и растяжении  $R_{сж(р)}$ , МПа, вычисляется как отношение нагрузки, разрушающей материал  $P$ , Н, к площади поперечного сечения  $F$ , мм<sup>2</sup>:

$$R_{сж(р)} = P_{сж(р)} / F. \quad (1.14)$$

Предел прочности при изгибе  $R_{и}$ , МПа, вычисляют как отношение изгибающего момента  $M$ , Н · мм, к моменту сопротивления образца  $W$ , мм<sup>3</sup>:

$$R_{и} = M / W. \quad (1.15)$$

Каменные материалы хорошо работают на сжатие и значительно хуже (в 5–50 раз) на растяжение и изгиб. Другие материалы (металл, древесина, многие пластмассы) хорошо работают как на сжатие, так и на растяжение и изгиб.

Важной характеристикой материала является коэффициент конструктивного качества. Это условная величина, которая равна отношению предела прочности материала  $R$ , МПа, к его относительной плотности:

$$K_{к.к} = R / d. \quad (1.16)$$

Коэффициент конструктивного качества для тяжелого бетона марки 300 равен 12,5, стали марки Ст5 – 46, древесины дуба при растяжении – 197. Материалы с более высоким коэффициентом конструктивного качества являются и более эффективными.

**Упругость** – способность материала под воздействием нагрузок изменять форму и размеры и восстанавливать их после прекращения действия нагрузок.

Упругость оценивается пределом упругости  $\delta_{уп}$ , МПа, который равен отношению наибольшей нагрузки, не вызывающей остаточных деформаций материала,  $P_{уп}$ , Н, к площади первоначального поперечного сечения  $F_0$ , мм:

$$\delta_{уп} = P_{уп} / F_0. \quad (1.17)$$

**Пластичность** – способность материала изменять свои форму и размеры под воздействием нагрузок и сохранять их после снятия нагрузок. Пластичность характеризуется относительным удлинением или сужением.

Разрушение материалов может быть хрупким или пластичным. При **хрупком** разрушении пластические деформации незначительны.

**Релаксация** – способность материала к самопроизвольному снижению напряжений при постоянном воздействии внешних сил. Это происходит в результате межмолекулярных перемещений в материале. Релаксация оценивается периодом релаксации – временем, за которое напряжение в материале снижается в  $e = 2,718$  раза, где  $e$  – основание натурального логарифма. Период релаксации составляет от  $1 \cdot 10^{-10}$  с для материалов жидкой консистенции и до  $1 \cdot 10^{10}$  с (десятки лет) – у твердых.

**Твердость** – способность материала оказывать сопротивление проникновению в него более твердого материала.

Для разных материалов она определяется по разным методикам. Так, при испытании природных каменных материалов пользуются шкалой Мооса, составленной из десяти минералов, расположенных в ряд, с условным показателем твердости от 1 до 10, когда более твердый материал, имеющий более высокий порядковый номер, царапает предыдущий. Минералы расположены в следующем порядке: тальк или мел, гипс или каменная соль, кальцит или ангидрит, плавиковый шпат, апатит, полевой шпат, кварцит, топаз, корунд, алмаз.

Твердость металлов, бетона, древесины, пластмасс оценивают вдавливанием в них стального шарика, алмазного конуса или пирамиды.

Твердость материала не всегда соответствует прочности. Так, древесина имеет прочность, одинаковую с бетоном, но значительно меньшую твердость.

**Истираемость** – способность материала разрушаться под действием истирающих усилий. Истираемость  $I$ , г/см<sup>2</sup>, вычисляется как отношение потери массы образцом  $m_1 - m_2$ , г, от воздействия истирающих усилий к площади истирания  $F$ , см<sup>2</sup>. Определяется  $I$  путем испытания образцов на круге истирания или в полочном барабане. Эта характеристика учитывается при использовании материалов для пола, лестничных ступеней и площадок, дорог.

## 1.4. Определение плотности материалов

### 1.4.1. Определение истинной плотности

Истинная плотность материала  $\rho_n$  – физическая величина, определяемая отношением массы  $m$ , г, однородного материала к его объему  $V_a$ , см<sup>3</sup>, в абсолютно плотном состоянии, т. е. без учета пор и пустот, а именно:

$$\rho_n = m / V_a, \text{ г/см}^3. \quad (1.18)$$

**Материалы и оборудование:** образцы материала; объемомер Ле Шателье; весы; сушильный шкаф; ступка; сито № 02; фарфоровая чашка; эксикатор; стекло; штангенциркуль; объемомер; тонкая нить; гидростатические и технические весы; стандартная воронка; мерный цилиндр; линейка; виброплощадка.

**Выполнение работы.** Для определения истинной плотности каменного материала из отобранной и тщательно перемешанной средней пробы отвешивают 200–220 г. Кусочки отобранной пробы сушат в сушильном шкафу при температуре  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$  до постоянной массы, затем тонко измельчают в фарфоровой ступке. Полученный порошок просеивают через сито № 02 (размер ячейки в свету –  $0,2 \times 0,2$  мм). Отвесив в фарфоровой чашке навеску массой около 180 г просеянного порошка, его снова высушивают, а затем охлаждают до комнатной температуры в эксикаторе, где порошок хранят до проведения испытания.

Истинную плотность твердого материала определяют с помощью объемомера Ле Шателье (рис. 1.1), который представляет собой стеклянную колбу вместимостью 120–150 см<sup>3</sup> с узкой шейкой, несколько расширяющейся в средней части. На шейке колбы выше и ниже шаровидного уширения нанесены две черты, объем между которыми равен 20 см<sup>3</sup>. Шейка градуирована, цена деления 0,1 см<sup>3</sup>.

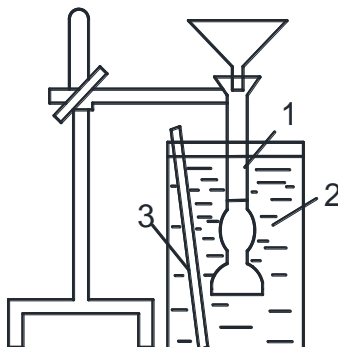


Рис. 1.1. Объемомер Ле Шателье:  
1 – объемомер; 2 – сосуд с водой;  
3 – термометр

Объемомер наполняют до нижней нулевой черты жидкостью, инертной по отношению к порошку материала: водой, безводным ксеросином или спиртом. После этого свободную от жидкости часть (выше нулевой черты) тщательно протирают тампоном из фильтровальной бумаги. Затем объемомер помещают в стеклянный сосуд с водой, имеющей температуру 20 °С (температура, при которой градуировали его шкалу). В воде объемомер остается все время, пока идет испытание. Чтобы объемомер в этом положении не всплывал, его закрепляют на штативе так, чтобы вся градуированная часть шейки находилась в воде.

От подготовленной пробы, находящейся в эксикаторе, с точностью до 0,01 г отвешивают 80 г материала и высыпают его ложечкой через воронку в прибор небольшими порциями до тех пор, пока уровень жидкости в нем не поднимется до черты с делением 20 см<sup>3</sup> или до черты в пределах верхней градуированной части прибора. Разность между конечным и начальным уровнями жидкости в объемомере показывает объем порошка, всыпанного в прибор. Остаток порошка взвешивают. Масса порошка, всыпанного в объемомер, будет равна разности между результатами первого и второго взвешиваний.

Истинную плотность материала вычисляют по формуле

$$\rho_{и} = (m - m_1) / V_a, \quad (1.19)$$

где  $m$  – масса навески материала до опыта, г;

$m_1$  – остаток от навески, г;

$V_a$  – объем жидкости, вытесненной навеской материала (объем порошка в объемомере), см<sup>3</sup>.

Истинную плотность материала вычисляют с точностью до 0,01 г/см<sup>3</sup> как среднее арифметическое результатов двух определений, расхождение между которыми не должно превышать 0,02 г/см<sup>3</sup>.

Результаты определения истинной плотности материала записывают в журнал для лабораторных работ и сравнивают с данными, приведенными в табл. 1.2.

Таблица 1.2. Истинная и средняя плотность материалов

Материал	Истинная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>
И	2	3
Гранит	2800–2900	2600–2700
Известняк плотный	2400–2600	2100–2400
Туф вулканический	2600–2800	900–2100

1	2	3
Кирпич керамический	2600–2800	1600–1800
Древесина сосны	1550–1600	500–600
Песок	2600–2700	1400–1600
Пенопласт	1300–1400	200–500
Стекло	2400–2600	2400–2600
Сталь строительная	7800–7850	7800–7850

### 1.4.2. Определение средней плотности

Средняя плотность материала  $\rho_{\text{ср}}$  – физическая величина, определяемая отношением массы  $m$ , г, однородного материала к его объему  $V_{\text{с}}$ , см<sup>3</sup>, в естественном состоянии, т. е. вместе с порами и пустотами, а именно:

$$\rho_{\text{ср}} = m / V_{\text{с}}, \text{ г/см}^3. \quad (1.20)$$

Большинство строительных материалов имеет поры. Чем больше их в единице объема материала, тем меньше его средняя плотность. Для жидкостей и материалов, получаемых из расплавленных масс (стекло, металл), средняя плотность практически равна истинной плотности (см. табл. 1.2).

От средней плотности материала в значительной мере зависят его физико-механические свойства, например прочность и теплопроводность. Значение средней плотности материала используют при определении его пористости, массы и размеров строительных конструкций, при расчетах необходимого количества транспортных средств и подъемно-транспортного оборудования.

При определении средней плотности материала можно использовать образцы как правильной, так и неправильной геометрической формы. От формы образца зависит метод определения средней плотности материала.

### 1.4.3. Определение средней плотности образца правильной геометрической формы

Для определения средней плотности образца материала могут быть изготовлены в форме куба, параллелепипеда или цилиндра. При этом необходимо учитывать, что для пористых материалов размеры образца кубической формы должны быть не менее 100×100×100 мм, а для плотных – не менее 40×40×40 мм. У цилиндрических образцов диаметр и высота должны быть не менее 70 и 40 мм соответственно.

**Выполнение работы.** Образцы правильной геометрической формы (три для испытуемого материала) высушивают в сушильном шкафу при температуре  $(110 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$ , охлаждают в эксикаторе и хранят в нем до момента испытания.

С помощью штангенциркуля измеряют размеры образца и вычисляют его объем, после чего взвешивают образец на технических весах. Каждую грань образца кубической или близкой к ней формы измеряют в трех местах ( $a_1, a_2, a_3; b_1, b_2, b_3; h_1, h_2, h_3$ ) по ширине и высоте, как показано на рис. 1.2, *а*, и за окончательный результат принимают среднее арифметическое трех измерений каждой грани. На каждой из параллельных плоскостей образца цилиндрической формы проводят две пары взаимно перпендикулярных диаметров ( $d_1, d_2$  и  $d_3, d_4$ ), затем измеряют диаметры средней части цилиндра ( $d_5, d_6$ ) в середине его высоты (рис. 1.2, *б*). За окончательный результат принимают среднее арифметическое шести измерений диаметра.

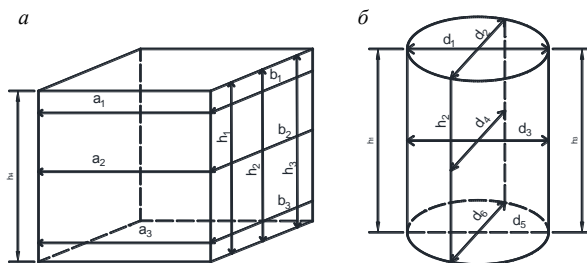


Рис. 1.2. Схемы измерения объема образца:  
*а* – кубической формы; *б* – цилиндрической формы

Высоту цилиндра определяют в четырех местах ( $h_1, h_2, h_3, h_4$ ) и за окончательный результат принимают среднее арифметическое четырех измерений.

Образцы со стороной размером до 100 мм измеряют с точностью до 0,1 мм, размером 100 мм и более – с точностью до 1,0 мм. Образцы массой менее 500 г взвешивают с точностью до 0,01 г, а массой 500 г и более – с точностью до 1,0 г.

Объем образца  $V_c, \text{ см}^3$ , в естественном состоянии имеющего вид куба или параллелепипеда, вычисляют по формуле

$$V_c = a_{\text{ср}} b_{\text{ср}} h_{\text{ср}}, \quad (1.21)$$

где  $a_{\text{ср}}, b_{\text{ср}}, h_{\text{ср}}$  – средние значения размеров граней образца, см.

Объем образца цилиндрической формы

$$V_c = (\pi d_{\text{ср}}^2 h_{\text{ср}}) / 4, \quad (1.22)$$

где  $d_{\text{ср}}$  – средний диаметр цилиндра, см;

$h_{\text{ср}}$  – средняя высота цилиндра, см.

Зная объем и массу образца, по формуле (1.2) определяют его среднюю плотность. Среднюю плотность материала вычисляют как среднее арифметическое средних плотностей трех разных образцов.

Результаты испытания записывают в журнал для лабораторных работ и сравнивают с данными, приведенными в табл. 1.1. В журнале следует зарисовать образцы правильной геометрической формы с указанием их размеров.

#### 1.4.4. Определение средней плотности образца неправильной геометрической формы

Для определения объема образца неправильной геометрической формы применяют метод, основанный на вытеснении образцом из сосуда жидкости, в которую погружают образец. При этом используют объеммер или гидростатические весы.

**Определение средней плотности с помощью объеммера.** Объеммер (рис. 1.3) представляет собой металлический цилиндр с внутренним диаметром 150 мм и высотой 320 мм. На высоте 250 мм в него впаина латунная трубка диаметром 8–10 мм, имеющая загнутый вниз конец.

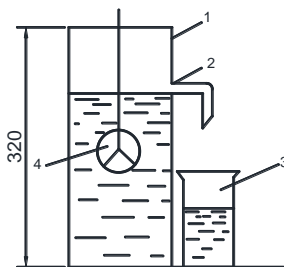


Рис. 1.3. Объеммер:  
1 – металлический цилиндр;  
2 – латунная трубка; 3 – стакан;  
4 – испытуемый образец

**Выполнение работы.** Объеммер наполняют водой несколько выше трубки и ждут, пока избыток воды стечет, затем под трубку подставляют взвешенный стакан. Каждый образец высушивают, взвешивают, а затем покрывают (с помощью кисти) тонким слоем расплавленного парафина. После того как парафин застынет, образец осматривают, обнаруженные при осмотре на парафиновой пленке пузырьки или трещины удаляют, заглаживая их нагретой металлической проволокой либо пластинкой. После парафинирования образец перевязывают прочной нитью и повторно взвешивают.

При погружении испытуемого образца в объеммер вытесняемая вода будет вытекать из трубки в стакан. После того как падение капель прекратится, стакан с водой взвешивают и определяют массу воды, вытесненной образцом.

Среднюю плотность образца вычисляют следующим образом. Сначала определяют объем парафина, затраченного на покрытие образца:

$$V_{\text{п}} = (m - m_1) / \rho_{\text{п}}, \quad (1.23)$$

где  $m$  – масса сухого образца, г;

$m_1$  – масса образца, покрытого парафином, г;

$\rho_{\text{п}}$  – средняя плотность парафина, равная  $0,93 \text{ г/см}^3$ .

После этого вычисляют среднюю плотность образца  $\rho_{\text{ср}}$ ,  $\text{г/см}^3$ , по формуле

$$\rho_{\text{ср}} = m / (V_1 - V_{\text{п}}), \quad (1.24)$$

где  $m$  – масса сухого образца, г;

$V_1$  – объем образца с парафином, численно равный массе воды, вытесненной образцом,  $\text{см}^3$ .

**Определение средней плотности материала методом гидростатического взвешивания.** Гидростатическое взвешивание производится с помощью гидростатических весов (рис. 1.4), на левой стороне которых устанавливается сосуд с водой и приспособление с крючком для подвешивания образцов. На правой стороне весов закреплена чаша для гирь.

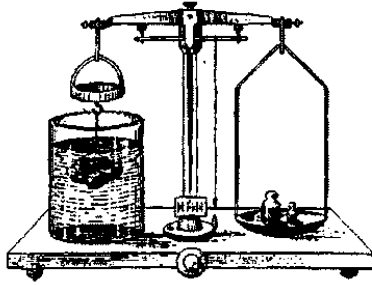


Рис. 1.4. Взвешивание образца на гидростатических весах

**Выполнение работы.** Сухой образец неправильной геометрической формы взвешивают на технических весах, затем парафинируют и снова взвешивают. После этого его подвешивают на тонкой нити к крючку приспособления, закрепленного на левом конце коромысла гидростатических весов. Массу образца уравнивают гирями, устанавливая их на правую чашу. После этого образец погружают в сосуд с водой так, чтобы он не касался стенок и дна (при этом равновесие весов нарушается). Весы снова уравнивают, сняв с правой чаши часть гирь, и определяют массу образца в воде.

Среднюю плотность образца  $\rho_{\text{ср}}$ , г/см<sup>3</sup>, вычисляют по формуле

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{m}{m_1 - m_2} \frac{m_1 - m_2}{\rho_{\text{п}}}, \quad (1.25)$$

где  $m$  – масса сухого образца, г;

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

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

$(m_1 - m_2) / \rho_{\text{п}}$  – величина, соответствующая объему образца, покрытого парафином, см<sup>3</sup>;

$\rho_{\text{п}}$  – средняя плотность парафина, равная 0,93 г/см<sup>3</sup>.

Среднюю плотность материала вычисляют как среднее арифметическое средних плотностей 3–5 определений.

Результаты испытаний записывают в журнал для лабораторных работ и сравнивают с данными, приведенными в табл. 1.1. В журнале зарисовывают схему прибора.

### 1.4.5. Определение насыпной плотности

Насыпную плотность можно определить для сыпучих материалов – цемент, песок, щебень, гравий и др. В объеме таких материалов имеются не только поры в самом материале, но и пустоты между зернами или кусками материала. Насыпную плотность определяют с помощью прибора, который представляет собой стандартную воронку в виде усеченного конуса (рис. 1.5). Внизу конус переходит в трубку диаметром 20 мм с задвижкой. Под трубкой устанавливают заранее взвешенный мерный цилиндр вместимостью 1 л (1000 см<sup>3</sup>). Расстояние между верхним обрезом цилиндра и задвижкой должно быть 50 мм.

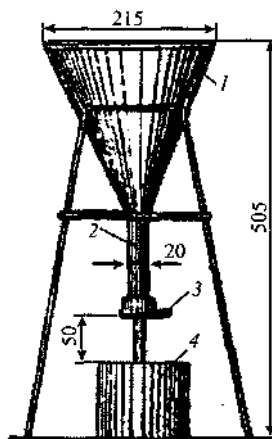


Рис. 1.5. Стандартная воронка:  
1 – корпус; 2 – трубка; 3 – задвижка;  
4 – мерный цилиндр

**Выполнение работы.** В воронку насыпают сухой исследуемый материал, затем открывают задвижку и заполняют цилиндр с избытком, закрывают задвижку и металлической или деревянной линейкой срезают от середины в обе стороны излишек материала вровень с краями цилиндра. При этом линейку держат наклонно, плотно прижимая к краям цилиндра. Необходимо, чтобы цилиндр был неподвижен, так как при толчках сыпучий материал может уплотниться, что увеличит его среднюю плотность. Затем цилиндр с материалом взвешивают с точностью до 1,0 г. Испытание повторяют пять раз и насыпную плот-

ность  $\rho_n$ , г/см<sup>3</sup>, материала в рыхлонасыпном состоянии вычисляют как среднее арифметическое пяти определений, пользуясь формулой

$$\rho_n = (m_1 - m_2) / V_n, \quad (1.26)$$

где  $m_1$  – масса цилиндра с материалом, г;

$m_2$  – масса цилиндра без материала, г;

$V_n$  – объем материала цилиндра, см<sup>3</sup>.

Результаты испытаний заносят в журнал для лабораторных работ, там же зарисовывают схему используемого прибора.

При транспортировке и хранении сыпучие материалы уплотняются. При этом их насыпная плотность оказывается на 15–30 % выше, чем в рыхлонасыпном состоянии. Определяют насыпную плотность материала в уплотненном состоянии по приведенной выше методике, однако после заполнения цилиндра материалом его уплотняют путем вибрации в течение 30–60 с на виброплощадке или легким постукиванием цилиндра с материалом о стол (до 30 раз). В процессе уплотнения материал досыпают, поддерживая некоторый избыток его в цилиндре. Затем избыток срезают и определяют массу материала в цилиндре, после чего вычисляют насыпную плотность в уплотненном состоянии.

#### 1.4.6. Определение пористости

Пористость материала  $\Pi$ , %, характеризуется степенью заполнения его объема порами. Ее вычисляют по формуле

$$\Pi = \left( 1 - \frac{\rho_{\text{ср}}}{\rho_n} \right) \cdot 100, \quad (1.27)$$

где  $\rho_{\text{ср}}$ ,  $\rho_n$  – соответственно средняя и истинная плотность материала, г/см<sup>3</sup>.

Для сыпучих материалов определяют по формуле (1.4) истинную пористость, называемую обычно пустотностью. В данном случае берут насыпную плотность, а вместо истинной плотности – среднюю плотность кусков (зерен) материала. Результаты вычисления заносят в журнал для лабораторных работ.

В объеме материала одновременно могут находиться поры и пустоты. Поры представляют собой мелкие ячейки в материале, заполненные воздухом или водой, пустоты же – более крупные ячейки и полости, образующиеся между кусками рыхлонасыпанного материала.

Значения пористости строительных материалов различны. Например, для стекла и металла пористость составляет 0 %, кирпича – 25–35, обычного тяжелого бетона – 5–10, газобетона – 55–85, поропласта – 90–95 %.

Пористость в значительной степени определяет эксплуатационные свойства материалов: водопоглощение, морозостойкость, прочность, теплопроводность и др.

## **Лабораторная работа 2. ИСПЫТАНИЕ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА**

*Керамическими* называются искусственные каменные материалы и изделия, изготавливаемые из глин и других видов минерального сырья с добавками или без них. Их получают формованием, сушкой и обжигом при высоких температурах. После обжига смесь превращается в камневидный материал (керамику) с хорошими физико-механическими свойствами.

Из керамических материалов наиболее распространены керамический обыкновенный кирпич и его разновидности (полнотелый, пустотелый), пустотелые керамические камни и блоки. В качестве отделочных и облицовочных материалов используются керамические плитки для наружных и внутренних облицовок, полов и т. п. В мелиорации применяется керамическая гончарная трубка.

Высокая прочность, долговечность и широкий ассортимент изделий дают возможность использовать их во всех частях зданий и сооружений – от фундамента до кровли.

Таким образом, строительная керамика имеет широкое применение в строительном производстве различного назначения. В связи с этим, изучая данную тему, необходимо обратить внимание на классификацию, свойства, технологию изготовления, основные требования, предъявляемые к керамическим материалам и изделиям, показатели которых регламентируются нормативными документами. Знание этих свойств позволяет правильно оценивать качество керамических материалов и выполнять необходимые инженерно-технические расчеты. Например, знание только марки керамического обыкновенного кирпича не дает достаточных оснований для рекомендации его к применению в том или ином сооружении. Для этого необходимо уметь оценить качество кирпича по внешнему виду, форме и размерам, рассчитать пористость кирпича, определить морозостойкость и т. д.

## 2.1. Оценка качества кирпича по форме, размерам и внешнему виду

**Материалы и оборудование:** образцы кирпича или камня; измерительная металлическая линейка; угольник; эталон кирпича нормально-го обжига.

**Выполнение работы.** Кирпич или камни осматривают, оценивают их форму и определяют линейкой размеры (длину, ширину, толщину), отклонение от перпендикулярности граней, отбитости углов, отбитости и притупленности ребер, длину сквозных трещин, степень обжига.

Кирпич и камни должны иметь форму прямоугольного параллелепипеда с ровными гранями на лицевых поверхностях. Допускается изготовление кирпича и камней с закругленными углами (радиус закругления – до 15 мм). Поверхность граней может быть рифленой.

Пустоты в кирпиче и камнях могут быть сквозными или несквозными. Толщина наружных стенок кирпича и камней должна быть менее 12 мм.

Линейные размеры кирпича и камней, размеры трещин измеряют линейкой с точностью до 1,0 мм. Каждую грань измеряют в трех местах (по краям и в середине) и за окончательный результат принимают среднее арифметическое трех измерений.

Допускаемые отклонения от стандартных размеров отдельного образца кирпича и камней не должны превышать:  $\pm 5$  мм по длине,  $\pm 4$  мм по ширине,  $\pm 3$  мм по толщине для кирпича,  $\pm 4$  мм по ширине для камня. Отклонение от перпендикулярности граней не должно превышать по плашку и ложку 4 мм, по тычку – для кирпича и камней толщиной 138 мм и менее – 3 мм, для остальных видов камней – 4 мм. Перпендикулярность ребер и граней кирпича и камней не должна превышать 4 мм по постели и 5 мм по ложку. Непрямолинейность ребер и граней определяют металлической линейкой и угольником, как это показано на рис. 2.1.

Допускается не более двух отбитостей углов глубиной от 10 до 15 мм и двух отбитостей (притупленностей) ребер глубиной более 5 мм или длиной по ребру от 10 до 15 мм. Общее количество кирпича и камней с отбитостями, превышающими допустимые значения, не должно быть более 5 %.

Величину отбитости и притупленности определяют путем измерения просвета между поверхностью образца и гранью приложенного к нему металлического угольника (рис. 2.1).

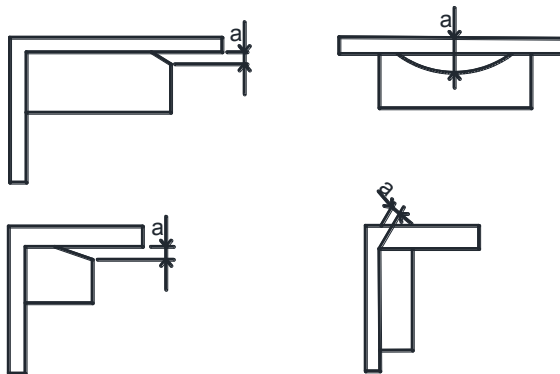


Рис. 2.1. Схема измерения рельефной поверхности и отбитости углов кирпича

Количество трещин в кирпиче ограничивается, так как они ухудшают свойства изделия. На ложковой и тычковой гранях допускается не более чем по одной сквозной трещине протяженностью до 30 мм по ложку полнотелого кирпича или не более чем до первого ряда пустот для пустотелого кирпича. На камнях допускаются трещины длиной в половину ложковой либо тычковой грани. Полнотелый кирпич, имеющий сквозную трещину более 30 мм, или пустотелый кирпич со сквозными трещинами более чем до первого ряда пустот в половину ложковой либо тычковой грани относятся к половняку. К нему относятся также изделия, состоящие из парных половинок. Количество половинок в партии допускается не более 5 %.

Недожог или пережог кирпича и камней является браком и запрещается к поставке потребителю. Степень обжига определяют сравнением отобранных образцов с эталоном кирпича нормального обжига, полученного с завода-изготовителя и хранящегося в лаборатории. Недоженные изделия имеют низкие прочность и морозостойкость, пережженные – не только повышенную прочность, но и повышенную теплопроводность.

## 2.2. Определение марки кирпича по пределу прочности при сжатии и изгибе

Марку керамического кирпича определяют путем испытания на сжатие и изгиб, а камней – только на сжатие.

**Материалы и оборудование:** образцы кирпича или камня; портландцемент с минеральными добавками или шлакопортландцемент марки 400; гипсовое вяжущее вещество марки Г-16; кварцевый песок с зернами не более 1,25 мм; вода; чаша для приготовления растворной смеси; лопатки для перемешивания; гидравлический пресс; металлическая измерительная линейка; сито № 1,25; пластины металлические или стеклянные размерами 270×150×5 мм; технический войлок толщиной 5–30 мм; резиноканевая пластина толщиной 5–10 мм или картон; ножовка по металлу или дисковая пила; приспособление для раскалывания кирпича на прессе; приспособление для испытания образцов на изгиб.

### **Определение предела прочности кирпича и камней при сжатии.**

**Выполнение работы.** Для определения предела прочности кирпича при сжатии изготавливают пять образцов из двух целых кирпичей или двух половинок. Кирпич распиливают или раскалывают согласно схеме, приведенной на рис. 2.2. Допускается изготовление образцов из половинок после испытания кирпича на изгиб. Поверхности раздела должны быть направлены в противоположные стороны.

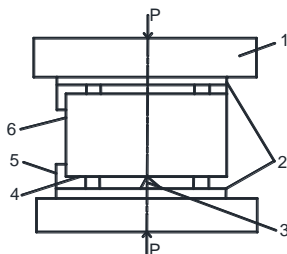


Рис. 2.2. Схема раскалывания кирпича на прессе:  
1 – плита пресса; 2 – основание; 3 – металлический нож;  
4 – резиновые прокладки; 5 – упор; 6 – образец

Образцы из кирпича пластического прессования изготавливают, соединяя их части и выравнивая поверхности цементным раствором. Для приготовления раствора используют портландцемент или шлакопортландцемент марки 400 и кварцевый песок, просеянный через сито № 1,25. Состав раствора: отношение цемента к песку 1:1, водоцементное отношение  $V/C = 0,40-0,42$ .

Кирпич предварительно погружают на 1 мин в воду. Затем на ровную горизонтальную поверхность укладывают стеклянную или метал-

лическую пластинку, на нее кладут лист бумаги и расстилают по нему слой раствора толщиной 5 мм. На раствор кладут кирпич, слегка прижимая его рукой, после чего по верхней поверхности кирпича распределяют слой раствора толщиной 5 мм и прижимают к нему второй кирпич. Излишки раствора срезают. Образец выдерживают 30 мин, затем переворачивают и выравнивают другую его опорную поверхность.

После изготовления образцов и последующего затвердевания раствора их выдерживают не менее трех суток при температуре воздуха  $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$  и относительной его влажности 60–80 %.

Предел прочности керамических камней определяют испытанием образцов из целого камня с выровненными, как и у кирпича, опорными поверхностями.

Допускается выравнивание горизонтальных поверхностей кирпича и камней шлифованием, гипсовым раствором или с помощью прокладок из технического войлока, резиноканевых пластин, картона.

Толщина слоя гипсового раствора с водогипсовым отношением 0,32–0,35 должна быть не более 5 мм. Испытания следует проводить не ранее чем через 2 ч после изготовления образцов. Поверхности образцов из кирпича полусухого прессования не выравнивают.

Схема испытания образцов на сжатие приведена на рис. 2.3. Перед испытанием вычисляют площадь поперечного сечения образца как среднее арифметическое площадей верхней и нижней граней. Линейный размер каждой грани определяют как среднее арифметическое результатов измерений средних линий противоположных поверхностей образца. Измерения выполняют с точностью до 1,0 мм.

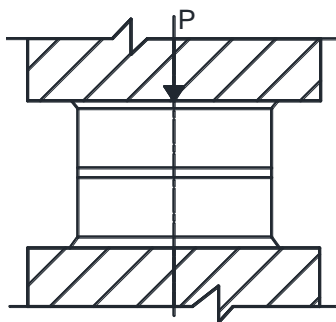


Рис. 2.3. Схема испытания кирпича на сжатие

Разрушающую нагрузку определяют на гидравлическом прессе при ее нарастании со скоростью, обеспечивающей разрушение образца через 20–60 с после начала испытания.

Предел прочности при сжатии отдельного образца  $R_{сж}$ , МПа, вычисляют по формуле

$$R_{сж} = PS, \quad (2.1)$$

где  $P$  – разрушающая нагрузка, Н;

$S$  – площадь образца, мм<sup>2</sup>.

Средний предел прочности вычисляют с точностью до 0,05 МПа как среднее арифметическое результатов испытаний пяти образцов.

При вычислении предела прочности образцов утолщенного кирпича (толщиной 88 мм) результаты испытаний умножают на коэффициенты 1,2.

**Определение предела прочности кирпича при изгибе.** Для испытания применяют приспособление, состоящее из двух опорных катков, расположенных на расстоянии 200 мм друг от друга, и катка для передачи нагрузки от пресса на кирпич. Длина каждого катка должна быть не менее ширины кирпича, а диаметр – не более 20 мм.

**Выполнение работы.** Испытание кирпича на изгиб проводят на целых кирпичах, как на балках, свободно лежащих на двух опорах и нагруженных посередине пролета (рис. 2.4).

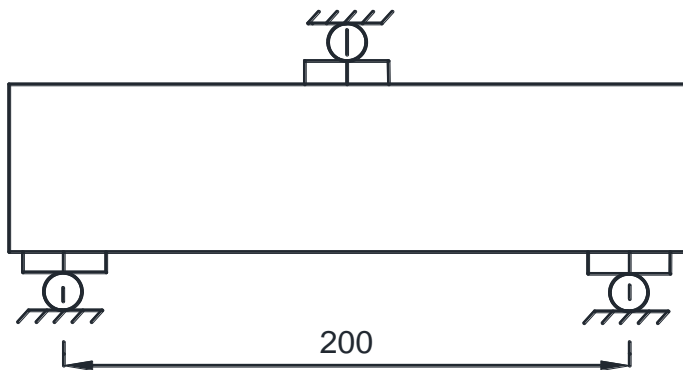


Рис. 2.4. Схема испытания кирпича на изгиб

В местах опирания и приложения нагрузки поверхность кирпича пластического прессования выравнивают цементным или гипсовым раствором, шлифованием или укладывают прокладки. Образцы из пустотелого кирпича с несквозными пустотами кладут пустотами вниз. Перед испытанием измеряют размеры поперечного сечения кирпича с точностью до 1,0 мм.

Скорость нарастания нагрузки должна обеспечить разрушение кирпича через 20–60 с.

Предел прочности при изгибе отдельного образца  $R_{и}$ , МПа, определяют по формуле

$$R_{и} = \frac{3Pl}{2bh^2}, \quad (2.2)$$

где  $P$  – разрушающая сила, Н;

$l$  – длина пролета между опорами, мм;

$b$  – ширина кирпича, мм;

$h$  – высота (толщина) кирпича посередине пролета, мм.

За окончательное значение предела прочности при изгибе принимают среднее арифметическое результатов испытаний пяти образцов, вычисленное с точностью до 0,05 МПа. Если один из образцов имеет прочность, отличающуюся более чем на 50 % в большую или меньшую сторону от среднего значения, то этот образец не учитывается и принимается среднее арифметическое прочности четырех образцов.

Результаты испытаний при сжатии и изгибе сравнивают с данными СТБ 1160-99, приведенными в табл. 2.1, и делают выводы о марке кирпича и камней.

Таблица 2.1. Марки кирпича и камней

Марка кирпича и камней	Предел прочности, МПа, не менее							
	при сжатии всех видов кирпича и камней		при изгибе					
			полнотелого кирпича пластического формования		полнотелого кирпича полусухого прессования и одинарного пустотелого кирпича		пустотелого утолщенного кирпича	
	средний для 5 образцов	наименьший для отдельного образца	средний для 5 образцов	наименьший для отдельного образца	средний для 5 образцов	наименьший для отдельного образца	средний для 5 образцов	наименьший для отдельного образца
<b>Для полнотелого кирпича пластического и полусухого прессования</b>								
300	30,0	25,0	4,4	2,2	3,4	1,7	2,9	1,5
250	25,0	20,0	3,9	2,0	2,9	1,5	2,5	1,3
200	20,0	17,5	3,4	1,7	2,5	1,3	2,3	1,1
175	17,5	15,0	3,1	1,5	2,3	1,1	2,1	1,0
150	15,0	12,5	2,8	1,4	2,1	1,0	1,8	0,9
125	12,5	10,0	2,5	1,2	1,9	0,9	1,6	0,8
100	10,0	7,5	2,2	1,1	1,6	0,8	1,4	0,7
75	7,5	5,0	1,8	0,9	1,4	0,7	1,2	0,6
<b>Для кирпича и камней с горизонтальным расположением пустот</b>								
100	10,0	7,5	–	–	–	–	–	–
75	7,5	5,0	–	–	–	–	–	–
50	5,0	3,5	–	–	–	–	–	–
35	3,5	2,5	–	–	–	–	–	–
25	2,5	1,5	–	–	–	–	–	–

Примечание. Предел прочности при сжатии и изгибе определяют по фактической площади кирпича без вычета площади пустот.

### Лабораторная работа 3. ИСПЫТАНИЕ ДРЕНАЖНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ТРУБ (СТБ 1720-2007)

Керамические дренажные трубы изготавливают из пластичных тугоплавких глин с добавками или без них. Трубы формируют на горизонтальных вакуум-прессах трех типов: с цилиндрической, шестигранной и восьмигранной наружной поверхностью (рис. 3.1) с внутренним диаметром 50–250 мм при толщине стенок соответственно 11–25 мм и длине 333 мм.



Рис. 3.1. Типы дренажных труб:  
круглые; шестигранные;  
восьмигранные

#### 3.1. Оценка качества труб по внешнему виду, форме и размерам

**Материалы и оборудование:** образцы труб; мерный инструмент (металлическая линейка, штангенциркуль, угольник); ванна с водой для кипячения труб.

**Выполнение работы.** Трубы осматривают, проверяют правильность формы, наличие выпловок, пузырей, вмятин, отбитостей, инородных включений, трещин. Предельные отклонения от размеров труб должны соответствовать указанным в табл. 3.1.

Таблица 3.1. Основные размеры труб и допускаемые отклонения

Внутренний диаметр трубы, мм		Толщина стенки трубы, мм		Длина трубы, мм	
Номи- нальный	Предельные отклонения	Номи- нальная	Предельные отклонения	Номи- нальная	Предель- ные откло- нения
50	±2	11	±2	333	±10
75		13			
100		15			
125	±3	18	±3		
150		20			
175		22			
200	±5	24	±5		
250		25			

Примечание. Трубы диаметром от 100 до 250 мм по согласованию потребителя с предприятием-изготовителем допускается изготавливать длиной 500 мм.

Правильность размеров проверяют металлической линейкой, угольником или штангенциркулем с точностью до 1 мм. Внутренний диаметр определяют как среднее арифметическое значение четырех результатов, полученных от измерения штангенциркулем наибольшего и наименьшего внутреннего диаметра на обоих концах трубы. Толщину стенки трубы измеряют штангенциркулем на обоих концах трубы. Толщину стенки многогранных труб измеряют по ребру. Длину трубы определяют как среднее арифметическое самой длинной и самой короткой образующей грани трубы.

Трубы в поперечном сечении должны иметь форму правильной окружности по их внутренней поверхности и правильной окружности или правильного многоугольника по их наружной поверхности. Отклонения от размеров каждого из взаимно перпендикулярных диаметров на концах трубы (овальность) не должны превышать: 2 мм – при диаметре 50 мм; 3 мм – 75 мм; 4 мм – 100, 125, 150 мм; 5 мм – 175, 200 мм; 6 мм – 250 мм. Овальность трубы определяется как разность между наибольшим и наименьшим внутренним диаметром каждого конца трубы.

Трубы должны иметь по всей длине цилиндрическую форму или форму правильной многогранной призмы. Искривление трубы по образующей цилиндра или граням призмы не должно быть более 4 мм для труб всех диаметров. Искривление трубы определяется измерением наибольшего зазора между поверхностью трубы и приложенной к ней металлической линейкой (рис. 3.2).

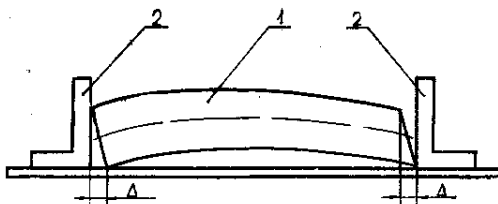


Рис. 3.2. Измерение искривления поверхности трубы:  
1 – труба; 2 – угольник

Торцевые плоскости труб должны быть перпендикулярны к плоскости, проходящей вдоль трубы. Отклонения от перпендикулярности плоскости торцов труб (перекос) не должны превышать: 3 мм – при диаметре 50 мм; 4 мм – 75, 100 мм; 5 мм – 125, 150 мм; 6 мм – 175, 200 мм; 8 мм – 250 мм.

Перекас определяется измерением величины наибольшего зазора между каждым из торцов трубы, уложенной на ровную поверхность с касанием не менее чем в двух точках, и стороной прикладываемого угольника (рис. 3.2).

Внутренние поверхности труб и плоскости торцов должны быть гладкими. На поверхности труб допускаются отдельные выплавки, пузыри, вмятины, отбитости и инородные включения в количестве не более 5, размером от 3 до 6 мм и не более 8 включений, в том числе известковых, вызывающих на поверхности трубы отколы не более 1/4 толщины ее стенки.

Наличие известковых включений и их разрушающее действие на испытываемые трубы-образцы определяют путем кипячения в воде. Для этого трубы помещают в сосуд на решетку, под которой налита вода, закрывают крышкой и кипятят в течение 1 ч. Затем образцы охлаждают в закрытом сосуде в течение 1 ч, после чего их вынимают и осматривают.

На трубе допускается одна сквозная продольная трещина длиной до 80 мм или сквозная кольцевая трещина длиной не более 1/4 длины окружности (периметра).

### 3.2. Определение прочности труб

**Материалы и оборудование:** образцы труб; гидравлический пресс; деревянные бруски 100×100 мм; резиновые прокладки.

**Выполнение работы.** Определение прочности труб проводят на гидравлическом прессе. Трубу в воздушно-сухом состоянии укладывают в горизонтальном положении между двумя деревянными брусками сечением и длиной не менее длины испытуемой трубы. Для равномерной передачи давления по всей образующей (границы) трубы укладывают на резиновые прокладки. Нагрузку прикладывают со скоростью 0,1–0,2 кН (10–20 кгс) в секунду до разрушения.

За прочность труб данной партии принимают среднее арифметическое значение результатов испытаний пяти труб-образцов. При этом прочность отдельных труб не должна быть ниже 0,5 кН (50 кгс). Внешняя нагрузка, которую должны выдерживать трубы без разрушения, должна быть не менее: 3,5 кН (350 кгс) – при диаметре 50, 75 мм; 4,5 кН (450 кгс) – 100, 125, 150 мм; 5,0 кН (500 кгс) – 175, 200, 250 мм.

#### **Лабораторная работа 4. ИСПЫТАНИЕ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА**

При испытании портландцемента определяют следующие основные его свойства: вид, истинную и насыпную плотности, тонкость помола, удельную поверхность цемента, нормальную густоту цементного теста, сроки схватывания, равномерность изменения объема и прочность.

##### **4.1. Определение истинной плотности**

Истинная плотность портландцементов оказывает влияние на их свойства. Из портландцементов одного и того же вида более экономичны те, которые имеют меньшую истинную плотность. При равной активности и водопотребности они дают больший выход цементного теста.

**Материалы и оборудование:** проба цемента; аналитические весы; совок; стандартная воронка; сушильный шкаф; эксикатор; концентрированная серная кислота; объемомер Ле Шателье; жидкость, инертная к цементу (бензин, керосин, бензол); термометр; водяной термостат; фильтровальная бумага.

**Выполнение работы.** Истинную плотность портландцемента определяют с помощью объемомера Ле Шателье, который выполнен в виде стеклянной колбы с узким горлом, расширяющимся в средней части. Объем колбы составляет 120–150 см<sup>3</sup>. Горло проградуировано с

ценой деления 0,1 см. Сверху и снизу от уширения нанесены две черты, объем между которыми равен 20 см<sup>3</sup>.

Объемомер помещают в сосуд с водой, чтобы его проградуированная часть была погружена в воду. Температура воды должна быть  $(20 \pm 2)$  °С, т. е. соответствовать температуре, при которой производилась тарировка прибора. Во избежание всплытия прибор закрепляют на штативе.

Объемомер заполняют жидкостью, инертной к цементу, до нижней нулевой черты. Верхнюю часть, свободную от жидкости, вытирают тампоном из фильтровальной бумаги.

Из пробы цемента, предварительно высушенной в течение 2 ч при температуре  $(110 \pm 5)$  °С до постоянной массы, а затем охлажденной в эксикаторе, отвешивают 65 г цемента. Через воронку цемент совкомсыпают в объемомер до тех пор, пока уровень жидкости не поднимется до отметки 20 см<sup>3</sup>. Для удаления пузырьков воздуха из цемента объемомер поворачивают вокруг его вертикальной оси. Остаток цемента взвешивают. Истинную плотность ( $\rho_{н.п}$ , г/см<sup>3</sup>) определяют по формуле

$$\rho_{н.п} = \frac{m - m_1}{V}, \quad (4.1)$$

где  $m$  – масса цемента до начала опыта, г;

$m_1$  – масса остатка цемента, г;

$V$  – объем жидкости, вытесненной цементом, см<sup>3</sup>.

Испытания выполняют три раза. За окончательный результат принимают среднее арифметическое результатов трех определений.

## 4.2. Определение насыпной плотности

Насыпную плотность необходимо знать для определения количества портландцемента на складе, вместимости складов. Насыпная плотность ниже у более тонкоизмельченных цементов с меньшей истинной плотностью.

**Материалы и оборудование:** проба цемента; стандартная воронка; мерный цилиндр вместимостью 1000 см<sup>3</sup>; весы; виброплощадка.

**Выполнение работы.** Насыпную плотность портландцемента в рыхлом состоянии определяют с помощью стандартной воронки с поворачивающимся затвором в нижней части и мерного металлического сосуда вместимостью 1000 см<sup>3</sup>.

Цемент насыпают в воронку при закрытом затворе. Под выходное отверстие подставляют мерный сосуд, который должен находиться на расстоянии 50 мм от задвижки затвора. Затем открывают затвор и наполняют мерный сосуд с избытком, после чего закрывают затвор, а избыток цемента срезают линейкой. Цилиндр с цементом взвешивают с точностью до 1,0 г.

Насыпную плотность цемента ( $\rho_n$ , г/см<sup>3</sup>) вычисляют по формуле

$$\rho_n = \frac{m_1 - m_2}{V}, \quad (4.2)$$

где  $m_1$ ,  $m_2$  – масса мерного сосуда соответственно с цементом и пустого, г;

$V$  – вместимость сосуда, см<sup>3</sup>.

Испытания повторяют три раза. За окончательный результат принимают среднее арифметическое значение.

Для определения насыпной плотности цемента в уплотненном состоянии применяют приведенную выше методику с тем отличием, что после заполнения мерного сосуда цемент уплотняют вибрированием на виброплощадке в течение 30–60 с или легким постукиванием цилиндра о стол. В процессе уплотнения цемент досыпают, а избыток его затем срезают.

### 4.3. Определение тонкости помола

При производстве портландцемента цементный клинкер измельчают до частиц размером 10–20 мкм. От тонкости измельчения зависит прочность цемента, скорость его взаимодействия с водой и, следовательно, скорость твердения.

**Материалы и оборудование:** проба цемента; фарфоровая чашка; технические весы; сито № 09; сито № 008 с доньшком и крышкой; прибор для встряхивания сит; сушильный шкаф; эксикатор; лист глянцевой бумаги; кисточка.

**Выполнение работы.** Перед началом испытания пробу цемента массой 100 г высушивают в фарфоровой чашке в сушильном шкафу при температуре 105–110 °С в течение 2 ч. Затем охлаждают в эксикаторе до температуры помещения ( $20 \pm 3$ ) °С и просеивают через сито № 09 (рис. 4.1). Из подготовленной таким образом пробы отвешивают 50 г цемента и помещают в сито № 008, закрывают крышкой и просеивают в механическом приборе в течение 5–10 мин. При отсутствии

такого прибора просеивать можно вручную. Испытание считается законченным, если при контрольном просеивании в течение 1 мин через сито проходит не более 0,05 г цемента.

Тонкость помола  $T$  с точностью до 0,1 % выражается остатком на сите № 008 в процентах от первоначальной массы и определяется по формуле

$$T = \frac{m_1}{m_2} \cdot 100, \quad (4.3)$$

где  $m_1$  – масса цемента, взятого для испытания, г;

$m_2$  – масса цемента, оставшегося на сите после просеивания, г.

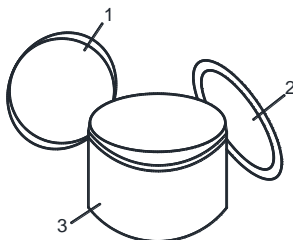


Рис. 4.1. Сито для просеивания цемента и гипсовых вяжущих:  
1 – сито; 2 – крышка; 3 – доньшко

Тонкость помола должна быть такой, чтобы остаток на сите № 008 не превышал 15 %.

#### 4.4. Определение нормальной густоты цементного теста

Нормальная густота цементного теста характеризуется содержанием воды (в процентах от массы цемента). Уменьшение нормальной густоты цементного теста на 1 % понижает водопотребность бетонной смеси на 2–5 л/м<sup>3</sup>, что приводит к уменьшению расхода цемента на 1 м<sup>3</sup> бетона. Сроки схватывания и равномерность изменения объема цемента определяются также на цементном тесте нормальной густоты.

**Материалы и оборудование:** средняя проба цемента; вода; машинное масло; прибор Вика; механическая мешалка или сферическая чаша для затворения; стандартная лопатка; нож; мерный цилиндр; технические весы; секундомер.

**Выполнение работы.** Нормальную густоту цементного теста определяют на приборе Вика с пестиком (рис. 4.2). Цементное тесто приготавливают вручную или в механической мешалке.

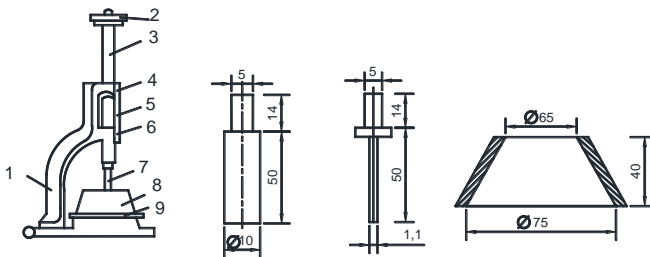


Рис. 4.2. Прибор Вика: 1 – металлическая станина; 2 – площадка для дополнительного груза; 3 – цилиндрический подвижный стержень; 4 – указатель; 5 – шкала; 6 – зажимной винт; 7 – пестик или стальная игла; 8 – кольцо; 9 – стальная пластинка

При ручном перемешивании 400 г цемента, взвешенного с точностью до 1,0 г, всыпают в металлическую сферическую чашу (рис. 4.3), предварительно протертую влажной тканью, делают в цементе углубление, вливают воду. Количество воды для первого пробного замеса – 100–110 г (25–28 % от массы цемента). После заливки воды углубление заполняют цементом и через 30 с перемешивают, вначале осторожно, а затем энергично растирают стандартной лопаткой (рис. 4.4) во взаимно перпендикулярных направлениях. Продолжительность перемешивания и растирания составляет 5 мин.

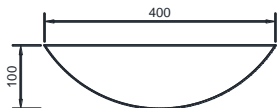


Рис. 4.3. Чаша для затворения

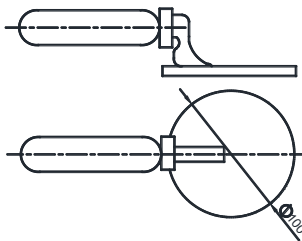


Рис. 4.4. Стандартная лопатка для перемешивания цемента и гипса

При перемешивании в механической мешалке 400 г цемента распределяют равномерно по дну чаши для затворения, которую предварительно протирают влажной тканью. На цемент равномерно выливают воду и включают мешалку. Через 5 мин мешалка автоматически выключается. В один прием кольцо прибора наполняют цементным тестом, встряхивают его 5–6 раз, постукивая кольцо прибора с пластинкой снизу о стол, после чего выравнивают поверхность теста ножом, смоченным водой, и ставят под стержень прибора Вика.

Перед началом испытания следует проверить, свободно ли опускается стержень прибора, а также положение стрелки, которая должна находиться на нуле при соприкосновении пестика и пластинки. Кольцо и пластинку смазывают тонким слоем машинного масла. Затем приводят пестик в соприкосновение с цементным тестом в центре кольца и закрепляют стержень винтом. Далее винт отвинчивают, одновременно включая секундомер. Через 30 с винт завинчивают и по шкале определяют глубину погружения пестика в цементное тесто. Если отсчет показывает, что пестик не дошел до пластинки на 5–7 мм, то считается, что тесто имеет нормальную густоту. В противном случае цемент затворяют вновь, изменив количество воды.

#### **4.5. Определение сроков схватывания цементного теста**

Сроки схватывания портландцемента должны наступать не ранее чем через 45 мин и не позднее чем через 10 ч после затворения цемента водой. В действительности для большинства цементов начало схватывания наступает через 1–2 ч, а конец – через 5–8 ч. Эти сроки обеспечивают перевозку и укладку растворов и бетонных смесей. При необходимости сроки схватывания цементов можно регулировать путем введения химических добавок.

**Материалы и оборудование:** средняя проба цемента; вода; машинное масло; прибор Вика; сферическая чаша для затворения; стандартная лопатка; мерный цилиндр; секундомер; технические весы; нож; часы.

**Выполнение работы.** Сроки схватывания цементного теста определяют на приборе Вика, на нижней части подвижного стержня которого закреплена стальная игла с площадью сечения  $1 \text{ мм}^2$ . Для сохранения общей массы подвижной части прибора, равной  $(300 \pm 2) \text{ г}$ , на верх стержня укладывают довеску. За начало схватывания принимают время от начала затворения цемента водой до момента, когда игла

прибора не дойдет до пластинки на 1–2 мм. За конец схватывания принимают время от начала затворения до момента, когда игла погрузится в тесто не более чем на 1–2 мм.

Вначале приготавливают тесто нормальной густоты, которым заполняют кольцо прибора Вика, слегка встряхивают его 5–6 раз для удаления воздуха и ставят под иглу. Доводят иглу до соприкосновения с поверхностью теста, закрепляют стержень винтом, после чего отвинчивают винт, освобождая стержень, и дают игле свободно погружаться в тесто. В начале опыта иглу следует слегка придерживать, чтобы она не согнулась при соприкосновении с пластинкой. Погружение производят через 10 мин. Кольцо с тестом передвигают перед каждым погружением, чтобы игла не попадала в одно и то же место. После каждого погружения иглу вытирают.

#### 4.6. Определение равномерности изменения объема цемента

Содержание в цементе свободных оксидов кальция (CaO), магния (MgO) и гипса ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) сверх нормы вызывает неравномерность изменения объема цементного камня. Это происходит из-за нарушения технологии производства и отклонений в составе сырьевой смеси. Неравномерность изменения объема цемента приводит к деформации и образованию трещин в твердеющих растворах и бетонах и даже к их разрушению.

Равномерность изменения объема цемента устанавливается кипячением в воде образцов-лепешек, изготовленных из цементного теста.

**Материалы и оборудование:** средняя проба цемента; вода; машинное масло; сферическая чаша для затворения; стандартная лопатка; мерный цилиндр; ванна с гидравлическим затвором; пропарочный бачок; нагревательный прибор; термометр; технические весы; чистые стеклянные пластинки; нож; металлическая линейка; часы.

**Выполнение работы.** Отвешивают 400 г цемента и приготавливают из него тесто нормальной густоты. Затем берут две навески цементного теста по 75 г и помещают каждую из них в виде шарика на стеклянную пластинку, предварительно протертую машинным маслом. Встряхивая пластинку легким постукиванием о стол, добиваются расплывания шариков в лепешки диаметром 7–8 см и толщиной в середине 1 см. Поверхности лепешек сглаживают от наружных краев к центру ножом, смоченным водой. Изготовленные лепешки в течение  $(24 \pm 2)$  ч хранят в ванне с гидравлическим затвором (рис. 4.5) при

температуре  $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ , затем снимают с пластинок и помещают на решетчатую полку пропарочного бачка (рис. 4.6). Бачок заполняют водой так, чтобы уровень ее был на 4–6 см выше поверхности лепешек, после чего закрывают его и ставят на нагревательный прибор. За 30–45 мин воду доводят до кипения и кипятят 3 ч. Затем образцы охлаждают в бачке до температуры  $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$  и осматривают.

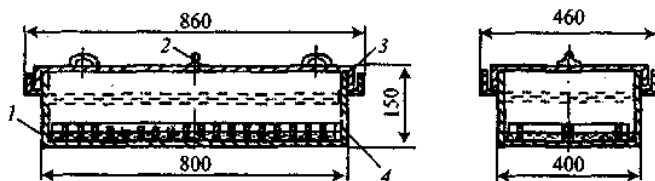


Рис. 4.5. Ванна с гидравлическим затвором:  
1 – ванна; 2 – пробка; 3 – гидравлический затвор;  
4 – решетка для образцов

Цемент считается качественным, если на образцах-лепешках не обнаружится доходящих до краев радиальных трещин или мелких трещин, видимых в лупу либо невооруженным глазом, а также каких-либо искривлений (рис. 4.7).

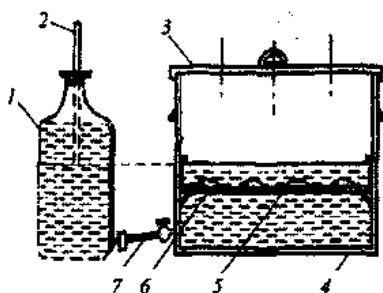


Рис. 4.6. Пропарочный бачок: 1 – сосуд с водой; 2 – подвижная линейка для регулирования уровня воды в бачке; 3 – крышка; 4 – бачок; 5 – съемная решетка; 6 – лепешки из цементного теста; 7 – резиновая трубка

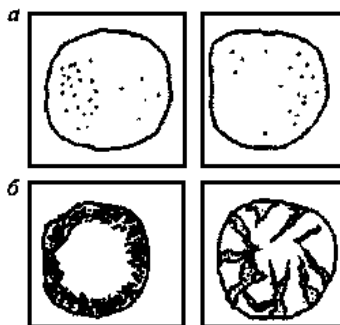


Рис. 4.7. Лепешки для испытания на равномерность изменения объема цемента: а – выдержавшие испытание; б – не выдержавшие испытание

#### 4.7. Определение марки цемента по пределу прочности при изгибе и сжатии

По механической прочности портландцементы подразделяются на марки 300, 400, 500, 550, 600, каждой из которых соответствует свой предел прочности при изгибе и сжатии образцов в возрасте 28 сут (табл. 4.1). Для быстротвердеющего и глиноземистого портландцементов, шлакопортландцемента, кроме того, нормируется и предел прочности в возрасте 3 сут.

Таблица 4.1. Предел прочности в возрасте 28 сут, МПа

Гарантированная марка цемента	Предел прочности	
	при изгибе	при сжатии
300	4,4	29,4
400	5,4	39,2
500	5,9	49,0
550	6,1	53,9
600	6,4	58,8

**Материалы и оборудование:** средняя проба цемента; вода; нормальный песок; машинное масло; технические весы; сферическая чаша для затворения; стандартная лопатка; лабораторная мешалка; встряхивающий столик; форма-конус; металлическая штыковка; комплект форм-балочек; виброплощадка; ванна с гидравлическим затвором; ванна для хранения балочек; нож; секундомер; испытательная машина МИИ-100; нажимные пластинки; гидравлический пресс с предельной нагрузкой 500 кН.

**Выполнение работы.** Марку цемента определяют по результатам испытаний образцов-балочек размерами 40×40×160 мм на изгиб и их половинок на сжатие по схемам, приведенным на рис. 4.8 и 4.9.

Предел прочности образцов на сжатие в возрасте 28 сут называют **активностью**.

Последовательность выполнения испытаний следующая. Отвешивают 500 г цемента и 1500 г нормального песка и перемешивают в течение 1 мин в стальной сферической чаше. Затем делают в центре смеси углубление, вливают 200 г воды, что соответствует водоцементному отношению, равному 0,4, и снова перемешивают в течение 1 мин.

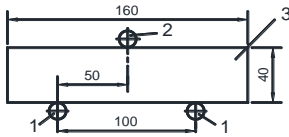


Рис. 4.8. Схема испытания цементных и гипсовых образцов на изгиб:  
 1 – опора; 2 – нагружающий валик;  
 3 – образец-балочка

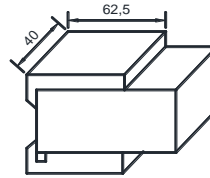


Рис. 4.9. Расположение нажимных металлических пластинок при испытании половинок балочек на сжатие

Растворную смесь помещают в лабораторную мешалку (рис. 4.10) и перемешивают 2,5 мин (20 оборотов мешалки), после чего проверяют консистенцию с помощью встряхивающего столика и формы-конуса (рис. 4.11). Для этого форму-конус устанавливают в центре диска на стекло, предварительно увлажнив его, и заполняют растворной смесью в два слоя.

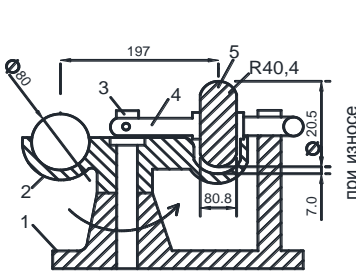


Рис. 4.10. Лабораторная мешалка:  
 1 – станина; 2 – смесительная чаша;  
 3 – ось чаши; 4 – откидная траверса;  
 5 – валик для перемешивания раствора

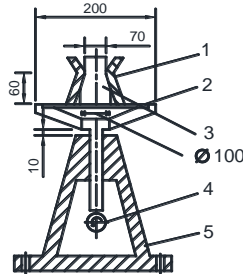


Рис. 4.11. Встряхивающий столик и форма-конус:  
 1 – форма; 2 – стекло; 3 – ось с горизонтальным диском;  
 4 – кулачок; 5 – чугунная станина

Каждый слой уплотняют металлической штыковкой (рис. 4.12): нижний – 15 раз, верхний – 10 раз. Затем излишек раствора срезают и форму-конус снимают. Вращая рукоятку, встряхивают диск с находящимся на нем раствором 30 раз в течение 30 с и потом измеряют величину расплыва конуса во взаимно перпендикулярных направлениях.

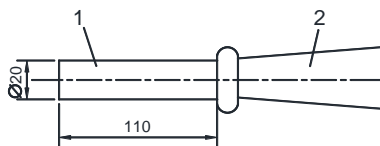


Рис. 4.12. Металлическая штыковка:  
1 – стержень; 2 – ручка

Консистенция раствора считается нормальной при расплыве конуса в интервале 106–115 мм. Если расплыв получается большим или меньшим, то делают новые замесы с соответственно меньшим или большим количеством воды. Водопотребность растворной смеси выражается в виде водоцементного отношения.

Из цементного раствора изготавливают по три образца-балочки для каждого испытания. Их формуют в трехгнездных формах (рис. 4.13).

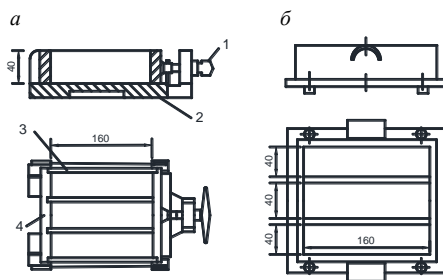


Рис. 4.13. Металлическая разъемная форма для балочек (а)  
и насадка к ней (б): 1 – зажимный винт; 2 – поддон;  
3 – боковые стенки; 4 – торцовые стенки

На формы надевают насадки, смазывают машинным маслом, ставят на стандартную виброплощадку (рис. 4.14) и прочно закрепляют. Виброплощадка создает вертикальные колебания амплитудой 0,35 мм и частотой 2800–3000 колебаний в минуту. Приготовленный раствор вкладывают в гнезда формы высотой 1 см и включают виброплощадку. В течение 2 мин равномерными порциями заполняют гнезда раствором. Общее время вибрации – 3 мин. Затем снимают с формы насадку, а излишки раствора срезают ножом, смоченным в воде.

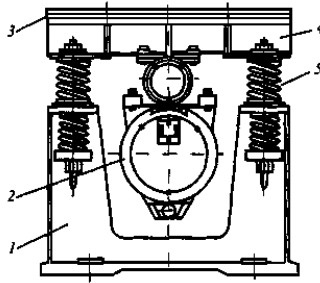


Рис. 4.14. Лабораторная виброплощадка:  
 1 – станина; 2 – электродвигатель  
 с неуравновешенным грузом;  
 3 – площадка; 4 – рама; 5 – пружина

Образцы в формах хранят в ванне с гидравлическим затвором в течение  $(24 \pm 2)$  ч, после чего расформовывают и укладывают горизонтально в ванне с водой так, чтобы они не соприкасались друг с другом. Температура воды должна быть  $(20 \pm 2)$  °С. Воду меняют через 14 сут.

Испытания проводят через 28 сут с момента изготовления образцов вначале на изгиб на испытательной машине МИИ-100 (рис. 4.15), а затем половинки – на сжатие на гидравлическом прессе (рис. 4.16). Перед испытанием образцы вытирают насухо.

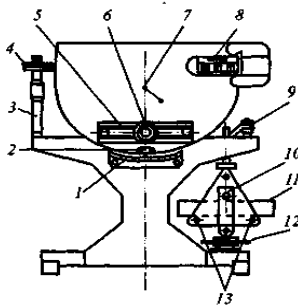


Рис. 4.15. Испытательная машина МИИ-100:  
 1 – шкала; 2 – стрелка; 3 – амортизатор;  
 4 – шайба; 5 – прорезь; 6 – груз; 7 – рукоятка  
 управления; 8 – счетчик; 9 – коромысло;  
 10 – валик; 11 – образец балочка;  
 12 – маховичок; 13 – опоры

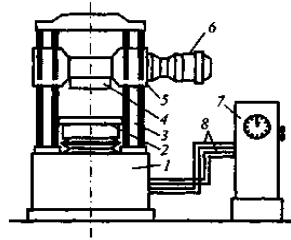


Рис. 4.16. Гидравлический пресс:  
 1 – чугунная станина; 2 – нижняя  
 опора; 3 – стальные колонны;  
 4 – верхняя опорная плита;  
 5 – траверса; 6 – электродвигатель;  
 7 – пульт управления;  
 8 – маслопроводы

Предел прочности при изгибе вычисляют как среднее арифметическое двух наибольших результатов для трех образцов.

Половинки балочек испытывают на сжатие, для чего применяют стальные пластинки площадью  $25 \text{ см}^2$  (рис. 4.17).



Рис. 4.17. Стальные пластинки для испытания на сжатие половинок балочек

Каждый образец помещают между двумя пластинками таким образом, чтобы его вертикальные плоскости находились между пластинками. Затем образец сжимают со скоростью  $(2 \pm 0,5)$  МПа/с. Предел прочности при сжатии  $R_{сж}$ , МПа, вычисляют по формуле

$$R_{сж} = P / S, \quad (4.4)$$

где  $P$  – разрушающая нагрузка, Н;  
 $S$  – площадь образца,  $\text{мм}^2$ .

Средний предел прочности вычисляют с точностью до 0,1 МПа как среднее арифметическое четырех наибольших результатов для шести образцов половинок балочек.

Полученные значения предела прочности при изгибе и сжатии сравнивают с требованиями СТБ ЕН 196-1-2000 и определяют марку цемента.

Допускается отклонение прочности образцов 28-суточного возраста до 5 % ниже марочной прочности.

## Лабораторная работа 5. ИСПЫТАНИЕ ГИПСОВЫХ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ

При оценке качества гипсовых вяжущих веществ определяют тонкость помола гипсового порошка, стандартную консистенцию и сроки схватывания гипсового теста, марку по прочности гипсового камня.

### 5.1. Определение тонкости помола

По тонкости помола гипсовые вяжущие вещества классифицируются на вяжущие грубого, среднего и тонкого помола. Каждому виду соответствует максимальный остаток на сите № 02, приведенный в табл. 5.1.

Таблица 5.1. Максимальный остаток гипсовых вяжущих веществ на сите № 02

Группа помола вяжущего вещества	Индекс степени помола	Максимальный остаток на сите № 02, %, не более
Грубого помола	I	23
Среднего помол	II	14
Тонкого помола	III	2

Для вяжущего вещества высшей категории качества максимальный остаток на сите № 02 не должен превышать 12 %.

С повышением тонкости помола удельная поверхность зерен гипса становится больше, повышается их реакционная способность, качество гипса улучшается.

**Материалы и оборудование:** средняя проба гипса; фарфоровая плоскодонная чашка; сушильный шкаф; технические весы; сито № 02; установка для механического просеивания; часы.

**Выполнение работы.** Тонкость помола гипса характеризуется остатком (в процентах) на сите № 02. Она определяется путем просеивания пробы гипса массой 50 г, высушенного при температуре  $(50 \pm 5)$  °С в течение 1 ч, вручную или на механической установке. Длительность просеивания – 5–7 мин. Просеивание считают законченным, если сквозь сито в течение 1 мин проходит не более 0,05 г гипса. Тонкость помола  $T$ , %, вычисляют по формуле

$$T = \frac{m_1}{m_2} \cdot 100, \quad (5.1)$$

где  $m_1$ ,  $m_2$  – масса гипса, соответственно взятого для испытания и оставшегося на сите после просеивания, г.

Испытания выполняют два раза. За окончательный результат принимают среднее арифметическое результатов двух определений.

## 5.2. Определение стандартной консистенции (нормальной густоты) гипсового теста

Стандартная консистенция гипсового теста характеризуется водопотребностью гипса. Она составляет 50–70 % и зависит от вида и тонкости помола вяжущего вещества, применяемых добавок. Для гидратации гипса требуется примерно 18,6 % воды. Остальная вода необходима для получения подвижного теста. Избыточная вода испаряется, в гипсовом камне образуются поры, прочность его снижается. Лучшим считается вяжущее вещество с меньшей стандартной консистенцией теста.

Для снижения водопотребности в гипсовое тесто добавляют пластифицирующие добавки: суперпластификаторы и лигносульфонаты технические, карбоксиметилцеллюлозу и др.

На гипсовом тесте стандартной консистенции определяют также сроки схватывания и прочность гипса.

**Материалы и оборудование:** средняя проба гипса; питьевая вода; сито № 02; технические весы; сферическая чаша для затворения; ручная мешалка, имеющая более трех петель; мерный цилиндр вместимостью 250 мл; листовое стекло; лист бумаги с концентрическими окружностями через 5 мм; секундомер; металлическая линейка.

**Выполнение работы.** Стандартную консистенцию (Ст. к) гипсового теста выражают в процентах как отношение массы воды  $m_v$  к массе гипсового вяжущего  $m_r$ :

$$\text{Ст. к} = m_v / m_r. \quad (5.2)$$

Определяют ее с помощью цилиндра из материала, не подверженного коррозии. Внутренний диаметр цилиндра – 50 мм, высота – 100 мм (рис. 5.1). Цилиндр устанавливают на листовое стекло, под которое укладывают лист бумаги с концентрическими окружностями. Перед началом испытания внутреннюю поверхность цилиндра и стекло смачивают машинным маслом, цилиндр ставят в центре окружностей.

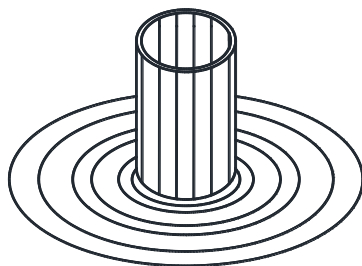


Рис. 5.1. Прибор для определения стандартной консистенции гипсового теста

В чашу для затворения, предварительно протертую влажной тканью, вливают примерно 150–200 г воды. Затем отвешивают 300 г гипса, просеянного через сито № 08, всыпают его в воду в течение 2–5 с и перемешивают ручной мешалкой (рис. 5.2) в течение 30 с, начиная отсчет времени с момента начала всыпания гипса.

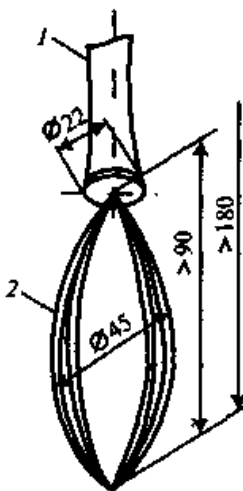


Рис. 5.2. Ручная мешалка:  
1 – ручка; 2 – петли

Приготовленным гипсовым тестом в течение 15 с заполняют цилиндр, а излишки срезают ножом. Через 45 с от начала всыпания гипсового вяжущего вещества в воду цилиндр резким движением поднимают, гипсовое тесто расплывается в лепешку, диаметр которой для теста стандартной консистенции должен быть  $(180 \pm 5)$  мм. При меньшем или большем диаметре лепешки испытание повторяют с измененной массой воды.

### 5.3. Определение сроков схватывания гипсового теста

По срокам схватывания гипсовые вяжущие вещества подразделяются на быстротвердеющие, нормально твердеющие и медленно твердеющие. Каждому из них соответствуют сроки схватывания, указанные в табл. 5.2.

Таблица 5.2. Сроки схватывания гипсовых вяжущих веществ

Вид вяжущего вещества	Индекс твердения	Начало схватывания, мин, не ранее	Конец схватывания, мин, не позднее
Быстро твердеющее	А	2	15
Нормально твердеющее	Б	6	30
Медленно твердеющее	В	20	Не нормируется

Сроки схватывания гипсовых вяжущих веществ зависят от их состава. Если они содержат двуводный сульфат кальция, то схватывание ускоряется, если ангидрит – замедляется.

На сроки схватывания влияют количество и температура воды затворения. При более высоком водогипсовом отношении схватывание замедляется, при температуре воды ниже  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$  происходит медленнее, при температуре  $30\text{--}40\text{ }^{\circ}\text{C}$  – быстрее.

Для регулирования сроков схватывания в производстве гипсовых изделий применяют различные добавки. Для ускорения схватывания чаще всего вводят от 0,2 до 3 % двуводного гипса, хлорида натрия или сульфата натрия, для замедления – кальциевую соль лигносульфоновой кислоты (ЛСТ), кератиновый или известково-клеевой замедлитель в количестве 0,1–0,5 %.

**Материалы и оборудование:** средняя проба гипса; питьевая вода; минеральное масло; мерный цилиндр вместимостью 250 мл; сферическая чаша для затворения; ручная мешалка; прибор Вика с иглой; стеклянная пластинка размерами  $100 \times 100$  мм; нож; весы; секундомер.

**Выполнение работы.** Сроки схватывания гипсового теста определяют прибором Вика, где на нижней части подвижного стержня закреплена стальная игла диаметром  $(1,1 \pm 0,02)$  мм. Масса стержня с иглой должна быть  $(300 \pm 2)$  г.

Перед началом испытания проверяют, свободно ли опускается стержень прибора, а также чистоту иглы, положение стрелки, которая должна быть на нуле при соприкосновении с пластинкой. Кольцо и пластинку перед началом испытаний смазывают машинным маслом.

Приготавливают гипсовое тесто и заполняют им кольцо прибора. Для удаления воздуха кольцо с тестом встряхивают 4–5 раз, поднимая за торцовую сторону на высоту 10 мм и опуская. После этого срезают избыток теста, заглаживают, кольцо помещают под иглу прибора и опускают ее в тесто через каждые 30 с в новое место. После очередного погружения иглу тщательно вытирают.

За начало схватывания принимают время (в минутах) от начала затворения (всыпания гипса в воду) до момента, когда свободно опущенная игла не доходит до пластинки на 1–2 мм. За конец схватывания принимают время от начала затворения до момента, когда игла погружается в тесто не более чем на 1 мм.

#### 5.4. Определение марки гипсовых вяжущих веществ

По прочности гипсовые вяжущие вещества подразделяются на марки от Г-2 до Г-25, каждой из которых должен соответствовать свой минимальный предел прочности при сжатии и растяжении (табл. 5.3).

Таблица 5.3. Минимальный предел прочности гипсовых вяжущих веществ

Марка	Предел прочности балочек через 2 ч, МПа	
	при сжатии	при изгибе
Г-2	2	1,2
Г-3	3	1,8
Г-4	4	2,0
Г-5	5	2,5
Г-6	6	3,0
Г-7	7	3,5
Г-10	10	4,5
Г-13	13	5,5
Г-16	16	6,0
Г-19	19	6,5
Г-22	22	7,0
Г-25	25	8,0

Для вяжущего вещества высшей категории качества марка по прочности должна быть не ниже Г-5. Прочность зависит от чистоты гипсового сырья, способов и режимов тепловой обработки и т. п. Гипс – неводостойкий материал. Прочность его уменьшается при увлажнении. Коэффициент размягчения составляет 0,3–0,5.

**Материалы и оборудование:** средняя проба гипса; питьевая вода; минеральное масло; мерный цилиндр вместимостью 1 л; сферическая чаша для затворения; ручная мешалка; весы; секундомер; формы для балочек размерами 40×40×160 мм; нож; стальные пластинки размером 62,5×40 мм; испытательная машина МИИ-100; гидравлический пресс с предельной нагрузкой до 100–200 кН.

**Выполнение работы.** Марка гипсовых вяжущих веществ определяется по пределу прочности образцов-балочек на растяжение при изгибе, а потом их половинок на сжатие.

Для изготовления образцов отвешивают от 1,0 до 1,6 кг гипсового вяжущего вещества и отмеряют воду в количестве, соответствующем стандартной консистенции (гипсовой) теста, которую вливают в чашку. Гипсовое вяжущее в течение 5–20 с засыпают в чашу с водой и примерно 60 с перемешивают ручной мешалкой до получения однородной массы, которую заливают в металлическую форму, смазанную минеральным маслом. Все гнезда формы следует наполнять одновременно, для чего чашу с гипсовым тестом «водят» над гнездами, разливая его тонкой струйкой. Для удаления вовлеченного воздуха форму после заливки встряхивают 5 раз, поднимая за торцовую сторону на высоту 10 мм и опуская. После начала схватывания излишки гипсового теста снимают ножом. Через 15 мин после конца схватывания образцы извлекают из формы, маркируют и хранят в лаборатории.

Испытание на растяжение при изгибе проводят через 2 ч от начала затворения на испытательной машине МИИ-100 (см. рис. 4.15).

Предел прочности на растяжение при изгибе вычисляют как среднее арифметическое результатов испытания образцов.

Полученные после испытания на изгиб шесть половинок балочек испытывают на сжатие по схеме, приведенной на рис. 4.9. Испытания рекомендуется проводить на десятитонном гидравлическом прессе. Для передачи нагрузки на образцы применяют стальные пластинки размерами 62,5×40 мм, которые накладывают на половинки балочек таким образом, чтобы грани, прилегающие к боковым продольным стенкам форм, совпадали.

Время от начала нагружения образца до разрушения – 5–30 с со средней скоростью нарастания нагрузки 1,0–0,5 МПа/с.

Предел прочности при сжатии одного образца  $R_{сж}$ , Мпа, вычисляют по формуле

$$R_{сж} = P / S, \quad (5.3)$$

где  $P$  – разрушающая нагрузка, Н;

$S$  – площадь сжатия, мм<sup>2</sup> ( $S = 2500$  мм<sup>2</sup>).

Предел прочности гипсового вяжущего вещества вычисляют как среднее арифметическое результатов испытаний четырех половинок балочек. Два значения (наибольшее и наименьшее) отбрасывают.

## **Лабораторная работа 6. ИСПЫТАНИЕ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ ДЛЯ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА**

### **6.1. Определение зернового состава и модуля крупности песка**

Зерновой состав песка оказывает существенное влияние на качество бетона. В тяжелом бетоне песок заполняет пустоты между зернами крупного заполнителя, а пустоты между зернами песка должны быть заполнены цементным тестом, которым обволакиваются зерна песка. Лучшим является песок с минимальной пустотностью и меньшей суммарной поверхностью частиц. Он наиболее экономичен. Песок природный и из отсевов дробления по зерновому составу делят на пять групп: повышенной крупности, крупный, средний, мелкий и очень мелкий.

Группа песка определяется по модулю крупности и полному остатку на сите № 063 в соответствии с данными, приведенными в табл. 6.1.

Таблица 6.1. **Определение группы песка по модулю крупности и полному остатку**

Группа песка	Модуль крупности	Полный остаток на сите № 063, % по массе
Повышенной крупности	3,0–3,5	65–75
Крупный	2,5–3,0	45–65
Средний	2,0–2,5	30–45
Мелкий	1,5–2,0	10–30
Очень мелкий	1,0–1,5	До 10

Если песок по модулю крупности относится к одной группе, а по полному остатку на сите № 063 – к другой, то определяющим показателем

телем является модуль крупности. В паспорте же на песок указывают остаток на сите № 063.

Крупный песок имеет небольшую суммарную поверхность зерен, но значительную пустотность, мелкий – большую суммарную поверхность зерен и малую пустотность. Модуля крупности недостаточно для оценки качества песка по зерновому составу. Хорошим считается песок с оптимальным содержанием зерен разных размеров. Он обычно имеет пустотность не выше 38 %.

**Материалы и оборудование:** проба песка; стандартный набор сит с отверстиями диаметром 10; 5; 2,5; 1,25; 0,63; 0,315 и 0,16 мм с поддоном; технические весы; вибростол; сушильный шкаф.

**Выполнение работы.** Отвешивают пробу песка массой 2000 г, предварительно высушенного до постоянной массы, после чего просеивают через сита с отверстиями диаметром 10 и 5 мм. Полученные на ситах остатки взвешивают и вычисляют содержание в песке фракций гравия с зернами размером 5–10 мм ( $G_{p5}$ ) и выше 10 мм ( $G_{p10}$ ) в процентах по массе с точностью до 0,1 % по следующим формулам:

$$G_{p10} = (m_{10} / m) \cdot 100; G_{p5} = (m_5 / m) \cdot 100;$$

где  $m_{10}$ ,  $m_5$  – остатки на ситах, %;

$m$  – масса пробы, г.

Из песка, прошедшего через сито с отверстиями диаметром 5 мм, берут навеску массой 1000 г и просеивают через стандартный набор сит с отверстиями диаметром 2,5; 1,25; 0,63; 0,315 и 0,16 мм, последовательно расположенных по мере уменьшения диаметров отверстий. Вычисляют остатки на этих ситах, называемые частными ( $a_i$ ), по формуле

$$a_i = \frac{m_i}{m} \cdot 100, \quad (6.1)$$

где  $m_i$  – масса остатка на данном сите, г;

$m$  – масса просеиваемой навески, г.

Затем с той же точностью определяют полные остатки  $A_i$  в процентах по формуле

$$A_i = a_{2,5} + a_{1,25} + \dots + a_i, \quad (6.2)$$

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

Модуль крупности  $M_{кр}$  определяют по формуле

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

где  $A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16}$  – полные остатки на ситах, %.

Зерновой состав песка определяют также по графику (рис. 6.1). Для этого по оси абсцисс откладывают диаметры отверстий сит, а по оси ординат – полные остатки на соответствующих ситах. Полученные точки соединяют ломаной кривой, которую называют кривой зернового состава песка, сравнивают ее с граничными линиями на графике и таким образом оценивают возможность применения песка для приготовления бетонов разных классов (марок) и видов.



Рис. 6.1. График зернового состава песка

## 6.2. Определение содержания глины в комках, пылевидных и глинистых частиц

Частицы мельче 0,05 мм относят к пылевидным и глинистым. Они обволакивают зерна песка и препятствуют его сцеплению с цементным камнем, что обуславливает повышение водопотребности бетонной смеси. Все это приводит к понижению прочности и морозостойкости бетона.

**Определение содержания глины в комках.** Суть лабораторной работы заключается в отделении от песка частиц мельче 0,05 мм.

Содержание глины в комках определяют в песке с частными остатками более 5 % по массе на ситах с отверстиями диаметром 2,5 и 1,25 мм.

**Материалы и оборудование:** проба песка массой 100 г; вода; технические весы; сушильный шкаф; сита с отверстиями диаметром 5;

2,5; 1,25 мм; минералогическая лупа; стальная игла; металлический или стеклянный лист.

**Выполнение работы.** Пробу песка высушивают до постоянной массы, а затем просеивают через сито с отверстиями диаметром 5 мм. Из нее берут 100 г песка и рассеивают на две фракции с частицами размером 2,5–5,0 и 1,25–2,5 мм. От первой фракции отвешивают 5 г песка, от второй – 1 г, рассыпают его тонким слоем на стеклянный или металлический лист и увлажняют. С помощью стальной иглы отделяют в каждой фракции комки глины от зерен песка, используя при необходимости лупу. Глину и оставшийся песок высушивают до постоянной массы. Содержание глины в комках в каждой навеске песка определяют (в процентах) по следующим формулам:

$$Г_{1,25} = \frac{m_1}{m_1 + m_3} \cdot 100; \quad Г_{1,25} = \frac{m_2}{m_2 + m_3} \cdot 100, \quad (6.3)$$

где  $m$ ,  $m_2$  – масса комков глины, г;

$m_1$ ,  $m_3$  – масса зерен песка, г.

Содержание комков глины в пробе песка вычисляют по формуле

$$Гл = Г_{2,5}a_{2,5} + Г_{1,25}a_{1,25}, \quad (6.4)$$

где  $a_{2,5}$ ,  $a_{1,25}$  – частные остатки на ситах с отверстиями диаметром 2,5 и 1,25 мм соответственно, вычисленные при определении зернового состава пробы, %.

**Определение содержания пылевидных и глинистых частиц отмучиванием.**

**Материалы и оборудование:** проба песка; технические весы; сушильный шкаф; сито с отверстиями диаметром 5 мм; сосуд для отмучивания или цилиндрическое ведро высотой не менее 300 мм; секундомер или песочные часы.

**Выполнение работы.** Из пробы высушенного до постоянной массы и просеянного через сито с отверстиями диаметром 5 мм песка отвешивают 1000 г и высыпают в сосуд для отмучивания (рис. 6.2). Заливают песок водой до уровня выше его поверхности на 200 мм и выдерживают в течение 2 ч, периодически перемешивая. Природные пески с плотно сцементированными глиной зернами выдерживают в воде не менее суток. Затем содержимое сосуда энергично перемешивают, дают отстояться в течение 2 мин и сливают воду. Снова наливают чистую воду, перемешивают, дают отстояться 2 мин и сливают. Эту операцию повторяют до тех пор, пока вода не станет прозрачной.

При использовании сосуда для отмучивания суспензию сливают через отверстия в днище. При сливе через сифон конец его должен находиться на расстоянии не менее 30 мм от поверхности песка. Затем промытый песок высушивают до постоянной массы и взвешивают.

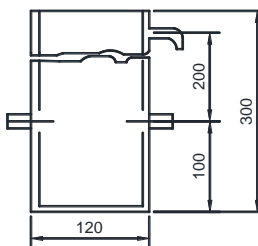


Рис. 6.2. Сосуд для отмучивания песка

Содержание в песке мелких пылевидных и глинистых частиц, полученных отмучиванием  $\Pi_{\text{отм}}$ , % по массе, вычисляют по формуле

$$\Pi_{\text{отм}} = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100, \quad (6.5)$$

где  $m$  – масса песка до промывки, г;

$m_1$  – масса песка после промывки, г.

### 6.3. Определение влажности песка

Влажность песка учитывается при его приемке и дозировании для бетонной смеси. Наибольший объем занимает песок, влажность которого составляет 5–7 % по массе.

**Материалы и оборудование:** проба песка; технические весы; сушильный шкаф; противень.

**Выполнение работы.** Берут навеску песка массой 1000 г, помещают на противень и высушивают до постоянной массы при температуре 105–110 °С. Затем охлаждают песок до комнатной температуры и взвешивают.

Влажность песка  $W$ , % по массе, вычисляют по формуле

$$W = \frac{m - m_1}{m_1} \cdot 100, \quad (6.6)$$

где  $m$  – масса песка в состоянии естественной влажности, г;

$m_1$  – масса сухого песка, г.

## 6.4. Испытание щебня (гравия)

При качественной оценке щебня (гравия) как крупного заполнителя для бетона определяют следующие его основные свойства: зерновой состав, содержание пылевидных и глинистых частиц, а также глины в комках, пластинчатых (лещадных) и игловатых частиц, прочность, истинную и насыпную плотность, среднюю плотность и пористость зерен, пустотность, влажность, водопоглощение, морозостойкость.

### 6.4.1. Определение зернового состава щебня (гравия)

**Материалы и оборудование:** средняя проба щебня (гравия); сушильный шкаф; технические весы; сита с отверстиями диаметром 70, 40, 20, 10 и 5 мм из стандартного набора.

**Выполнение работы.** Из предварительно высушенной до постоянной массы средней пробы щебня берут навеску массой 20 кг для фракций 5(10)–40 мм и 30 кг для фракций 20–70 мм и просеивают через набор сит, последовательно составленных по мере уменьшения диаметров их отверстий. Вычисляют частные и полные остатки (в процентах по массе) на каждом сите. По полным остаткам определяют наибольшую крупность зерен  $D_{\text{наиб}}$ , наименьшую  $D_{\text{наим}}$ , среднюю  $0,5(D_{\text{наим}} + D_{\text{наиб}})$  и  $1,25 D_{\text{наиб}}$ . Для оценки состава крупного заполнителя по результатам просеивания строят кривую зернового состава (рис. 6.3).

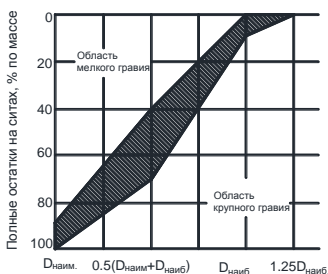


Рис. 6.3. График зернового состава щебня (гравия)

За наибольшую крупность зерен щебня принимают диаметр отверстия верхнего сита, полный остаток на котором не превышает 5 %, за

наименьшую – диаметр отверстия первого снизу сита, полный остаток на котором составляет не менее 95 %.

Крупный заполнитель признают пригодным для приготовления бетона, если кривая его зернового состава располагается в пределах заштрихованной области.

### **Лабораторная работа 7. ПОДБОР СОСТАВА БЕТОНА**

Подбор состава бетона заключается в установлении соотношения цемента, воды, песка, щебня (гравия) и добавок в виде расхода материалов на 1 м<sup>3</sup> уплотненной бетонной смеси. Это соотношение должно обеспечить требуемые технологические свойства бетонной смеси и физико-механические свойства затвердевшего бетона.

Для расчета надо иметь следующие исходные данные: требуемую удобоукладываемость бетонной смеси, класс прочности затвердевшего бетона в проектном возрасте (28 сут), требуемый процент прочности к заданному сроку, при необходимости – марку по водонепроницаемости (*W*), морозостойкости (*F*), коррозионную стойкость и т. д., а также характеристики исходных материалов – вид и активность цемента, модуль крупности и пустотность песка, количество фракций и наибольшую крупность щебня (гравия), среднюю и истинную плотность материалов, влажность заполнителей.

Подбор состава бетона включает следующие основные этапы: выбор и оценка пригодности имеющихся материалов; определение номинального состава бетона; экспериментальная проверка и корректировка состава бетона на опытных замесах; назначение рабочего состава бетона и передача в производство рабочих дозировок.

Долговечный высококачественный бетон может быть получен при наилучшей структуре бетонной смеси, которая образуется только при использовании качественного цемента, соответствующего нормативным документам, минимального требуемого количества воды, оптимального зернового (гранулометрического) состава заполнителей, применения соответствующих добавок.

Цемент выбирают согласно классификации бетона и степени агрессивности воды, учитывают условия приготовления бетона и особенности строительного процесса, а также эксплуатационные условия. Цемент должен обеспечивать долговечность бетона, его прочность, водостойкость, морозостойкость, водонепроницаемость и трещиностойкость при экзотермии и усадке.

Вид и марку цемента следует выбирать с учетом технологии производства работ, условий твердения бетона, вида изделий и конструкций, условий их эксплуатации, требуемого класса бетона по прочности на сжатие, величины отпускной и (или) передаточной прочности бетона, реакционной способности заполнителей, требований нормативных документов и проектной документации на конкретные виды изделий и конструкций, основных положений ГОСТ 23464, ГОСТ 30515.

Рекомендуемые и допускаемые марки цемента в зависимости от класса бетона по прочности на сжатие следует принимать в соответствии с табл. 7.1.

Таблица 7.1. Рекомендуемые и допускаемые марки цемента

Класс бетона по прочности на сжатие	Марки цемента для бетона	
	рекомендуемые	допускаемые
C8/10-C20/25	400	500
C25/30	500	550, 600
C30/37	550	500, 600
C35/45-C90/105	600	500, 550

Применение цемента пониженных марок увеличивает его расход, а использование цемента повышенных марок не всегда приводит к его экономии.

В случае применения цемента высокой активности (марки) для приготовления бетонов низких классов следует вводить минеральные добавки тонкомолотых шлаков, золы ТЭС, активных минеральных добавок естественного происхождения.

В качестве мелкого заполнителя для тяжелого бетона применяют природный и искусственный песок, в качестве крупного заполнителя – щебень или гравий из плотных горных пород.

Вода для затворения бетонной смеси должна соответствовать требованиям СТБ 1114-98 «Вода для бетонов и растворов. Технические условия».

Для улучшения свойств бетонной смеси, ускорения твердения бетона, замедления или ускорения схватывания вводятся химические добавки, применение которых регламентируется.

При подборе состава бетона различают номинальный лабораторный состав бетона, рассчитанный для сухих материалов, и производственно-полевой – для материалов в естественно-влажном состоянии. Лабораторный состав бетона определяют расчетно-экспериментальным методом, для чего вначале рассчитывают ориентировочный со-

став, а затем уточняют его по результатам пробных замесов и испытаний контрольных образцов.

Расчет ориентировочного состава бетона выполняют в указанной далее последовательности.

1. Определяют водоцементное отношение (В/Ц) – отношение массы воды к массе цемента – из условий получения требуемого класса бетона в зависимости от активности (марки) цемента и качества материалов:

– при  $V/C > 0,4$

$$\frac{B}{C} = \frac{A_1 R_{ц}}{R_6 + A_1 \cdot 0,5 R_{ц}}, \quad (7.1)$$

– при  $V/C < 0,4$

$$\frac{B}{C} = \frac{A_2 R_{ц}}{R_6 + A_2 \cdot 0,5 R_{ц}}, \quad (7.2)$$

где  $A_1, A_2$  – коэффициенты, учитывающие качество материалов, которые принимаются по табл. 7.2;

$R_6$  – предел прочности бетона при сжатии, МПа;

$R_{ц}$  – активность цемента, МПа.

Таблица 7.2. Коэффициенты качества материалов

Характеристика материалов для бетона	$A_1$	$A_2$
Высококачественные	0,65	0,43
Рядовые	0,60	0,40
Пониженного качества	0,55	0,37

Примечания:

1. К высококачественным материалам относят портландцемент высокой активности с минимально допустимым количеством гидравлической добавки, щебень из плотных пород, песок плотный крупный и средней крупности. Заполнители должны быть незагрязненными, иметь оптимальный зерновой состав.

2. К рядовым материалам относят портландцемент средней активности или высокомарочный шлакопортландцемент, заполнители среднего качества, в том числе гравий.

3. К материалам пониженного качества относят цементы низкой активности, непрочные крупные заполнители, мелкие пески.

2. Определяют примерный расход воды  $B$ ,  $\text{кг/м}^3$ , в зависимости от удобоукладываемости бетонной смеси, вида и крупности заполнителя по табл. 7.3 или на основании предварительных испытаний.

Таблица 7.3. **Определение расхода воды**

Марки по удобоукладываемости	Расход воды, л/м <sup>3</sup> , при использовании в качестве крупного заполнителя							
	гравия фракций, мм				щебня фракций, мм			
	10	20	40	70	10	20	40	70
СЖ2	150	135	125	120	160	150	135	130
СЖ1	160	145	130	125	170	160	145	140
Ж4	165	150	135	130	175	165	150	145
Ж3	175	160	145	140	185	175	160	155
Ж2	190	175	160	155	200	190	175	170
Ж1	200	185	170	165	210	200	185	180
П1	205	190	175	170	215	205	190	185
П2	215	205	190	180	225	215	200	190
П3	220	210	197	185	230	220	207	195
П4	227	218	203	192	237	228	213	202

**Примечания:**

1. Значения водопотребности приведены для бетонной смеси на портландцементе с нормальной густотой цементного теста (НГЦТ) 26–28 % и песке с  $M_{кр} = 2$ .

2. На каждый процент повышения НГЦТ расход воды увеличивается на 3–5 кг/м<sup>3</sup>, при уменьшении НГЦТ – уменьшается на 3–5 кг/м<sup>3</sup>.

3. Увеличение модуля крупности песка на каждые 0,5 вызывает необходимость уменьшения расхода воды на 3–5 кг/м<sup>3</sup>, уменьшение – необходимость повышения расхода воды на 3–5 кг/м<sup>3</sup>.

3. Определяют расход цемента Ц, кг/м<sup>3</sup>, по известному В/Ц и водопотребности бетонной смеси:

$$Ц = \frac{В}{В/Ц} \cdot \quad (7.3)$$

Если расход цемента превышает типовые нормы, следует проводить мероприятия по экономии цемента.

4. Определяют расход крупного заполнителя Щ (Гр), кг/м<sup>3</sup>:

$$Щ (Гр) = \frac{1}{\frac{\alpha V_{пуст}}{\rho_{н.щ (гр)}} + \frac{1}{\rho_{щ (гр)}}}, \quad (7.4)$$

где  $\alpha$  – коэффициент раздвижки зерен щебня (гравия), который принимается по табл. 7.4 для пластичных бетонных смесей на песке с  $V_{ц} = 7 \%$ ;

$V_{\text{пуст}}$  – пустотность щебня (гравия) в рыхлонасыщенном состоянии, подставляется в формулу в виде коэффициента:

$$V_{\text{пуст}} = 1 - \frac{\rho_{\text{н.щ(гр)}}}{\rho_{\text{щ(гр)}}}, \quad (7.5)$$

$\rho_{\text{н.щ(гр)}}$ ,  $\rho_{\text{щ(гр)}}$  – соответственно насыпная и истинная плотность щебня (гравия),  $\text{кг/м}^3$ .

Таблица 7.4. Коэффициенты к определению расхода крупного заполнителя

Расход цемента, $\text{кг/м}^3$	Значение $\alpha$ при В/Ц, равном					
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
250	–	–	–	1,26	1,32	1,38
300	–	–	1,30	1,36	1,42	–
350	–	1,32	1,38	1,44	–	–
400	1,31	1,40	1,46	–	–	–
500	1,44	1,52	1,56	–	–	–
600	1,52	1,56	–	–	–	–

Примечания:

1. При других значениях В/Ц значение коэффициента  $\alpha$  находят интерполяцией.
2. В случае применения крупного песка с  $V_{\text{п}} < 7\%$  значение коэффициента  $\alpha$  увеличивают на 0,03 на каждый процент увеличения  $V_{\text{п}}$ . При использовании мелкого песка с  $V_{\text{п}} > 7\%$  коэффициент  $\alpha$  уменьшают на 0,03 на каждый процент увеличения  $V_{\text{п}}$ .
3. Для жестких бетонных смесей при расходе цемента менее  $400 \text{ кг/м}^3$  коэффициент  $\alpha$  принимают равным 1,05–1,15 (в среднем 1,10).

5. Определяют расход песка  $\Pi$ ,  $\text{кг/м}^3$ :

$$\Pi = 1 - \left( \frac{\text{Ц}}{\rho_{\text{ц}}} + \frac{\text{В}}{\rho_{\text{в}}} + \frac{\text{Щ (Гр)}}{\rho_{\text{щ(гр)}}} \right) \rho_{\text{п}}, \quad (7.6)$$

где Ц, В, Щ (Гр) – расход соответственно цемента, воды, щебня (гравия),  $\text{кг/м}^3$  бетонной смеси;

$\rho_{\text{ц}}$ ,  $\rho_{\text{в}}$ ,  $\rho_{\text{щ(гр)}}$ ,  $\rho_{\text{п}}$  – истинная плотность материалов,  $\text{кг/м}^3$ .

Для экспериментальной проверки состава бетона приготавливают пробный замес, на котором определяют удобоукладываемость бетонной смеси – подвижность (осадку конуса) или жесткость. При недостаточной удобоукладываемости бетонной смеси увеличивают расход воды и цемента на 5–10 %, не изменяя водоцементного соотношения. При повышенной удобоукладываемости увеличивают количество

крупного заполнителя и песка на 5–10 %, сохраняя их соотношение неизменным.

Объем пробного замеса  $V_3$ , м<sup>3</sup>, после корректировки состава бетонной смеси определяют по формуле

$$V_3 = \frac{Ц_3 + В_3 + П_3 + Щ(Гр)_3}{\rho_{\text{ср. б. см}}}, \quad (7.7)$$

где  $Ц_3$ ,  $В_3$ ,  $П_3$ ,  $Щ(Гр)_3$  – масса соответствующих материалов для замеса, кг;

$\rho_{\text{ср. б. см}}$  – средняя плотность бетонной смеси, кг/м<sup>3</sup>.

Зная объем бетонной смеси и расход материалов для замеса, определяют расход материалов  $Ц$ ,  $В$ ,  $П$ ,  $Щ(Гр)$  в килограммах на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси по следующим формулам:

$$Ц = \frac{Ц_3 - 1}{V_3}; \quad В = \frac{В_3 - 1}{V_3}; \quad П = \frac{П_3 - 1}{V_3}; \quad Щ(Гр) = \frac{Щ(Гр)_3 - 1}{V_3}. \quad (7.8)$$

Откорректировав удобоукладываемость бетонной смеси, проверяют прочность бетона. Для этого приготавливают еще два пробных замеса: один с  $В/Ц$ , большим на 10–30 %, чем объем основного замеса, второй – меньшим на 10–30 %.

Величину  $В/Ц$  изменяют, увеличивая или уменьшая расход цемента. Соответственно изменяется расход песка, а расход крупного заполнителя остается неизменным.

После испытания бетонных образцов на прочность строят график зависимости прочности бетона от  $В/Ц$  и определяют истинное значение  $В/Ц$ , соответствующее данному пределу прочности бетона, после чего уточняют расход материалов на 1 м<sup>3</sup> бетона.

При необходимости проверяют водонепроницаемость и морозостойкость бетона. В случае несоответствия требуемым значениям состав бетона корректируют путем изменения  $В/Ц$  и вновь уточняют расход материалов на 1 м<sup>3</sup> бетона.

В производственных условиях заполнители обычно бывают влажными, поэтому состав бетона следует рассчитывать с учетом содержащейся в них воды. Для этого следует вычислить содержание воды в щебне (гравии) и песке из расчета на 1 м<sup>3</sup> бетона и вычесть из общего расхода воды, указанного в номинальном составе. К определенному расходу щебня (гравия) и песка следует добавить их количество во влажном состоянии, соответствующее содержанию в них воды.

Расход материалов производственного состава бетона (в килограммах на кубический метр) с учетом влажности заполнителей  $\Pi_{\text{пр}}$ ,  $\text{Щ}(\text{Гр})_{\text{пр}}$ ,  $\Pi_{\text{пр}}$ ,  $V_{\text{пр}}$  рассчитывают по следующим формулам:

$$\Pi_{\text{пр}} = \Pi; \quad \Pi_{\text{пр}} = \Pi \left( 1 + \frac{W_{\Pi}}{100} \right); \quad \text{Щ}(\text{Гр})_{\text{пр}} = \text{Щ}(\text{Гр}) \left( 1 + \frac{W_{\text{Щ}(\text{Гр})}}{100} \right); \quad (7.9)$$

$$V_{\text{пр}} = V - \text{Щ}(\text{Гр}) \frac{W_{\text{Щ}(\text{Гр})}}{100} - \Pi \frac{W_{\Pi}}{100}, \quad (7.10)$$

где  $\Pi$ ,  $\Pi$ ,  $\text{Щ}(\text{Гр})$ ,  $V$  – расход материалов в подобранном составе, кг/м<sup>3</sup>;

$W_{\text{Щ}(\text{Гр})}$ ,  $W_{\Pi}$  – влажность соответственно щебня (гравия) и песка, %.

На опытном замесе производственного состава проверяют удобоукладываемость бетонной смеси. Если она отличается от заданной, то состав корректируют путем изменения расхода воды.

Для проверки прочности бетона приготавливают не менее двух серий контрольных образцов на каждый срок испытаний. Состав бетона признается удовлетворительным, если прочность бетона отличается от заданной в большую сторону не более чем на 10 %, а в меньшую – на 5 %.

Плотность бетона считается удовлетворительной, если она отличается от заданной на  $\pm 3$  %. Корректировать состав бетона следует путем изменения расхода цемента, для чего можно использовать ранее полученную зависимость между прочностью и расходом цемента.

Расход материалов на замес бетономешалки, кг: цемента  $\Pi'_3$ , песка  $\Pi'_3$ , щебня (гравия)  $\text{Щ}(\text{Гр})'_3$ , воды  $V'_3$  определяют по следующим формулам:

$$\Pi'_3 = \Pi \frac{V_3}{1}; \quad V'_3 = V \frac{V_3}{1}; \quad \Pi'_3 = \Pi \frac{V_3}{1}; \quad \text{Щ}(\text{Гр})'_3 = \text{Щ}(\text{Гр}) \frac{V_3}{1}, \quad (7.11)$$

где  $\Pi$ ,  $\Pi$  и т. д. – расход материалов на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси, кг;

$V_3$  – объем замеса бетономешалки, м<sup>3</sup>.

## 7.1. Испытание бетонной смеси

К бетонной смеси предъявляется ряд требований. Она должна иметь достаточную жизнеспособность, необходимую для транспортировки, удобоукладываемость, позволяющую укладывать и уплотнять ее в конструкции с минимальными затратами, а полученный бетон – заданные физико-механические свойства.

Свойствами бетонной смеси задаются и корректируют их на пробных замесах при подборе состава бетона.

При бетонировании монолитных и сборных конструкций должен осуществляться лабораторный контроль за качеством бетонной смеси. Пробы смеси отбирают на месте ее укладки. При производстве товарной смеси их отбирают из средней части замеса. При подаче смеси ленточными транспортерами, бетононасосами ее отбирают в три приема в течение 5 мин через одинаковые промежутки времени в количестве, в 2 раза большем, чем необходимо для испытаний.

Перед испытанием пробу дополнительно перемешивают и испытывают не позднее чем через 10 мин после отбора.

Для лабораторных исследований приготавливают опытные замесы. Объем пробы для контрольных образцов должен превышать требуемый в 1,2 раза.

## 7.2. Приготовление опытного замеса

**Материалы и оборудование:** материалы для приготовления бетонной смеси – цемент, вода, щебень (гравий), песок; сито № 09; сушильный шкаф; лопаты; весы; секундомер; металлический лист; бетономешалка (в случае механического перемешивания бетонной смеси).

**Выполнение работы.** Опытный замес приготавливают из материалов, применяемых на конкретном производстве (строительная площадка, завод железобетонных изделий). Цемент просеивают через сито № 09. Заполнители высушивают до постоянной массы при температуре 105–110 °С. От песка отсеивают зерна крупнее 5 мм, от щебня (гравия) – мельче 5 мм. Бетонную смесь приготавливают в помещении при температуре  $(20 \pm 2)$  °С из составляющих, выдержанных до температуры воздуха в помещении лаборатории.

Перемешивают бетонную смесь вручную или в бетономешалке. При ручном перемешивании объем замеса не должен превышать 15 л. Ручное перемешивание выполняется на металлическом листе в следующем порядке. Отвешивают необходимое количество материалов. Металлический лист протирают влажной тканью и высыпают на него вначале песок, а затем цемент и перемешивают до получения смеси однородного цвета. Далее добавляют щебень (гравий) и перемешивают до тех пор, пока он не распределится равномерно во всей смеси.

Перемешанную смесь собирают в виде конической или продолговатой кучи. В середине кучи делают углубление, вливают половину

воды, необходимой для замеса, и перемешивают до равномерного распределения воды во всем объеме. Затем снова собирают все в виде кучи, делают углубление в середине и вливают оставшуюся часть воды, после чего смесь перемешивают. Время перемешивания отсчитывают с момента первого приливания воды, оно должно составлять 3–5 мин.

В бетономешалке бетонную смесь приготавливают в такой последовательности. Вначале отвешивают все материалы и помещают каждый в отдельную тару. Затем при включенном двигателе загружают их в следующей очередности: песок, цемент, щебень (гравий). Воду приливают равномерно в течение всего времени засыпки материалов. Продолжительность засыпки не должна превышать 2 мин. Перемешивание выполняют в течение 2 мин с момента загрузки всех материалов. Смесь выгружают на металлический лист и дополнительно перемешивают вручную в течение 1–2 мин.

Удобоукладываемость бетонной смеси определяют не ранее чем через 15 мин после начала перемешивания смеси с водой.

**Удобоукладываемостью бетонной смеси** называется ее способность занимать форму бетонируемого изделия и уплотняться под действием сил тяжести, вибрации или других механических воздействий. Это свойство бетонной смеси оценивается ее подвижностью или жесткостью и виброуплотняемостью.

Подвижность и жесткость бетонной смеси на плотных и пористых заполнителях определяют по СТБ-103 5-96 «Смеси бетонные. Методы определения удобоукладываемости».

### 7.3. Определение подвижности бетонной смеси

**Материалы и оборудование:** проба бетонной смеси; обычный конус высотой 300 мм с диаметром оснований 100 и 200 мм или увеличенный конус высотой 450 мм с диаметром оснований 150 и 300 мм; загрузочная воронка; гладкий металлический лист размером не менее 700×700 мм; кельма; прямой гладкий металлический стержень диаметром 16 мм и длиной 600 мм с закругленными концами; стальная линейка.

**Выполнение работы.** Подвижность бетонной смеси определяют по осадке конуса из испытуемой бетонной смеси (рис. 7.1). При крупности щебня (гравия) до 40 мм применяют обычный конус, при большей крупности – увеличенный конус.

Испытания проводят в такой последовательности. Конус и все приспособления, соприкасающиеся с бетонной смесью, протирают влажной тканью. Устанавливают конус на металлический лист, заполняют его через воронку бетонной смесью в три слоя, равных по высоте, и уплотняют металлическим стержнем. Каждый слой штыкуют на всю его толщину 25 раз при испытании в обычном конусе и 56 раз – при испытании в увеличенном конусе. По окончании уплотнения избыток смеси срезают по уровню верха конуса и заглаживают кельмой. Затем конус снимают, ставят рядом с бетонной смесью и измеряют ее осадку с точностью до 0,5 см.

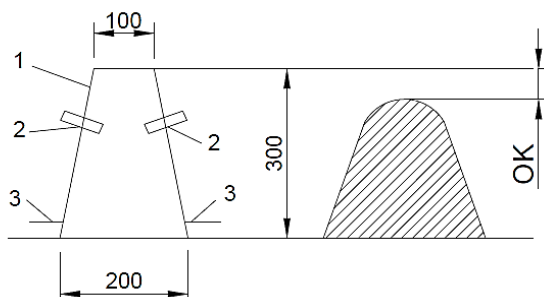


Рис. 7.1. Схема определения подвижности бетонной смеси:  
1 – конус; 2 – ручки; 3 – опоры; ОК – осадка конуса

При испытании бетонной смеси в увеличенном конусе полученный результат приводят к величине осадки обычного конуса умножением на коэффициент 0,67.

Осадку конуса определяют дважды. Время между началом заполнения конуса при первом определении и моментом измерения осадки конуса при втором определении не должно превышать 10 мин.

Осадку конуса вычисляют как среднее арифметическое результатов двух определений, различающихся не более чем на 1 см при ОК = 4 см, на 2 см – при ОК = 5–9 см и на 3 см – при ОК > 9 см.

Если расхождения получаются больше допустимых, испытание следует повторить на новой пробе бетонной смеси. Если ОК = 0, надо определить жесткость бетонной смеси.

#### 7.4. Определение жесткости бетонной смеси (основной способ)

**Материалы и оборудование:** проба бетонной смеси; прибор для определения жесткости; лабораторная виброплощадка; кельма; стальной стержень; секундомер; стальная линейка.

**Выполнение работы.** Жесткость бетонной смеси определяется с помощью специального прибора и характеризуется временем (в секундах), необходимым для выравнивания и уплотнения конуса из бетонной смеси при вибрации на лабораторной виброплощадке. Схема определения жесткости бетонной смеси приведена на рис. 7.2.

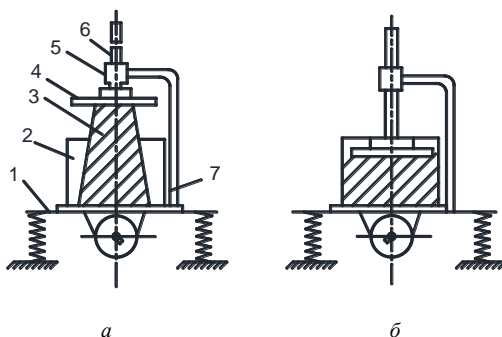


Рис. 7.2. Схема определения жесткой бетонной смеси:

*а* – прибор в исходном состоянии (1 – виброплощадка; 2 – цилиндр;

3 – конус с бетонной смесью; 4 – диск с отверстиями; 5 – втулка;

6 – штанга; 7 – фиксатор втулки); *б* – прибор после окончания вибрирования

Испытания выполняют в такой последовательности. На лабораторную виброплощадку устанавливают и укрепляют цилиндр, предварительно протерев влажной тканью его поверхности, соприкасающиеся с бетоном. Затем вставляют в него конус и заполняют его бетонной смесью так же, как при определении подвижности. После этого снимают конус и опускают на бетонную смесь диск прибора, включают виброплощадку и секундомер. Вибрирование продолжают до тех пор, пока цементное тесто не начнет выделяться из всех отверстий диска. Это время (в секундах) и характеризует жесткость бетонной смеси.

Испытания проводят дважды. За окончательный результат принимают среднее арифметическое двух определений, различающихся не более чем на 20 %.

## 7.5. Определение прочности бетона

Важнейшими свойствами затвердевшего бетона являются пределы прочности при сжатии, растяжении, растяжении при изгибе, средняя плотность, влажность, проницаемость, морозостойкость и др. Ими задаются в зависимости от назначения бетона и контролируют их при выполнении бетонных работ.

Прочность бетона характеризуется классом или маркой. *Класс* представляет собой гарантированную прочность бетона (в мегапаскалях) с обеспеченностью 0,95. *Маркой* называется нормируемое значение средней прочности бетона (МПа). Класс и марка определяются чаще всего в возрасте бетона 28 сут, но может назначаться и в другом его возрасте в зависимости от требований.

Классы назначаются при проектировании конструкций с учетом требований стандарта СП 5.03.01-2022 «Бетонные и железобетонные конструкции, марки – без учета требований этого стандарта». Прочность бетона определяется по ГОСТ 10180-90 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».

### 7.5.1. Определение прочности бетона при сжатии

Прочность бетона на осевое сжатие – прочность бетона, соответствующая максимальным сжимающим напряжениям в бетоне при одноосном напряженном состоянии, соответствующим пиковой точке диаграммы деформирования.

Класс бетона по прочности на сжатие (класс бетона) – показатель, характеризующий механические свойства бетона и определяемый значением его гарантированной прочности на осевое сжатие, обозначаемый буквенным символом С и числами, соответствующими значениям характеристической прочности и гарантированной прочности Н/мм<sup>2</sup> (МПа). Пример обозначения класса бетона: С15/12 (перед чертой – значение характеристической прочности бетона,  $f_{ck}$ , за чертой – значение гарантированной прочности бетона на сжатие,  $G_{ccube}$ ).

**Материалы и оборудование:** проба бетонной смеси; формы для изготовления образцов; гидравлический пресс; штангенциркуль; стальной стержень диаметром 16 мм; кельма; секундомер; лабораторная виброплощадка; камера нормального твердения.

**Выполнение работы.** Прочность бетона при сжатии определяют испытанием серии образцов-кубов размерами 15×15×15 см.

Формы заполняют бетонной смесью слоями каждый толщиной не более 100 мм и независимо от удобоукладываемости штыкуют стержнем диаметром 16 мм от краев к середине формы из расчета один нажим на 10 см<sup>2</sup> верхней открытой поверхности.

Бетонные смеси с подвижностью менее 10 см и жесткостью менее 11 с дополнительно уплотняют вибрированием на лабораторной площадке с частотой колебаний (2900 ± 100) об/мин, причем форма с бетонной смесью должна быть жестко закреплена. Смесью подвергают вибрации до полного ее уплотнения и прекращают вибрацию, когда поверхность бетона выравнивается, на ней появляется тонкий слой цементного теста и перестают выделяться пузырьки воздуха. Поверхность образца заглаживают.

При испытании бетонов, не подвергаемых тепловой обработке, образцы помещают в камеру с температурой (+20 ± 3) °С и относительной влажностью воздуха (95 ± 5) °С. При испытании бетонов, подвергаемых тепловой обработке, образцы твердеют в тепловых агрегатах по принятому режиму, а затем в нормальных условиях.

Испытания на сжатие выполняют на гидравлическом прессе с точностью показаний ±2 %. Пресс должен иметь шаровую опору на одной из опорных плит. Шкалу силоизмерителя прессы выбирают из условия, что разрушающая нагрузка должна находиться в пределах 20–80 % от максимальной, допускаемой шкалы. Нагрузка должна возрастать непрерывно и равномерно со скоростью (0,6 ± 0,4) МПа/с до разрушения образца.

Образцы-кубы испытывают таким образом, чтобы сжимающая сила была направлена параллельно слоям бетонной смеси, уложенной в формы, а при испытании образцов-цилиндров – перпендикулярно к слоям укладки. Далее определяют площадь сдавливания по размерам  $a$  ( $d$ ) и  $b(h)$  образцов с точностью до 1 %.

Предел прочности отдельного образца при сжатии  $R_6$ , Мпа, определяют по формуле

$$R_6 = P / S, \quad (7.12)$$

где  $P$  – разрушающая нагрузка, Н;

$S$  – площадь образца, мм<sup>2</sup>.

Предел прочности бетона определяют как среднее арифметическое значение пределов прочности испытанных образцов.

### 7.5.2. Определение прочности бетона при осевом растяжении

**Материалы и оборудование:** проба бетонной смеси; комплект форм для изготовления образцов-восьмерок или призм; кельма; секундомер; лабораторная виброплощадка; стальной стержень диаметром 16 мм; камера для хранения образцов; разрывная машина; мерная линейка или штангенциркуль.

**Выполнение работы.** Предел прочности при осевом растяжении определяется на образцах-восьмерках, размеры рабочего сечения средней части которых  $100 \times 100$ ,  $150 \times 150$ ,  $200 \times 200$  мм (рис. 7.3), или на призмах квадратного сечения размерами  $100 \times 100 \times 400$ ,  $150 \times 150 \times 600$  и  $200 \times 200 \times 800$  мм. Методика изготовления и выдерживания образцов такая же, как при испытании на сжатие.

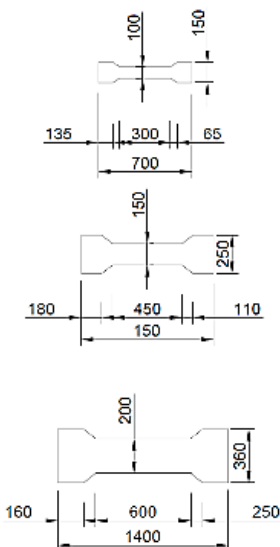


Рис. 7.3. Образцы-восьмерки

Испытание проводят на разрывной машине. Образец закрепляют так, чтобы его геометрическая ось проходила через центр шарниров захватов. Напряжение в образце при нагружении до его разрушения должно возрастать с постоянной скоростью ( $0,05 \pm 0,02$ ) МПа/с. Предел прочности определяют по формуле

$$R_0 = \beta \frac{P}{S_{\text{cp}}}, \quad (7.13)$$

где  $P$  – разрушающая нагрузка, Н;

$S_{\text{cp}}$  – средняя площадь рабочего сечения образца, мм<sup>2</sup>;

$\beta$  – масштабный коэффициент прочности бетона для перехода к образцам базового размера с рабочим сечением 150×150 мм; он определяется опытным путем или принимается: при рабочем сечении образца 100×100 мм – равным 0,92, при сечении 150×150 мм – равным 1,0, при сечении 200×200 мм – равным 1,08.

Прочность бетона при растяжении вычисляется как среднее арифметическое двух наибольших результатов испытаний трех образцов.

### 7.5.3. Определение прочности бетона на растяжение при изгибе

Требования по прочности на растяжение при изгибе к бетону предъявляются при их работе в конструкциях, работающих в соответствующих условиях. Например, при проектировании бетонов для дорожных и аэродромных покрытий.

**Материалы и оборудование:** проба бетонной смеси; формы для изготовления образцов; устройство для испытания бетона на растяжение при изгибе; гидравлический пресс; стальной стержень диаметром 16 мм; кельма; секундомер; лабораторная виброплощадка; камера для хранения образцов.

**Выполнение работы.** Прочность бетона на растяжение при изгибе определяют путем испытания образцов-призм в возрасте 28 сут. Размер образцов зависит от наибольшей крупности  $D$  заполнителя и принимается равным 100×100×400 мм при  $D = 20$  мм и менее, 150×150×600 мм при  $D = 40$  мм и 200×200×800 мм при  $D = 70$  мм.

Методика изготовления образцов такая же, как и при испытании бетона на сжатие.

Испытание образцов выполняется на гидравлическом прессе по схеме, приведенной на рис. 7.4.

Нагрузки на образец-призму должны передаваться перпендикулярно к слою бетонной смеси со скоростью  $(0,5 \pm 0,02)$  МПа/с до разрушения образца. Образец должен разрушаться в средней трети пролета, если же это происходит в другом месте, то полученный результат не учитывается при определении средней прочности.

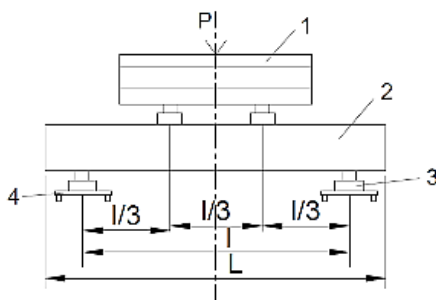


Рис. 7.4. Схема испытания бетонных образцов на растяжение при изгибе:  
 1 – траверса; 2 – испытательная призма;  
 3 – неподвижная опора; 4 – подвижная опора

Предел прочности отдельного образца  $R_6$ , Мпа, вычисляют по формуле

$$R_6 = \frac{\gamma Pl}{bh^2}, \quad (7.14)$$

где  $P$  – разрушающая нагрузка, Н;

$l$  – расстояние между опорами, мм;

$b$  – ширина призмы, мм;

$h$  – высота призмы, мм;

$\gamma$  – масштабный коэффициент для перехода к образцам базового размера рабочим сечением  $150 \times 150$  мм; он определяется опытным путем либо приблизительное его значение может приниматься аналогично коэффициенту  $\beta$ .

## Лабораторная работа 8. СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ

**Строительным раствором** называют искусственный каменный материал, полученный в результате твердения правильно подобранной смеси, состоящей из вяжущего вещества, воды и мелкого заполнителя. До затвердевания ее называют **растворной смесью**.

Для придания растворной смеси или затвердевшим растворам определенных свойств в них вводят различные добавки (минеральные, химические и др.).

Строительные растворы классифицируются следующим образом:

- в зависимости от условий их твердения и способности противостоять различным факторам окружающей среды – на воздушные и гидравлические;

- по применяемым вяжущим – на цементные, известковые, гипсовые, цементно-известковые, цементно-глиняные, известково-гипсовые и др.; растворы, приготовленные на одном вяжущем, называются простыми, на двух или более – сложными;

- по средней плотности в сухом состоянии – на тяжелые (плотность  $1500 \text{ кг/м}^3$  и более) и легкие (плотность менее  $1500 \text{ кг/м}^3$ );

- по назначению – на кладочные, отделочные и специальные.

### 8.1. Определение состава сложного раствора

Подбор состава сложного раствора заключается в установлении соотношения вяжущего вещества, воды, песка и добавок. Это соотношение должно обеспечивать необходимую подвижность, водоудерживающую способность, водоотделение и нерасслаиваемость растворной смеси, прочность, среднюю плотность, водопоглощение и морозостойкость затвердевшего раствора.

Составы растворов марки ниже 25 приводятся в готовых таблицах. Подбирают преимущественно растворы марки 25 и выше. Если после испытаний будут наблюдаться отклонения от заданных показателей, то составы корректируют. Для возведения зданий при отрицательных температурах без прогрева рекомендуется применять растворы марки 50 и выше с противоморозными добавками.

Вначале рассчитывают расход материалов на  $1 \text{ м}^3$  песка в рыхло-насыпном состоянии при влажности 3–7 %. После уточнения состава на пробных замесах определяют расход материалов на  $1 \text{ м}^3$  раствора.

Для расчета состава сложного раствора необходимо иметь следующие исходные данные: заданную марку раствора  $R_p$ , подвижность растворной смеси ОК, активность  $R_{в,в}$  и насыпную плотность  $\rho_{н,в,в}$  вяжущего вещества, среднюю плотность минеральной добавки  $\rho_{ср,д}$ , насыпную плотность песка  $\rho_{н,п}$ .

При подборе состава раствора вначале рассчитывают его ориентировочный состав, потом проводят экспериментальную проверку и корректировку состава. Далее рассчитывают производственный состав и определяют расход материалов на замес растворомешалки.

Ориентировочный состав раствора на  $1 \text{ м}^3$  песка рассчитывают в указанном далее порядке.

1. Определяют расход вяжущего вещества на  $1 \text{ м}^3$  песка. Ориентировочный расход его по массе ( $Q_{в.в}$ ) можно определить по табл. 8.1.

Таблица 8.1. **Определение расхода вяжущего вещества**

Вяжущие вещества	Предел прочности раствора $R_p$ , МПа	Рекомендуемые марки цемента $R_c$ , МПа	$R_{в.в}Q_{в.в}$ , МПа	Расход цемента, кг	
				на $1 \text{ м}^3$ песка	на $1 \text{ м}^3$ раствора
Цементные (портландцемент, портландцемент с активными минеральными добавками)	20	50	18	360	410
		40		450	490
	15	50	14	280	330
		40		350	400
		30		470	510
	10	50	10,2	205	245
		40		255	300
		30		340	385
	7,5	50	8,1	160	195
		40		200	240
		30		270	310
		20		405	445
5	40	5,6	140	175	
	30		185	225	
	20		280	325	
2,5	30	3,1	105	135	
	20		155	190	
Известково-шлаковые и известково-пуццолановые	2,5	15	3,1	206	240
		10		310	330
	1,0	15	1,4	93	110
		10		140	165
		5		280	320
	0,4	5	-	120	145
2,5		240		270	

Если известно фактическое значение активности вяжущего вещества  $R_{в.в}^{\phi}$ , то его расход в килограммах на  $1 \text{ м}^3$  песка определяют по формуле

$$Q_{в.в} = \frac{R_{в.в} Q_{в.в}}{R_{в.в}^{\phi}} \cdot 1000, \quad (8.1)$$

где  $R_{в.в} Q_{в.в}$  принимается по табл. 8.1.

При использовании цементов высоких марок для их экономии рекомендуется применять тонкодисперсные и тонкомолотые активные минеральные добавки (молотые, доменные и топливные шлаки, диатомиты, трепелы, вулканические пеплы, туфы и т. п.). Процентное со-

держание активной минеральной добавки устанавливается экспериментально и принимается примерно пропорциональным требуемому проценту снижения излишней активности цемента.

Расход вяжущего вещества должен быть не меньше значений, указанных в табл. 8.2.

Таблица 8.2. Минимальное значение расхода вяжущего вещества

Назначение раствора	Вид раствора	Минимальный расход вяжущего вещества, кг, на 1 м <sup>3</sup> песка при степени долговечности зданий и конструкций	
		I, II	III
Для кладки надземной части зданий при относительной влажности воздуха в помещении до 60 %, а также для кладки фундаментов в маловлажных грунтах	Цементно-известковый	75	75
	Цементно-глиняный	100	75
	Цементный и цементно-известковый с органическим пластификатором	100	75
Назначение раствора	Вид раствора	Минимальный расход вяжущего вещества, кг, на 1 м <sup>3</sup> песка при степени долговечности зданий и конструкций	
		I, II	III
Для кладки надземной части зданий при относительной влажности воздуха в помещении более 60 %, а также для кладки фундаментов в очень влажных и насыщенных грунтах	Цементно-известковый	100	100
	Цементно-глиняный	125	100
	Цементный и цементно-известковый с органическим пластификатором	125	100

Ориентировочный расход вяжущего вещества по объему  $V_{в.в.}$ , м<sup>3</sup>, определяют по формуле

$$V_{в.в.} = Q_{в.в.} / \rho_{п.в.в.} \quad (8.2)$$

2. Определяют расход добавки известкового или глиняного теста при использовании в растворе цемента в качестве вяжущего вещества:

– по объему:

$$V_d = 0,17(1 - 0,002Q_{ц}); \quad (8.3)$$

– по массе:

$$Q_d = V_d \rho_{\text{ср.д}}, \quad (8.4)$$

где  $\rho_{\text{ср.д}}$  – средняя плотность известкового или глиняного теста, кг/м<sup>3</sup>.

Принимаются следующие значения средней плотности добавки: для известкового теста из извести второго сорта с содержанием 50 % воды – 1400 кг/м<sup>3</sup>; для глиняного теста из пластичной глины с содержанием песка до 5 % – 1350; из глины средней пластичности с содержанием песка до 15 % – 1450 кг/м<sup>3</sup>. В случае применения извести первого сорта ее расход уменьшается на 10 % по сравнению с рассчитанным. При использовании негашеной извести ее расход уменьшают: при первом сорте – на 35 %, при втором – на 25, при третьем – на 15 %. В случае применения известкового молока его дозировка назначается из расчета содержания 25 % извести при средней плотности 1200 кг/м<sup>3</sup>.

3. Определяют ориентировочный расход воды  $V$ , кг:

– для раствора без органического пластификатора:

$$V = 0,5(Q_v + Q_d); \quad (8.5)$$

– для раствора с органическим пластификатором:

$$V = 0,65(Q_v + Q_d), \quad (8.6)$$

где  $Q_d$  – расход добавки (глиняное или известковое тесто), кг.

Фактический расход воды уточняют на пробных замесах методом последовательных приближений до получения растворной смеси требуемой подвижности.

4. Определяют расход органических пластификаторов по табл. 8.3.

Таблица 8.3. Определение расхода органических пластификаторов

Органический пластификатор	Расход органического пластификатора в виде раствора 5%-ной концентрации, кг/м <sup>3</sup> , при замене в растворе известкового теста	
	полной	50%-ной
Мылонафт	1,0–2,0	0,5–1,0
Подмыльный щелок	2,0–5,5	1,0–2,7
Щелочной сток производства капролактама	2,0–3,5	1,0–1,7

Применение органических пластификаторов позволяет уменьшать расход извести в цементно-известковых растворах на 50 % или даже полностью отказаться от ее добавки.

При 50%-ной замене извести органическим пластификатором и положительных температурах нормативное сопротивление кладки не снижается, а при выполнении кладки методом замораживания его следует уменьшить на 10 %.

При полной замене извести органическим пластификатором нормативное сопротивление кладки надо снизить на 10 % в летних условиях и на 15 % – в зимних при производстве работ методом замораживания.

5. Вычисляют расход песка:

$$Q_{\text{п}} = V_{\text{п}} \rho_{\text{н.п}}, \quad (8.7)$$

где  $V_{\text{п}}$  – объем песка, равный  $1 \text{ м}^3$ ;

$\rho_{\text{н.п}}$  – насыпная плотность песка,  $\text{кг/м}^3$ .

Для экспериментальной проверки и корректировки состава раствора приготавливают лабораторный замес, на котором определяют подвижность, среднюю плотность, раслаиваемость, водоудерживающую способность растворной смеси, прочность и морозостойкость (если предъявляются требования по морозостойкости) затвердевшего раствора.

Объем лабораторного замеса обычно принимают равным 3–5 л. Расход песка берется равным объему лабораторного замеса. Количество вяжущего вещества, добавок и воды на лабораторный замес  $Q_{\text{м.з}}$ , кг, определяют по формуле

$$Q_{\text{м.з}} = \frac{Q_{\text{м}}}{V_3} \cdot 1000, \quad (8.8)$$

где  $Q_{\text{м}}$  – расход материалов (вяжущего вещества, минеральной или химической добавки, воды, песка) на  $1 \text{ м}^3$  песка, кг;

$V_3$  – объем лабораторного замеса, л.

Подвижность растворной смеси устанавливается методом последовательных приближений путем изменения расхода воды.

При недостаточной водоудерживающей способности и при раслаиваемости растворной смеси в ее состав вводят известь, глину, активные минеральные или химические добавки.

Откорректировав состав раствора по подвижности, водоудерживающей способности и раслаиваемости растворной смеси, проверяют прочность раствора. Для этого приготавливают дополнительно еще два лабораторных замеса с одинаковой подвижностью растворной смеси: один с расходом цемента на 10–20 % большим, чем у основного заме-

са, второй – на 10–20 % меньшим. Строят зависимость между расходом вяжущего вещества и прочностью раствора и уточняют расход вяжущего.

Объем лабораторного замеса  $V_3$ , м<sup>3</sup>, после корректировки состава растворной смеси рассчитывают по формуле

$$V_3 = \frac{Q_{в.в.з} + Q_{д.з} + Q_{в.з} + Q_{п.з}}{\rho_{ср.см}}, \quad (8.9)$$

где  $Q_{в.в.з}$ ,  $Q_{д.з}$ ,  $Q_{в.з}$ ,  $Q_{п.з}$ , – масса составляющих материалов (вяжущего вещества, добавок, воды, песка) для приготовления лабораторного замеса, кг;

$\rho_{ср.см}$  – средняя плотность растворной смеси, кг/м<sup>3</sup>.

Зная объем растворной смеси и расход материалов на лабораторный замес, определяют расход материалов (в килограммах на 1 м<sup>3</sup> растворной смеси) по следующим формулам:

$$Q_{в.в} = \frac{Q_{в.в.з} \cdot 1}{V_3}; \quad Q_{д} = \frac{Q_{д.з} \cdot 1}{V_3}; \quad Q_{в} = \frac{Q_{в.з} \cdot 1}{V_3}; \quad Q_{п} = \frac{Q_{п.з} \cdot 1}{V_3}. \quad (8.10)$$

Расход материалов (в кубических метрах на 1 м<sup>3</sup> растворной смеси) вычисляют по следующим формулам:

$$V_{в.в} = \frac{Q_{в.в}}{\rho_{н.в.в}}; \quad V_{д} = \frac{Q_{д}}{\rho_{д}}; \quad V_{в} = \frac{Q_{в}}{\rho_{в}}; \quad V_{п} = \frac{Q_{п}}{\rho_{н.п}}. \quad (8.11)$$

Далее определяют соотношение объемных частей вяжущего вещества, добавки и песка:

$$\frac{V_{в.в}}{V_{в.в}} : \frac{V_{д}}{V_{в.в}} : \frac{V_{п}}{V_{в.в}} = 1 : X : Y, \quad (8.12)$$

где  $X$ ,  $Y$  – соотношение объемных частей соответственно добавки и песка к объемной части вяжущего вещества, полученные на 1 м<sup>3</sup> растворной смеси.

При определении расхода материалов на замес растворомешалки следует умножить расход материалов на 1 м<sup>3</sup> раствора на объем растворомешалки.

## 8.2. Испытание растворной смеси

Основные свойства растворной смеси, по которым оценивают ее качество, – подвижность, плотность, расслаиваемость и водоудерживающая способность. Для определения этих свойств приготавливают лабораторный замес.

Рассчитав расход материалов для лабораторного замеса, приступают к его приготовлению. Песок просеивают через сито с отверстиями диаметром 2,5 мм, цемент – через сито № 09. Приготавливают около 1 кг известкового или глиняного теста. Материалы выдерживают до температуры воздуха в помещении лаборатории ( $20 \pm 3$ ) °С. Затем отвешивают необходимое количество материалов и приступают к непосредственному приготовлению лабораторного замеса. Боек и кельму протирают влажной тканью. Песок высыпают на боек, добавляют цемент и перемешивают кельмой в течение 5 мин. Затем смешивают известковое или глиняное тесто с водой и получают известковое либо глиняное молоко. Им затворяют смесь, которую перемешивают в течение 5 мин. При последующей корректировке состава растворной смеси после добавления материалов замес следует еще раз перемешать в течение 5 мин.

### 8.2.1. Определение подвижности растворной смеси

*Подвижностью растворной смеси* называют ее способность легко растекаться по поверхности камня и заполнять все его неровности. Определяют подвижность по глубине погружения эталонного конуса (в сантиметрах). Подвижность растворной смеси зависит от назначения раствора и принимается равной: для растворов, используемых для монтажа и расшивки швов стен из панелей и крупных бетонных блоков, – 5–7 см; для кладки из обыкновенного керамического кирпича, бетонных камней и камней из легких пород – 9–13; для кладки из пустотелого кирпича и керамических камней – 7–8; для обычной бутовой кладки – 4–6; для заливки пустот в ней – 13–14 и для вибрированной бутовой кладки – 1–3 см.

**Материалы и оборудование:** растворная смесь; прибор для определения подвижности; стальной стержень (штыковка) диаметром 12 мм и длиной 300 мм; кельма; секундомер.

**Выполнение работы.** Подвижность растворной смеси определяют с помощью прибора (рис. 8.1), который состоит из эталонного конуса

высотой 145 мм и диаметром 75 мм и стержня общей массой 300 г, которые соединены держателем со стойкой штатива. На держателе крепится шкала с делениями, по которой отсчитывают глубину погружения конуса в растворную смесь. Сосуд для растворной смеси изготовлен в виде усеченного конуса высотой 180 мм с нижним основанием диаметром 150 мм, верхним – диаметром 250 мм.

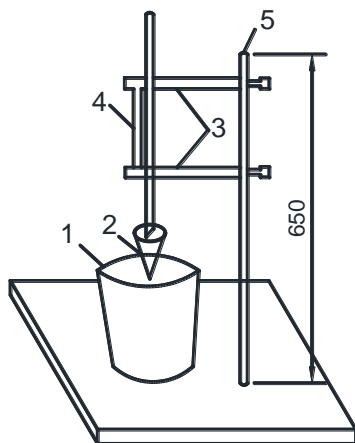


Рис. 8.1. Прибор для определения подвижности растворной смеси:  
1 – ведро; 2 – конус; 3 – кронштейн;  
4 – линейка; 5 – стойка

Поверхности конуса и сосуда, соприкасающиеся с растворной смесью, протирают влажной тканью. Заполняют сосуд растворной смесью на 10 мм ниже его краев, уплотняют металлической штыковкой 25 раз и легким постукиванием о стол 5–6 раз. Острие конуса подводят до соприкосновения с поверхностью раствора и закрепляют стержень зажимным винтом. Затем отвинчивают зажимный винт и дают конусу возможность погружаться в растворную смесь в течение 1 мин, после чего по шкале определяют глубину его погружения. Подвижность вычисляют как среднее арифметическое результатов двух испытаний на разных пробах одного замеса растворной смеси. Различие не должно превышать 20 мм, в противном случае испытание следует повторить на новой пробе растворной смеси.

### 8.2.2. Определение средней плотности растворной смеси

**Материалы и оборудование:** растворная смесь; стальной цилиндрический мерный сосуд вместимостью 1000 см<sup>3</sup>; насадка к сосуду; металлический стержень (штыковка) диаметром 12 мм; весы; стальная линейка.

**Выполнение работы.** Среднюю плотность растворной смеси определяют в цилиндрическом мерном сосуде вместимостью 1000 см<sup>3</sup> с насадкой. Сосуд взвешивают, надевают на него насадку, заполняют растворной смесью с некоторым избытком и уплотняют штыкованием металлическим стержнем 25 раз и постукиванием о стол 5–6 раз. Затем насадку снимают, избыток смеси срезают линейкой вровень с краями сосуда, очищают тканью стенки от раствора и снова взвешивают с точностью до 2,0 г.

Плотность растворной смеси  $\rho_{\text{ср.см}}$ , г/см<sup>3</sup>, вычисляют по формуле

$$\rho_{\text{ср.см}} = \frac{m - m_1}{V}, \quad (8.13)$$

где  $m$  – масса мерного сосуда с растворной смесью, г;

$m_1$  – масса пустого мерного сосуда, г;

$V$  – объем мерного сосуда, см<sup>3</sup>.

За плотность растворной смеси принимают среднее арифметическое результатов двух определений из одной пробы, различающихся не более чем на 5 %.

### 8.2.3. Определение расслаиваемости растворной смеси

**Расслаиваемость** растворной смеси характеризует ее связность при хранении или при динамическом воздействии в результате перевозки либо вибрирования. Расслаиваемость происходит из-за недостаточной связи частиц смеси. Она не должна превышать 10 %. Ее понижают путем введения известкового или глиняного теста.

**Материалы и оборудование:** растворная смесь; стальные формы размерами 150×150×150 мм; лабораторная виброплощадка; лабораторные весы; сушильный шкаф; сито № 016; противень; стальной стержень (штыковка) диаметром 12 мм и длиной 300 мм.

**Выполнение работы.** Расслаиваемость растворной смеси определяют следующим образом. Предварительно перемешанной растворной

смесью заполняют форму размером 150×150×150 мм и уплотняют металлической штыковой 25 раз и легким постукиванием о стол 5–6 раз. Затем форму со смесью жестко закрепляют на виброплощадке и подвергают вибрации в течение 1 мин.

Далее растворную смесь разделяют на две части. Верхнюю выкладывают на один противень, а нижнюю выгружают опрокидыванием на второй противень. Разделенные части взвешивают с точностью до 2,0 г и подвергают мокрому рассеву на сите № 016 с промывкой струей воды до полного удаления вяжущего вещества и добавок.

Отмытый песок из верхней и нижней частей отформованного образца переносят на чистые противни, высушивают до постоянной массы при температуре 105–110 °С, взвешивают с точностью до 2,0 г и определяют его содержание (в процентах по массе):

$$V_{\text{п}} = \frac{m_1}{m_2} \cdot 100, \quad (8.14)$$

где  $m_1$  – масса отмытого высушенного песка из верхней (нижней) части образца, г;

$m_2$  – масса растворной смеси отобранной пробы из верхней (нижней) части образца, г.

Определяют расслаиваемость растворной смеси (в процентах по массе):

$$P = \frac{\Delta V_{\text{п}}}{\sum V_{\text{п}}} \cdot 100, \quad (8.15)$$

где  $\Delta V_{\text{п}}$  – абсолютная разность между содержанием песка в верхней и нижней частях образца, %;

$\sum V_{\text{п}}$  – общее количество песка в верхней и нижней частях образца, %.

Определяют расслаиваемость дважды для каждой пробы. Результаты не должны отличаться более чем на 20 % от наименьшего значения. При большем отличии испытание повторяют на новой пробе растворной смеси.

За окончательный результат принимают среднее арифметическое из двух определений.

#### 8.2.4. Определение водоудерживающей способности растворной смеси

**Водоудерживающей способностью** растворной смеси называется ее способность удерживать воду при отсосе пористым основанием. Она повышается при введении в состав растворной смеси извести, глины, активных минеральных и химических добавок.

В результате обезвоживания может оказаться, что воды в растворной смеси останется недостаточно для твердения раствора, вследствие чего он не наберет необходимой прочности.

Водоудерживающая способность свежеприготовленной в лабораторных условиях растворной смеси для летних растворов должна составлять не менее 95 %, для зимних – не менее 90 %.

На месте производства работ водоудерживающая способность растворной смеси должна быть не менее 75 % от установленной в лабораторных условиях.

**Материалы и оборудование:** растворная смесь; листы промокательной бумаги; прокладки из марлевой ткани; металлическое кольцо с внутренним диаметром 100 мм, высотой 12 мм, толщиной стенки 5 мм; стеклянная пластинка размером 150×150 мм; весы.

**Выполнение работы.** Водоудерживающую способность растворной смеси определяют на специальном приборе, состоящем из кольца, листов промокательной бумаги, прокладки из марлевой ткани и стеклянной пластинки (рис. 8.2).

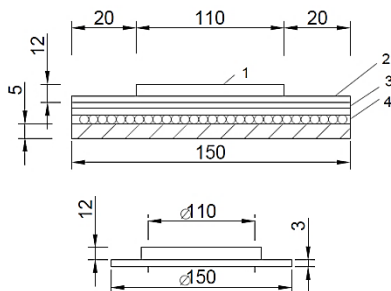


Рис. 8.2. Схема прибора для определения водоудерживающей способности растворной смеси:  
1 – металлическое кольцо с раствором;  
2 – слой марлевой ткани; 3 – 10 слоев промокательной бумаги; 4 – стеклянная пластинка

Перед испытанием 10 листов промокательной бумаги размерами 150×150 мм взвешивают с точностью до 0,1 г, укладывают на стеклянную пластинку, сверху кладут прокладку из марлевой ткани, на них устанавливают металлическое кольцо и все вместе взвешивают. Предварительно перемешанную растворную смесь укладывают в металлическое кольцо, выравнивают с краями, взвешивают и оставляют на 10 мин. Затем вместе с марлей снимают металлическое кольцо с раствором, а промокательную бумагу взвешивают с точностью до 0,1 г.

Водоудерживающая способность (ВС) характеризуется содержанием воды в пробе до и после эксперимента:

$$BC = 100 - \frac{m_2 - m_1}{m_4 - m_3} \cdot 100, \quad (8.16)$$

где  $m_1, m_2$  – масса промокательной бумаги соответственно до и после испытания, г;

$m_3, m_4$  – масса установки соответственно без растворной смеси и со смесью, г.

Испытания растворной смеси выполняют дважды на отдельной пробе и вычисляют как среднее арифметическое результатов двух определений, отличающихся от наименьшего значения не более чем на 20 %.

### 8.2.5. Испытание затвердевшего раствора

Основные характеристики затвердевшего раствора – прочность, средняя плотность, водопоглощение, влажность и морозостойкость. Они задаются и контролируются в процессе производства работ и эксплуатации кладок.

### 8.2.6. Определение прочности раствора при сжатии

**Материалы и оборудование:** растворная смесь; машинное масло; разъемные стальные формы с поддоном и без поддона размерами 70,7×70,7×70,7 мм; гидравлический пресс; керамический обыкновенный кирпич; газетная бумага; штангенциркуль; стальной стержень (штыковка) диаметром 12 мм и длиной 300 мм; шпатель; весы.

**Выполнение работы.** Прочность раствора определяют путем испытания на сжатие образцов-кубов размерами 70,7×70,7×70,7 мм в

возрасте 28 сут или другом возрасте, установленном в стандарте либо технических условиях на раствор данного вида.

Если растворная смесь имеет подвижность 5 см и более, то образцы изготавливают в формах без поддона, если же менее 5 см – в формах с металлическим поддоном.

Форму без поддона устанавливают на кирпич, имеющий влажность не более 2 % и водопоглощение 10–15 % по массе, имитируя таким образом условия твердения раствора в кладке. Перед заполнением растворной смесью внутреннюю поверхность формы смазывают машинным маслом.

При изготовлении образцов из смеси подвижностью 5 см и более формы устанавливают на кирпичи, которые покрыты газетной бумагой, смоченной водой. Кирпичи должны быть притерты для устранения неровностей. Повторное применение кирпичей не допускается. Затем форму заполняют растворной смесью с избытком и уплотняют штыковкой 25 раз в каждом отсеке по окружности от центра к краям. Через некоторое время, после того как поверхность растворной смеси станет матовой вследствие отсоса части воды кирпичом, избыток срезают вровень с краями формы.

При изготовлении образцов из смеси подвижностью менее 5 см формы с поддоном заполняют в два слоя и каждый слой уплотняют 12 нажимами призматического конуса шпателя с уплотняющей поверхностью размером 60×10 мм: 6 раз – в одном направлении и 6 раз – в противоположном.

Образцы, изготовленные из растворных смесей на портландцементе, хранят одни сутки в формах; изготовленные из растворных смесей на шлакопортландцементе, пуццолановых портландцементе, с добавками – замедлителями схватывания, а также образцы зимней кладки, находящиеся на открытом воздухе, хранят в формах 2–3 сут при температуре  $(20 \pm 2)$  °С и относительной влажности воздуха 95–100 %. Затем их освобождают от форм и хранят в течение 3 сут опять же в камере нормального твердения. До начала испытания образцы выдерживают в следующих условиях: для растворов, твердеющих на воздухе, – в помещении при температуре  $(20 \pm 2)$  °С и относительной влажности воздуха  $(65 \pm 10)$  %; для растворов, твердеющих во влажной среде, – в воде. При отсутствии камеры нормального твердения допускается хранение образцов во влажном песке или опилках.

Образцы, изготовленные на основе воздушных вяжущих веществ, хранят одни сутки в формах при температуре  $(20 \pm 2)$  °С в помещении

с относительной влажностью  $(65 \pm 10) \%$ , затем освобождают от форм и до испытания выдерживают в тех же условиях.

Образцы, твердеющие в воде, вынимают за 10 мин до начала испытания и вытирают.

Прочность при сжатии определяют путем испытания образцов-кубов на гидравлическом прессе. Шкалу измерителя прессы выбирают с учетом того, что разрушающая нагрузка должна находиться в интервале 20–80 % от максимальной нагрузки, допускаемой шкалой.

Скорость приложения нагрузки должна быть  $(0,6 \pm 0,4)$  МПа/с. Образец устанавливают боковыми поверхностями на нижнюю плиту прессы так, чтобы сжимающая сила была направлена параллельно слоям растворной смеси в форме. Предварительно измеряют размеры образцов с точностью  $\pm 1 \%$ . Площадь сечения образца определяют как среднее арифметическое площадей двух противоположных граней.

Предел прочности при сжатии  $R_{сж}$ , Мпа, вычисляют с погрешностью до 0,01 МПа по формуле

$$R_{сж} = P / S, \quad (8.17)$$

где  $P$  – разрушающая сила, Н;

$S$  – площадь сечения образца, мм<sup>2</sup>.

За окончательный результат принимают среднее арифметическое значений, полученных при испытании трех образцов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дворкин, Л. И. Строительные материалы и детали / Л. И. Дворкин. – Киев: Выща шк., 1987.
2. Материалы и изделия в сельском строительстве: справочник / Л. И. Дворкин [и др.]; под ред. Л. И. Дворкина. – Киев: Урожай, 1990.
3. Основин, В. Н. Гидротехнический бетон: учеб. пособие / В. Н. Основин, Л. В. Шуляков. – Горки, 1997.
4. Основин, В. Н. Справочник по строительным материалам и изделиям / В. Н. Основин, Л. В. Шуляков, Д. С. Дубяго. – Изд. 5-е. – Ростов н/Д: Феникс, 2008.
5. Основин, В. Н. Строительные материалы и изделия в сельском строительстве и мелиорации: практикум / В. Н. Основин. – Минск: ИВЦ Минфина, 2006.
6. Основин, В. Н. Строительные материалы и конструкции: учеб. пособие / В. Н. Основин, Л. Г. Основина, Л. В. Шуляков. – Минск: Ураджай, 2000.
7. Рожков, П. В. Строительное материаловедение. Лабораторный практикум / П. В. Рожков, С. В. Тertiца, И. А. Пуриков. – М.: МИРЭА – Российский технологический университет, 2019.
8. Строительные материалы и изделия: учеб. пособие / В. Н. Чубуков [и др.]. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2003.
9. Строительные материалы. Лабораторный практикум / Я. Н. Ковалев [и др.]. – Минск: Изд-во «Новое знание», 2013.
10. Болтрык, М. Строительные материалы: учеб.-метод. пособие: в 2 т. / М. Болтрык, Г. Ожеповски, В. Марчук. – Брест: Брестский государственный технический университет, 2020.
11. Чубуков, В. Н. Строительные материалы и изделия: практикум / В. Н. Чубуков, В. Н. Основин, Л. В. Шуляков. – Минск: Дизайн ПРО, 2000.
12. Широкий, Г. Т. Строительное материаловедение / Г. Т. Широкий, П. И. Юхневский, М. Г. Бортницкая. – Минск: Выш. шк., 2016.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
Лабораторная работа 1. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	4
1.1. Общие сведения.....	4
1.2. Физические свойства.....	4
1.3. Механические свойства .....	10
1.4. Определение плотности материалов.....	12
1.4.1. Определение истинной плотности .....	12
1.4.2. Определение средней плотности.....	15
1.4.3. Определение средней плотности образца правильной геометрической формы.....	15
1.4.4. Определение средней плотности образца неправильной геометрической формы.....	17
1.4.5. Определение насыпной плотности.....	20
1.4.6. Определение пористости .....	21
Лабораторная работа 2. ИСПЫТАНИЕ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА.....	22
2.1. Оценка качества кирпича по форме, размерам и внешнему виду.....	23
2.2. Определение марки кирпича по пределу прочности при сжатии и изгибе .....	24
Лабораторная работа 3. ИСПЫТАНИЕ ДРЕНАЖНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ТРУБ (СТБ 1720-2007).....	30
3.1. Оценка качества труб по внешнему виду, форме и размерам.....	30
3.2. Определение прочности труб .....	32
Лабораторная работа 4. ИСПЫТАНИЕ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА .....	33
4.1. Определение истинной плотности .....	33
4.2. Определение насыпной плотности.....	34
4.3. Определение тонкости помола .....	35
4.4. Определение нормальной густоты цементного теста.....	36
4.5. Определение сроков схватывания цементного теста.....	38
4.6. Определение равномерности изменения объема цемента.....	39
4.7. Определение марки цемента по пределу прочности при изгибе и сжатии .....	41
Лабораторная работа 5. ИСПЫТАНИЕ ГИПСОВЫХ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ .....	46
5.1. Определение тонкости помола .....	46
5.2. Определение стандартной консистенции (нормальной густоты) гипсового теста.....	47
5.3. Определение сроков схватывания гипсового теста .....	49
5.4. Определение марки гипсовых вяжущих веществ .....	50
Лабораторная работа 6. ИСПЫТАНИЕ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ ДЛЯ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА .....	52
6.1. Определение зернового состава и модуля крупности песка .....	52
6.2. Определение содержания глины в комках, пылевидных и глинистых частиц .....	54
6.3. Определение влажности песка .....	56
6.4. Испытание щебня (гравия) .....	57
6.4.1. Определение зернового состава щебня (гравия) .....	57
Лабораторная работа 7. ПОДБОР СОСТАВА БЕТОНА .....	58
7.1. Испытание бетонной смеси .....	64
7.2. Приготовление опытного замеса.....	65
7.3. Определение подвижности бетонной смеси.....	66

7.4. Определение жесткости бетонной смеси (основной способ).....	68
7.5. Определение прочности бетона.....	69
7.5.1. Определение прочности бетона при сжатии .....	69
7.5.2. Определение прочности бетона при осевом растяжении .....	71
7.5.3. Определение прочности бетона на растяжение при изгибе .....	72
Лабораторная работа 8. СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ.....	73
8.1. Определение состава сложного раствора .....	74
8.2. Испытание растворной смеси.....	80
8.2.1. Определение подвижности растворной смеси .....	80
8.2.2. Определение средней плотности растворной смеси .....	82
8.2.3. Определение расслаиваемости растворной смеси .....	82
8.2.4. Определение водоудерживающей способности растворной смеси .....	84
8.2.5. Испытание затвердевшего раствора.....	85
8.2.6. Определение прочности раствора при сжатии .....	85
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	88

Учебное издание

**Дубяго** Дмитрий Святославович  
**Новиков** Андрей Евгеньевич

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
И ИЗДЕЛИЯ**

Учебно-методическое пособие

Редактор *С. Н. Кириленко*  
Технический редактор *Н. Л. Якубовская*

Подписано в печать 20.05.2024. Формат 60×84<sup>1/16</sup>. Бумага офсетная.  
Ризография. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 5,35. Уч.-изд. л. 4,24.  
Тираж 60 экз. Заказ .

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».  
Свидетельство о ГРИИРПИ № 1/52 от 09.10.2013.  
Ул. Мичурина, 13, 213407, г. Горки.

Отпечатано в УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».  
Ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки.