

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»

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
высших учебных заведений Республики Беларусь
по образованию в области строительства и архитектуры
в качестве пособия для обучающихся по специальности
специального высшего образования
7-07-0732-01 Строительство зданий и сооружений*

Горки
Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия
2025

УДК 691(075)

ББК 38.3я73

С86

*Рекомендовано методической комиссией
мелиоративно-строительного факультета
21.04.2025 (протокол № 8)
и Научно-методическим советом
Белорусской государственной сельскохозяйственной академии
30.04.2025 (протокол № 9)*

Авторы:

старший преподаватель *А. В. Дубина*;
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *С. М. Курчевский*;
старший преподаватель *Д. С. Дубяго*;
старший преподаватель *А. А. Константинов*

Рецензенты:

кандидат технических наук, доцент *О. П. Мешик*;
директор ДУП «ПМК-201» УП «Минскоблсельстрой» *А. Н. Пальчик*

Строительное материаловедение : пособие / А. В. Дубина,
С86 С. М. Курчевский, Д. С. Дубяго, А. А. Константинов. – Горки :
Белорус. гос. с.-х. акад., 2025. – 269 с.
ISBN 978-985-882-702-1.

Приведены общие сведения о строительных материалах. Изложены методологические принципы их оценки, статистические и статические методы, применяемые при испытании, а также указаны нормативные требования, предъявляемые к качеству материалов в соответствии с действующими стандартами. Рассматриваются современные методики лабораторных испытаний.

Для обучающихся по специальности специального высшего образования 7-07-0732-01 Строительство зданий и сооружений.

УДК 691(075)

ББК 38.3я73

ISBN 978-985-882-702-1

© Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия, 2025

ВВЕДЕНИЕ

Цель настоящего пособия – формирование у будущего специалиста системы знаний, навыков и профессиональных компетенций о современных строительных материалах и методах их качественной оценки.

В первом разделе рассмотрены теоретические основы о строительных материалах, применяемых в строительстве зданий и сооружений, их классификация, технология производства и область применения.

Во втором разделе данного издания приведены общие сведения о строительных материалах, применяемых в строительстве зданий и сооружений. Изложены методологические принципы их оценки, статистические и статические методы, применяемые при испытании, а также указаны нормативные требования, предъявляемые к качеству материалов в соответствии с действующими стандартами. Рассмотрены современные методики лабораторных испытаний. Они изложены в виде указаний и сопровождаются описанием приборов.

I. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ТЕРМИНЫ

Строительный материал – продукция, изготовленная в условиях промышленного производства или природного происхождения, предназначенная для изготовления в процессе строительства, реконструкции, капитального ремонта зданий и сооружений, строительных конструкций этих зданий и сооружений, выполнения защитных и отделочных покрытий зданий и сооружений, а также для изготовления в условиях промышленного производства строительных изделий и строительных конструкций.

Строительное изделие – это изготовленная из строительных материалов в условиях промышленного производства продукция, предназначенная для применения в качестве элемента строительных конструкций, зданий и сооружений.

Строительная конструкция – это изготовленная из строительных материалов или изделий в условиях промышленного производства часть зданий или сооружений, выполняющая определенные несущие, ограждающие или эстетические функции.

Номенклатура – перечень названий основных видов готовой продукции.

Сырье, сырьевые материалы – исходные вещества или их смеси (сырьевая смесь) из двух или большего числа компонентов, которые перерабатываются для получения строительных материалов и изделий.

1. ОСНОВНЫЕ СТРОИТЕЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

1.1. Понятие о работе материалов в сооружении

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.

Строительные материалы, изделия и конструкции – это материальная основа строительства. Затраты на них достигают 50–60 % общей стоимости строительно-монтажных работ.

1.2. Классификация строительных материалов

По степени готовности различают собственно строительные материалы и строительные изделия – готовые изделия и элементы, монтируемые и закрепляемые на месте работы. К *строительным материалам* относятся древесина, металлы, цемент, бетон, кирпич, песок, строительные растворы для каменных кладок и различных штукатурок, лакокрасочные материалы, природные камни и т. д. *Строительными изделиями* являются сборные железобетонные панели и конструкции, оконные и дверные блоки, санитарно-технические изделия и кабины. В отличие от изделий строительные материалы перед применением подвергают той или иной обработке – смешиванию с водой, уплотнению, распиливанию, теске.

По происхождению строительные материалы подразделяются на природные и искусственные. *Природными материалами* являются древесина, горные породы (природные камни), торф, природные битумы и асфальты и др. Эти материалы получают из природного сырья путем несложной обработки без применения их первоначального строения и химического состава. К *искусственным материалам* относят кирпич, цемент, железобетон, стекло и др. Их получают из природного и искусственного сырья, побочных продуктов промышленности и сельского хозяйства по специальным технологиям. Искусственные материалы отличаются от исходного сырья как строением, так и по химическому составу, что обусловлено коренной переработкой его в заводских условиях. Например, из размокающей в воде глины после формования, сушки и обжига получают водостойкую, прочную и долговечную керамику – кирпич, черепицу, плитки и т. д.

Наибольшее распространение получили классификации по назначению и технологическому признаку.

По **назначению** материалы делят на следующие группы:

- *конструкционные*, которые воспринимают и передают нагрузки в строительных конструкциях;
- *теплоизоляционные*, основное назначение – свести до минимума перенос теплоты через строительную конструкцию и тем самым обеспечить необходимый тепловой режим помещения при минимальных затратах энергии;
- *акустические* (звукопоглощающие и звукоизоляционные) – для снижения уровня «шумового загрязнения» помещения;
- *гидроизоляционные и кровельные* – для создания водонепроницае-

мых слоев на кровлях, подземных сооружениях и других конструкциях, которые необходимо защищать от воздействия воды или водяных паров;

- *герметизирующие* – для заделки стыков в сборных конструкциях;
- *отделочные* – для улучшения декоративных качеств строительных конструкций, а также для защиты конструкционных, теплоизоляционных и других материалов от внешних воздействий; специального назначения (например, огнеупорные или кислотоупорные), применяемые при возведении специальных сооружений.

Ряд материалов (например, цемент, известь, древесина) нельзя отнести к какой-либо одной группе, так как их используют и в чистом виде, и как сырье для получения других строительных материалов и изделий – это так называемые материалы общего назначения. Трудность классификации строительных материалов по назначению состоит в том, что одни и те же материалы могут быть отнесены к разным группам. Например, бетон в основном применяют как конструктивный материал, но некоторые его виды имеют совсем иное назначение: особо легкие бетоны – теплоизоляционные материалы; особо тяжелые бетоны – материалы специального назначения, используемые для защиты от радиоактивного излучения.

По **технологическому признаку** материалы подразделяют, учитывая вид сырья, из которого получают материал, и вид его изготовления, на следующие группы.

Природные каменные материалы и изделия – получают из горных пород путем их механической обработки – стеновые блоки и камни, облицовочные плиты, детали архитектурного назначения, бутовый камень для фундаментов, щебень, гравий, песок и др.

Керамические материалы и изделия – получают из глины с добавками путем формования, сушки и обжига – кирпич, керамические блоки и камни, черепица, трубы, изделия из фаянса и фарфора, плитки облицовочные и для настилки полов, керамзит (искусственный гравий для легких бетонов) и др.

Стекло и другие материалы и изделия из минеральных расплавов – оконное и облицовочное стекло, стеклоблоки, стеклопрофилит (для ограждений), плитки, трубы, изделия из ситаллов и шлакоситаллов, каменное литье.

Неорганические вяжущие вещества – минеральные преимущественно порошкообразные материалы, образующие при смешивании с водой пластичное тело, со временем приобретающее камневидное со-

стояние – цементы различных видов, известь, гипсовые вяжущие и др.

Бетоны – искусственные каменные материалы, получаемые из смеси вяжущего, воды, мелкого и крупного заполнителей. Основной вид бетона – цементный, состоящий из цемента, воды, песка и щебня или гравия. Бетон со стальной арматурой называют железобетоном, он хорошо сопротивляется не только сжатию, но и изгибу и растяжению. Бетоны используют для изготовления монолитных и сборных конструкций.

Строительные растворы – механические смеси, состоящие из вяжущего, воды и мелкого заполнителя, со временем переходящие из тестообразного в камневидное состояние – применяют для каменных кладок, настилки плиток, различных штукатурок, формования изделий, заделки стыков в конструкциях.

Искусственные необожженные каменные материалы – получают на основе неорганических вяжущих и различных заполнителей – силикатный кирпич, гипсовые и гипсобетонные изделия, асбестоцементные изделия и конструкции, силикатные бетоны. К этой группе материалов можно отнести как цементные бетоны, так и строительные растворы.

Древесные материалы и изделия – получают в результате механической обработки древесины – круглый лес, пиломатериалы, заготовки для различных столярных изделий, паркет, фанера, плитусы, поручни, дверные и оконные блоки, клееные конструкции.

Металлические материалы – наиболее широко применяемые в строительстве черные металлы (сталь и чугун), стальной прокат (двутавры, швеллеры, уголки), сплавы металлов, особенно алюминиевые. Стальной прокат применяют для возведения каркасов промышленных и гражданских зданий, мостов, для изготовления арматурной стали для железобетона, кровельной стали, труб, а также различных механических изделий, гвоздей, болтов, заклепок. Из чугуна отливают колонны, трубы и фасонные детали к ним, отопительные радиаторы, архитектурно-художественные изделия. Сплавы металлов широко используют в качестве конструкционных и отделочных материалов.

Органические вяжущие вещества и материалы на их основе – битумные и дегтевые вяжущие, кровельные и гидроизоляционные материалы – рубероид, пергамин, изол, бризол, гидроизол, толь, приклеивающие мастики, асфальтовые бетоны и растворы.

Полимерные материалы и изделия – группа материалов, получаемых на основе синтетических полимеров (термопластических и термоактивных смол), – линолеумы, релин, синтетические ковровые мате-

риалы, плитки, древеснослоистые пластики, стеклопластики, пенопласты, поропласты, сотопласты; материалы этой группы отличаются высокими механическими, декоративными, технологическими свойствами, а также водо- и химической стойкостью.

1.3. Стандартизация материалов

Основные требования к качеству материалов, изделий и готовых конструкций массового применения устанавливаются Государственными стандартами (ГОСТ), стандартами Республики Беларусь (СТБ), отраслевыми стандартами (ОСТ), техническими условиями (ТУ).

1.4. Общие сведения о свойствах строительных материалов

Строительные материалы, как и все окружающие нас предметы и явления, обладают рядом признаков и характеристик, которые проявляются в большей или меньшей степени. По совокупности этих признаков и характеристик, отражающих свойства материалов, судят о качестве продукции.

Все свойства строительных материалов подразделяют на следующие группы.

Физические свойства. Данную группу составляют параметры физического состояния материалов и свойства, определяющие отношение материалов к различным физическим процессам. К первым относят плотность и пористость материала, степень измельчения порошков, ко вторым – гидрофизические свойства (водопоглощение, влажность, водопроницаемость, водостойкость, морозостойкость), теплофизические (теплопроводность, теплоемкость, температурное расширение) и некоторые другие.

Механические свойства. В группу входят характеристики, отражающие отношение материала к действию механических нагрузок: прочность, твердость, деформативность, упругость, пластичность, хрупкость, истираемость.

Химические свойства. Настоящая группа включает в себя свойства, характеризующие стойкость материала к разрушающим химическим воздействиям окружающей среды (коррозионная стойкость), а также способность материала к химическим превращениям (например, способность цемента после затворения водой самопроизвольно затвердевать в прочное камневидное тело).

Технологические свойства. Группа данных свойств выражает способность материала к восприятию определенных технологических операций с целью изменения формы, размеров, характера поверхности, плотности и др.

1.5. Физические свойства

Большинство строительных материалов – это пористые вещества. Поры занимают лишь часть объема материала, остальное приходится на твердую фазу. Объем твердой фазы, взятый за вычетом пор, называется **абсолютным объемом** V_a .

Истинная плотность ρ_n – масса единицы объема однородного материала в абсолютно плотном состоянии, т. е. без учета пор и пустот.

Средняя плотность ρ_c – масса единицы объема материала в естественном состоянии, т. е. с порами и пустотами. Определяется отношением массы m (кг) материала к его объему V_c (m^3) в естественном состоянии:

Пористость Π – степень заполнения объема материала порами.

Насыпная плотность ρ_n – масса m (кг) единицы объема сыпучего материала V_n (m^3) в рыхлонасыпном состоянии.

Пустотность – отношение суммарного объема пустот в рыхлом материале ко всему объему, занимаемому этим материалом. Для численного выражения пустотности необходимо знать плотность и насыпную плотность материалов. Пустотность $\Pi_{пуст}$ вычисляют по той же формуле, что и пористость, и выражают в процентах.

Водопоглощение – свойство материала при непосредственном соприкосновении с водой впитывать и удерживать ее в своих порах. Водопоглощение выражают отношением количества поглощенной воды к массе сухого материала (водопоглощение по массе B_m) или степенью заполнения объема материала водой (водопоглощение по объему B_o).

Влажность – отношение массы воды, находящейся в данный момент в материале, к массе (реже к объему) материала в сухом состоянии. Вычисляется по тем же формулам, что и водопоглощение, и выражается в процентах. При этом массу материала берут в естественном влажном, а не в насыщенном водой состоянии.

Водостойкость – свойство материала сохранять прочность при насыщении его водой. Критерием водостойкости строительных материалов служит **коэффициент размягчения**.

Влагоотдача – свойство материала терять находящуюся в его по-

рах воду. Числовой характеристикой влагоотдачи является количество воды (в %), испарившейся из образца в течение суток при температуре 20 °С и относительной влажности воздуха 60 %. Влагоотдачу учитывают, например, при уходе за твердеющим бетоном, при сушке отштукатуренных известковым раствором стен и перегородок. В первом случае желательна замедленная, а во втором – быстрая влагоотдача.

Водопроницаемость – свойство материала пропускать через себя воду под давлением. Степень водопроницаемости в основном зависит от строения и пористости материала. Чем больше в материале открытых пор и пустот, тем больше его водопроницаемость. Водопроницаемость характеризуется *коэффициентом фильтрации* (м/ч) – количеством воды (в м³), проходящей через материал площадью 1 м², толщиной 1 м за 1 ч при разности гидростатического давления на границах стенки 9,81 Па.

Гигроскопичность – свойство пористо-капиллярного материала поглощать влагу из воздуха. Степень поглощения зависит от температуры и относительной влажности воздуха. С увеличением относительной влажности и снижением температуры воздуха гигроскопичность повышается. Гигроскопичность характеризуют отношением массы поглощенной материалом влаги при относительной влажности воздуха 100 % и температуре +20 °С к массе сухого материала.

Морозостойкость F – свойство материала в насыщенном водой состоянии выдерживать многократное число циклов попеременного замораживания и оттаивания без видимых признаков разрушения и без значительного снижения прочности и массы. Морозостойкость – одно из основных свойств, характеризующих долговечность строительных материалов в конструкциях и сооружениях.

Теплоемкость – свойство материала поглощать при нагревании и отдавать при охлаждении определенное количество теплоты. Теплоемкость – мера энергии, необходимой для повышения температуры материала.

Теплопроводность – свойство материала передавать через свою толщину тепловой поток, возникающий вследствие разности температур на противоположных поверхностях. Это свойство имеет важное значение для строительных материалов, применяемых при устройстве ограждающих конструкций (стен, перекрытий, покрытий), и материалов, предназначенных для теплоизоляции. Теплопроводность материала зависит от его строения, химического состава, пористости и характера пор, от влажности и температуры, при которой происходит передача теплоты.

Теплопроводность характеризует **коэффициент теплопроводности**, показывающий, какое количество теплоты (Дж) способен пропустить материал через 1 м^2 поверхности при толщине материала 1 м и разности температур на противоположных поверхностях 1°С в течение 1 ч .

Тепловое расширение – свойство материала расширяться при нагревании и сжиматься при охлаждении, оно характеризуется изменением линейных размеров и объема материала при изменении температуры. Для строительных материалов важен **температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР)**, показывающий, на какую долю первоначальной длины расширяется материал при повышении температуры на 1°С .

Огнестойкость – свойство материала выдерживать без разрушения воздействие высоких температур, пламени и воды в условиях пожара. Материал в этих условиях либо сгорает, либо растрескивается, сильно деформируется, либо разрушается от потери прочности. По огнестойкости различают негорючие, трудногорючие и горючие материалы.

Негорючие материалы под воздействием огня или высокой температуры не горят и не обугливаются – это кирпич, бетон и др. Между тем некоторые негорючие материалы – мрамор, стекло, асбестоцемент – при резком нагревании разрушаются, а стальные конструкции – сильно деформируются и теряют прочность.

Трудногорючие материалы под действием огня или высокой температуры медленно воспламеняются, но после удаления источника огня их горение или тление прекращается. К таким материалам относятся асфальтобетон, фибролит, пропитанная антипиринами древесина.

Горючие материалы под действием огня или высокой температуры горят и продолжают гореть после удаления источника огня. Это древесина, обои, битумы, полимеры, бумага и др.

Огнеупорность – свойство материала выдерживать длительное воздействие высокой температуры (от 1580°С и выше), не деформируясь и не размягчаясь.

1.6. Механические свойства

Прочность – свойство материала сопротивляться внутренним напряжениям, возникающим в результате действия внешних нагрузок. Нагрузки вызывают в материале напряжение сжатия, растяжения, изгиба. Мерой прочности материала является предел прочности –

наибольшее напряжение, соответствующее нарастающей нагрузке, при которой образец материала разрушается.

Предел прочности при сжатии или **при растяжении** (Па) равен отношению разрушающей силы (H) к площади поперечного сечения (м^2) образца, подвергающегося испытанию. Прочность материала зависит от структуры, пористости, влажности, дефектов строения, длительности и характера приложения нагрузки, среды, температуры, состояния поверхности и других факторов.

Твердость – свойство материала сопротивляться местной пластической деформации, возникающей при внедрении в него более твердого тела. Твердость ряда строительных материалов (металлов, древесины, бетона, строительного раствора) определяют, вдавливая в них закаленный стальной шарик, алмазный конус или пирамиду. В результате испытания вычисляют число твердости, равное отношению силы вдавливания к площади поверхности отпечатка. Твердость минералов и однородных горных пород оценивают по шкале Мооса, содержащей десять минералов, из которых каждый последующий оставляет царапину на всех предыдущих.

Минералы шкалы расположены в порядке возрастающей твердости от 1 (тальк – легко царапается ногтем) до 10 (алмаз – легко царапает стекло).

Прочность по твердости самая высокая по сравнению с другими видами прочности, она зависит от химического состава, состояния поверхности, энергии кристаллической решетки. Твердость стали и сплавов пропорциональна прочности их на растяжение. Однако высокая прочность не всегда говорит о высокой твердости материала: мрамор прочен, но сравнительно не тверд; пластмассы прочны, но не тверды; древесина по прочности на сжатие равна бетону, а по твердости уступает ему. Чем выше твердость, тем меньше истираемость материала.

Истираемость – свойство материала уменьшаться в объеме и массе под действием истирающих усилий.

Износ – свойство материала сопротивляться одновременному воздействию истирания и ударов. Износ материала зависит от его структуры, состава, твердости, прочности, истираемости. Износ определяют на пробах материалов, которые испытывают во вращающемся барабане со стальными шарами или без них. Чем больше потеря массы пробы испытанного материала (в процентах к первоначальной массе пробы), тем меньше его сопротивление износу. Износ важен для материалов полов, ступеней лестниц, дорог, лакокрасочных покрытий.

Упругость – свойство материала изменять под влиянием свою форму и восстанавливать ее после удаления этой нагрузки. Упругую деформацию называют обратимой или исчезающей. Наибольшее напряжение, при котором действуют лишь упругая деформация, называют **пределом упругости**. В области упругих деформаций действителен закон Гука – деформация материала пропорциональна действующему напряжению. Упругими являются резина, различные герметизирующие и уплотняющие прокладки, лакокрасочные пленки, сталь, древесина и другие материалы.

Пластичность – свойство материала под действием нагрузки изменять форму и размеры без разрушения и образования трещин и сохранять измененную форму после снятия нагрузки. При этом в материале сохраняется некоторая остаточная деформация, называемая пластической, она не исчезает после снятия нагрузки, т. е. является необратимой. Примерами пластичных материалов служат глиняное тесто, бетонные и растворные смеси, подмазочная паста, свинец, некоторые пластмассы. Пластичные материалы легко формуются, хорошо растапливаются по поверхности. Свойство материала пластически деформироваться при постоянной нагрузке, несколько превышающей предел упругости, называют **текучестью**. Непрерывное возрастание деформаций под действием постоянной нагрузки называют **ползучестью**. Она характерна почти для всех строительных материалов.

Хрупкость – свойство материала разрушаться под воздействием нагрузки внезапно, без предварительного заметного изменения формы и размеров. Хрупкому материалу в отличие от пластичного нельзя придать при прессовании желаемую форму, так как такой материал под нагрузкой дробится на части, рассыпается. Хрупки камни, стекло, чугун и др.

При понижении температуры многие материалы становятся хрупкими. Так ведут себя битумы, некоторые полимеры, металлы. Хрупкое разрушение происходит при возрастающей нагрузке в результате появления и быстрого развития одной или нескольких трещин.

1.7. Химические свойства

Химические свойства выражают степень активности материала к химическому взаимодействию с реагентами внешней среды и способность сохранять постоянными состав и структуру материала в условиях инертной окружающей среды.

Химическая стойкость – свойство материалов противостоять разрушающему действию химических реагентов – кислот, щелочей, растворенных в воде солей и газов. Она зависит от состава и структуры материалов.

Коррозионная стойкость – свойство материала сопротивляться коррозионному воздействию среды.

Растворимость – способность материала растворяться в воде, масле, бензине, скипидаре и других жидкостях – растворителях. Растворимость может быть и положительным, и отрицательным свойством. Например, если в процессе эксплуатации синтетический облицовочный материал разрушается под действием растворителя, растворимость материалов играет отрицательную роль.

1.8. Технологические свойства

Свойства, выражающие способность материала к восприятию определенных технологических операций с целью изменения формы, размеров, характера поверхности, плотности, называют **технологическими**.

Удобоукладываемость – важнейшее технологическое свойство строительного раствора легко укладываться тонким и плотным слоем на пористое основание и не расслаиваться при транспортировании, перекачивании насосами и хранении. В свою очередь, удобоукладываемость зависит от **подвижности** (растекаемости) и **водоудерживающей способности** растворной смеси.

К технологическим свойствам готовых к употреблению лакокрасочных материалов относят: степень перетертости красок (чем тоньше растерта краска, тем легче ее наносить на поверхность), время и степень высыхания материала, условную вязкость, разлив, адгезию покрытия к поверхности, способность покрытий шлифоваться и полироваться.

2. ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

2.1. Общие сведения

Природными каменными материалами называют строительные материалы и изделия, получаемые путем механической обработки горных пород (дробления, раскалывания, пиления, шлифования и пр.). Таким образом получают облицовочные плиты, камни и блоки для

кладки стен, фасонные изделия, щебень. В результате такой обработки природные каменные материалы почти полностью сохраняют физико-механические свойства горной породы, из которой они были получены. Некоторые горные породы (песок, глину, гравий) используют без обработки. Все эти виды строительных материалов называют нерудными. Благодаря разнообразным свойствам, высокой прочности, долговечности и неограниченным запасам камень в глубокой древности был универсальным строительным материалом. До наших дней сохранились монументальные сооружения из природного камня: египетские пирамиды, греческие и римские храмы, арены и акведуки, соборы Древней Руси.

В настоящее время природный камень в основном используют в качестве заполнителя в бетонах, как сырье для получения керамики, вяжущих веществ, стекла и др., а также для облицовки зданий и инженерных сооружений, как местный строительный материал для кладки стен.

2.2. Горные породы и их классификация

Горные породы представляют собой скопление минеральных масс, состоящих из одного или нескольких минералов. Например, гранит состоит из трех минералов – полевых шпатов, кварца и слюды, а известняк – из одного – кальцита. Процентное содержание минералов в горной породе определяет ее состав. Форма, размеры и взаимное расположение минералов в горной породе обуславливают ее структуру. Минералогический состав и структура, в свою очередь, определяют свойства горной породы.

Минералом называют однородное тело, образовавшееся в результате сложных физико-химических процессов, происходящих в земной коре.

Горные породы, состоящие из одного минерала, называют **мономинеральными**, а из нескольких минералов – **полиминеральными**.

По происхождению горные породы делятся на **магматические (изверженные)**, осадочные и метаморфические (видоизмененные). **Магматические** и метаморфические горные породы составляют около 90 % земной коры, остальные 10 % приходятся на долю осадочных, однако последние занимают более 75 % площади земной поверхности.

Метаморфические (видоизмененные) горные породы образовались из изверженных и осадочных пород под воздействием высоких температур и давлений, газов и горячих растворов. В условиях мета-

морфизма происходит перекристаллизация минералов без их плавления, меняется структура породы часто без изменения ее химического состава.

2.3. Свойства и основные виды природных каменных материалов и изделий

Свойства природных каменных материалов. Среди многообразия физико-механических свойств природных каменных материалов обычно выделяют среднюю плотность, предел прочности при сжатии, морозостойкость, по величине которых оценивают их качество и делят на марки.

Виды природных каменных материалов и изделий. Все каменные материалы, используемые в строительстве, можно разделить на две основные группы: материалы, применяемые в первоначальном виде, и материалы, пригодные для строительных целей лишь после соответствующей обработки. В некоторых случаях один и тот же материал можно применять в первоначальном виде, а также после одной или нескольких стадий обработки. Так, песок можно использовать непосредственно из карьера или после предварительной промывки, природный гравий – в первоначальном виде или после измельчения и сортировки для получения зерен определенных фракций.

Рассмотрим основные каменные материалы, применяемые без обработки.

Бутовый камень – крупные куски неправильной формы размером 150–500 мм, массой 20–70 кг, получаемые при разработке известняков, доломитов и песчаников (реже гранита и других изверженных пород). Камень, получаемый при взрывных работах, носит общее название **рваного камня**. Бутовый камень широко применяют для бутовой или бутобетонной кладки фундаментов, подземных стен и стен неотапливаемых зданий.

Валунный камень – крупные обломки (более 300 мм) горных пород ледникового происхождения, характеризующиеся окатанной, часто сильно выветрившейся поверхностью. Этот камень весьма разнообразен по петрографическому составу. Используют его для получения булыжного камня и щебня.

Булыжный камень – зерна горной породы размером до 300 мм. Применяют его для покрытия мостовых, дворов и откосов, для каменной наброски при строительстве дамб. Крупный булыжный камень можно применять как бут, мелкий камень перерабатывают на щебень.

Гравий – рыхлое скопление различно обкатанных обломков горных пород. Размер отдельных зерен 5–70 мм. В зависимости от линейного размера частиц гравий подразделяют на фракции 5–10, 10–20, 20–70 и 40–70 мм.

Песок – рыхлая горная порода, состоящая из зерен минералов и пород размером 0,14–5 мм. В зависимости от минералогического состава различают пески **кварцевые**, **полевошпатные** и **карбонатные**. Способы добычи песка аналогичны способам добычи гравия.

Щебень представляет собой смесь угловатых обломков камня различной конфигурации размером 5–150 мм.

Стеновые камни и блоки получают из пористых известняков, вулканических туфов и других горных пород плотностью 900–2200 кг/м³.

Облицовочные плиты. Для наружной отделки используют плотные атмосферные горные породы, в основном глубинные изверженные (граниты, сиениты, габбро), а также плотные известняки, доломиты, мрамор и вулканический туф.

2.4. Природные каменные материалы и требования к ним

В строительстве каменные материалы и изделия имеют очень широкое применение. Особенно широкое применение в строительстве имеют осадочные породы в виде песка, щебня и гравия, гравийно-галечниковой и гравийно-песчаной смеси. Эти материалы применяют при приготовлении бетонных смесей гидротехнического и обычного бетона; устройстве подстилающих слоев под монолитные и сборные железобетонные и бетонные облицовки каналов, дороги, сооружения; приготовлении дренажных засыпок; креплении откосов каналов и гидроузлов, водохранилищ.

2.5. Производство природных каменных материалов

Технология производства природных каменных материалов зависит от вида горной породы, ее свойств, характера залегания, объема и включает добычу горной породы и ее обработку.

Добыча камня. Способы добычи горных пород, применяемых в качестве строительных материалов, зависят от условий их залегания, прочности и твердости, а также от формы и размеров будущих изделий.

Рыхлые горные породы (песок, гравий, гальку, глину) добывают открытым способом преимущественно с помощью одно- или многоковшовых экскаваторов и других машин.

Обработка камня. Отделенные от горного массива камни крупных размеров подвергают обработке, в результате которой камню придают заданные форму и размеры, а лицевой его поверхности – необходимую фактуру.

2.6. Защита, транспортирование и хранение природных каменных материалов

Каменные материалы в условиях службы в конструкциях и сооружениях могут подвергаться медленному разрушению. Этот процесс по аналогии с разрушением горных пород на земной поверхности называют **выветриванием**.

Во время транспортирования и хранения природных каменных материалов и изделий необходимо соблюдать меры, исключающие их механическое повреждение, загрязнение и увлажнение.

Облицовочные плиты перевозят в прочной таре, приспособленной для механизированной погрузки и разгрузки. При транспортировке плиты следует устанавливать в вертикальном положении попарно лицевыми поверхностями внутрь с прокладкой между ними бумаги и закреплять клиньями.

Плиты со шлифованной, точечной и бороздчатой фактурами лицевых поверхностей (гранитные) транспортируют и хранят без тары, устанавливая их на ребро в вертикальном положении.

Не допускаются перевозка облицовочных плит, камней и других изделий из природного камня навалом и разгрузка их с транспортных средств сбрасыванием.

При хранении пиленых, тесаных и бортовых камней, а также облицовочных плит их укладывают в правильные ряды штабелями высотой не более 1 м.

Камни облицовочные и ступени укладывают рядами, используя деревянные прокладки. Плиты для полов хранят уложенными на длинное ребро в один ряд по высоте.

Бутовый камень хранят навалом на открытой площадке в прямоугольных штабелях объемом до 200 м³ и высотой 1 м. Стенки штабелей следует выкладывать из более крупных камней вперевязку, укладывая их постелистой стороной вниз. Мелкие камни засыпают внутри штабеля.

3. ИСКУССТВЕННЫЕ ОБЖИГОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ, СТЕКЛО И ПЛАВЛЕННЫЕ ИЗДЕЛИЯ

3.1. Керамические материалы и их классификация

Керамическими называют изделия и материалы, получаемые из глиняных масс или из их смесей с минеральными добавками путем формования, сушки и обжига при температуре 900–1300 °С. В результате обжига глиняная масса превращается в искусственный камень, обладающий высокой прочностью и плотностью, водостойкостью, водонепроницаемостью, морозостойкостью и долговечностью.

В зависимости от назначения керамические материалы и изделия можно разделить на следующие группы:

стендовые материалы и изделия – кирпич обыкновенный пластического формования и полусухого прессования, кирпич и плиты пустотелые и пористопустотелые, камни пустотелые пластического формования, кирпич строительный легкий, крупные блоки из кирпича и камней, панели из кирпича и камней;

отделочные материалы – кирпич и камни лицевые (фасадные), плитки облицовочные фасадные натурального цвета, ангобированные, глазурованные, фаянсовые плитки и встроенные детали для облицовки внутренних стен, разные отделочные материалы;

материалы для перекрытий и покрытий – камни пустотелые несущие и несущие, балки, балочные настилы, панели для перекрытий и покрытий, керамические доски;

кровельные материалы – черепица ленточная, штампованная, коньковая и специальной формы;

материалы для полов и дорог – кирпич и плиты клинкерные, плитки для полов;

теплоизоляционные материалы и заполнители для легких бетонов – диатомовые изделия, керамзитовый гравий, пустотелый гравий, алгопорит, вспученные перлитовые щебень и песок, вспученный вермикулит, укрупненные легкие изделия на основе вспученных материалов;

изделия и материалы различного назначения – трубы, санитарно-технические изделия, огнеупорные материалы, кислотоупорные изделия, электроизоляционные изделия, отопительные радиаторы, кафель печной, фасонные строительные изделия, керамический щебень.

3.2. Сырье для получения керамических материалов и изделий

Основным сырьем для производства керамических материалов и изделий являются различные глины, а также шамот, кварцевый песок, шлак и органические добавки (древесные опилки, угольная и торфяная пыль), выгорающие при обжиге.

Глины образовались в результате выветривания изверженных полевых пород горных пород. Процесс выветривания горной породы состоит из механического разрушения и химического разложения. К основным свойствам глин относят: пластичность, воздушную и огнеупорную усадку, огнеупорность и цвет черепка после обжига.

Отощающие добавки. В высокопластичные глины, для затворения которых требуется большое количество воды (до 28 %) и которые поэтому дают большую линейную усадку при сушке и обжиге (до 15 %), необходимо вводить отощающие добавки, т. е. непластичные вещества. При этом значительно уменьшается количество воды, необходимой для затворения глиняного теста, что сокращает усадку (до 2–6 %).

В качестве отощающих добавок чаще всего применяют вещества неорганического происхождения – *кварцевый песок, шамот* (обожженная и измельченная глина), *бой изделий, молотый шлак и золу*. Эти добавки не только уменьшают усадку изделий, но и улучшают формовочные свойства массы, облегчают технологический процесс производства и устраняют брак.

Выгорающие добавки. Для получения изделий с меньшей средней плотностью и повышенной пористостью применяют органические выгорающие добавки. Наиболее часто используют *древесные опилки, угольную мелочь и угольный порошок, торфяную пыль* и др. Применяют также вещества, выделяющие при высокой температуре обжига углекислоту, что ведет к образованию пор – *мел, доломит и глинистый мергель* (в молотом виде). Все эти добавки обладают также и свойствами отощающих добавок.

Специальные добавки. Для придания керамическим изделиям специальных свойств вводят соответствующие добавки. Так, например, при изготовлении кислотоупорных изделий и облицовочных плиток к глинам добавляют *песчаные смеси, затворенные жидким стеклом или щелочами*. При необходимости понижения температуры обжига некоторых изделий используют молотый полевой шпат, руды, содержащие *железо, песчаник* и др. Для повышения качества кирпича в виде добавки вводят *пифофосфаты и полифосфаты натрия*.

Как специальные добавки можно рассматривать и окислы некоторых металлов, добавляемые в массу беложгущихся глин для окраски ее в определенный цвет.

3.3. Производство керамических материалов и изделий

Несмотря на то, что керамические материалы и изделия отличаются большим разнообразием по назначению, форме и физико-механическим свойствам, производство их в основном примерно одинаково и состоит из следующих основных процессов: добычи глины в карьерах; подготовки массы; формования изделий из приготовленной массы; сушки отформованных изделий; обжига предварительно высушенных изделий.

Разработка глиняных карьеров состоит из удаления вскрышных пород и добычи глины. При добыче глины применяют многоковшовые экскаваторы, срезающие глиняную стружку по всей высоте и длине фронта добычи. Глину перевозят автосамосвалами или мотовозами с вагонетками.

Подготовка массы. Заключается в обогащении, дроблении, тонком помоле материалов, увлажнении и перемешивании массы. Подготовленные материалы керамической массы тщательно смешиваются. Различают три способа приготовления керамической массы – **пластический, полусухой и шликерный.**

При *пластическом* способе формования керамическая масса имеет влажность 18–23 %. Она может быть получена или непосредственно из глины с карьерной влажностью, смешанной с добавками, или из сухих порошков с последующим увлажнением.

При *полусухом* способе прессования керамическая масса имеет влажность 8–12 %. Ее получают путем предварительной сушки, измельчения и смешивания компонентов.

При *шликерном* способе формования керамическая масса является жидкотекучей и имеет вид суспензии (шликера) с влажностью 30–35 %.

Способ приготовления керамической массы зависит от свойств глин, особенностей изделий и требований к ним. *Пластический* способ *формования* более приемлем при использовании глин с повышенной влажностью, хорошо размокаемых в воде. Таким способом получают обыкновенный кирпич, пустотелые изделия, трубы и т. д. Пластическое формование при производстве черепицы, электроизоляторов, капсул осуществляют способом штамповки в гипсовых и металлических формах.

Полусухой способ прессования применяется при плотной структуре глиняного сырья и низкой исходной влажности. Из полусухих порошкообразных масс изделия формуются на прессах высокого давления (10–30 МПа и более). Изделия, спрессованные из порошков, обладают в сырце большой прочностью и точностью размеров, а также характеризуются низкой усадкой при обжиге. Из порошкообразных масс изготавливают обыкновенный пустотелый кирпич, керамические камни и плитки.

Шликерный способ применяется в тех случаях, когда необходимо достигнуть особо тщательного смешивания исходных компонентов (фарфоро-фаянсовое производство, облицовочные плитки). Шликеры применяют для облицовки сложных по конфигурации и тонкостенных изделий (санитарно-технические, декоративная, химически стойкая керамика и др.). Этот метод формования основан на свойстве гипсовых форм впитывать в себя часть воды из залитого в них шликера. Отдавая влагу, изделия дают усадку и легко отделяются от форм.

Изделия, отформованные пластическим и шликерным способами, необходимо сушить. При полусухом способе формования изделия имеют незначительную влажность, при обжиге не вызывающую растрескивания, поэтому необходимость в сушке отпадает.

Процесс сушки представляет собой комплекс явлений, связанный с испарением влаги с поверхности изделия, перемещением влаги из его внутренней части к поверхности и теплообменом между материалом и окружающей средой. Длительность сушки во многом зависит от скорости перемещения влаги в изделиях от внутренних к наружным слоям, а последнее определяется размерами капилляров и вязкостью воды.

Существуют два способа сушки: естественная и искусственная.

Для *естественной сушки* изделий используют сушильные сараи (навесы), в которых на ровном, хорошо уплотненном поле или на стеллажах устанавливают сырые изделия. Длительность сушки зависит от температуры, влажности и подвижности наружного воздуха и климатических условий района и составляет 6–15 сут.

Поскольку естественная сушка характеризуется сезонным циклом производства, в настоящее время даже на небольших предприятиях применяют *искусственную сушку* в сушилках периодического или непрерывного действия. В качестве источника тепла используют газы обжигаемых печей или горячий воздух.

Обжиг изделий – важнейший и завершающий процесс в производстве керамических изделий. Этот процесс можно разделить на три периода: прогрев сырых изделий, собственно обжиг и регулируемое охлаждение изделий.

После обжига изделия охлаждают.

Сортировка и хранение керамических изделий. При выгрузке из печи керамические изделия сортируют. Качество изделий устанавливают по степени обжига, внешнему виду, форме, размерам, а также по наличию в них различных дефектов. После сортировки изделия направляют на склад, где хранят до отправки на строительство. Кирпич и керамические камни укладывают в елочные пакеты или на поддоны и хранят на открытых площадках. Облицовочные плитки рассортировывают по цветам и размерам, упаковывают в ящики и хранят в закрытых складах. Санитарно-технические изделия, прошедшие сортировку и комплектование арматурой, упаковывают в специальные ящики и хранят в закрытых складах.

3.4. Стеновые керамические материалы и изделия

Среди большой группы стеновых керамических материалов и изделий в настоящее время наиболее распространены керамический кирпич и керамические камни, а также стеновые кирпичные панели.

Керамический кирпич – искусственный камень в форме прямоугольного параллелепипеда, является самым древним искусственным строительным материалом.

Поэтому для уменьшения массы и толщины наружных стен взамен обычного кирпича широко применяют **керамические камни** (изделия конструктивного назначения, имеющие размеры больше кирпича), которые характеризуются меньшей плотностью, более низкой теплопроводностью, чем обычный кирпич, но обладают достаточной прочностью.

Размеры кирпичей и керамических камней представлены в табл. 3.1.

Таблица 3.1. Размеры кирпичей и керамических камней

Вид изделия	Длина, мм	Ширина, мм	Толщина, мм
Кирпич одинарный	250	120	65
- утолщенный	250	120	88
- модульных размеров	288	138	63
Камень	250	120	138
- модульных размеров	288	138	138
- укрупненный	250	250	138
- укрупненный модульных размеров	288	288	138
- с горизонтальным расположением пустот	250	250	120

Стеновые кирпичные панели представляют собой индустриальные изделия заданных размеров, в которых отдельные кирпичи или керамические камни сцементированы в монолит цементно-песчаным раствором. По назначению различают панели для наружных и внутренних стен, а также специальные.

3.5. Керамические трубы

По назначению трубы делят на канализационные и дренажные.

Керамические канализационные трубы обладают более высокой стойкостью к агрессивным средам, чем металлические (чугунные) и железобетонные, что обеспечивает им широкое применение для строительства канализационных сетей, особенно предназначенных для отвода промышленных сточных вод, содержащих большое количество агрессивных веществ.

Керамические дренажные трубы. При устройстве закрытого дренажа – системы водоотводящих сетей из переувлажненных и заболоченных земель – применяют керамические дренажные трубы.

Кроме устройства закрытого дренажа при мелиорации земель, керамические дренажные трубы применяют для дренажа строительных площадок при небольших глубинах заложения и при отсутствии больших нагрузок от транспортных средств.

3.6. Керамические изделия для наружных и внутренних облицовок

Керамические материалы для облицовки фасадных поверхностей, внутренних стен и полов зданий могут быть с лицевой поверхностью натурального цвета, окрашенной в различные цвета, гладкой, рельефной, глазурированной. Поверхности, облицованные керамическими материалами, отличаются высокими декоративными свойствами, они долговечны, относительно экономичны.

Фасадная керамика. Для облицовки фасадов зданий применяют кирпич и камни лицевые, плиты керамические фасадные, фасадные малогабаритные плитки и ковровую керамику.

3.7. Керамические изделия специального назначения

Глиняная черепица представляет собой кровельный материал, получаемый из легкоплавких глин путем формования сырца, сушки его и

последующего обжига. Черепица как кровельный материал прочна и огнестойка. Кровля из нее не требует частых ремонтов. Недостатки черепичной кровли – большая масса, необходимость устройства значительных уклонов для стока воды, а также большая трудоемкость возведения. Черепицу применяют в малоэтажном сельском строительстве.

Санитарно-технические изделия – раковины, умывальники, унитазы, смывные бачки и т. д. Изготавливают в основном из беложгущихся фарфоровых, фаянсовых и полуфаянсовых масс.

Санитарно-технические керамические изделия обычно получают путем литья жидкой массы (шликера) в формы с последующим высушиванием и обжигом изделий. Обжиг может быть одноразовый и двухразовый. Для придания санитарно-техническим изделиям водонепроницаемости и лучшего вида их покрывают глазурью. Глазуровочный состав наносят на отформованные изделия после сушки или первого обжига. При обжиге глазурь оплавляється и покрывает изделие тонкой блестящей пленкой.

Огнеупорными называются керамические материалы с огнеупорностью не менее 1580 °С. Материалы, получаемые из огнеупорных глин, отощенные той же глиной, но предварительно обожженной до спекания и измельченной (шамот), называют *шамотными изделиями*.

Шамотные изделия в виде кирпича называют *шамотным кирпичом*. Изготавливают его из огнеупорных глин полусухим прессованием или пластическим формованием с последующим обжигом до спекания при температуре 1300–1400 °С. Из огнеупорных глин, отощенных шамотом, изготавливают также *фасонные огнеупорные изделия*, в том числе крупные блоки. Огнеупорность шамотных изделий примерно равна 1670–1770 °С.

Кислотоупорные керамические материалы могут длительное время противостоять действию жидких коррозионных сред. Их используют для устройства полов, трубопроводов, газоходов, футеровки аппаратов на химических предприятиях. Характерная особенность таких материалов – небольшая пористость и соответственно низкое водопоглощение.

Промышленность выпускает кислотоупорные кирпичи, плитки, трубы и фасонные изделия.

3.8. Стекло и плавные изделия

Стекло – твердый хрупкий материал, получаемый при охлаждении силикатных расплавов. Основной компонент стекла – диоксид кремния

(70–75 %), кроме того, в состав стекла входят оксиды натрия, кальция, магния. Сырьем для его производства служат кварцевые пески, сода, мел и другие широко распространенные материалы.

Листовое стекло. Листовое оконное стекло – наиболее распространенный вид плоского стекла. Его выпускают толщиной 2–6 мм и размерами от 250×250 до 2000×2200 мм, которые имеют светопропускание 84–90 %.

Листовое стекло имеет несколько разновидностей.

Узорчатое стекло получают способом непрерывного проката, причем одна сторона стекла гладкая, а другая тисненая, узорчатая.

Армированное стекло получают методом непрерывного проката с одновременным закатыванием внутрь листа металлической сетки. Армированное стекло может иметь гладкую или узорчатую поверхность, быть бесцветным или цветным.

Витринное неполированное стекло изготавливают способом вертикального вытягивания длиной от 2350 до 2950, шириной от 1950 до 2950, толщиной 6,5 мм. Светопропускание стекла не менее 84 %.

Солнцезащитное и теплозащитное стекло получают на машинах вертикального вытягивания путем аэрозольной обработки поверхности стекла специальными растворами. В зависимости от состава раствора и условий обработки можно изготавливать стекла с различными характеристиками пропускания и отражения в различных частях спектра.

Из архитектурно-строительных стеклоизделий широко применяют стеклоблоки, пакеты, стеклопрофилит, трубы, плитку, мозаику и др.

Стекланные блоки изготавливаются квадратными, прямоугольными из бесцветного или окрашенного стекла.

Стеклопакеты – это изделия из двух или трех слоев листового стекла, между которыми имеются герметичные воздушные прослойки.

Стеклопрофилит – профильное стекло швеллерного или коробчатого сечения – характеризуется высокой прочностью и может служить для остекления ограждений и самонесущих стен, для устройства внутри них перегородок, оконных проемов и прозрачных плоских кровель. Благодаря большим габаритам (длина до 7 м) при остеклении профильным стеклом отпадает необходимость в промежуточных рамных переплетах.

К стеклокристаллическим материалам относятся ситаллы, шлако-ситаллы и каменное литье. Общим признаком этих материалов является наличие как кристаллической, так и стекловидной фаз в их структу-

ре, что обуславливает высокие механические свойства, термическую и антикоррозионную стойкость, низкую истираемость и т. д.

Ситаллы – продукт кристаллизации стекол. Процесс изготовления ситаллов включает получение стекла определенного состава, формирования из него изделий и специальную термообработку. Ситаллы вырабатываются из малощелочного стекла методами проката и прессования. Основным достоинством ситаллов как конструктивных материалов является высокая механическая прочность, соизмеримая по величине с удельной прочностью некоторых металлов.

Ситаллы можно широко использовать для производства различных электро- и термостойких изоляторов, а также в виде отделочного и конструктивного материала в промышленном и гражданском строительстве.

Шлакоситаллы – дешевая разновидность ситаллов, применяемых в строительстве. Их изготавливают из расплава доменных металлургических шлаков и специальных добавок. Шлакоситаллы применяются в качестве покрытий полов, для наружной и внутренней отделки зданий, а также футеровки промышленного оборудования. Из шлакоситаллов можно изготавливать стеновые и облицовочные панели, кровли, ограждающие конструкции, санитарно-технические изделия и др.

Каменное литье – это каменные изделия, получаемые плавлением основных изверженных или осадочных горных пород и шлаков, разливкой расплава в формы и термической обработкой изделий с целью прохождения кристаллизации и снятия напряжений.

Стоимость литых изделий из расплавленных шлаков ниже стоимости литых изделий из плавящихся горных пород. Это обусловлено тем, что для их получения используются жидкие шлаки, полученные из металлургических печей, в связи с чем отпадает необходимость расплавления шихты. Для получения литых изделий используют доменные шлаки и шлаки цветной металлургии. Из расплавленных шлаков получают различные строительные материалы и изделия: плитки для полов и облицовочные, трубы, дорожную брусчатку, плотный и пористый щебень для бетона и др. Литые изделия из расплавленных шлаков, так же как и из расплавленных горных пород, обладают высокой прочностью, твердостью и атмосферостойкостью.

4. НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

4.1. Основные сведения о неорганических вяжущих веществах и их классификация

Неорганическими вяжущими веществами называют тонкоизмельченные порошкообразные материалы, образующие при смешивании с водой пластичное тесто, под влиянием физико-химических процессов постепенно затвердевающее и переходящее в камневидное состояние. Это свойство вяжущих веществ используют для приготовления на их основе растворов, бетонов, безобжиговых искусственных каменных материалов и изделий.

Минеральные вяжущие вещества получают путем обжига в печах природных каменных материалов (известняков, гипса, ангидрида, доломита, магнезита). Куски, полученные после обжига, путем помола превращают в тонкий порошок. Чем меньше размер зерен после помола, тем выше активность (качество) вяжущего. Процесс твердения вяжущих называется *схватыванием*. Срок схватывания отсчитывают от момента затворения вяжущего водой. Вещество должно схватываться только после того, как оно будет уложено в форму.

Наибольшей скоростью твердения обладают гипсовые вяжущие (они полностью затвердевают за несколько часов), наименьшей – воздушная известь: процесс ее твердения может длиться годами.

Принято различать две стадии в процессе твердения: схватывание и собственно твердение. Когда появляются признаки загустевания вяжущего теста и оно начинает заметно терять пластичность – это начало схватывания. Сроки схватывания гипса – 30–40 мин, портландцемента – несколько часов. Все операции по транспортированию и укладке смесей на основе вяжущих (бетонных и растворных смесей) должны заканчиваться до начала схватывания. Повторное перемешивание, особенно с добавлением воды, с целью придания пластичности схватившейся смеси приводит к существенному снижению прочности бетона или раствора.

Прочность вяжущих изменяется во времени, поэтому оценивают вяжущие по прочности, набранной за определенное время твердения в условиях, установленных стандартом. Этот показатель принимают за марку вяжущего. Например, марка гипсовых вяжущих определяется по прочности образцов спустя 2 ч после их изготовления, а портландцемента – через 28 суток твердения во влажных условиях при температуре $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$.

В зависимости от условий твердения неорганические вяжущие делят на воздушные, гидравлические, кислотостойкие и вяжущие автоклавного твердения.

Воздушные вяжущие твердеют и длительное время сохраняют свою прочность только на воздухе. К ним относят воздушную известь, гипсовые, магнезиальные вяжущие и жидкое стекло. Во влажных условиях они теряют свою прочность, поэтому их применяют только в сухих условиях.

Гидравлические вяжущие после предварительного твердения на воздухе сохраняют и наращивают свою прочность в воде. К ним относят гидравлическую известь, портландцемент и его разновидности, глиноземистый цемент и др. Для эффективного твердения гидравлических вяжущих необходимо, чтобы в твердеющем материале постоянно была вода, в сухих условиях процесс твердения приостанавливается. По условиям применения гидравлические вяжущие универсальны, их можно применять в сухих и влажных условиях, а также в воде.

Кислотостойкие вяжущие после затворения их водным раствором силиката натрия (жидкого стекла) затвердевают на воздухе, после чего длительно сохраняют свою прочность при воздействии некоторых кислот. Это особая разновидность воздушных вяжущих веществ, основным представителем которых является кварцевый цемент, применяемый для изготовления кислотостойких бетонов, растворов, замазок. Эти материалы теряют прочность в воде, а в среде едкой щелочи разрушаются.

Вяжущие автоклавного твердения – разновидность гидравлических вяжущих, они затвердевают в среде насыщенного водяного пара, т. е. в условиях автоклавной обработки. В группу этих вяжущих входят нефелиновый цемент, известково-кремнеземистые, известково-золевые, известково-шлаковые вяжущие и др.

4.2. Воздушная известь

Воздушная известь – одно из древнейших вяжущих, широко применяемых в строительстве и промышленности. Известь – продукт умеренного обжига кальциевых и кальциево-магнелиевых карбонатных пород до возможно полного удаления углекислого газа. В результате обжига образуется продукт в виде кусков белого цвета, называемый негашеной комовой известью (кипелкой). В зависимости от характера последующей обработки различают следующие виды воздушной изве-

сти: негашеная молотая, гашеная гидратная (пушонка), известковое тесто, известковое молоко.

Сырьем для получения извести являются распространенные осадочные и горные породы – известняки, доломиты, мел, доломитизированные известняки, содержащие не более 6–8 % глины. Преобладает в сырье карбонат кальция CaCO_3 , в небольшом количестве содержатся карбонат магния MgCO_4 и некоторые примеси. Сырье обжигают при температуре 900–1200 °С:

На стройке известь гасят в ящиках-творилах, заполняемых комовой известью на $\frac{1}{3}$ их высоты, это связано с тем, что при гашении известь сильно увеличивается в объеме. Чтобы не допустить перегрева извести и кипения воды, быстро гасящуюся известь сразу заливают большим количеством воды, медленно гасящуюся – небольшими порциями, чтобы известь не охладилась и не «замерзла».

После гашения жидкое известковое тесто через сетку сливают в известегасильную яму, где завершается гашение. В яме известковое тесто выдерживают не менее двух недель. Чем дольше тесто находится в яме, тем выше его качество. Недопустимо сразу применять известковое тесто, содержащее непогасившиеся зерна более 0,6 мм.

Известь воздушная – едкая щелочь, работать с ней нужно осторожно.

Реакция соединения извести с водой во время гашения протекает очень энергично, бурно. Пар разрывает куски извести. Разлетающиеся при гашении частицы извести и брызги горячей воды весьма опасны для окружающих, поэтому работающие на гашении извести обязаны пользоваться защитными очками и респираторами, должны быть в плотно застегнутых комбинезонах, головных уборах, резиновых сапогах и рукавицах.

При нормальном гашении известь в 2,5–3,5 раза увеличивается в объеме, куски распадаются на мельчайшие частицы (до 0,001 мм), образуя с водой пластичное тесто. Теоретически для полного гашения CaO в $\text{Ca}(\text{OH})_2$ требуется 32,1 % воды (по массе), практически воды берут в 2–3 раза больше, так как часть воды испаряется.

В зависимости от количества воды, взятой для гашения, получают *гидратную известь* (ее иногда называют пушонкой) – воды берут 50–70 % от массы извести, т. е. в количестве, необходимом для процесса гашения; *известковое тесто* – воды берут в три-четыре раза больше, чем извести; *известковое молоко* – воды берут в восемь-десять раз больше, чем требуется теоретически.

На строительство поставляют воздушную известь в виде негашеной комовой (кипелки), негашеной порошкообразной (молотой кипелки) и гашеной (гидратной) порошкообразной (пушонки).

Негашеная комовая известь – мелкопористые куски CaO размером 5–10 см, получаемые после обжига сырья, средняя плотность 1600–1700 кг/м³. В зависимости от содержания оксида магния воздушную известь разделяют на кальциевую (70–90 % CaO и до 5 % MgO), магнезиальную (до 20 % MgO) и высокомагнезиальную или доломитовую (от 20 до 40 % MgO).

В зависимости от времени гашения извести всех сортов различают: быстрогасящуюся известь (время гашения до 8 мин); среднегасящуюся (до 25 мин), медленногасящуюся (свыше 25 мин).

Комовая негашеная известь – полуфабрикат для получения известкового теста, гидратной извести (пушонки) и молотой извести. Комовую известь перевозят навалом в закрытых вагонах и автомашинах. Хранят комовую известь на складе с деревянным полом, приподнятым над землей на 30 см.

Недопустимо попадание на известь воды, иначе она начнет гаситься, разогреется и вызовет пожар. Тушить пожар водой на складе извести запрещается.

Негашеную порошкообразную (молотую) известь получают помолом комовой извести в шаровых мельницах. В известь при измельчении часто вводят 10–20 % гидравлических добавок (шлак, зола). Как и комовую, молотую известь без добавок делят на три сорта, с добавками – на два; насыпная плотность – 900–1100 кг/м³. Степень измельчения извести характеризуют полными остатками на ситах № 02 и № 008, которые должны составлять соответственно не более 1,5 и 15 % от массы просеиваемой пробы.

При затворении водой молотая известь подобно гипсовым вяжущим образует пластичное тесто, а через 20–40 мин схватывается, так как вода затворения частично расходуется на гашение извести. При этом известковое тесто густеет, теряет пластичность и быстро твердеет. При оптимальном расходе воды известь во время твердения сохраняет объем. Строительные растворы и изделия из молотой извести (благодаря меньшему количеству свободной воды) менее пористы, более прочны и водостойки. Важно и то, что при гашении известь (а значит, и раствор) разогревается, что облегчает работу с ней зимой. Молотая известь не дает отхода. Перед приготовлением раствора известь не гасят, а засыпают непосредственно в растворосмеситель, где она гасится в процессе приготовления раствора.

Гидратная известь (пушонка) – гашеная известь в виде белого порошка заводского изготовления. Гасят известь в пушонку в аппаратах-гидрататорах, в которых выделяющиеся теплота и водяной пар используются для превращения комовой извести в тонкий рыхлый порошок. Крупные непогасившиеся частицы отсеивают. Влажность гидратной извести должна быть не более 5 %; насыпная плотность – 400–450 кг/м³. Дисперсность извести характеризуют остатками на ситах № 063 и № 008, которые должны быть соответственно не более 2 и 10 %.

Хранят известь в силосах или бункерах; перевозят в цементовозах, контейнерах, бумажных мешках или навалом.

Применяют гидратную известь для производства известково-шлаковых и других вяжущих веществ, получения известковых красок и в качестве разбавителя в цветных растворах, приготовления кладочных и штукатурных растворов, предназначенных для надземной части зданий.

Известковое тесто – паста плотностью 1300–1400 кг/м³ – образуется при гашении комовой извести избыточным количеством воды. Нормально гашеная известь, которая увеличилась в объеме не менее чем в 3 раза, называется жирной; известь, увеличившаяся при гашении менее чем в 2,5 раза, называется тощей. Чем меньше в известковом тесте непогасившихся частиц, тем выше его качество. Чем жирнее и чище от примесей известковое тесто, тем оно больше присоединяет к себе песка при приготовлении растворов. Перевозят известковое тесто (и молоко) в автоцистернах.

Строительную воздушную известь применяют не только для приготовления кладочных и штукатурных растворов, но также для приготовления бетонов низких марок, работающих в сухих условиях, для производства силикатного кирпича, ячеистых изделий автоклавного твердения, известковых красок, смешанных гидравлических вяжущих и других материалов.

4.3. Гипсовые вяжущие вещества

В строительстве и промышленности издавна применяют гипсовые вяжущие материалы – строительный гипс, формовочный и высокопрочный, эстрих-гипс, антигитритовый цемент и др. Это минеральные вяжущие воздушного твердения, состоящие из полуводного гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ или ангидрита CaSO_4 , образуются путем тепловой об-

работки и помола сырья, содержащего двухводный или безводный сульфат кальция. $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – двухводный гипс – минерал, входящий в состав различных горных пород, гипсового камня, глиногипса, а также в состав промышленных отходов – фосфогипса (отход от переработки природных фосфатов в суперфосфат), борогипса и др. В зависимости от температуры тепловой обработки гипсовые вяжущие подразделяют на низкообжиговые и высокообжиговые.

Из всех низкообжиговых гипсовых вяжущих промышленность выпускает главным образом *строительный гипс*, производство которого состоит в дроблении и варке (тепловой обработке) гипсового камня, а также тонком измельчении.

Оценка качества гипсовых вяжущих зависит от сроков схватывания, тонкости помола, водопотребности, предела прочности при сжатии и изгибе.

По срокам схватывания гипсовые вяжущие делят на три группы:

А – быстро схватывающиеся (начало схватывания не ранее 2 мин, конец – не позднее 15 мин);

Б – нормально схватывающиеся (начало схватывания не ранее 6 мин, конец – не позднее 30 мин);

В – медленно схватывающиеся (начало схватывания не ранее 20 мин, конец – не нормируется).

По тонкости помола, определяемой наибольшим остатком на сите с размером ячеек 0,2 мм, гипсовые вяжущие делят на три группы:

I – грубый помол, остаток на сите не более 23 %;

II – средний помол, остаток на сите не более 14 %;

III – тонкий помол, остаток на сите не более 2 %.

Водопотребность гипсового вяжущего определяют количеством воды в % от массы вяжущего, необходимым для получения гипсового теста нормальной густоты, т. е. стандартной консистенции (диаметр расплыва лепешки (180 ± 5) мм).

Прочность гипсовых вяжущих определяют по результатам испытания образцов-балочек размером $40 \times 40 \times 160$ мм из гипсового теста нормальной густоты через 2 ч после изготовления. За это время гидратация и кристаллизация вяжущего завершаются.

Гипсовые вяжущие неводостойки.

В строительстве по масштабам применения гипсовые вяжущие уступают цементам и известям, но используются весьма широко. Затраты топлива на изготовление тонны гипсового вяжущего в четыре раза ниже, чем на производство тонны цемента. Гипсовые изделия отлича-

ются гигиеничностью, небольшой средней плотностью (1200–1500 кг/м³), высокой пористостью (30–60 %), огнестойкостью, архитектурной выразительностью, высокими тепло- и звукоизоляционными свойствами.

Перевозят гипсовые вяжущие в мешках или без упаковки, навалом. При этом их предохраняют от увлажнения и загрязнения. Даже при хранении в сухих условиях гипсовые вяжущие быстро теряют активность, так как обладают высокой гигроскопичностью (через три месяца хранения потеря активности составляет примерно 30 %). Высокая гигроскопичность и низкая водостойкость гипсовых вяжущих приводят к потере прочности изделий во влажных условиях. Гипсовые вяжущие стимулируют коррозию черных металлов: арматуры, сетки, проволоки, гвоздей, особенно во влажных условиях.

В отличие от других гипсовые вяжущие можно применять без заполнителей и наполнителей, не боясь появления трещин, так как они не дают усадки и, напротив, при твердении увеличиваются в объеме.

При необходимости заполнителями могут служить древесные опилки, стружка, костра, а также легкие пористые материалы – шлаки, керамзит, шлаковая пемза и др.

4.4. Жидкое стекло и кислотоупорный цемент

Жидкое стекло – коллоидный водный раствор растворимого силиката натрия $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2$ или силиката калия $\text{K}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2$ плотностью 1300–1500 кг/м³ при содержании воды 50–70 %. Величина m указывает на отношение числа молекул кремнезема к числу молекул щелочного оксида и называется силикатным модулем стекла.

Растворимый силикат натрия $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2$ получают путем сплавления кварцевого песка SiO_2 с содой Na_2CO_3 , а силикат калия $\text{K}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2$ – путем сплавления песка с поташом K_2CO_3 . Стекло варят в стекловаренных печах при температуре 1400 °С. Когда расплав застывает, образуются прозрачные различных оттенков куски стекла, называемые силикат-глыбой. Раздробленные куски стекла растворяют в воде в автоклаве при температуре 120–150 °С и давлении пара 0,6–0,8 МПа. В результате получают жидкое натриевое или калиевое стекло.

Жидкое стекло твердеет медленно в результате слипания и уплотнения частиц свободного кремнезема при испарении воды и воздействии углекислого газа воздуха.

В строительстве обычно применяют натриевое жидкое стекло плотностью 1300–1500 кг/м³ и модулем 2,6–3. Его применяют для изготовления кислотоупорных и жароупорных бетонов, штукатурок, замазок, уплотнения грунтов. Калиевое жидкое стекло более дорогое; его применяют для изготовления силикатных красок, клеящих составов; оно не дает на штукатурке и краске высолов, чем выгодно отличается от натриевого жидкого стекла.

Кислотоупорный кварцевый цемент – тонкомолотый порошок, получаемый совместным помолом кислотоупорного материала (кварцевого песка, бештаунита или андезита) и фторосиликата натрия (4–14 %); допускается смешивать раздельно измельченные материалы. Вяжущими свойствами этот цемент не обладает. Его затворяют жидким стеклом (плотностью 1360–1380 кг/м³ и модулем 2,8–3,0), которое и является вяжущим.

Кислотоупорный цемент применяют для изготовления кислотоустойких растворов, бетонов, замазок, обмазок, для футеровки химических аппаратов, устройства кислотостойких полов. Кислотоупорные растворы и бетон, будучи стойкими в кислотах (кроме фосфорной, фтористоводородной и кремнефтористоводородной), теряют прочность в воде, а в едких щелочах разрушаются.

4.5. Магнезиальные вяжущие

Разновидностью магнезиальных вяжущих являются каустический магнезит и каустический доломит.

Каустический магнезит MgO получают при обжиге горной породы магнезита MgCO₃ в шахтных или вращающихся печах при температуре 700–800 °С.

Каустический доломит MgOCaCO₃ получают путем обжига природного доломита MgCO₃CaCO₃ при температуре 650–750 °С с последующим тонким измельчением продукта.

Магнезиальные вяжущие затворяют не водой, а водными растворами солей сернистого или хлористого магния. Наиболее распространенный растворитель – раствор хлористого магния MgCl₂, так как он обеспечивает большую прочность.

На основе магнезиальных вяжущих изготавливают ксилолит (смесь вяжущего с опилками), используемый для устройства полов, фибролит (смесь вяжущего с древесной шерстью) и другие теплоизоляционные материалы. Применяют магнезиальные вяжущие и при производстве изделий для внутренней облицовки помещений, изготовления оснований под чистые полы, скульптурных изделий.

4.6. Гидравлическая известь

Гидравлическая известь – вяжущее, получаемое в результате умеренного обжига при температуре 900–1100 °С мергелистых известняков с содержанием в них глины и песчаных примесей от 6 до 20 %.

Затворенная водой гидравлическая известь после предварительного твердения на воздухе продолжает твердеть в воде, при этом процессы воздушного твердения сочетаются с гидравлическими.

Гидрат оксида кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ при испарении воды постепенно кристаллизуется, а под действием углекислоты воздуха карбонизируется. В результате гидратации силикатов, алюминатов и ферритов кальция образуются гидросиликаты, гидроалюминаты и гидроферриты кальция, они почти не растворяются в воде и обеспечивают гидравлическое твердение извести.

Продукт обжига не только измельчают, но его также гасят в пушонку. Гидравлическая известь, смоченная водой, гасится и рассыпается в порошок, а залитая водой образует тесто, которое, начав твердеть на воздухе, продолжает твердеть в воде. Тесто гидравлической извести употребляют в дело сразу после приготовления, хранить его дольше суток нельзя, так как оно затвердеет.

Обычную гидравлическую известь применяют для приготовления штукатурных и кладочных растворов, а высококачественную – в бетонах низких марок и шлакобетоне как в сухой, так и во влажной среде.

Растворные смеси на гидравлической извести менее пластичны и подвижны, чем растворы на воздушной извести. Зато твердеют они быстрее и равномерно, получаются плотными, водо- и морозостойкими, предел прочности при сжатии их достигает 5 МПа. Растворы и бетоны на гидравлической извести после укладки их в дело необходимо выдержать в воздушно-влажной среде около двух недель и только после этого помещать в воду.

На строительство гидравлическую известь в виде готового порошка доставляют в цементовозах, контейнерах, бумажных битуминизированных или многослойных мешках. Доставленную на стройку комовую гидравлическую известь гасят на месте в известегасилках, в которых гашение совмещается с помолом, в противном случае при гашении в творялах образуется много отходов в виде непогасившихся частиц.

4.7. Портландцемент

Портландцемент – гидравлическое вяжущее вещество, получаемое тонким измельчением обожженной до спекания при температуре 1450–1500 °С сырьевой смеси, состоящей из известняка и глины, обеспечивающей преобладание в клинкере силикатов кальция. Спекшуюся сырьевую смесь в виде зерен размером до 40 мм называют *клинкером*.

Сырье для производства портландцемента должно содержать 75–78 % CaCO_3 и 22–25 % глины. Таким составом обладает мергель – осадочная горная порода, представляющая собой тесную смесь известняка с глиной. Но мергель в природе встречается редко, поэтому чаще всего отдельно добываемые известняк и глину смешивают в соотношении 3:1 (по массе). В сырьевую смесь вводят корректирующие добавки. Недостаток SiO_2 компенсируют введением диатомита, трепела, опоки; содержание оксидов железа увеличивают добавкой руды или колчеданных огарков.

При смешивании портландцемента с водой образуется пластичное, легко формуемое клейкое тесто, постепенно густеющее и переходящее в камневидное состояние.

Твердение цемента – сложный процесс, включающий ряд химических и физических явлений. При затвердении минералы цемента реагируют с водой и дают различные новообразования. Процессы взаимодействия минералов с водой протекают одновременно, налагаются друг на друга. Новообразования, в свою очередь, взаимодействуют между собой и минералами цементного клинкера, образуют новые соотношения.

К основным свойствам портландцемента относятся средняя плотность, истинная плотность, тонкость помола, водопотребность, сроки схватывания, тепловыделение, равномерность изменения объема и прочность.

Прочность портландцемента характеризуют маркой, которую устанавливают по пределу прочности при сжатии и изгибе образцов-балочек размером 40×40×160 мм, испытанных в возрасте 28 суток твердения.

Балочки изготавливают из цементно-песчаного раствора состава 1:3 (цемент:нормальный песок) стандартной консистенции при водоцементном отношении В/Ц = 0,4. Образцы твердеют на воздухе (над водой) в течение 1 суток и в воде комнатной температуры (без форм) в течение 27 суток.

Предел прочности при сжатии в возрасте 28 суток называют *активностью* цемента, по величине которой устанавливают марку цемента.

Например, если при испытании цемента установлена активность 43 МПа, то его относят к марке 400.

Портландцементы разделяют на марки 400, 500, 550 и 600. Минимальные значения пределов прочности при сжатии и изгибе, соответствующие определенным маркам, приведены в табл. 4.1.

В паспорте на отгружаемый цемент цементный завод должен указывать не только марку, но и активность, т. е. фактическую прочность цемента на сжатие при пропаривании в возрасте 1 суток.

Т а б л и ц а 4.1. Прочность портландцемента

Марка цемента	Предел прочности через 28 суток, МПа, не менее	
	при изгибе	при сжатии
400	5,5	40
500	6,0	50
550	6,2	55
600	6,5	60

4.8. Коррозия цементного камня, ее виды и меры защиты от нее

Бетонные сооружения могут разрушаться под действием природных вод. Разрушение начинается с цементного камня, структурные составляющие которого или растворяются, или вступают в химическое взаимодействие с солями и кислотами, содержащимися в минерализованной воде. Образующиеся новые химические соединения или легкорастворимы в воде, или кристаллизуются в цементном камне со значительным увеличением объема, приводящим к возникновению внутренних напряжений и к разрушению бетона (коррозии).

Встречающиеся в практике коррозии можно разделить на три вида: коррозия первого вида начинается обычно с растворения свободного гидроксида кальция, выделяемого цементом при гидратации; коррозия второго вида вызвана образованием легкорастворимых солей при действии кислот, кислых газов и других агрессивных веществ на гидроксид цементного камня (кислотная, магнезиальная коррозия); коррозия третьего вида обуславливается образованием в порах цементного камня соединений, занимающих больший объем, чем исходные продукты реакции, это вызывает появление внутренних напряжений и растрескивание (сульфоалюминатная и щелочная коррозия). В практике редко

встречается коррозия одного вида. Кроме того, трудно разграничивать коррозию, например, первого и второго вида. Однако почти всегда можно выделить преобладающий вид коррозии и с учетом сопутствующих ему вторичных коррозионных воздействий запроектировать мероприятия по защите конструкций от коррозии.

Стойкость цементного камня в условиях действия природных вод может быть обеспечена комплексом мер, главными из которых являются:

- 1) повышение плотности;
- 2) выбор специальных вяжущих;
- 3) введение добавок, изменяющих структуру цементного камня, уменьшающих водопотребность и т. д.;
- 4) обработка поверхностного слоя флюатированием, высокомолекулярными соединениями;
- 5) защита поверхности от агрессивной среды за счет окраски, оклейки, оштукатуривания гидроизоляционными материалами.

4.9. Применение портландцемента

Портландцемент широко используется в строительстве при приготовлении строительных растворов, возведении монолитных бетонных и железобетонных конструкций и сооружений, производстве сборных бетонных и железобетонных конструкций.

4.10. Разновидности портландцемента

В настоящее время наряду с обыкновенным портландцементом выпускают большое количество его разновидностей – быстротвердеющих, пластифицированный, гидрофобный, сульфатостойкий, белый и цветной портландцементы. Эти цементы рекомендуются только в тех случаях, когда их специальные свойства могут быть использованы с максимальной эффективностью.

4.11. Цементы с активными минеральными добавками

К этой группе гидравлических вяжущих веществ принадлежат цементы, получаемые совместным помолом портландцементного клинкера либо извести и активной минеральной добавки или тщательным смешиванием указанных компонентов после раздельного измельчения каждого из них.

Активными минеральными (гидравлическими) добавками называют природные или искусственные вещества, которые при смешивании в тонкоизмельченном виде с известью и затворении водой придают ей способность к гидравлическому твердению, а при смешивании с портландцементом повышают его стойкость в пресных и сульфатных водах. Гидравлические добавки в порошковидном состоянии, будучи смешанными с водой, самостоятельно не затвердевают.

Минеральную добавку считают активной, если она обеспечивает конец схватывания теста, приготовленного на основе добавки и извести, не позднее 7 суток после затворения и водостойкость не позднее 3 суток после конца его схватывания.

Природные добавки – это горные породы изверженного (вулканические пеплы – пуццоланы и туфы, пемза, трассы и др.) или осадочного происхождения (диатомиты, трепелы, опоки, глиежи). Главная составная часть их – активный кремнезем в аморфном состоянии.

Искусственные добавки – это доменные гранулированные шлаки, нефелиновый шлак, зола-унос, топливные шлаки, самовозгорающиеся в отвалах пустые шахтные породы, продукты обжига глины – глинит, цемянка, керамзит, аглопорит и др.

Активные минеральные добавки применяют в качестве составной части смешанных вяжущих материалов – портландцемента с минеральными добавками, пуццоланового портландцемента, шлакопортландцемента и др. Они придают цементам водостойкость. В качестве напудрителя их вводят в бетонные и растворные смеси, что дает экономии цемента и обеспечивает получение более плотных и стойких против коррозии бетонов и растворов. Естественно, что активные минеральные добавки несколько снижают прочность цемента, бетона и раствора. Поэтому отдают предпочтение добавкам, обладающим высокой активностью и малой водопотребностью, при строгом соблюдении расчетных составов бетонов и растворов.

4.12. Специальные цементы

Эта группа гидравлических вяжущих веществ резко отличается от цементов, изготовленных на основе портландцементного клинкера, видом исходного сырья, технологией производства, химическим и минералогическим составом, свойствами, а также областями применения. В нее входят глиноземистый, тампонажный, расширяющийся и безусадочный, а также напрягающий цемент.

4.13. Транспортировка и хранение цемента

Цементы доставляют с завода-изготовителя к месту потребления железнодорожным и автомобильным транспортом. При доставке цемента по железной дороге используют вагоны-цементовозы бункерного типа, цистерны и контейнеры, а также обыкновенные крытые вагоны, в которых цемент загружают навалом или в бумажных мешках. В случаях перевозки цемента навалом выгружают его механизированным способом пневматическими и пневмомеханическими разгрузчиками. При транспортировании автоцементовозами его загружают через герметически закрывающийся люк, а выгружают с помощью сжатого воздуха, поступающего от компрессора, установленного на цементовозе.

Цементы, поступающие навалом, хранят в силосных или бункерных складах отдельно по видам, маркам и партиям от различных заводов. Запрещается при хранении смешивать цементы различных видов и марок. Цемент в бумажных мешках хранят в закрытых складах-сараях с плотными водонепроницаемыми крышей, стенами и деревянным полом, приподнятым над поверхностью земли не менее чем на 30 см. В процессе транспортирования и хранения необходимо оберегать цемент от воздействия влаги и засорения посторонними примесями.

При поступлении цемента на склад немедленно на каждую емкость ставят указатели с обозначением вида цемента, марки, времени прибытия и количества. В случае необходимости контроля качества поступившего на склад цемента от каждой партии отбирают пробу массой 20 кг и направляют ее в строительную лабораторию, где производят стандартное и ускоренное испытание цемента.

При длительном хранении цемента на складе обычно за счет поглощения влаги из воздуха и преждевременной гидратации происходит его комкование и снижение активности. Активность портландцемента снижается через 3 мес в среднем на 15–20 %, через 6 мес – на 20–30 %, а тонкомолотые быстротвердеющие портландцементы теряют активность значительно быстрее, поэтому большие запасы цемента на складах строек и предприятий строительной индустрии нежелательны.

5. БЕТОНЫ И СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ НА ОСНОВЕ НЕОРГАНИЧЕСКИХ (ГИДРАТАЦИОННЫХ) ВЯЖУЩИХ

5.1. Бетоны на неорганических вяжущих веществах

5.1.1. Определение и общая классификация бетонов

Бетоном называют искусственный каменный материал, получаемый в результате твердения правильно подобранной, тщательно перемешанной и уплотненной смеси вяжущего вещества, воды, заполнителей и в необходимых случаях специальных добавок. Смесь из вышеуказанных компонентов до начала ее затвердевания называют *бетонной смесью*.

Классифицируют бетоны по следующим основным признакам: *по назначению*, средней плотности, виду вяжущего, виду заполнителей, а также по структуре и условиям твердения.

По назначению различают следующие бетоны: обычный, гидротехнический, бетон для транспортного строительства, дорожный, жаростойкий, конструкционно-теплоизоляционный, теплоизоляционный, коррозионностойкий.

Обычным, или общестроительным, называют бетон, к которому не предъявляются особые требования, определяемые условиями эксплуатации выполняемых из него конструкций или изделий.

К *гидротехническим* относят бетоны, применяемые для возведения плотин, шлюзов, облицовки каналов и др.

Бетоны для *транспортного* строительства предназначены для возведения мостов, виадуков, путепроводов, эстакад, водопропускных труб и регуляционных сооружений на железных и автомобильных дорогах.

Дорожным называют бетон, применяемый в покрытиях дорог, аэродромов и других подобных сооружениях.

Жаростойкие бетоны применяют для изготовления конструкций, которые в условиях эксплуатации подвергаются постоянному или периодическому воздействию температур выше 200 °С.

Конструкционно-теплоизоляционные бетоны предназначены для железобетонных конструкций, к которым предъявляются требования как по несущей способности, так и по теплоизоляционным свойствам.

Коррозионно-стойкими называют бетоны, способные в условиях

эксплуатации выполненных из них частей зданий и сооружений противостоять действию агрессивных сред.

В зависимости от средней плотности различают особо тяжелые, тяжелые, легкие и особо легкие бетоны.

Особо тяжелые бетоны со средней плотностью более 2500 кг/м^3 изготавливают на особо тяжелых заполнителях (магнетите, лимоните, барите, чугуновой дробе, обрезках стали). Эти бетоны применяют для изготовления специальных конструкций, например, при сооружении зданий атомных электростанций для защиты от радиоактивного излучения.

Тяжелые бетоны со средней плотностью $2000\text{--}2500 \text{ кг/м}^3$ изготавливают на плотном песке и крупном заполнителе из плотных горных пород и используют во всех несущих конструкциях.

Легкие бетоны со средней плотностью $500\text{--}2000 \text{ кг/м}^3$ изготавливают на пористом крупном заполнителе и пористом или плотном мелком заполнителе. Их используют в основном для производства ограждающих конструкций (при $\rho < 1600 \text{ кг/м}^3$) либо для несущих конструкций (при $\rho = 1200\text{--}2000 \text{ кг/м}^3$).

Особо легкие бетоны (ячеистые) со средней плотностью менее 500 кг/м^3 , изготавливаемые на основе вяжущего вещества и порообразователя. Применяются в качестве теплоизоляционного материала в виде плит, скорлуп и других изделий.

Классификация бетонов по средней плотности – это, в сущности, разделение по структурному признаку в зависимости от общей пористости. Основная доля в объеме бетона приходится на заполнители, поэтому плотность бетона регулируют, применяя плотные или пористые заполнители. Кроме того, используют и другие пути, например, поризацию вяжущего воздухововлекающими добавками.

По виду вяжущего бетоны подразделяют следующим образом.

Бетоны на цементных вяжущих изготавливают преимущественно на портландцементе, шлакопортландцементе, пуццолановом портландцементе и их разновидностях. Такие бетоны универсальны для изготовления несущих и ограждающих конструкций в промышленном, гражданском и жилищном строительстве, за исключением тех случаев, когда предъявляют особые требования, например, по жаростойкости, химической стойкости.

Бетоны на известковых вяжущих применяют только для изготовления сборных бетонных и железобетонных элементов на заводах.

Бетоны на гипсовых вяжущих используют из-за низкой водостойкости только для производства внутренних конструкций зданий.

Бетоны на шлаковых вяжущих, изготавливаемые на основе молотых шлаков и зол с активизаторами твердения, используют при производстве бетонных (а не железобетонных) изделий и конструкций. Применение местных шлаковых вяжущих позволяет экономить цемент и удешевлять конструкции.

Бетоны на специальных вяжущих (органических или неорганических), к каждому из которых предъявляют определенное требование, включают в себя бетоны на полимерных, фосфатных, магнезиальных связующих, бетоны на жидком стекле.

По виду заполнителей различают бетоны на плотных, пористых и специальных заполнителях.

Бетоны на плотных заполнителях изготавливают на заполнителях из плотных горных пород или шлаков.

Бетоны на пористых заполнителях изготавливают с использованием искусственных пористых заполнителей или заполнителей из пористых горных пород.

Бетоны на специальных заполнителях изготавливают с применением заполнителей, придающих им особые свойства. В число специальных заполнителей входят, например, рудосодержащие породы, чугунный скрап, шамот.

По крупности зерен заполнителей различают бетоны мелкозернистые и крупнозернистые.

Мелкозернистым бетоном считается бетон, в котором размеры зерен крупного заполнителя составляют до 10 мм.

В *крупнозернистом бетоне* размеры зерен крупного заполнителя составляют более 10 мм.

В зависимости от характера структуры выделяют следующие виды бетонов.

Бетоны плотной (слитной) структуры, в которых пространство между зернами заполнителей полностью занято затвердевшим вяжущим веществом. Допускаемый объем межзерновых пустот в уплотненной бетонной смеси не превышает 6 %.

Крупнопористые бетоны (беспесчаные или малопесчаные), в которых значительная часть объема межзерновых пустот остается не занятой мелким заполнителем и затвердевшим вяжущим.

Поризованные бетоны, в которых пространство между зернами заполнителей занято вяжущим веществом, поризованным пенообразующими или газообразующими добавками.

Ячеистые бетоны – бетоны с искусственно созданными ячейками-

порами, состоящие из смеси вяжущего вещества, тонкодисперсного кремнеземистого компонента и породоборазующей добавки.

Бетоны слитной структуры применяют для изготовления несущих конструкций, к которым предъявляют повышенные требования по морозостойкости и водонепроницаемости. Крупнопористые, поризованные и ячеистые бетоны рекомендуется использовать преимущественно для изготовления ограждающих и теплоизоляционных конструкций.

По условиям твердения бетоны подразделяются: на бетоны *естественного твердения*, твердеющие при температуре 15–20 °С и атмосферном давлении; на бетоны, подвергнутые с целью ускорения твердения *тепловой* обработке (70–90 °С) при атмосферном давлении; на бетоны, твердеющие в *автоклавах* при температуре 175–200 °С и давлении паром 0,9–1,6 МПа.

5.1.2. Материалы для тяжелого (обычного) бетона

Цементы. Для изготовления бетонов следует применять портландцемент, шлакопортландцемент и их разновидности.

Мелкий заполнитель. В качестве мелкого заполнителя в тяжелых бетонах применяют песок, который может быть природным или искусственным.

Крупный заполнитель. В качестве крупного заполнителя для приготовления тяжелого бетона применяют гравий или щебень.

5.1.3. Технологические свойства бетонной смеси

Бетонную смесь получают после тщательного перемешивания вяжущего вещества, мелкого и крупного заполнителей, воды и необходимых добавок. До затвердения смесь находится в пластичном состоянии, что позволяет формировать из нее изделия любой конфигурации.

По физическому состоянию бетонная смесь занимает особое, промежуточное положение между жидкостями и твердыми телами. Подобно твердому телу смесь, находящаяся в состоянии покоя, обладает упругостью и прочностью структуры. Когда прочность структуры преодолена, бетонная смесь становится подобной вязкой жидкости.

В практике производства бетонных работ для оценки свойств бетонной смеси используют технические характеристики.

Самая важная характеристика – **удобоукладываемость**, т. е. способность бетонной смеси заполнять форму при заданном способе уплотнения и образовывать в результате уплотнения плотную, одно-

родную массу. Для оценки удобоукладываемости используют три показателя: подвижность, жесткость и связность смеси.

5.1.4. Структура и пористость бетона

В бетоне можно выделить макроструктуру, видимую невооруженным глазом или при небольшом увеличении, и микроструктуру, выявляемую с помощью оптического или электронного микроскопа.

Макроструктура бетона в зависимости от раздвижки зерен заполнителей делится на три вида: с базальной цементацией, поровую и контактную.

Микроструктура затвердевшего бетона характеризуется составом твердого вещества, размером и характером пор, а также строением контактной зоны между заполнителем и цементным камнем.

5.1.5. Прочность бетона и ее законы

Прочность бетона в проектном возрасте характеризуют классами прочности на сжатие и осевое растяжение. Отличительная особенность бетонных работ – значительная неоднородность получаемого бетона. Чем выше культура строительства, лучше качество приготовления и укладки бетона в конструкции, тем меньше будут возможные колебания прочности. Следовательно, важно не только получить бетон с заданной средней прочностью, но и обеспечить ее во всем объеме изготавливаемых конструкций.

Прочность – основная характеристика бетона как конструкционного материала. Численное значение прочности определяется действием многих факторов. К важнейшим из них относятся качество примененных материалов и пористость бетона.

Зависимость прочности бетона от Ц/В и марки цемента в общем виде выражают формулой:

$$R_6 = AR_{ц} \left(\frac{Ц}{В} \pm b \right), \quad (5.1)$$

где R_6 – прочность бетона на сжатие;

A – коэффициент, учитывающий качество заполнителей;

$R_{ц}$ – марка (активность) цемента;

$Ц$ и $В$ – соответственно расход цемента и воды в бетонной смеси;

b – постоянный коэффициент, определяемый опытным путем.

Эта формула выражает основной закон прочности бетона. В ней учитываются важнейшие факторы, влияющие на прочность бетона: качество заполнителей (A), качество цемента ($R_{\text{ц}}$) и качество цементного камня, т. е. его пористость (Ц/В). Прочность бетона окажется тем выше, чем лучше заполнители, выше марка цемента и больше значение Ц/В . При постоянном расходе цемента прочность бетона с увеличением расхода воды уменьшается, а с уменьшением расхода воды увеличивается. Формула справедлива для расчета прочности плотноувлажненного бетона, твердеющего в нормальных температурно-влажностных условиях и испытанного по стандартной методике в возрасте 28 сут.

Для составов бетона, характеризующихся значениями $\text{Ц/В} = 1,4\text{--}2,5$, формула (5.1) принимает вид

$$R_6 = A_1 R_{\text{ц}} (\text{Ц/В} - 0,5), \quad (5.2)$$

а для $\text{Ц/В} = 2,5\text{--}3,3$

$$R_6 = A_2 R_{\text{ц}} (\text{Ц/В} + 0,5). \quad (5.3)$$

Значения коэффициентов A_1 и A_2 , учитывающих качество заполнителей, приведены в табл. 5.1.

Т а б л и ц а 5.1. Значения коэффициентов, учитывающих качество 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, оптимального зернового состава;

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.

Набор бетоном прочности во времени происходит за счет увеличения прочности цементного камня и силы сцепления между цементным камнем и заполнителем.

После приготовления и укладки бетона в конструкции происходит интенсивный рост прочности, который в последующем замедляется.

Характер набора бетоном прочности, особенно в начальный период, зависит от ряда факторов и в первую очередь от вида применяемого цемента. Приблизленно рост прочности бетона со временем можно определить по формуле, предложенной профессором Б. Г. Скрамтаевым

$$R_{\text{он}} = \frac{R_{6(28)} \lg n}{\lg 28}, \quad (5.4)$$

где $R_{\text{он}}$ – прочность бетона на n -й день твердения, МПа;

$R_{6(28)}$ – прочность бетона на 28-й день твердения, МПа;

n – возраст бетона в сутках.

Формула справедлива для бетонов на обычном портландцементе, твердеющем в нормальных условиях при возрасте более 28 суток, и с меньшей степенью точности в возрасте от 3 до 27 дней. В более раннем возрасте фактическая прочность бетона может значительно отклоняться от расчетной.

5.1.6. Деформации бетона

К основным видам деформаций бетона относятся собственные деформации твердения (усадка и набухание) и деформации, вызванные внешними силами. Деформации могут быть упругими, или обратимыми, и пластическими, или необратимыми.

К основным видам необратимых деформаций бетона можно отнести деформации усадки и ползучести.

Усадочные деформации бетона являются следствием усадки цементного камня при твердении. Таким свойством обладают бетоны, приготовленные на всех видах вяжущих материалов, кроме строительного гипса, расширяющихся и безусадочных цементов.

Под *ползучестью* понимают необратимую деформацию материала под действием внешних нагрузок.

5.1.7. Принципы проектирования состава бетона

Проектирование состава бетона заключается в определении требований к бетонной смеси, установлении технологии изготовления бетона, выборе материалов, подборе бетонной смеси.

Запроектированная бетонная смесь должна иметь заданную удобоукладываемость, а затвердевший бетон – удовлетворять проектным

маркам. Необходимо также подбирать наиболее экономичный состав бетона, что достигается правильным соотношением между мелким и крупным заполнителем при возможно меньшем расходе цемента.

Подобрать состав бетона теоретически (расчетным путем) невозможно, так как нет достаточного количества математических зависимостей, связывающих состав бетона с его характеристиками. Поэтому применяют расчетно-экспериментальные способы проектирования состава бетона. Сначала рассчитывают ориентировочный состав бетона, используя приближенные математические зависимости и экспериментальные данные. Затем на пробном замесе устанавливают полученные свойства расчетной бетонной смеси и затвердевшего бетона. При необходимости корректируют состав бетонной смеси.

5.1.8. Приготовление, транспортирование и укладка бетонной смеси

В производстве бетонных и железобетонных работ основными технологическими процессами являются приготовление, транспортирование, укладка и уплотнение бетонной смеси с последующим уходом за бетоном и контролем его прочности. От правильного выполнения вышеперечисленных процессов во многом зависит качество бетонных и железобетонных изделий.

5.1.9. Твердение бетона

Уложенная в опалубку бетонная смесь благодаря гидратации цемента самопроизвольно затвердевает. Заданная проектом прочность достигается при определенном уходе за твердеющим бетоном, т. е. при создании оптимального температурно-влажностного режима твердения и защите бетона от ударов и сотрясений, которые могут нарушать еще не сложившуюся структуру.

Важнейшими факторами, влияющими на качество бетона на данном этапе, являются условия и длительность твердения.

5.1.10. Уход за бетоном

Уход за бетоном – комплекс мероприятий по созданию наиболее благоприятных температурно-влажностных условий твердеющего бетона.

Свежеуложенный бетон выдерживают во влажном состоянии и

предохраняют от сотрясений, ударов, каких-либо повреждений, а также резких изменений температуры. В летнее время открытые поверхности свежешелюженного бетона следует укрывать мешковиной, рогожей, песком, опилками или другими материалами и периодически увлажнять.

Твердение бетона при температурах ниже 5–10 °С значительно замедляется, а при температурах ниже нуля практически прекращается. Находящаяся в бетоне свободная вода замерзает, увеличивается в объеме, что приводит к нарушению структуры еще не затвердевшего цементного камня, а это, в свою очередь, снижает конечную прочность бетона.

Наиболее опасно замерзание бетона в период схватывания цемента. Поэтому основным условием ведения бетонных работ в зимнее время является обеспечение в уложенном бетоне определенной положительной температуры, исключающей замерзание бетона в раннем возрасте до достижения им к моменту замерзания 50 % марочной прочности.

5.2. Строительные растворы

5.2.1. Краткие сведения и классификация растворов

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

В отличие от бетона в растворе нет крупных заполнителей (щебня или гравия). Растворы предназначены для штукатурных, кладочных и специальных (антикоррозионных, изоляционных) работ. В растворе вяжущее и вода обволакивают зерна заполнителя, уменьшая трение между ними, благодаря чему смесь становится подвижной, удобной для работы. В процессе твердения вяжущее прочно связывает в монолит частицы заполнителя. Вяжущим в растворе являются известь, глина, гипсовое вяжущее, цемент или их смеси. Заполнителем служит природный или искусственный песок. Добавки (неорганические и органические) улучшают свойства растворной смеси и раствора.

Строительные растворы классифицируют по плотности, виду вяжущего, составу и назначению.

В ряде случаев (например, при отдаленном расположении завода) оправдывает себя применение для штукатурных и облицовочных работ *сухих смесей*, состоящих из вяжущего и высушенного заполнителя.

Сухие смеси готовят централизованно, их снабжают паспортом с указанием состава, марки и времени приготовления. Влажность сухой смеси – не более 1 %. Смесь, содержащую цемент и активные минеральные добавки, поставляют на строительные объекты в гидроизоляционной упаковке. Сухую смесь затворяют на объекте расчетным количеством воды в небольшом смесителе.

5.2.2. Свойства растворных смесей и растворов

Удобоукладываемость – свойство растворной смеси легко укладываться плотным и тонким слоем на пористое основание и не расслаиваться при хранении, транспортировании и перекачивании насосами. Она зависит от пластичности (подвижности) и водоудерживающей способности смеси.

Водоудерживающая способность – свойство растворной смеси удерживать воду при укладке ее на пористое основание (кирпич, шлакоблоки, бетон и т. п.), а также при ее транспортировании.

Расслаиваемость – способность растворной смеси разделяться на твердую и жидкую фракции при транспортировании и перекачивании ее по трубам и шлангам. Растворную смесь часто перевозят автосамосвалами и перемещают по трубопроводам с помощью растворонасосов. При этом не редки случаи, когда смесь разделяется на воду (жидкая фаза), песок и вяжущее (твердая фаза), в результате чего в трубах и шлангах могут образоваться пробки, устранение которых связано с большими потерями труда и времени.

Затвердевшие растворы должны обладать определенной плотностью, заданной прочностью, водонепроницаемостью, морозостойкостью, постоянством объема и в отдельных случаях химической стойкостью.

Затвердевший раствор должен прочно сцепляться с основанием, обладать малой величиной и равномерностью деформации под действием нагрузок, изменений объема в процессе твердения, последующих изменений влажности и температуры среды, окружающей затвердевший раствор.

5.2.3. Пластификаторы для растворов

Марки растворов по прочности обычно значительно ниже марки цемента. Поэтому, чтобы получить раствор заданной прочности, тре-

буется немного цементного вяжущего. Но, с другой стороны, растворная смесь должна быть пластична и обладать высокой водоудерживающей способностью. Этого, наоборот, можно достичь только при большом содержании в растворе вяжущего. Чтобы разрешить это противоречие, применяют смесь вяжущих, одно из которых придает раствору прочность, а другое – пластичность, или вводят в раствор органические пластификаторы.

В качестве смеси вяжущих для получения растворов чаще всего используют цемент и известь – цементно-известковые растворы. Известь в таких растворах благодаря своей высокой дисперсности играет роль пластификатора.

В 30-х гг. профессором Н. А. Поповым были предложены цементно-глиняные растворы, в которых в качестве пластифицирующей добавки использовалась глина. В качестве органических пластификаторов применяют и другие минеральные порошки: золы ТЭС, молотые шлаки, известняки и т. п.

Количество неорганических пластифицирующих добавок составляет 20–200 % (от массы цемента), и оно тем больше, чем ниже марка раствора. Неорганические пластификаторы позволяют получать высококачественные (удобоукладываемые, нерасслаивающиеся) растворные смеси при небольшом расходе цемента.

Органические пластификаторы, так же как и неорганические, позволяют существенно сократить расход цемента. В некоторых случаях применяют совместно органические и неорганические пластификаторы.

5.2.4. Общие принципы назначения состава растворов

Составы строительных бетонов подбирают по таблицам расчетным путем, и в обоих случаях они уточняются экспериментальным путем применительно к конкретным материалам.

Расчетно-экспериментальный метод подбора состава цементных и смешанных растворов включает три стадии: расчетное нахождение расхода материалов на 1 м³ песка; пробный замес и испытание смеси; определение фактического расхода материалов на 1 м³ раствора.

5.2.5. Приготовление и транспортирование растворных смесей

Растворные смеси приготавливают на специализированных заводах или приобъектных растворосмесительных установках. Смесительные установки и заводы разделяют на циклические и непрерывного дей-

ствия. В районах с большим потреблением строительных растворов применяют растворосмесительные установки производительностью 50 и 100 м³/ч. При меньшей потребности в растворе применяют передвижные установки.

В зимний период растворы приготавливают в отапливаемых помещениях или вводят в них противоморозные добавки.

Растворные смеси с заводов перевозят автосамосвалами. Растворная смесь при транспортировании может расслоиться или замерзнуть, поэтому дальность перевозки зависит от вида раствора, состояния дороги и температуры воздуха. Например, максимальная дальность перевозки цементно-известковых растворов по асфальтовой дороге составляет 7–8 км, а по булыжной – 5–6 км. Чтобы предохранить раствор от переохлаждения и замерзания зимой, кузова автомашин утепляют или обогревают их отработанными газами двигателя.

5.2.6. Виды растворов и область их применения в строительстве

Кладочные растворы. При возведении стен применяют цементные, смешанные (цементно-известковые и цементно-глиняные) и известковые растворы.

Штукатурные растворы. В строительстве наиболее часто применяется монолитная штукатурка, получаемая из штукатурных растворов. Штукатурное покрытие состоит из двух или более слоев. Растворы для обычных штукатурок подразделяют на цементные, известковые, цементно-известковые, известково-гипсовые, гипсовые и глино-известковые.

Монтажные растворы. При монтаже стен горизонтальные швы между панелями из тяжелого бетона заполняют раствором марки не ниже 100; из легкого бетона – не ниже 50. При монтаже стен из крупных блоков марки раствора для заполнения горизонтальных швов указываются в проекте (обычно 10–50). Для расшивки вертикальных швов панельных и крупноблочных стен марка раствора должна быть не ниже 50.

Растворы специального назначения. Гидроизоляционные растворы (водонепроницаемые) – обычно жирные цементные растворы состава 1:1:1:3,5, в которые добавляют церезит, растворимое стекло, алюминат натрия, хлоралюмокальций, азотнокислый кальций, хлорное железо, битумную эмульсию, полимеры и др. Церезит представляет собой сметанообразную массу белого или желтого цвета, получаемую из алюминиевой кислоты, извести, аммиака, водного раствора сернокислого аммония.

Особенно надежно служат гидроизоляционные растворы, нанесенные методом торкретирования, модуль крупности песка которых должен составлять 2,5–3,5. Такие растворы применяют для покрытия стен бассейнов, трубопроводов, туннелей, подвалов, подвергающихся действию агрессивных вод.

Тампонажные растворы применяют для заделки водоносных трещин и пустот в горных породах, а также для заполнения пространства между креплением выработки и породой с целью гидроизоляции шахтных стволов, туннелей и равномерности распределения горного давления на облицовки (крепя). Эти растворы могут быть цементно-песчаными, цементно-песчано-суглинистыми, цементно-суглинистыми. Они обладают хорошей однородностью, водостойкостью, подвижностью, прочностью и стойкостью к агрессивным водам. В качестве вяжущих материалов применяют: для обычных гидрогеологических условий – портландцемент; при наличии агрессивных сред – шлакопортландцемент; при наличии напорных вод – тампонажный портландцемент. Состав этих растворов принимают от 1:4 до 1:15 или от 1:2:2 до 1:5:10.

Инъекционные растворы используют при омоноличивании строительных швов гидротехнических сооружений и швов сборных железобетонных элементов. Для этой цели применяют цементно-коллоидные растворы, которые подают в швы методом инъекции. После твердения такие растворы образуют достаточно однородный и плотный цементный камень.

6. ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЙ БЕТОН И ДРУГИЕ ВИДЫ БЕТОНОВ

6.1. Условия работы бетона в гидротехнических сооружениях

Гидротехническим называют бетон, применяемый при возведении гидротехнических и гидромелиоративных сооружений, а также их отдельных частей, постоянно находящихся в воде или периодически контактирующих с ней. Он обладает свойствами, которые обеспечивают длительную нормальную службу (долговечность) в указанных условиях.

Как материал для сооружений мелиоративных систем гидротехнический бетон отличают следующие главные особенности:

а) сложный комплекс технических требований, диктуемый условиями работы плотин при эксплуатации;

б) сложный комплекс технических требований, диктуемый условиями строительства и особенностями возведения массивных бетонных сооружений;

в) массовость бетона, обусловленная большими объемами бетонных работ при возведении гидротехнических сооружений;

г) использование местных заполнителей из близлежащих карьеров;

д) высокий удельный вес стоимости бетона в общей стоимости массивных сооружений;

е) необходимость тщательного проектирования и подбора составов бетона и их сложность.

6.2. Классификация гидротехнического бетона

Гидротехнический бетон – разновидность тяжелого бетона, который в зависимости от условий эксплуатации конструкций гидротехнических сооружений классифицируется на несколько видов.

В зависимости от **расположения по отношению к уровню воды** гидротехнический бетон в сооружении или конструкции подразделяют: на *подводный* – постоянно находящийся в воде; *зоны переменного уровня* – подвергающийся периодическому омыванию водой; *надводный* – находящийся выше зоны переменного уровня.

По площади поверхности конструкций гидротехнический бетон делят на массивный и немассивный, а по месту нахождения в сооружении – наружных и внутренних зон. Бетон внутренних зон массивных гидротехнических сооружений, не подвергающийся напору и расположенный не ближе 2 м от внешней поверхности, рассматривается как обычный бетон.

По действующему на конструкцию напору воды различают гидротехнический бетон для напорных и для безнапорных конструкций.

6.3. Технические требования к гидротехническому бетону

В зависимости от вида и условий работы устанавливаются показатели качества бетона, основными из которых являются следующие: класс по прочности на сжатие В; класс по прочности на осевое растяжение В_т; марка по морозостойкости F; марка по водонепроницаемости W; к бетону гидротехнических сооружений предъявляют дополнительные требования – водопоглощение, линейная усадка и набухание, стойкость против агрессивного воздействия воды, минимальное тепло-

выделение, сопротивляемость истиранию потоком воды с наносами, трещиностойкость.

Марка бетона по морозостойкости F определяется числом циклов попеременного замораживания и оттаивания, испытываемых в возрасте 28 сут в насыщенном водой состоянии, при котором допускается снижение прочности бетона на сжатие не более чем на 15 %.

Циклом замораживания и оттаивания называется изменение термического состояния бетона, сопровождаемое фазовым переходом жидкости (вода – лед) в поровом состоянии бетона.

Марки гидротехнического бетона по морозостойкости – $F50$; $F75$; $F100$; $F150$; $F200$; $F300$; $F400$; $F500$; $F600$; $F800$; $F1000$ – назначают с учетом климатических условий, характеризующихся среднемесячной температурой наиболее холодного месяца.

Повышение стойкости бетона может достигаться уменьшением водосодержания бетонной смеси до предела, еще обеспечивающего получение плотной структуры бетона при использовании соответствующих средств уплотнения. Уменьшение водосодержания бетона способствует снижению общей пористости цементного камня и бетона и капиллярных пор в нем.

Морозостойкость бетона повышается при увеличении расхода цемента. При некотором снижении водоцементного отношения и обеспечении необходимой удобоукладываемости бетонной смеси в этом случае уменьшается доля макропор в бетоне (больше объем цементного камня). Цементный камень, полученный из теста нормальной густоты, почти не разрушается при замораживании.

Введение в бетонную смесь воздухововлекающих и газообразующих добавок способствует образованию равномерно распределенных по объему бетона резервных пор, амортизирующих давление замерзающей воды, снижению деформации расширения бетона в процессе замораживания и повышению его морозостойкости.

Марку бетона по водонепроницаемости W принимают по наибольшему давлению воды, при котором еще не наблюдается ее просачивание.

Эта характеристика назначается в зависимости от градиента напора, определяемого как отношение максимального напора, m , к толщине конструкции, m , (или расстоянию от напорной грани до дренажа), и температуры контактирующей с сооружением воды, $^{\circ}C$, по табл. 6.1 или в зависимости от агрессивности среды в соответствии со СНиП 2.03.11-85.

Установлены следующие марки по водонепроницаемости (кгс/см²): W2, W4, W6, W8, W10, W12, W14, W16, W18, W20.

В нетрещиностойких напорных железобетонных конструкциях и нетрещиностойких безнапорных конструкциях, морских сооружениях марка бетона по водонепроницаемости должна быть не ниже W4.

Т а б л и ц а 6.1. **Марки бетона по водонепроницаемости**

Температура воды, °С	Марка бетона по водонепроницаемости при градиентах напора			
	До 5	5–10	10–20	20–30
До +10	2	4	6	8
+10...+30	4	6	8	10
Свыше +30	6	8	10	12

Примечание. Для конструкций с градиентом напора свыше 30 следует назначать марку бетона по водонепроницаемости W16 и выше.

Плотность бетона, а следовательно, и его водонепроницаемость может быть повышена путем уменьшения водоцементного отношения, что достигается введением в бетонную смесь специальных добавок – пластификаторов, уплотнением бетонной смеси вибрацией, центробежным или другим механизированным способом.

Часть свободной воды из бетонной смеси при укладке можно удалить вакуумированием. Повысить водонепроницаемость бетона можно, покрывая его поверхность плотным раствором, в особенности наносимым пневматическим способом, так называемым торкретированием.

Водонепроницаемость бетона сильно повышается с его возрастом в гораздо большей степени, чем его прочность.

6.4. Долговечность гидротехнического бетона

Получение долговечного гидротехнического бетона – одна из самых важных проблем строительства. Большая экономия достигается прежде всего благодаря правильному проектированию состава бетона с учетом как реальных условий эксплуатации сооружений, так и запланированных сроков их службы. Долговечность гидротехнического бетона зависит от его сопротивляемости различным видам воздействия внешней среды, при этом значительную роль играет относительная плотность. Повышение относительной плотности (уменьшение объема

капиллярных пор) – необходимое условие получения водонепроницаемой, водостойкой и морозостойкой структуры бетона.

Гидротехнический бетон, содержащий в своем объеме до 5–7 % капиллярных открытых пор, обладает высокой морозостойкостью. Водонепроницаемость гидротехнического бетона зависит от его возраста, плотности и влажности. По мере увлажнения бетона его плотность и водонепроницаемость увеличиваются (набухание цементного камня). На водонепроницаемость бетона в естественных условиях, кроме влажности, большое влияние оказывает возраст. Как правило, если бетон твердеет при нормальных температуре и влажности, водонепроницаемость бетона значительно увеличивается со временем. Повышение водонепроницаемости бетона со временем происходит вследствие увеличения плотности цементного камня в процессе твердения, т. е. увеличения объема твердой фазы в результате длительной гидратации цемента. Значительное и устойчивое повышение водонепроницаемости бетона наблюдается при его твердении в воде, под водонепроницаемым покрытием или в воздушно-влажной среде.

При твердении бетона в воздушно-сухой среде из-за значительных потерь воды вследствие испарения рост его водонепроницаемости замедляется, а в некоторых случаях водонепроницаемость даже снижается. Повышение водонепроницаемости может быть достигнуто путем введения водорегулирующих добавок.

Самым существенным фактором, определяющим водонепроницаемость и морозостойкость бетона, является отношение В/Ц, при увеличении которого водонепроницаемость снижается в 3–8 раз, морозостойкость – в 2–3 раза.

6.5. Коррозия бетона

В бетоне под действием внешней среды могут развиваться деструктивные процессы. Наибольшую опасность из них представляют три: коррозия арматуры, разрушение бетона сульфатами и влияние попеременного замораживания и оттаивания.

6.6. Материалы для гидротехнического бетона

Долговечный высококачественный гидротехнический бетон может быть получен при наилучшей структуре бетонной смеси, которая образуется только при использовании доброкачественного цемента, минимального количества воды, оптимального гранулометрического состава

ва качественных заполнителей, ввода пластифицирующих и воздухововлекающих (или комплексных) добавок. Поэтому материалы для приготовления гидротехнического бетона должны отвечать всем требованиям, изложенным в государственных и отраслевых стандартах на эти материалы.

В связи с тем, что гидротехнический бетон находится в специфических эксплуатационных условиях, к материалам для его приготовления предъявляют особые требования. Цемент выбирают в соответствии с классификацией бетона и степени агрессивности воды, учитывают условия изготовления бетона и особенности строительного периода, а также эксплуатационные условия. Цемент должен обеспечивать долговечность бетона, его прочность, водостойкость, морозостойкость, водонепроницаемость и трещиностойкость при экзотермии и усадке.

Для гидротехнического бетона используют песок крупностью до 5 мм, представляющий собой природные или обогащенные смеси зерен твердых и плотных каменных пород или искусственные смеси, подученные дроблением твердых и плотных пород.

В качестве крупного заполнителя для гидротехнического бетона должен применяться щебень или гравий из изверженных горных пород (гранит, диорит, базальт, диабаз и т. д.).

Допускается применять любую воду, имеющую водородный показатель pH не менее 4 и содержащую минеральные соли не более 5000 мг/л, в том числе не более 2700 мг/л сульфата в пересчете на SO_4 . Не разрешается применять болотные и сточные воды без их очистки. Для улучшения свойств бетонной смеси, структуры затвердевшего бетона и экономии цемента следует применять добавки поверхностно-активных веществ (ПАВ). В последнее время стали применять эффективные безреагентные способы обработки воды, а именно, обработку воды магнитными и электромагнитными полями, что позволяет увеличить прочность гидротехнического бетона, снизить жесткость бетонной смеси, водопоглощение и расход цемента.

6.7. Добавки к гидротехническому бетону

В отличие от других отраслей строительства, где минеральные добавки естественного или искусственного происхождения применялись главным образом для улучшения связности и удобоукладываемости бетонных смесей и разбавления высокоактивных цементов, чтобы избежать излишнего их расходования в низкопрочных бетонах, введение добавок в гидротехнические бетоны всегда преследовало также и дру-

гие цели: повышение плотности и водонепроницаемости бетона, повышение стойкости бетона к выщелачиванию и действию агрессивных вод, снижение тепловыделения и изменение его кинетики за счет замены части портландцементного клинкера значительно более медленно твердеющими композициями, подавление реакции между щелочами цемента и заполнителями и др.

Основным видом добавок для гидромелиоративных конструкций должны стать комплексные, состоящие из пластифицирующего и воздухововлекающего компонентов.

6.8. Приготовление водных растворов добавок и бетонной смеси

Приготовление бетонной смеси с добавками от приготовления обычного бетона отличается тем, что в бетоносмеситель вместе с водой затворения подается необходимое на замес количество добавки, установленное при подборе состава бетона.

Растворы добавок рабочей концентрации готовятся в емкостях путем растворения и последующего разбавления исходных продуктов. Для повышения скорости растворения продуктов рекомендуется подогреть воду до $+40...+70$ °С и перемешивать растворы, а твердые продукты при необходимости предварительно дробить.

Растворы добавок из твердых или пастообразных продуктов готовятся их растворением в заданном количестве воды. После полного растворения продукта ареометром проверяется плотность полученного раствора и доводится до заданной добавлением продукта или воды.

6.9. Проектирование состава гидротехнического бетона

При проектировании состава бетонной смеси должны учитываться все возможные факторы, влияющие на конечное качество бетона, с целью обеспечения надежности и долговечности бетонной или железобетонной конструкции.

Прежде чем приступить к проектированию состава бетонной смеси, необходимо знать:

а) назначение бетонной или железобетонной конструкции и ее размеры, место расположения проектируемого состава бетона в сооружении и по отношению к воде;

б) в какой водной, грунтовой среде будет работать бетон и возможные виды его коррозии;

в) проектные прочностные марки бетона, а при необходимости и требуемую долю марочной прочности к определенному сроку;

г) проектную марку бетона по водонепроницаемости, морозостойкости и другим показателям.

Наиболее простым способом проектирования состава бетонной смеси является метод абсолютных объемов, в основу которого принято, что приготовленная, уложенная и уплотненная бетонная смесь не должна иметь в своем составе пустот и пор. Учитывая, что после расчета обязательно выполняют экспериментальные лабораторные замесы с последующей корректировкой составов, этот способ называют расчетно-экспериментальным.

При этом 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 в начале рассчитывают ориентировочный состав бетона, а затем уточняют его по результатам пробных замесов и испытаний контрольных образцов.

6.10. Виды гидротехнического бетона

Мелкозернистый бетон – бетон с наибольшей крупностью заполнителя до 10 мм. Мелкозернистый бетон можно укладывать торкретированием с помощью цемент-пушки.

Литой бетон целесообразно применять в гидротехническом строительстве, в частности, для бетонирования тонкостенных густоармированных конструкций со сложной конфигурацией, где укладка и вибрация обычных смесей затруднена, а также при бетонировании монолитных облицовок оросительных каналов различного сечения и производства сборного железобетона для строительства.

Набрызг-бетон (шприц-бетон) – разновидность бетона, широко применяемого в мировой строительной практике.

6.11. Специальные бетоны

Дорожный бетон применяют для устройства покрытий на автомагистралях, дорогах промышленных предприятий и городских улицах. В процессе эксплуатации покрытия подвергаются не только воздействию транспортных средств, но и влиянию атмосферных условий

(многократное увлажнение и высыхание, замораживание и оттаивание), поэтому к дорожному бетону предъявляют повышенные требования по прочности, плотности, износо- и морозостойкости.

Дорожный бетон подразделяют на бетон для однослойного покрытия и верхнего слоя двухслойного покрытия, бетон для основания усовершенствованного капитального покрытия и бетон для нижнего слоя двухслойного покрытия.

Лученепроницаемые (особо тяжелые и гидратные) бетоны предназначены для биологической защиты от радиоактивных элементов, излучаемых ядерными реакторами. Бетон является наиболее рациональным материалом для защиты от радиоактивных излучений. Однако обычный бетон, хорошо поглощая γ -лучи, плохо поглощает нейтроны. Бетоны, изготавливаемые с применением тяжелых заполнителей (магнетита, лимонита, барита, металлического скрапа) с добавкой соединений бора, кадмия и других веществ, хорошо поглощают нейтроны. Химически связанная вода является хорошим поглотителем нейтронов, и ее наличие в тяжелых заполнителях либо в цементном камне в связанном виде является положительным фактором.

К числу особо тяжелых бетонов, пригодных для радиоактивной защиты, относятся: магнетитовые, баритовые, лимонитовые и др.

Интенсивность проникновения через обычный бетон γ -лучей и нейтронов примерно в 2 раза больше, чем через магнетитовый бетон.

Средняя плотность магнетитового бетона достигает 5000–5500 кг/м³, прочность при сжатии его составляет 300–400 кгс/см².

Жаростойкий бетон предназначен для конструкций, испытывающих в процессе эксплуатации длительное воздействие высоких температур. При нагреве бетона, изготовленного на портландцементе, происходят процессы дегидратации $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и разложения гидросиликатов и гидроалюминатов кальция, образовавшихся в процессе твердения цемента. В результате прочность бетона значительно уменьшается, а оксид кальция в последующем под воздействием влаги гидратируется и увеличивается в объеме. Это приводит к растрескиванию конструкций.

Декоративные бетоны в последние года все шире используются для повышения эстетической выразительности зданий и сооружений. Их предназначают для ограждающих конструкций жилых и общественных зданий, декоративных плит, для наружных и внутренних стен, лестничных маршей, элементов фасада, в деталях малых архитектурных форм, для изделий специального назначения.

Для получения разнообразной фактуры декоративный бетон поверхностного слоя изделий подвергают различным видам обработки.

6.12. Легкие бетоны

Легкие бетоны, отличающиеся высокой прочностью (до 40 %) и сравнительно небольшой средней плотностью (от 500 до 1800 кг/м³), широко используют для изготовления несущих и ограждающих сборных бетонных и железобетонных конструкций. Применение их взамен кирпича и тяжелого бетона дает возможность повысить теплозащитные качества ограждений, что, в свою очередь, позволяет уменьшить толщину и массу стен зданий, сократить транспортные расходы.

В легком бетоне в качестве заполнителей используют песок и щебень из пемзы, вулканического шлака, вулканического туфа, пористого известняка и доломита, известняка-ракушечника, известкового туфа, опоки, трепела, диатомита, топливных шлаков, пористых металлургических шлаков, вспученного при обжиге керамзита, термозита, перлита, вермикулита и др.

6.13. Шлакощелочной бетон

Шлакощелочной бетон – это смесь из шлакощелочных вяжущих, мелких (песок, супесь, суглинок) и крупных (щебень или гравий) либо только мелких заполнителей и щелочных компонентов. Бетон этого вида – высокoeкономичный строительный материал. В его составе, кроме грунтов местного происхождения и щелочных компонентов, используют отходы промышленности в виде тонкоизмельченного гранулированного доменного шлака. В качестве щелочного компонента применяют соду, поташную смесь, содощелочной плав и другие соединения натрия или калия, дающие в водных растворах щелочную реакцию.

Шлакощелочной алюмосиликатный бетон твердеет в воздушной среде, а также в процессе тепловой и влажностной обработки при атмосферном и повышенном давлении. Основными компонентами для неармированного шлакощелочного алюмосиликатного бетона могут служить местные пески, супеси, суглинки и т. п. (75–80 %), тонкомолотые гранулированные шлаки (20–25 %) и щелочной компонент (1–3 %). Этот бетон обладает высокими прочностными показателями (до 100 МПа), стойкостью к агрессивным средам, повышенной моро-

зостойкостью и водонепроницаемостью. Применяют его как монолитный бетон, а также при изготовлении сборных бетонных и железобетонных изделий и конструкций, дренажных труб и в других случаях вместо обычного дорогостоящего бетона.

7. БЕТОННЫЕ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ ИЗДЕЛИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

7.1. Общие сведения о железобетоне

Бетон имеет существенный недостаток, присущий почти всем искусственным и природным материалам, – он хорошо работает на сжатие, но плохо сопротивляется изгибу и растяжению. Прочность бетона при растяжении составляет всего около $\frac{1}{10}$ – $\frac{1}{15}$ его прочности на сжатие. Чтобы повысить прочность бетонных конструкций на изгиб и растяжение, в бетон укладывают стальную проволоку или стержни, называемые арматурой. Арматура в переводе с латинского означает «вооружение», т. е. стальная арматура как бы вооружает, укрепляет бетон. Армированный стальными стержнями бетон называют железобетоном. Цель армирования можно пояснить на элементах, работающих на изгиб (балках, ригелях). В таких элементах часть поперечного сечения элемента подвергается сжатию, а другая – растяжению. Если балку изготовить из неармированного бетона, то вследствие низкой его прочности на растяжение (1–4 МПа) уже под небольшой нагрузкой бетон в растянутой зоне растрескается и балка разрушится. Если же в растянутую зону ввести стальную арматуру, то она примет на себя растягивающие напряжения (прочность стали при растяжении более 200 МПа), и балка, хоть на ней и появятся трещины, не разрушится даже при больших нагрузках. В ряде случаев армируют элементы, работающие и на сжатие (колонны, сваи), так как и на сжатие сталь в 5–10 раз прочнее бетона.

Первоначально бетон применялся довольно ограниченно. В настоящее время это основной конструкционный материал как в жилищном, так и в промышленном строительстве.

История железобетона сравнительно коротка. Лишь немногим более 120 лет прошло с того времени, когда были созданы первые железобетонные изделия. Открытие железобетона обычно приписывают французскому садовнику Жозефу Монье (1823–1906). Ему приходилось делать кадки из цементного раствора для цветов и апельсиновых

деревьев. С целью увеличения прочности этих кадок он в 1861 г. попробовал заложить в их тело остои из металлической сетки. Кадки, неожиданно для самого изобретателя, оказались очень удачными и привлекли к себе внимание. Весьма вероятно, что открытие Ж. Монье не было бы замечено и не получило бы признания, если бы развитие производственных сил и производственных отношений не вызвало необходимости перехода к новому материалу, каким явился железобетон.

Действительно, подобного рода изделия и даже целые сооружения применялись и раньше, но способ армирования бетона был забыт, как не имеющий серьезного технического значения. Например, в той же Франции в 1850 г. инженер Ж. Ламбо сделал гребное судно из бетона, армированного отдельными стержнями. Это судно демонстрировалось на Всемирной выставке в Париже в 1855 г.

Практически одновременно с Монье в 1861 г. еще один француз инженер Ф. Куанье изложил основные положения строительства из армированного бетона и разработал проекты различных конструкций – балок, сводов, труб и т. д., что вместе с изделиями Монье было представлено на другой Всемирной выставке, состоявшейся в 1867 г. В том же 1867 г. Ж. Монье взял свой первый патент на производство переносных сосудов из цементного раствора с металлической арматурой.

В России железобетон стал применяться с 1886 г. Для развития железобетона в России большую роль сыграли опыты Н. А. Болелюбского, испытывавшего в 1891 г. серии различных железобетонных конструкций – плит, сводов, резервуаров, труб и т. д.

Первоначально бетон благодаря своей плотности и водонепроницаемости, с одной стороны, и щелочной реакции цементного камня в бетоне – с другой, защищает сталь от коррозии. Кроме того, бетон как сравнительно плохой проводник теплоты защищает сталь от сильного нагревания при пожарах. Стальные конструкции при пожаре быстро нагреваются, сталь размягчается и вся конструкция начинает деформироваться даже под собственным весом. В железобетонных конструкциях стальная арматура защищена от огня слоем бетона. Так, опыты показали, что при температуре поверхности бетона 1000 °С арматура, находящаяся на глубине 50 мм, через 2 ч нагревается лишь до 500 °С.

Железобетонные конструкции изготавливаются как с обычной, так и с предварительно напряженной арматурой. Обычный способ армирования (укладка стальных стержней в растянутую зону) не предохра-

няет конструкцию от появления в ней трещин, так как бетон обладает весьма незначительной растяжимостью. В эти трещины проникают влага и газы, которые вызывают коррозию арматуры; кроме того, с появлением трещин увеличивается прогиб конструкции. Значит, растянутую зону нужно сжать. Это достигается предварительным напряжением арматуры. Ее растягивают на специальных машинах, а затем укладывают в бетонную смесь. Стержни сжимаются, а вместе с ними за счет сцепления сжимается и бетон.

По способу изготовления различают два вида предварительно напряженных конструкций. В первом случае арматуру растягивают до бетонирования, а после укладки бетона в форму и его затвердения освобождают от напряжения, и она, сокращаясь, сжимает окружающий ее бетон. Во втором случае растяжение арматуры производят после затвердения бетона. При этом ее располагают в стальных каналах в теле бетона, натягивают и закрепляют по концам анкерными устройствами. Затем каналы заполняют раствором для предупреждения коррозии стали.

По способу армирования их делят на *бетонные* (неармированные стальной арматурой) и *железобетонные* (армированные). Железобетонные конструкции, в свою очередь, подразделяют на предварительно напряженные и с обычным армированием.

По способу выполнения железобетонные конструкции могут быть *сборными* – из элементов заводского или полигонного изготовления – и *монолитными*, возводимыми непосредственно на месте строительства.

По виду бетона различают конструкции из обыкновенного (тяжелого) бетона, из которого изготавливают несущие конструкции (колонны, балки), воспринимающие в процессе эксплуатации значительные нагрузки, и из легкого бетона, из которого делают, как правило, ограждающие конструкции (стенные панели, панели перекрытий), так как он обладает хорошими тепло- и звукоизоляционными качествами.

Наряду с достоинствами железобетонные конструкции обладают и недостатками – они имеют значительную массу. Это в первую очередь относится к крупноразмерным элементам покрытий больших пролетов (фермы пролетом 24 м и более, настилы длиной более 6 м и др.). Высокой еще остается себестоимость изделий на заводах сборного железобетона, значительны транспортные расходы. Все это снижает общую технико-экономическую эффективность строительства из сборных железобетонных изделий.

7.2. Материалы для железобетона

Для железобетонных конструкций применяют обычный бетон.

Арматура – это стальные стержни, проволока, канаты или прокатные профили, закладываемые в бетон для получения железобетонных конструкций необходимой прочности, жесткости, трещиностойкости.

По своему назначению в бетоне арматура подразделяется на рабочую и монтажную. Рабочая арматура воспринимает нагрузки, монтажная необходима для обеспечения правильного расположения рабочей арматуры.

Для изготовления конструкций используются арматурные изделия в виде сварных каркасов и сеток. Эти изделия изготавливаются обычно заводским способом с помощью контактной точечной электросварки. Закладные детали предназначены для соединения железобетонных элементов между собой.

7.3. Производство железобетонных изделий

Производство железобетонных изделий включает в себя четыре основные операции: приготовление бетонной смеси, изготовление арматуры, формование и твердение (температурно-влажностная обработка).

Основные способы производства. По характеру технологического процесса различают следующие способы производства: поточно-конвейерный, поточно-агрегатный и стендовый.

7.4. Сборные бетонные и железобетонные конструкции и изделия, используемые в строительстве

Номенклатура сборных бетонных изделий весьма незначительна, так как бетон хорошо работает только на сжимающие усилия, а практически большинство элементов зданий и сооружений воспринимает в основном растягивающие усилия.

Трубы дренажные из грантосиликатобетона изготавливают из смеси местного грунта (песка, супеси, суглинка), молотого шлака и щелочного компонента. Длина труб – 333 мм, внутренний диаметр – 50, 75, 100 и 150 мм, толщина стенки – 10, 15 и 20 мм. Они обладают большой несущей способностью, морозостойкостью, стойкостью к агрессивным средам. Применяют их при строительстве закрытых дренажных осушителей.

Трубы дренажные из фильтрационного бетона изготавливают способом послойного прессования. Длина труб – 500, 600 и 900 мм, внутренний диаметр – 100, 150 и 200 мм, толщина стенки – 25, 30 и 40 мм. Предназначены они для устройства закрытого дренажа.

Трубы дренажные из пористого бетона изготавливают методом вибропрессования на специальных станках. Длина труб – 500 мм, внутренний диаметр – 50 мм, толщина стенки – 25 мм. Применяют их в гидромелиоративном строительстве и при устройстве производственного дренажа.

Трубофильтры из крупнопористого керамзитобетона изготавливают методом виброформования. Длина труб – 500 и 825 мм, внутренний диаметр – 50 и 150 мм, толщина стенки – 25 и 50 мм. Применяют их в гидромелиоративном, сельскохозяйственном и промышленно-гражданском строительстве.

Тетраэдры фигурные в виде бетонных блоков изготавливают из гидротехнического бетона марок не ниже 300, Мрз75, Мрз200, В4. Предназначаются они для возведения берегозащитных и оградительных сооружений.

Блоки для фундаментов и стен подвалов изготавливают сплошными или с пустотами.

Блоки наружных стен изготавливают из керамзитобетона, шлако-керамзитобетона и т. д. марки 75 или 100. Бортовой камень изготавливают из мелкозернистого бетона. Предназначен он для отделения проезжей части от тротуаров или газонов, а также для декоративного оформления улиц.

Безнапорные трубы изготавливают способами центрифугирования (диаметр – 400–1500 мм) и вертикального виброформования (диаметр – 400–3500 мм).

Низконапорные трубы формуют по технологии формирования безнапорных труб. Раструбные напорные трубы по расчетному давлению подразделяют на три класса:

I – на давление 1,5 МПа;

II – на давление 1,0 МПа;

III – на давление 0,5 МПа.

Напорные трубы со стальным сердечником выпускают длиной $L = 5000$ и 10000 мм с внутренним диаметром 250, 300, 400, 500, 600 и 800 мм. Они предназначены для строительства напорных трубопроводов закрытых оросительных систем с давлением 1,0 и 1,5 МПа. Конструкция трубы выполнена из сварного стального сердечника (цилин-

дра), соединительных колец (калиброванных), внутреннего покрытия из мелкозернистого гидротехнического бетона (уплотняют центрифугированием), напряженной стальной арматуры, навитой на сердечник, и наружного покрытия из мелкозернистого бетона (наносят торкретированием).

Кольца для шахтных **колодцев** изготавливают из обычного (КШ10-2) и пористого (КШ10-2П) бетона. Они предназначены для крепления водоприемной части шахтного колодца.

Плиты ленточных фундаментов изготавливают двух типов – основные и доборные из бетона марки 150. Высота плит $h = 300$ мм, длина $l = 780, 1180$ и 2380 мм. Плиты армированы сварными сетками из горячекатанной арматурной стали периодического профиля.

Фундаментные башмаки изготавливают различных форм и размеров. При строительстве одноэтажных производственных зданий с полным и неполным железобетонным каркасом обычно используют железобетонные фундаментные башмаки (стаканы) высотой $h = 500, 550, 600\text{--}800, 1500\text{--}4200$ мм. Марка бетона 150. Для колонн сечением 400×400 мм выпускают железобетонные стаканы марок Ф-13, БК-14, Ф-17 и Ф-20, где цифра обозначает размер сторон их подошвы в дециметрах.

Фундаментные балки используют при возведении насосных станций сельскохозяйственных, промышленных и других зданий с типовыми железобетонными колоннами. Применяют их под самонесущими кирпичными и блочными стенами, самонесущими и навесными панельными стенами и несущими стенами одноэтажных зданий. Они рассчитаны на нагрузку от сплошных стен высотой до 15 м.

Колонны для промышленных и сельскохозяйственных производственных зданий выпускают различной высоты и сечения. Но колонны могут опираться как железобетонные, так и стальные балки или фермы. Они рассчитаны на вертикальную нагрузку от собственного веса, веса покрытий, навесных стен, снега, подвесного транспорта, подвесных опорных кранов, подвесных потолков, коммуникаций, а также на ветровые и сейсмические воздействия. Колонны для сельскохозяйственных промышленных зданий без мостовых кранов имеют постоянное по высоте сечение.

Плиты покрытий (предварительно-напряженные) выпускают длиной 6000 и 12000 мм, шириной 1500 и 3000 мм, высотой 300 и 450 мм. Они имеют продольные и поперечные железобетонные ребра жесткости. По концам плит предусмотрены закладные детали для крепления плит к балкам покрытия и между собой.

7.5. Контроль качества железобетонных изделий

Требования предъявляют к прочности, жесткости и трещиностойкости конструкций; к бетону конструкций и изделий; к арматуре и закладным изделиям; к точности изготовления; к качеству поверхности и внешнему виду.

В проектах или технических условиях указаны конкретные требования, которые зависят от назначения и условий эксплуатации конструкций и изделий. Например, к бетону предъявляют требования по прочности, влажности, морозостойкости, водонепроницаемости, водопоглощению, теплопроводности.

7.6. Приемка, маркировка, хранение и транспортирование готовых сборных бетонных и железобетонных конструкций и изделий

При входном контроле проверяют качество поставляемых промышленностью материалов, используемых для приготовления бетона; арматурных и закладных изделий; поставляемых в готовом виде закладных и арматурных изделий; комплектующих деталей; отделочных; изоляционных и других материалов.

Операционный контроль устанавливает соответствие фактической технологии изготовления конструкций и изделий проектной.

Порядок проведения и состав входного и операционного контроля установлены в технологических указаниях на изготовление конструкций.

Приемочный контроль состоит из периодических испытаний и приемосдаточных испытаний и контроля.

После приемки конструкции или изделия маркируют. Маркировочные надписи подразделяют на основные, содержащие марку изделия, товарный знак или наименование выпускавшего его предприятия, штамп технического контроля, и информационные, в которых приведены дата изготовления и масса изделия (если она свыше 0,5 т).

Кроме того, на изделие наносят маркировочные знаки и монтажные знаки. Последние указывают место строповки, верх и место опирания изделия, а также установочные риски, необходимые для ориентации изделия при его монтаже.

Конструкции и изделия после их изготовления, а также на строительной площадке хранят на специально оборудованных складах рас-

сортированными по видам и маркам. Склады оборудуют специальными устройствами и кассетами. Подкладки, устанавливаемые под точки опирания, изготовляют из древесины.

Складируют изделия так, чтобы были видны маркировочные надписи.

При перевозке изделия устанавливают так же, как во время хранения. Их можно строповать только в местах, указанных маркировочными знаками. Запрещается разгружать изделия со свободным их падением и перемещением по горизонтали волоком.

8. ИСКУССТВЕННЫЕ КАМЕННЫЕ НЕОБЖИГОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ

В группу материалов и изделий на основе неорганических вяжущих входят искусственные каменные необжиговые изделия, которые получают из растворных или бетонных смесей на основе различных видов вяжущих веществ.

В качестве заполнителей применяют кварцевый песок, пемзу, шлак, золу, древесные опилки. Для повышения прочности изделий на изгиб их армируют, используя для этой цели волокнистые материалы – асбест, древесину (в виде шерсти, дробленых отходов), бумажную макулатуру, листовую бумагу и др.

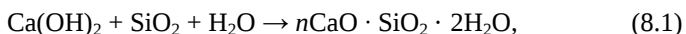
Искусственные каменные изделия можно разделить на следующие три группы по виду минерального вяжущего:

- 1) силикатные, получаемые на основе извести с кремнеземистыми заполнителями;
- 2) асбестоцементные, изготавливаемые на основе портландцемента с добавкой асбеста;
- 3) гипсовые и гипсобетонные.

В отличие от керамических такие материалы получают при сравнительно низких температурах. Так, температура изготовления силикатного кирпича 170–180 °С, а время термообработки – 10–14 ч, в то время как керамический кирпич обжигают при 900–1100 °С в течение 24–30 ч. Таким образом, затраты топлива на производство силикатного кирпича гораздо меньше, чем при производстве керамического. Другие виды без обжиговых каменных материалов требуют еще меньших затрат топлива. Однако, как правило, керамические материалы более долговечны и стойки к действию воды, агрессивных растворов и высоких температур.

8.1. Изделия автоклавного твердения на основе извести и кремнеземистого компонента

Сущность превращения известково-песчаной смеси из легко размокающего и мало прочного материала в прочный и водостойкий камень заключается в следующем. При естественных условиях песок в известково-песчаных смесях инертен и не способен химически взаимодействовать с известью. Поэтому приобретение прочности известково-песчаных растворов в естественных условиях достигается только за счет твердения извести. Однако в среде насыщенного пара (100%-ной влажности) при температуре 170 °С и выше кремнезем песка приобретает химическую активность и начинает взаимодействовать с известью по реакции



образуя гидросиликат кальция – прочное и водостойкое вещество. Свойства бетонов из известково-песчаных смесей близки к свойствам цементных бетонов, но для изготовления требуется меньше вяжущего, можно шире использовать местные материалы, стоимость изделий из этих бетонов ниже.

Из известково-песчаных смесей выпускают крупноразмерные изделия для сборного строительства – штучные изделия – силикатный кирпич и камни для стен, силикатные бетоны, а также блоки и панели для стен и перекрытий.

Силикатный кирпич – искусственный безобжиговый стеновой материал, изготавливаемый из смеси кварцевого песка и гашеной извести прессованием с последующим затвердеванием в автоклаве под действием пара высокого давления и температуры.

Современное производство силикатного кирпича состоит в следующем. Сырьевую смесь, в состав которой входит 90–95 % песка, 5–10 % молотой негашеной извести и некоторое количество воды, тщательно перемешивают и выдерживают до полного гашения извести. Затем из этой смеси под большим давлением (15–20 МПа) прессуют кирпич, который укладывают на вагонетки и направляют по рельсам для твердения в автоклавы.

Выпускают одинарный (250×120×65 мм), утолщенный и модульный силикатный кирпич (250×120×88, 250×120×103 мм) и силикатные камни (250×120×138 мм). Одинарный кирпич может быть полнотелым и пустотелым, утолщенный; утолщенный и модульный кирпич и силикатные камни выпускают только пустотелыми.

Цвет кирпича – от молочно-белого до светло-серого, выпускают также кирпич цветной, окрашенный в массу или по лицевым поверхностям щелочестойкими пигментами в голубой, зеленоватый, желтый и другие светлые цвета.

Для силикатного кирпича и камней установлены марки: в зависимости от предела прочности при сжатии – 300, 250, 200, 150, 125, 100 и 75; морозостойкости – 50, 35, 25 и 15.

Наряду с рядовыми изготавливают лицевые силикатный кирпич и камни марок по прочности соответственно не менее 125 и 100 МПа.

Силикатный кирпич применяют наравне с керамическим для кладки стен надземных частей зданий. Вследствие недостаточной водостойкости его нельзя использовать для фундаментов и цоколей зданий ниже гидроизоляционного слоя. Не допускается применять его также для зданий с мокрым режимом эксплуатации (бани, прачечные) без специальных мер защиты стен от увлажнения, а также в условиях воздействия высоких температур (кладка печей, труб и т. п.).

По технико-экономическим показателям силикатный кирпич превосходит глиняный – на его производство требуется в 2 раза меньше топлива, в 3 раза меньше электроэнергии, примерно в 2,5 раза меньше трудоемкость его производства. Себестоимость силикатного кирпича на 25–35 % ниже, чем керамического.

Ячеистые силикатные материалы делятся на *пено-* и *газосиликаты*. В пеносиликатных изделиях ячеистая структура образуется механическим путем в результате взбивания водного раствора пенообразователя (клееканифольный, смолосапониновый, гидролизованная кровь и др.), а в газосиликатных – химическим, т. е. смешиванием известково-песчаной смеси с газообразователем (пергидроль, алюминиевая пудра и др.).

Для изготовления ячеистых силикатных материалов пластичный известково-песчаный раствор (известки вводят 15–25 %) смешивают с устойчивой пеной в пенобетономешалках, а затем полученную смесь разливают по формам, которые после некоторой выдержки транспортируют в автоклавы для запаривания.

Из пено- и газосиликата изготавливают блоки для кладки стен, а также армированные панели для стен перекрытий и покрытий зданий. Преимущество этих конструкций состоит в том, что они обладают хорошими теплоизоляционными качествами.

Стеновые мелкие газосиликатные блоки (из ячеистых бетонов) – искусственный материал с равномерно распределенными порами. Изготовление их аналогично силикатному кирпичу, но с добавлением

пенообразователя (алюминиевой пудры). Предназначаются для кладки наружных и внутренних стен (за исключением помещений с повышенной влажностью).

Размер блоков – 600×300×200 мм, марка их – 25, 35, 50, морозостойкость – не менее 25 циклов. Масса блока – 21–23,7 кг. Он хорошо пилится, обрабатывается топором.

8.2. Асбестоцементные изделия

Асбестоцемент – искусственный каменный материал, состоящий из цементного камня, армированного волокнами асбеста. К наиболее распространенным асбестоцементным изделиям относятся волнистые и плоские листы, трубы и соединительные муфты.

Асбестоцементные изделия сравнительно легко поддаются механической обработке, они значительно легче металла, бетона и железобетона. Средняя плотность асбестоцемента – 1400–2100 кг/м³, предел прочности при сжатии – 40–60 МПа, растяжении – 8–15 МПа. Водопоглощение составляет 10–30 %. Недостатки асбестоцементных изделий – невысокая ударная прочность и склонность к короблению.

В ассортименте выпускаемой асбестоцементной продукции за последние годы произошли значительные изменения, связанные с резким увеличением доли крупноразмерных листов для кровель и стеновых ограждений.

Промышленность выпускает несколько видов асбестоцементных изделий, которые можно разделить на листовые (листы плоские и волнистые) и трубные. На основе листовых материалов получают асбестоцементные конструкции.

8.3. Гипсовые и гипсобетонные изделия

Изделия на основе гипса получают как из гипсового теста (т. е. из смеси гипса и воды), так и из смеси гипса, воды и заполнителей. В первом случае изделия называют *гипсовыми*, а во втором – *гипсобетонными*.

Гипсовые и гипсобетонные изделия при сравнительно небольшой средней плотности обладают достаточно высокой прочностью, низким коэффициентом теплопроводности и высокими звукоизоляционными свойствами, что позволяет применять их для строительных нужд. Кроме того, изделия на основе гипса хорошо поддаются механической обработке и легко окрашиваются. Гипс быстро твердеет и плотно за-

полняет форму, так как не имеет усадочных деформаций. Вместе с тем изделия на основе гипса имеют низкую водостойкость, при увлажнении их прочность снижается. Поэтому они могут применяться только в сухих условиях в помещениях с влажностью воздуха менее 60 %. Для повышения водостойкости гипсовые изделия покрывают водонепроницаемыми красками. Достаточно водостойкие изделия получают при использовании гипсоцементно-пуццоланового вяжущего.

В качестве заполнителей при изготовлении гипсобетонных используют кварцевый песок, пористые заполнители (керамзит, шлаковую пемзу), опилки, стружки, стебли камыша, льняную костру, макулатуру и т. п.

Стальная арматура в них разрушается, поэтому ее надо надежно защищать – покрывать битумным лаком. Для уменьшения плотности к гипсовым смесям добавляют вспенивающие вещества.

Гипс – воздушное вяжущее, поэтому гипсовые и гипсобетонные изделия применяют в основном для внутренних частей зданий, не несущих больших нагрузок. Изделия из гипса могут быть сплошными и пустотелыми, армированными и неармированными.

Наибольшее распространение в строительстве получили гипсобетон, мелкие стеновые камни, плиты и панели для перегородок, гипсобетонные листы (сухая штукатурка) и гипсоволокнистые листы.

9. КОАГУЛЯЦИОННЫЕ (ОРГАНИЧЕСКИЕ) ВЯЖУЩИЕ МАТЕРИАЛЫ, РАСТВОРЫ И БЕТОНЫ НА ИХ ОСНОВЕ

9.1. Общие сведения

К органическим вяжущим веществам относятся битумные и дегтевые материалы, которые обладают следующими ценными свойствами: водонепроницаемостью; стойкостью против действия агрессивных жидкостей, щелочей и кислот; способностью понижать вязкость при нагреве и снова ее восстанавливать при последующем охлаждении; а также прочно сцепляться с разными материалами – деревом, бетоном, камнем и др.

Битумные и дегтевые вяжущие являются гидрофобными материалами, несмачиваемыми и нерастворимыми в воде. Химическая инертность к водным растворам минеральных солей и кислот позволяет широко применять их для антикоррозионной защиты. Агрессивное действие на эти материалы оказывают концентрированные щелочи и кислоты, обладающие высокой окислительной способностью.

Битумы и дегти хорошо растворяются в органических растворителях (дихлорэтаноле, бензоле, хлороформе, уайтспирите). На основе битумных и дегтевых вяжущих изготавливают разнообразные материалы: эмульсии, паты, асфальтовые мастики, растворы и бетоны, рулонные и штучные изделия.

9.2. Битумные вяжущие

Битумами называют сложные смеси углеводородов и неметаллических производных, встречающиеся в природном виде или получаемые в результате переработки нефти, сланцев.

По совокупности свойств битумы представляют собой смолистые вещества вязкожидкой или твердой консистенции, полностью или частично растворяющиеся в сероуглероде, плавящиеся при нагревании, обладающие пластичными вяжущими свойствами.

По исходному сырью битумы подразделяют на природные, нефтяные и сланцевые. Битумы перевозят в деревянных бочках, бидонах, фанерных или металлофанерных барабанах, бумажных мешках, иногда навалом в виде отформованных плит. Транспортируют эти материалы к месту применения в железнодорожных цистернах, оборудованных подогревательными устройствами, или на платформах. Нефтяные битумы следует хранить в специальных складах или под навесом, защищая их от действия солнечных лучей и атмосферных осадков.

9.3. Дегтевые вяжущие

К этой группе материалов относят побочные продукты (дегты, масла и пеки), получаемые при переработке каменного и бурого углей, торфа, горных сланцев, древесины.

9.4. Асфальтовые и дегтевые бетоны и растворы

Асфальтовый бетон (асфальтобетон) – искусственный строительный материал, получаемый в результате отвердевания уплотненной асфальтобетонной массы, состоящей из рационально подобранных по качеству и тщательно перемешанных компонентов: щебня (гравия), песка, минерального порошка и битума. Асфальтобетон без крупного заполнителя (щебня) называют песчаным асфальтом или асфальтовым раствором.

К основным классификационным признакам асфальтобетонов от-

носятся разновидность крупного заполнителя, вязкость битумов, размеры зерен щебня или гравия, структурные параметры, производственное назначение и др.

В зависимости от вида крупного заполнителя асфальтобетоны разделяют:

- щебеночные, состоящие из щебня, песка, минерального порошка и битума;
- гравийные, в состав которых входят гравий, песок или гравийно-песчаный материал, минеральный порошок и битум;
- песчаные – асфальтобетоны, в которых отсутствует крупный заполнитель (щебень или гравий).

По вязкости применяемого битума и по температуре укладки асфальтобетонной массы в конструктивный слой они подразделяются на горячие, теплые и холодные.

9.5. Гидротехнические асфальтобетоны и растворы

В отличие от обычного дорожного гидротехнический асфальтобетон должен иметь повышенную водонепроницаемость, водоустойчивость, теплоустойчивость, химическую стойкость, эластичность. Содержание битума и минерального порошка в нем на 1–2 % больше, чем в дорожном.

9.6. Гидроизоляционные и кровельные материалы на основе коагуляционных и полимерных вяжущих веществ

9.6.1. Общие сведения

Один из важных вопросов в строительстве – защита зданий и сооружений от воздействия атмосферных осадков, окружающей влажной среды, напорных и безнапорных вод и др. Во всех этих случаях основную роль играют гидроизоляционные и кровельные материалы, которые определяют долговечность зданий и сооружений. Гидроизоляционные и кровельные материалы подразделяют на эмульсии, пасты, мастики, эластичные герметизирующие прокладки, рулонные, листовые, плиточные и пленочные материалы. В зависимости от входящих в состав гидроизоляционных и кровельных материалов вяжущих их подразделяют на битумные, дегтевые, гудрокамовые, дегтебитумные, битумно-резиновые, полимерные, полимерно-битумные и т. п.

Битумные и дегтевые рулонные гидроизоляционные и кровельные материалы представляют собой тонколистовой (не более 5 мм толщины) материал, поставляемый на стройку в рулонах. Преимущество рулонных материалов – простота устройства из них кровельных или гидроизоляционных покрытий любой конфигурации. Тонкое легкое и эластичное покрытие из рулонных материалов обладает водонепроницаемостью, атмосферостойкостью и химической стойкостью.

По назначению рулонные материалы делятся:

- на кровельные, которые должны обладать стойкостью к воздействию дождя, солнечной радиации, замораживания и оттаивания;
- гидроизоляционные, которые помимо требований, предъявляемых к кровельным материалам, должны обладать повышенной водонепроницаемостью при гидростатическом напоре, гнилостойкостью и стойкостью к действию жидких коррозионных сред; светостойкость для них необязательна.

9.6.2. Битумные и дегтевые эмульсии и пасты

Эмульсии – дисперсные системы, состоящие из двух не смешивающихся между собой жидкостей, одна из которых находится в другой в мелкораздробленном состоянии. Их используют в качестве грунтовок и покрытий, наносят в холодном состоянии на сухую или сырую поверхность послойно.

Пасты готовят из смеси эмульгированного битума и тонкомолотых минеральных порошков (негашеной или гашеной извести, высокопластичных или пластичных глин, трепела и др.). Применяют их в качестве грунтовок и покрытий для внутренних слоев гидроизоляционного ковра или в качестве вяжущего для изготовления холодных мастик и др.

9.6.3. Кровельные и гидроизоляционные мастики

Мастиками называют пластичные искусственные смеси органических вяжущих веществ с минеральными наполнителями и добавками. В зависимости от исходного вяжущего мастики разделяют на битумные, битумно-резиновые, дегтевые и др. По способу приготовления и применения мастики бывают горячие и холодные. По назначению мастики делят на кровельные, кровельно-гидроизоляционные и гидроизоляционные асфальтовые.

9.6.4. Герметизирующие материалы

Герметики используют также для уплотнения стыков в конструкциях с использованием стекла (конструкции с профильным стеклом, конструкции теплиц и т. п.).

В зависимости от агрегатного состояния в момент применения различают герметизирующие мастики и эластичные пористые прокладки. Герметизирующие мастики, в свою очередь, могут быть твердеющие и нетвердеющие.

9.6.5. Гидроизоляционные материалы

Гидроизоляционные материалы служат для изоляции сооружений или их частей от проникания влаги из окружающей среды. Они должны обладать высокой степенью водонепроницаемости, не разрушаться во внешней среде, быть достаточно гибкими, иметь высокую деформативность (не давать трещин и разрывов при температурноусадочных деформациях изолируемой конструкции) и др. В качестве гидроизоляционных материалов используют гидроизол, изол, бризол, фольгоизол, металлоизол, стеклоизол и др.

9.6.6. Рулонные кровельные материалы

Рулонные кровельные материалы изготавливают из специального картона или стекловолокна путем пропитки его органическими вяжущими веществами с последующим нанесением с одной или двух сторон тугоплавких нефтяных или дегтевых вяжущих с наполнителем и посыпки.

Выпускают в виде рулонов различной ширины, длиной 10–30 м. В современном строительстве широко применяют кровельные рулонные материалы. При наклеивании их в 3–5 слоев на кровле создается монолитный водонепроницаемый кровельный ковер. Они легки, обеспечивают возможность устраивать кровлю с малым уклоном, обладают способностью сопротивляться химическим воздействиям, например, при использовании на химических и металлургических предприятиях. Кроме того, при устройстве кровли из рулонных материалов значительно сокращается расход материала (листовой стали) в строительстве при одновременном снижении эксплуатационных расходов по сравнению с расходами на эксплуатацию стальных кровель. Однако на ряду с положительными свойствами рассматриваемые материалы

имеют и существенные недостатки: они недолговечны, легковозгораемы, при устройстве из них кровли требуется сплошная орешетка.

По виду пропитки рулонные кровельные материалы делят на битумные, дегтевые, дегтебитумные, гидрокамовые и др.

9.6.7. Хранение гидроизоляционных и кровельных материалов

Гидроизоляционные и кровельные материалы на основе коагуляционных вяжущих стареют под влиянием солнечного света, различных окислителей и других воздействий, поэтому срок их хранения ограничен. Рубероид, пергамин, толь, гидроизол, изол, бризол и тому подобные материалы следует хранить в сухих закрытых неотапливаемых помещениях.

Кратковременное хранение рулонных материалов допустимо на открытых площадках или под навесом, но с защитой от солнечных лучей и атмосферных осадков. Рулонные гидроизоляционные и кровельные материалы хранят в вертикальном положении (стоя), за исключением изола и бризола, которые следует хранить в горизонтальном положении. В условиях зимы перед использованием рулонные материалы необходимо предварительно отогреть в теплом помещении с температурой не ниже 10 °С. Гидроизоляционные и кровельные эмульсии, пасты и мастики хранят в закрытых складах или под навесом в рассортированном виде в специальных упаковках (бочках, бидонах, барабанах, мешках).

10. МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ИЗ ПОЛИМЕРОВ И ПЛАСТИЧЕСКИХ МАСС

10.1. Общие сведения о полимерах, способы их получения и виды

Полимеры представляют собой высокомолекулярные соединения (смолы), молекулы которых состоят из многократно повторяющихся структурных звеньев. По происхождению полимеры делят на природные и искусственные (синтетические).

По реакции **полимеризации** большое количество одинаковых молекул простых соединений (мономеров) соединяется в одну сложную молекулу (полимер) без выделения побочных продуктов. Полимеризацией получают полиэтилен, полипропилен, полиизобутилен и другие синтетические полимеры.

Простейшим примером полимеризации является реакция образования полиэтилена $(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$ из мономера этилена CH_2CH_2 .

При реакции **поликонденсации** из нескольких простых соединений образуется полимер, состав которого отличается от состава исходных продуктов. Процесс образования полимера сопровождается выделением побочных веществ (воды, аммиака и др.). Поликонденсацией получают фенолоформальдегидные, карбамидные, полиамидные, полиэфирные и другие синтетические полимеры.

В зависимости от поведения полимеров при нагревании и охлаждении их разделяют на термопластические и термореактивные.

10.2. Состав и свойства пластических масс

На основе искусственных и природных высокомолекулярных соединений (полимеров) готовят пластические массы, характерной особенностью которых является способность в процессе переработки принимать заданную форму и устойчиво сохранять ее.

Строительные материалы и изделия из пластических масс изготавливают различными способами, выбор которых зависит от состава, свойств полимерного материала и вида изделия.

Однако наряду с достоинствами пластмассам присущи и некоторые недостатки, ограничивающие область их применения. Основным недостатком многих пластмасс — низкая теплостойкость (70–200 °С). По сравнению со стеклом, керамикой и металлом пластмассы имеют малую поверхностную твердость. Пластмассы обладают и повышенной ползучестью: в них со временем даже при небольшой нагрузке развивается пластическое течение гораздо в большей степени, чем это происходит в бетонах и металлах. Существенным недостатком некоторых пластмасс является старение, которое выражается в потемнении поверхности и самопроизвольном разрушении изделий.

10.3. Принципы изготовления изделий из полимеров и пластмасс

Изделия из полимеров и пластмасс изготавливают методом литья под давлением, непрерывным профильным выдавливанием (экструзия), переработкой на вальцах с последующим каландрированием и др.

10.4. Конструкционные и отделочные материалы

Полимерные строительные материалы, обладающие высокой прочностью, малой плотностью, стойкостью к действию кислот и щелочей,

а также высокими декоративными свойствами, широко применяют в качестве конструкционных и отделочных материалов. Причем одни из них, например стеклопластики и древесностружечные плиты, являются конструкционно-отделочными материалами, а другие, к примеру полистирольные облицовочные плитки, – только отделочными.

Конструкционные материалы. В качестве конструкционных материалов применяют главным образом следующие армированные пластмассы: стеклопластики, древесно-слоистые пластики, сотовпласты, а также органическое стекло, винипласт листовой.

Отделочные материалы – наиболее обширная группа полимерных материалов: листовых, плиточных, рулонных, профильно-погонажных и др.

Для внутренней отделки стен зданий целесообразно применять крупноразмерные листовые материалы на основе полимеров, сочетающие функции отделки, тепло- и звукоизоляции, обладающие высокими эксплуатационными и декоративными качествами. Кроме того, эти материалы не требуют специальной подготовки поверхности под облицовку, что, в свою очередь, снижает трудоемкость отделочных работ и сокращает сроки строительства. К листовым отделочным материалам относят декоративные бумажнослоистые пластики, отделочные древесноволокнистые и древесностружечные плиты и др.

К рулонным отделочным материалам, широко применяемым в строительстве, относят декоративные поливинилхлоридные пленки и линкруст.

10.5. Материалы для полов

Среди различных видов материалов полимерные в наибольшей степени отвечают всем требованиям, предъявляемым к покрытиям полов. Гигиеничны и технологичны, затраты времени и труда на устройство покрытия пола из полимерных материалов значительно (в 5–10 раз) ниже, чем из традиционных материалов (паркет, доски).

Для полов применяют материалы (рулонные и плиточные), а также мастики для устройства бесшовных покрытий полов. В жилищном строительстве широко распространены рулонные и плиточные материалы. Мастичные покрытия предназначены в основном для устройства полов в условиях коррозионных воздействий (предприятия химической и пищевой промышленности, животноводческие помещения) или интенсивного износа (металлообрабатывающие предприятия, магазины, спортивные залы).

Рулонные материалы для полов – это разнообразные виды линолеума.

Мастичные бесшовные покрытия. В мастичные составы входят жидкий полимер, наполнители и пигменты. Составы должны иметь консистенцию сметаны. Наносят их на основание пола слоем 0,5–1 см. После затвердевания (обычно 1–3 суток) образуется сплошное бесшовное покрытие. Такие покрытия отличаются достаточной химической стойкостью, износостойкостью и хорошим сопротивлением ударным нагрузкам.

10.6. Трубы, санитарно-технические и погонажные изделия

Пластмассовые трубы получают методом непрерывной шнековой экструзии из полиэтилена, поливинилхлорида и других полимерных материалов. Пластические массы являются хорошим материалом для изготовления самых различных санитарно-технических изделий и приборов – умывальников, раковин, унитазов, смывных бачков, ванн, сифонов, смесителей, вентиляционных решеток и т. п. В зависимости от вида изделий и условий их эксплуатации они могут быть либо полностью пластмассовыми, либо с частичным применением металлов. Методы изготовления санитарно-технических изделий различны и зависят от массы и размеров изделия.

К изделиям и деталям оборудования из пластических масс относят оконные и дверные ручки, оконные жалюзи и др. Кроме того, из пластических масс изготавливают в большом ассортименте различные электроустановочные приборы.

К погонажным строительным изделиям, изготавливаемым на основе полимеров, относят плинтусы, поручни для лестниц, балконов и других ограждений, накладки на проступи лестничных маршей, порожки, раскладки для крепления и обработки швов листовых и рулонных облицовочных материалов, рейки для облицовки стен, наличники дверные и оконные, герметизирующие и уплотняющие прокладки для окон, дверей и стыков в крупнопанельных зданиях.

10.7. Применение полимеров в бетонах и растворах

Полимерцементные материалы получают, добавляя полимер непосредственно в бетонную или растворную смесь. В качестве полимерной добавки используют водорастворимые смолы, водные дисперсии полимеров и жидкие водонерастворимые термореактивные олигомеры (смолы); последние вводят в бетонную смесь с помощью эмульгаторов.

ров. Количество полимерной добавки – от 1 до 30 % от массы цемента в зависимости от вида полимера и целей модификации бетона или раствора. Наибольшее распространение получили полимерцементные растворы и бетоны с добавкой водных дисперсий полимеров (например, поливинилацетатной и акриловой дисперсии, латексов синтетических каучуков). Полимерные добавки используют также для модификации гипсовых материалов.

Полимерцементные растворы и бетоны отличаются высокой адгезией к большинству строительных материалов, низкой проницаемостью для жидкостей, высокой износостойкостью и ударной прочностью.

Применяют полимерцементные материалы для покрытия полов промышленных зданий, взлетных полос аэродромов, для наружной отделки по кирпичным и бетонным поверхностям, устройства резервуаров для воды и нефтепродуктов.

10.8. Полимерные материалы и изделия в строительстве

При строительстве закрытого дренажа на орошаемых и осушаемых землях широко используют полиэтиленовые гладкостенные и гофрированные перфорированные трубы.

Следует отметить, что гладкие дренажные трубы обладают меньшим гидравлическим эффектом, их производство проще, но укладка более трудоемка. Гибкие (гофрированные) трубы отличаются повышенной упругостью и меньшей массой, поэтому они представляют одно из самых массовых полимерных изделий, используемых в мелиорации. Дренажные гофрированные трубы должны отвечать следующим требованиям: противостоять в течение длительного времени воздействию грунта, обеспечить высокопроизводительную укладку в грунт, иметь достаточно развитую водоотводящую поверхность.

Для защиты дренажа от заиливания, а также обеспечения интенсивности поступления воды в дрены на весь период эксплуатации наряду с традиционными материалами (гравием, керамзитом, торфом, мхом, соломой и т. п.) широкое распространение получили рулонные защитно-фильтрующие материалы (ЗФМ) из синтетических волокон (полиэтилена, полипропилена, полиамида, полиэфира), а именно полотна нетканые: иглопробивное, клееное, каркасное. Каждый из этих материалов имеет недостатки. Так, например, полотно иглопробивное обладает низкой прочностью, что препятствует его механизированной укладке.

11. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

11.1. Общий характер строения теплоизоляционных материалов и основные требования к ним

К **тепловым** относятся материалы, имеющие пористое строение и предназначенные для тепловой изоляции строительных конструкций зданий и сооружений, а также тепловых и холодильных установок и трубопроводов. Тепловая изоляция в промышленном и гражданском строительстве ведет к снижению массы ограждающих и несущих конструкций, уменьшению расхода основных материалов, сокращению затрат топлива и электроэнергии. В гидротехническом строительстве теплоизоляционные материалы находят применение для защиты бетонных и металлических трубопроводов от действия мороза, бетонных массивов от теплового удара, для изготовления бетона термосным методом, в качестве материалов для герметизации швов, прокладок и пр.

Высокопористое строение теплоизоляционных материалов способствует прониканию в них жидкостей, газов и паров, находящихся в окружающей среде, которые, взаимодействуя с материалом, разрушают его. Стойкость теплоизоляции повышают, применяя различные защитные покрытия. Органические теплоизоляционные материалы или содержащие в своем составе органические связующие вещества (крахмал, клей и т. п.) должны обладать биологической стойкостью. Так как жизнедеятельность различных микроорганизмов возможна во влажной среде, основным условием повышения биостойкости теплоизоляционных материалов является устранение причин, вызывающих их увлажнение, а также обработка материалов антисептиками.

11.2. Классификация теплоизоляционных материалов

Теплоизоляционные материалы в зависимости от назначения подразделяют на изоляционно-строительные, которые применяют для утепления строительных ограждений, и изоляционно-монтажные – для утепления трубопроводов и промышленного оборудования. Деление это условно, так как некоторые материалы используют как для изоляции строительных конструкций, так и для изоляции промышленных объектов.

Теплоизоляционные материалы классифицируют по следующим признакам:

форме и внешнему виду:

- штучные (плиты, блоки, кирпичи, цилиндры, полумиллиндры, сегменты); рулонные и шнуровые (маты, шнуры, жгуты);
- рыхлые и сыпучие (вата, перлитовый песок и др.);

структуре:

- волокнистые (минераловатные, стекловолокнистые и др.);
- зернистые (перлитовые, вермикулитовые);
- ячеистые (изделия из ячеистых бетонов, пеностекло, пенопласты, совелитовые и др.);

виду исходного сырья:

- неорганические и органические;

жесткости:

- мягкие (М) – сжимаемость выше 30 % при удельной нагрузке 0,002 МПа (минеральная и стеклянная вата, вата из каолинового и базальтового волокна, вата из супертонкого стекловолокна, маты и плиты из штапельного стекловолокна);
- полужесткие (П) – сжимаемость от 6 до 30 % при удельной нагрузке 0,002 МПа (плиты минераловатные и из штапельного стекловолокна на синтетическом связующем);
- жесткие (Ж) – сжимаемость до 6 % при удельной нагрузке 0,002 МПа (плиты из минеральной ваты на синтетическом или битумном связующем); повышенной жесткости (ПЖ) – сжимаемость до 10 % при удельной нагрузке 0,04 МПа (плиты минераловатные повышенной жесткости на синтетическом связующем);
- твердые (Т) – сжимаемость до 10 % при удельной нагрузке 0,1 МПа;

теплопроводности:

- класс А – низкой теплопроводности – теплопроводность при средней температуре 298 К (25 °С) до 0,06 Вт/(м·К);
- класс Б – средней теплопроводности – теплопроводность при средней температуре 298 К от 0,06 до 0,115 Вт/(м·К);
- класс В – повышенной теплопроводности – теплопроводность от 0,115 до 0,175 Вт/(м·К);

возгораемости:

- несгораемые, трудно сгораемые, сгораемые, трудно воспламеняющиеся (материалы из пластмасс).

11.3. Органические теплоизоляционные материалы

Органические теплоизоляционные материалы (древесноволокнистые, древесностружечные плиты, фибролит, арболит, камышитовые и

торфяные плиты, пластмассы и др.) обладают существенными недостатками. Они горючи, как правило, легко поглощают воду и обладают невысокой биостойкостью, что предопределяет их недолговечность. Однако благодаря большой сырьевой базе (в основном их получают из неделовой древесины, камыша, торфа и других местных материалов) и несложности изготовления их широко применяют в строительстве малоэтажных зданий.

Древесноволокнистые плиты получают измельчением неделовой древесины или других растительных материалов (камыш, костра, солома) в водной среде до получения волокнистой массы. Из этой массы сначала отливкой формируют, а затем сушат плиты. Таким образом получают мягкие изоляционные плиты. Если перед сушкой плиты уплотняют или высушивают под горячим прессом, получают полутвердые и твердые плиты меньшей толщины, но большей прочности.

Древесностружечные плиты получают горячим прессованием (плоским и экструзионным) специально приготовленной стружки с добавлением небольшого количества (8–10 %) мочевиноформальдегидной смолы. При плоском прессовании стружка лежит в плоскости плиты, а при экструзионном (осуществляется выдавливание массы через узкую щель, форма которой соответствует поперечному сечению плиты) – перпендикулярно плоскости плиты.

Фибролит выпускают в виде плит из специально приготовленной древесной стружки (так называемой «древесной шерсти») и теста из вяжущего вещества (обычного цемента). Древесную шерсть изготавливают из отходов древесины на древошерстных станках. Она имеет вид тонких ленточек длиной 400–500 и шириной 4–7 мм. В цементном фибролите древесная шерсть является арматурой.

Строительная пакля представляет собой спутанное волокно – отход при мятье и трепании льна.

Пакля должна быть мягкой с небольшим содержанием костры, без посторонних примесей, сухой, непрелой, без гнилостного запаха.

Непросмоленная пакля употребляется для конопатки бревенчатых стен, оконных и дверных колод, просмоленная – для уплотнения пазов гидротехнических сооружений и заделки растрескавшихся соединений труб.

Шевелин является простейшим теплоизоляционным материалом. Он изготавливается из льняной пакли, помещаемой между листами тонкого беспокровного толя.

Пробковые плиты – один из самых старых теплоизоляционных материалов – изготавливают из отходов пробкового производства. Отходы пробки измельчают, смешивают с раствором мязурового клея и прес-

суют в железных формах. После прессования плиты в формах сушат в течение трех суток в сушилке при температуре 80 °С. Можно изготовлять эти плиты и без клея, но с термической обработкой пробки.

Газонаполненные пластмассы – пористый (90–95 %) материал на основе синтетических полимеров. Плотность их не превышает 100 кг/м³, но может доходить до 10 кг/м³ (например, поропласт мипора). По характеру пористости и способу ее получения газонаполненные пластмассы делятся на пенопласты (мелкие замкнутые поры сферической формы), поропласты (сообщающиеся поры) и сотопласты (пористая структура представляет собой ячейки правильной геометрической формы).

11.4. Неорганические теплоизоляционные материалы

Основные положительные свойства неорганических теплоизоляционных материалов – огнестойкость и биостойкость – сочетаются с высокими теплоизоляционными качествами. Из неорганических теплоизоляционных материалов наиболее распространены минеральная вата и изделия из нее, стеклянная вата, ячеистые бетоны, пеностекло, керамзит. К неорганическим теплоизоляционным материалам относятся также и некоторые монтажные материалы.

К материалам и изделиям из асбестового волокна без добавок или с добавкой связующих веществ относят асбестовые бумагу, шнур, ткань, плиты и др. Асбест может быть также частью композиций, из которых изготавливают разнообразные теплоизоляционные материалы (совелит и др.).

В рассматриваемых материалах и изделиях использованы ценные свойства асбеста: температуростойкость, высокая прочность, волокнистость и др.

12. ЛЕСНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

12.1. Общие сведения

Лесные материалы целиком или преимущественно состоят из древесины, под которой понимают освобожденную от коры ткань волокон, содержащихся в стволе дерева. Однако недостатком древесины является неоднородность ее строения (анизотропность), вызывающая

неоднородные, резко отличающиеся в различных направлениях свойства. Так, теплопроводность древесины вдоль волокон в два раза больше теплопроводности поперек волокон. В древесине вдоль волокон звук распространяется хорошо, поперек волокон – плохо. Механическая прочность древесины вдоль волокон на сжатие, изгиб и разрыв во много раз превышает прочность в поперечном направлении.

К недостаткам древесины относят легкую ее возгораемость, подверженность загниванию в переменнно-влажностных условиях, коробление, разбухание, растрескивание.

12.2. Строение древесины и ее пороки

Дерево состоит из корней, ствола и образующих крону дерева ветвей. Корни извлекают из земли воду и удерживают дерево в вертикальном положении. Ствол является основной частью дерева, от строения которого зависит полноценность древесины как строительного материала. Если ствол растет нормально и форма его близка к цилиндру, то такой ствол называют полно древесным. Если диаметр ствола сильно уменьшается кверху, то его называют снежистым.

К порокам древесины относят дефекты ее строения, нарушение целостности, повреждения и заболевания, т. е. недостатки, снижающие качество лесоматериалов. Согласно действующей классификации, все пороки делятся на десять групп: сучки, грибные окраски и гнили, химические окраски, повреждения насекомыми, деформации и растрескивание, пороки формы ствола, пороки строения древесины, раны, ненормальные отложения в древесине, механические повреждения и дефекты обработки.

Гниение древесины выражается в постепенном изменении ее цвета, уменьшении ее плотности и понижении механической прочности.

Деформации и растрескивание – группа пороков, являющихся следствием изменения формы или нарушения целостности древесины. Они возникают под действием значительных внутренних напряжений, образующихся в процессе роста деревьев, при резком изменении температуры, при неравномерном удалении влаги и т. д.

К порокам формы ствола относятся *сбежистость, закомелистость*, наросты и кривизна, а к порокам строения древесины – наклон волокон, свилеватость, завиток, крень. Эти пороки могут привести к увеличению расхода сырья при распиловке древесины, снижению прочности и другим нежелательным явлениям.

12.3. Породы древесины

Хвойные породы составляют значительную часть наших лесов. Высокое качество древесины обуславливает их использование в строительстве и деревообрабатывающей промышленности. Из хвойных пород чаще всего применяют сосну, лиственницу, ель, пихту и кедр.

12.4. Основные физико-механические свойства древесины

Истинная плотность древесины определяется совокупностью веществ, слагающих оболочку клеток. Так как они (т. е. клетки) имеют близкий состав для всех пород, то истинная плотность древесины колеблется в пределах от 1490 до 1560 кг/м³.

Средняя плотность зависит от влажности и пористости породы. Значение средней плотности указывается применительно к нормальной 12%-ной влажности. Влажность древесины существенно влияет на ее физико-механические свойства и в ряде случаев определяет пригодность древесины. Свежесрубленная древесина имеет влажность от 30 % (дуб) до 45 % (ель). Воздушно-сухая древесина имеет влажность 15–20 %. Различают *гигроскопическую* (связанную) и свободную влагу в древесине. Максимальное количество гигроскопической влаги, которое может быть поглощено древесиной при выдергивании ее в воздушной среде, называется **пределом гигроскопичности**. Предел гигроскопичности зависит от породы древесины и в среднем равен 30 %. Средняя конечная влажность строительных лесоматериалов после сушки должна быть не более 18 %.

Механические свойства древесины зависят от угла между направлением действующего усилия и направлением волокон. Древесина различных пород имеет неодинаковую прочность. Среди растущих в Беларуси наибольшую прочность имеет дуб.

12.5. Защита древесины от разрушения

Ограничивает срок службы древесины способность ее гнить и гореть. Кроме того, древесину повреждают насекомые. Только на ремонт и замену деревянных конструкций, разрушенных гниением, ежегодно идет более 30 % всей расходуемой древесины.

Предохраняют древесину от гниения сушка, конструктивные различные приемы, защищающие от увлажнения, антисептирование.

Сушка пиломатериалов является одним из основных мероприятий, проведение которого обеспечивает значительное удлинение срока службы и повышение качества деревянных конструкций и изделий. Сушка древесины может быть естественной и искусственной.

Для предупреждения гниения древесины принимают ряд конструктивных мер: изолируют ее от грунта, камня и бетона, устраивают специальные каналы для проветривания, защищают деревянные конструкции от атмосферных осадков, делают отливы у наружных оконных переплетов и т. п. Однако только мерами конструктивного характера нельзя полностью предохранить древесину от увлажнения и загнивания.

Древесину защищают от гниения, предварительно обработав ее различными химическими веществами – *антисептиками*.

Антисептики должны быть токсичными к грибам, но безвредными для людей и животных, в течение заданного срока не терять токсичные свойства, не ухудшать физико-механические свойства древесины. Антисептики подразделяются на водорастворимые и водонерастворимые, маслянистые. Водорастворимые применяются в виде водных растворов и антисептических паст.

К водорастворимым антисептикам относят фторид натрия, кремнефторид натрия, кремнефторит аммония, хлорид цинка, антисептический препарат ХМХЦ.

К маслянистым антисептикам относят каменноугольное креозотовое и антраценовое масло, масло сланцевое, растворы пентохлорфенола в маслах.

Основной способ борьбы с насекомыми при хранении древесины на складах – соблюдение санитарных норм и своевременная окурка круглого леса. При обнаружении насекомых на складах и при ремонтных работах древесину обрабатывают инсектицидами – хлорофосом (диметилтрихлороксиэтилфосфонатом техническим), хлороданом, хлорпикрином и др. Путем пропитки, опрыскивания, опыления или окуливания.

В качестве профилактических мер в жилых помещениях древесину протирают 2–3 раза в год 3%-ным водным раствором фторида или кремнефторида натрия.

Для защиты древесины вновь строящихся зданий и сооружений применяют каменноугольные и сланцевые масла, пентахлорфенол в органических растворителях.

Огнезащита деревянных конструкций – важное мероприятие в

борьбе с имеющими место пожарами зданий и сооружений. Для предохранения древесины от возгорания следует принимать меры, предупреждающие возможность непосредственного загорания конструкций. Прежде всего следует удалять деревянные конструкции от источников нагревания, а если это невозможно, то деревянные части покрывают малотеплопроводными негоряемыми материалами, например асбестом, асбестоцементными листами или штукатурят эти части.

Неогнестойкие деревянные сооружения разделяются на отдельные отсеки, негоряемыми (брандмауэрными) стенами, огнестойкими перегородками.

Для предохранения древесины от возгорания пользуются окраской ее огнезащитной краской, обмазкой или пропиткой специальными составами.

Для защиты древесины от возгорания, кроме покраски и обмазки, делают и пропитку химическими составами – *антипиринами*. К антипиринам относятся соли фосфорной или борной кислоты, аммонитные соли, карбонат калия или натрия. Обработанная раствором антипирена древесина не горит открытым пламенем, а при длительном воздействии высокой температуры обугливается.

Применение всех перечисленных мер позволит удлинить срок службы древесины, особенно находящейся в неблагоприятных условиях.

12.6. Виды лесоматериалов и изделий из древесины

Материалы из древесины, сохранившие ее природную физическую структуру и химический состав, называют **лесоматериалами** (или лесными сортаментами). Их подразделяют на необработанные (круглые) и обработанные (пиломатериалы, колотые лесоматериалы, шпон и др.).

Круглые лесоматериалы представляют собой очищенные от сучьев отрезки древесных стволов. В зависимости от диаметра верхнего торца круглые лесоматериалы подразделяют на бревна, подтоварник и жерди.

Бревна строительные и пиловочные из хвойных и лиственных пород должны иметь диаметр верхнего торца не менее 14 см и длину 4–6,5 м. Они должны быть ошкурены и опилены под прямым углом к продольной оси. По качеству бревна подразделяют на три сорта. Определение сорта обусловлено наличием в бревнах пороков древесины. Строительные бревна из хвойных пород применяют для несущих конструкций жилых, промышленных и культурно-бытовых зданий,

сооружений, а также для свай и пролетных строений деревянных мостов. Пиловочные бревна изготавливают из стволов хвойных и лиственных пород для получения различных пиломатериалов.

Подтоварник – часть ствола дерева с диаметром верхнего торца 8–13 см и длиной 3–9 м. Его используют для различных целей в жилищном и сельскохозяйственном строительстве, а также для вспомогательных и временных сооружений.

Жерди имеют диаметр верхнего торца 8 см и длину 3–9 м. Их применяют для тех же целей, что и подтоварник.

Хранят круглые лесоматериалы в штабелях по породам, категориям и длине.

Пиломатериалы изготавливают путем продольной распиловки пиловочных бревен. По форме поперечного сечения различают следующие виды пиломатериалов: пластины, четвертины, горбыль, доски, брусья, бруски.

Пластины получают при продольном распиливании бревен на две половины, *четвертины* – по двум взаимно перпендикулярным диаметрам. *Горбыль* представляет собой срезанную часть бревна, у которой с одной стороны во всю длину сделан пропилен, а другая поверхность не обработана. Применяют его для временных построек.

Доски получают продольным распиливанием бревен по нескольким параллельным между собой плоскостям. Толщина досок – 13–100 мм, ширина – 80–250 мм, т. е. отношение ширины к толщине должно быть более двух. Доски хвойных пород имеют длину до 6,5 м, лиственных – до 5 м с градацией через 0,25 м.

В зависимости от чистоты опилки доски бывают *необрезные* с неопиленными кромками на всю длину доски или на половину длины, и *обрезные* с кромками, пропиленными по всей длине (в данном случае сечение доски представляет собой правильный прямоугольник) или более чем на половину длины доски. По качеству древесины и по обработке доски подразделяют на пять сортов: отборный, 1, 2, 3 и 4. Доски высоких сортов служат для изготовления элементов деревянных конструкций, столярных изделий и т. п.

Бруски представляют собой пиломатериалы толщиной до 100 мм, имеющие отношение ширины к толщине не менее двух. Форма поперечного сечения брусков обычно близка к квадрату. Длина брусков та же, что и у досок. Из брусков изготавливают элементы деревянных конструкций, столярные изделия.

Брусья имеют толщину или ширину 100–250 мм при отношении ширины к толщине менее двух. Брусья, опиленные с двух противоположных сторон, называют *двухкантными*, а опиленные с четырех сторон – *четырёхкантными*.

12.7. Хранение древесины на складе

Учитывая наибольшую поражаемость древесины грибами и насекомыми вредителями в неблагоприятных условиях ее хранения и использования, весьма важно обеспечить возможность длительного сохранения древесины, прежде всего на складах, до ее использования в строительстве.

Древесину укладывают в штабеля отдельно по породам, причем круглую отдельно от пиленной. Древесину с признаками загнивания следует складывать на отдельном участке, предварительно очистив ее и пропитав антисептиком.

Штабеля для леса укладывают на основание высотой 40 см от земли, делая основание в виде клеток или продольных подкладок на поперечных лежнях. Высота штабеля леса не должна превышать 2 м, между штабелями должно быть 2 м, между штабелями должно быть не менее 2 м.

Торцы бревен, досок и брусьев следует закрывать замазкой, причем торцы древесины лиственных пород, укладываемой на длительное хранение, необходимо покрывать известковой замазкой в составе извести и воды по весу (массе) равными частями с добавкой 5 % клея. Штабеля пиломатериалов покрывают однократным временным покрытием из досок со свесами до полметра за края штабеля.

13. ОТДЕЛОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

13.1. Общие сведения

К **лакокрасочным** относят природные или искусственные материалы, которые наносят в вязкожидком состоянии тонким слоем на строительные конструкции и детали с целью образования пленки для защиты их от вредных воздействий окружающей среды, архитектурно-художественного оформления и улучшения санитарно-гигиенических условий. Лакокрасочные материалы делят на основные и вспомогательные. Основные включают краски, лаки и эмали, а вспомогательные – грунтовочные и шпатлевочные составы, используемые при подготовке поверхностей под окраску, растворители, разбавители и др.

Краски предназначены для создания непрозрачного цветного декоративного и защитного покрытия, скрывающего текстуру окрашиваемого материала. В состав красок входят связующие или пленкообра-

зующие и красящие вещества – пигменты. При необходимости они содержат наполнители, снижающие расход пигментов, и специальные добавки для улучшения технологических и эксплуатационных свойств красок (ускорители затвердевания – *сиккативы*, разбавители). *Пигментами* называются тонкодисперсные порошки, нерастворимые в связующем веществе и растворителе, способные в смеси с ними образовывать непрозрачные покрытия различных цветов и оттенков; лаки создают прозрачное цветное покрытие и служат для окончательной отделки окрашиваемой поверхности, а также защиты окрасочной пленки от механических повреждений.

Лаки представляют собой дисперсии природных или синтетических полимеров, битума, олифы в летучих растворителях. В состав лаков вводят пластификаторы, сиккативы и другие добавки.

Грунтовки обеспечивают необходимое сцепление между защищаемой поверхностью и покрытием. Обычно грунтовки состоят из тех же материалов, что и краски, но имеют меньшее содержание пигментов.

Шпательки предназначены для заполнения пор и выравнивания окрашиваемых поверхностей. Они содержат наряду с раствором клеящего вещества и некоторых компонентов (мыла, растворителя) значительное количество наполнителя, в качестве которого обычно применяют мел. К шпаклевкам по составу близки *подмазочные пасты*, отличающиеся более высоким содержанием клея и других связующих, улучшающих их адгезионные свойства, т. е. сцепление с основанием.

Лакокрасочные материалы классифицируют: по виду пленкообразующих веществ (масляные, глифталевые, эпоксидные, известковые, силикатные), виду жидкой фазы (водные и безводные), отношению к действию воды (водостойкие и неводостойкие), значению (химически стойкие, термостойкие, электроизоляционные).

13.2. Основные компоненты окрасочных составов

Основными компонентами окрасочных составов являются связующие вещества и пигменты. В состав некоторых красок входят также растворители, разбавители, пластификаторы, сиккативы, наполнители и др.

Клеи. К группе связующих, используемых для приготовления водных красочных составов, относят животные, растительные, искусственные и синтетические клеи. Животный клей бывает костный и мездровый. **Мездровый** клей получают при размачивании кожных

покровов животных с последующей сушкой раствора. **Костный** клей – это продукт переработки клеящего вещества, извлекающего из обезжиренных костей. Выпускают плиточный и дробленый клей, а также клей-студень. Клей не должен иметь гнилостного запаха, налетов плесени и должен расплываться при погружении в подогретую воду. Клей хранят в сухом месте.

Эмульсии широко распространены в производстве малярных работ в качестве связующих красочных составов. Масляные эмульсии изготавливают из олифы, известкового молока и раствора животного клея или других компонентов в эмульгаторах. Разводить эмульсию до рабочей консистенции рекомендуется непосредственно перед применением. Использование эмульсионных окрасочных составов позволяет экономить натуральные олифы.

Пигменты – тонкоизмельченные цветные порошки, нерастворимые в воде, органических растворителях и связующих материалах, но способные хорошо с ними смешиваться, образуя красочные составы. Пигменты разделяют на минеральные и органические; минеральные, в свою очередь, – на природные и искусственные.

13.3. Вспомогательные материалы

Вспомогательными материалами при окрасочных работах являются шпатлевки, грунтовки, ускорители сушки (сиккативы), растворители и разбавители, смывочные средства, шлифующие материалы, наполнители и др.

Перед окраской поверхность шпатлюют (выравнивание пастой), шлифуют и грунтуют.

В зависимости от материала поверхности применяют шпаклевки гипсовые, клеевые, масляные, лаковые.

Растворителями и разбавителями красок служит скипидар, лаковый бензин, спирт, сольвент каменноугольный, ацетон и др.

Смывочными средствами для выведения ржавых пятен на штукатурке служит медный купорос, для удаления старых масляных красок – раствор едких щелочей, нашатырный спирт, соляная кислота и др.

В качестве шлифующих материалов для подготовки поверхности под краску применяют натуральную пемзу в виде порошка или кусков с плоской поверхностью, искусственную пемзу, приготовленную из порошка пемзы, кварца или наждака на связующем, корундкристаллическую окись алюминия (в виде шлифовальной шкурки), шлифоваль-

ную бумагу или шлифовальную шкурку, изготавливаемую из тонких обломков стекла, кварца, наждака, нанесенных на бумагу или ткань, покрытую предварительно клеем.

Наполнители – высокодисперсные минеральные порошки, вводимые в состав красок с целью уменьшения расхода более дорогого пигмента и придания им особых свойств, например повышенной прочности, кислото-, огнестойкости и т. д.

В качестве наполнителей для окрасочных составов применяют каолин, молотый тальк, пылевидный кварц, асбестовую пыль, слюду и другие измельченные материалы.

13.4. Виды окрасочных составов

В качестве связующего в строительных красках этого вида применяют водно-известковые или водно-цементные суспензии. Известковую суспензию приготавливают из известкового теста или из свежепогашенной тонкомолотой извести-кипелки. Известковые краски применяют для окраски кирпичных стен и штукатурок.

Более долговечны и атмосфероустойчивы *цементные краски*. Цементные краски получают на основе белого портландцемента и щелочестойких пигментов. Их применяют для наружной и внутренней окраски по камню, кирпичу, бетону, штукатурке и другим пористым поверхностям, которые предварительно увлажняют.

Сухие силикатные краски состоят из смеси пигментов с тонкомолотыми наполнителями (тальк, мел и др.). Смесь получают рабочим состоянием путем разведения калиевым жидким стеклом.

Сухие клеевые краски состоят из пигментов, наполнителей и тонкоизмельченного животного клея, до рабочей вязкости их доводят разведением водой. Водно-клеевые составы наносятся на предварительно подготовленную поверхность (по грунтовке или шпаклевке). В грунтовочные составы входят медный купорос, животный клей и мел. Медный купорос растворяют в горячей воде, а затем смешивают с отдельно приготовленной мыльно-клеевой суспензией. Шпатлевочные составы содержат больше клея и мела.

Клеевые краски не водостойки, поэтому их применяют только для окраски штукатурок во внутренних сухих помещениях.

Сухие казеиновые краски состоят из измельченного казеина, извести-пушонки, пигмента и кальцинированной соды или других минеральных солей. Казеин-белковое вещество, получаемое из молока, растворяется в слабых растворах щелочей и обладает большой клеящей

способностью. Казеинаты кальция нерастворимы в воде, поэтому для повышения водостойкости казеиновых клеевых растворов в их состав вводят известь. Для получения красочных составов рабочей консистенции сухие казеиновые краски смешивают с горячей водой. Казеиновые краски применяют для окраски наружных оштукатуренных и бетонных поверхностей зданий, а также для внутренней отделки помещений.

Эмульсионные краски – пигментированные эмульсии полимеров в воде. Основными представителями этой группы являются поливинилацетатные, акрилатные, глифталевые водоразбавляемые составы. В эмульсионные краски, кроме пигментов, добавляют эмульгаторы, стабилизаторы и другие вспомогательные вещества. Твердеют эмульсионные краски по мере распада эмульсии, в результате которого уже через 1–2 ч образуется прочное свето- и водостойкое газопроницаемое покрытие. Эмульсионные краски пожаро- и взрывобезопасны, нетоксичны. Их можно наносить на непросохшие поверхности штукатурки или бетона, учитывая влагонепроницаемость образуемой пленки. Эмульсионные краски применяют для наружных и внутренних окрасок по кирпичу, камню, бетону, штукатурке и дереву.

Масляные краски. Масляными красками называют красочные суспензии пигментов в олифе, в состав которых вводят наполнители. По консистенции масляные краски подразделяются на густотертые и готовые к употреблению. Для получения густотертых красок пигменты тщательно растирают с олифой в специальных краскотерочных машинах с тем, чтобы все частицы пигмента были покрыты пленкообразующим веществом. Перед использованием густотертые краски разводят олифой до рабочей консистенции.

Лаки. Лаки – это растворы смол, битумов и других пленкообразующих веществ в летучих растворителях, наносимые на поверхность тонким слоем и образующие после высыхания твердые покровные пленки. В качестве пленкообразователей используют синтетические и природные смолы, битумы, дегти и нитроцеллюлозу. В качестве растворителей применяют лаковый бензин, сольвент-нафту, скипидар, различные спирты и эфиры (для растворения нитроцеллюлозы и глифталей).

Растворы смол или битумов в натуральных олифах или в растительных маслах называют масляными лаками. Масляные лаки с большим содержанием масел называют жирными, с низким содержанием – тощими. Жирные лаки в сравнении с тощими образуют более эластичные и атмосферостойкие пленки.

По виду смолы масляные лаки подразделяют на глифталевые, перхлорвиниловые, поливинилхлоридные и т. д.

Эмалевые краски. Эмалевыми называют краски, приготовленные растиранием пигментов на различных лаках, в частности, на масляном. Густотертые эмалевые краски разводят до рабочей консистенции жидким лаком с добавлением сиккатива и растворителей. После высыхания эмалевые красочные составы образуют блестящую пленку. В составе пигментов в состав эмалевых красок входят цинковые, титановые и литопонные белила, кроны, ультрамарин, сажа, железный сурик и некоторые органические пигменты.

По виду связующего эмалевые краски разделяют на масляные (на масляных лаках), нитроэмали (на нитроцеллюлозных лаках), глифталевые (на глифталевых лаках), перхлорвиниловые и т. п.

Глифталевые эмалевые краски имеют ограниченную водостойкость, из-за чего их используют для внутренней отделки помещений, покрывая металл, дерево, бетон и штукатурку. Они не рекомендуются в помещениях с влажным режимом эксплуатации.

Пентафталевые эмалевые краски применяют для высококачественной наружной окраски по металлу, дереву, бетону и штукатурке, а также для окраски санитарно-технических узлов и кухонь.

Алкидно-стирольные эмалевые краски обладают хорошей водостойкостью, твердостью и блеском, но недостаточной атмосферостойкостью. Их употребляют для окраски дверных и оконных блоков, радиаторов, труб и производственного оборудования.

Нитроэмалевые краски – быстровысыхающие. Их наносят на деревянные и металлические поверхности, ранее покрытые нитрогрунтовым составом.

Пленки эмалевых красок на масляных лаках, отвердевшие без нагревания, при длительном воздействии влаги постепенно разрушаются, поэтому эти краски применяют только для внутренних работ. Нитроэмали применяют как для внутренней окраски помещений с температурой не выше 40 °С, так и для наружных работ (нитроглифталевые эмали). Перхлорвиниловые эмалевые краски образуют водо- и атмосферостойкие пленки и применяются для окраски фасадов зданий.

Перхлорвиниловые краски поставляют на стройки в готовом виде и наносят краскораспылителем или валиком. Эти краски отличаются повышенной водостойкостью и химической стойкостью. Перхлорвиниловые краски широко распространены для окраски фасадов зданий. Краски следует хранить в помещениях, защищенных от воздействия солнечных лучей, в плотно закрытой таре.

Эфиrhoцеллюлозные краски разделяют на нитроглифталевые, нитроцеллюлозные и этилцеллюлозные. Их используют для окраски наружных деревянных и металлических поверхностей, находящихся под воздействием атмосферных факторов.

13.5. Материалы для гидроизоляции и антикоррозийных покрытий

Для гидротехнического строительства интерес представляют лакокрасочные материалы на основе органических вяжущих, применяемых для гидроизоляционных и антикоррозийных покрытий.

Для гидроизоляции применяют лакокрасочные материалы на основе битумов, эпоксидных, фенолформальдегидных и кремнийорганических смол. Лакокрасочная гидроизоляция экономична, однако долговечность ее невысокая и достигает нескольких лет. Лакокрасочные материалы наносят на поверхность разнообразными способами, широкое применение находит метод распыления, позволяющий автоматизировать процесс окраски и добиться высокой производительности.

Для защиты строительных материалов от воздействия воды разработаны **водоотталкивающие кремнийорганические покрытия**, они не имеют цвета, не скрывают фактуру материалов, не лишают их воздухо- и паропроницаемости (в отличие от лакокрасочных покрытий) и не вызывают запыляемости поверхностей.

Водоотталкивающие кремнийорганические соединения целесообразны для повышения водостойкости и водонепроницаемости бетона, а также для снижения капиллярного подсоса при невысоких гидростатических давлениях. На основе кремнийорганических соединений, помимо пропитанных составов, можно изготавливать также защитные лаки и краски, обладающие наряду с высокой водо- и химической стойкостью, термостойкостью и относительной жароупорностью.

14. МЕТАЛЛЫ И МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

14.1. Общие сведения о металлах и их видах

Металлами называют вещества, характерными признаками которых при обычных условиях являются высокая прочность, пластичность, тепло- и электропроводность, особый блеск, называемый металличе-

ским. Такие признаки металлов обуславливаются их электронными межатомными связями и кристаллическим строением. При очень высоких давлениях свойства металлов могут меняться. Металлы, применяемые в строительстве, делят на две группы – черные и цветные.

Черные металлы представляют собой сплав железа с углеродом. Кроме того, в них могут содержаться в большем или меньшем количестве и другие химические элементы (кремний, марганец, сера, фосфор). С целью придания черным металлам специфических свойств в их состав вводят улучшающие или легирующие добавки (никель, хром, медь и др.). Черные металлы в зависимости от содержания углерода подразделяют на чугуны и стали.

Цветные металлы в чистом виде весьма редко используют в строительстве. Значительно чаще находят применение сплавы цветных металлов, которые по истинной плотности разделяют на легкие и тяжелые.

Легкие сплавы получают на основе алюминия или магния. Наиболее распространенными легкими сплавами являются алюминиево-марганцевые, алюминиево-кремнеземистые, алюминиево-магниевые и сплавы дюралюминия. Их используют для несущих (фермы и др.) и ограждающих (оконные переплеты и др.) конструкций зданий и сооружений.

Тяжелые сплавы получают на основе меди, олова, цинка, свинца. Среди тяжелых сплавов в строительстве применяют бронзу (сплав меди с оловом или сплав меди с алюминием, железом и марганцем) и латунь (сплав меди с цинком). Из этих сплавов изготавливают архитектурные детали и санитарно-техническую арматуру.

14.2. Основы технологии производства чугуна и стали

Производство черных металлов из железной руды – сложный технологический процесс, который может быть условно разделен на две стадии. На первой стадии получают чугун, а на второй его перерабатывают в сталь.

14.3. Изделия из чугуна

В зависимости от содержания примесей и скорости охлаждения получают два основных вида чугуна: белый и серый. Эти наименования соответствуют цвету чугуна. Белый имеет высокую твердость, но он

весьма хрупок; его применяют для получения ковкого чугуна и стали. Серый чугун в расплавленном состоянии обладает хорошей текучестью и легко заполняет формы, дает малую усадку при затвердении, а также легко поддается механической обработке. Серый чугун используют для литья разнообразных строительных изделий. Разновидность серого чугуна – модифицированный черный чугун. Его получают за счет введения в жидкий чугун добавок (модификаторов). Этот обладает повышенными механическими свойствами.

В современном гражданском, промышленном, сельскохозяйственном и транспортном строительстве широко используют чугунные изделия. Среди них в первую очередь следует назвать санитарно-технические изделия и оборудование, например, отопительные радиаторы, ванны, мойки, вентили. Чугунные трубы применяют для стояков санитарно-технических кабин, канализационных сетей, для отвода промышленных вод и т. д.

Чугунные литые изделия изготавливают различными способами, среди которых наиболее простым является литье в формы. Прогрессивные способы литья чугуна – под давлением и центробежный. Из серого чугуна путем отливки получают элементы строительных конструкций, работающих на сжатие: колонны, опорные подушки, арки, своды, тюбинги метрополитена, плиты для полов промышленных зданий и т. п. Его используют для литья печных приборов (топочные дверцы, задвижки, колосники), а также арматурно-художественных изделий.

14.4. Виды и свойства сталей

По стандарту марку углеродистой стали обыкновенного качества обозначают буквами Ст и цифрами от 0 до 7. Качественные углеродистые стали маркируют двузначными цифрами, показывающими содержание углерода в сотых долях процента (0,8; 25 и т. д.). В обозначение марок кипящей стали добавляют «кп», полуспокойной – «пс», спокойной – «сп», например Ст3сп, Ст5пс, Ст2кп.

В отличие от маркировки углеродистых сталей буквы в марке низколегированных сталей показывают наличие в стали легирующих примесей, а цифры – их среднее содержание в процентах; предшествующие буквам цифры показывают содержание углерода в сотых долях процента. Для маркировки стали каждому легирующему элементу присвоена определенная буква: кремний – С, марганец – Г, хром – Х, никель – Н, молибден – М, вольфрам – В, алюминий – Ю, медь – Д, кобальт – К. Первые цифры марки обозначают среднее со-

держание углерода (в сотых долях процента для инструментальных и нержавеющей сталей); затем буквой указан легирующий элемент и последующими цифрами – его среднее содержание, например, сталь 3Х13 содержит 0,3 % С и 13 % Сг, марки 2Х17Н2 – 0,2 % С, 17 % Сг и 2 % Ni. При содержании легирующего элемента менее 1,5 % цифры за соответствующей буквой не ставятся: 1Г2С, 12ХН3А. Буква А в конце обозначения марки указывает на то, что сталь является высококачественной, буква Ш – особо высококачественной. Например, низколегированная конструкционная сталь марки 1Г2С содержит 0,1 % углерода, 2 % марганца и 1 % кремния.

Сталь углеродистая обыкновенного качества – сплав железа с углеродом. В ее составе также присутствуют в небольшом количестве примеси: кремний, марганец, фосфор и сера, каждая из которых оказывает определенное влияние на механические свойства стали. В сталях обыкновенного качества, применяемых в строительстве, углерода содержится 0,06–0,62 %. Стали с низким содержанием углерода характеризуются высокой пластичностью и ударной вязкостью. Повышенное содержание углерода придает стали хрупкость и твердость.

Низколегированные стали наиболее часто применяют в строительстве. Содержание углерода в низколегированных сталях не должно превышать 0,2 %, так как с его возрастанием понижаются пластичность и коррозионная стойкость, а также ухудшается свариваемость стали. Легирующие добавки влияют на свойства стали следующим образом: марганец увеличивает прочность, твердость и сопротивление стали износу; кремний и хром повышают прочность и жаростойкость, а медь – стойкость стали к атмосферной коррозии; никель способствует улучшению вязкости без снижения прочности. Низколегированные стали имеют более высокие механические свойства, чем малоуглеродистые. Стали, содержащие никель, хром и медь, высокопластичны, хорошо свариваются, их с успехом используют для сварных и клепаных конструкций промышленных и гражданских зданий, пролетных строений мостов, нефтерезервуаров, труб и т. д.

Наибольшее применение в строительстве для изготовления металлических конструкций получили низколегированные стали марок 10ХСНД, 15ХСНД, 10Г2СД и др.

Средне- и высоколегированные стали употребляют в строительстве только тогда, когда нужно обеспечить конструкциям высокую коррозионную стойкость. Для этого конструкции изготавливают из специальной нержавеющей стали, например хромоникелевой и хромоникеле-марганцевой.

Среди физических свойств сталей наибольшее значение имеют истинная плотность, температура плавления, теплоемкость, теплопроводность, коэффициент температурного расширения.

14.5. Изделия из стали

При изготовлении стальных изделий расплавленную сталь разливают по изложницам. Вынутые из них стальные слитки подвергают обработке давлением. Обработка давлением основана на высоких пластических свойствах стали, при этом изменяется не только форма стального слитка, но и его свойства. Существуют следующие способы обработки стальных слитков давлением: прокатка, волочение, ковка, штамповка и прессование.

Прокатка – наиболее распространенный способ изготовления профилированных стальных изделий. При прокатке стальных изделий слиток пропускают между вращающимися валками прокатного стана, в результате чего заготовка обжимается, вытягивается и в зависимости от профиля прокатных валков приобретает заданную форму (профиль). Сортамент стали горячего проката – сталь круглая, квадратная, полосовая, уголовая равнобокая и неравнобокая, швеллеры, двутавровые балки, шпунтовые сваи, трубы, арматурная сталь периодического профиля и др.

При *волочении* заготовка последовательно протягивается через отверстия (фильеры) размером меньше сечения заготовки, вследствие чего заготовка обжимается и вытягивается. При волочении в стали появляется так называемый наклеп, который повышает ее твердость. Волочение стали обычно производят в холодном состоянии, при этом получают изделия точных профилей с чистой и гладкой поверхностью. Способом волочения изготавливают проволоку, трубы малого диаметра, а также прутки круглого, квадратного и шестиугольного сечения.

Ковка – обработка раскаленной стали повторяющимися ударами молота для придания заготовке заданной формы. Ковкой изготавливают разнообразные стальные детали (болты, анкера, скобы и т. д.)

Штамповка – разновидность ковки, при которой сталь, растягиваясь под ударами молота, заполняет форму штампа. Штамповка может быть горячей и холодной. Этим способом можно получить изделия очень точных размеров.

Прессование представляет собой процесс выдавливания находящейся в контейнере стали через выходное отверстие (очко) матрицы. Исходным материалом для прессования служит литье или прокатные

заготовки. Этим способом можно получать профили различного сечения, в том числе прутки, трубы небольшого диаметра и разнообразные фасонные профили.

Холодное профилирование – процесс деформирования листовой или круглой стали на прокатных станках. Из листовой стали получают гнутые профили с различной конфигурацией в поперечнике, а из круглых стержней на станках холодного профилирования путем сплющивания – упрочненную холодносплюсненную арматуру.

Прокатную сталь квадратного сечения, а также полосовую сталь используют в строительстве для различных целей. Круглую сталь в основном употребляют в качестве арматуры для железобетона. Прокатную сталь для шпунтованных свай выпускают разнообразных профилей; ее применяют для гидротехнического строительства.

Стальные трубы цельнотянутые и сварные диаметром 59–1620 мм используют для магистральных газо- и нефтепроводов, водоснабжения, отопления и других целей.

Мелкие стальные изделия в виде болтов, гаек, шайб, заклепок широко применяются при изготовлении из прокатных стальных профилей разнообразных строительных конструкций. Любое строительство в настоящее время не обходится без стальных крепежных изделий – шурупов, винтов, гвоздей, скоб, а также без скобяных изделий, необходимых для комплектации дверных и оконных блоков, санитарно-технических кабин (петли, ручки, замки и др.).

Стальная арматура. Большое количество стали используют в качестве арматуры в железобетоне. В среднем для получения 1 м³ железобетона требуется 50–100 кг стали. Для армирования железобетона используют стальные стержни и проволоку как непосредственно, так и в виде сеток и каркасов, изготавливаемых в основном заводским методом.

Стержневая арматурная сталь представляет собой горячекатаные стержни диаметром 6–80 мм. Из стальной изготавливают также арматурные сетки и каркасы. Канаты и пряди используют для напряженной арматуры. Арматурную сталь необходимо хранить в закрытых помещениях или под навесом на стеллажах отдельно по видам и маркам стали, а также по диаметрам. При этом рекомендуется следить за сохранностью на торцах стальных стержней разных марок меток, сделанных несмываемыми красками, а также за сохранностью заводских бирок, прикрепленных к пучкам, пакетам и моткам арматурной стали. При хранении арматурной стали необходимо предохранять ее от загрязнения и коррозии.

Закладные детали предназначены для соединения железобетонных элементов между собой. Монтажные петли, закладываемые в железобетонные элементы, изготавливают из арматурной стали. Диаметр стержня определяют расчетом петли на разрыв под действием силы тяжести бетонного элемента.

14.6. Способы обработки стали

Термическая обработка металлических материалов заключается в нагреве их до требуемой температуры, выдержке и охлаждении с заданной скоростью до определенной температуры.

Процесс термической обработки подразделяют на собственно термическую обработку под воздействием только тепла – закалку, отпуск, отжиг, нормализацию; термомеханическую обработку при комбинированном воздействии тепла и пластического деформирования; химико-термическую обработку при сочетании воздействия тепла и изменения химического состава металла.

Термомеханическая обработка металлов включает нагрев, пластическое деформирование и охлаждение металла, совмещенные в единой технологической схеме. Сущность совмещенного процесса состоит в том, что заготовку сразу после окончания горячей обработки давлением (ковки, прокатки) закаливают. При этом не производится специального нагрева заготовок, а используется остаточное тепло после горячего деформирования. В результате экономится топливо для нагрева под закалку, уменьшается потребность в нагревательных печах, сокращается время изготовления деталей и существенно улучшаются механические свойства стали.

Химико-термическая обработка металлов заключается в насыщении поверхности изделия углеродом, азотом, алюминием и другими элементами. Этому виду обработки подвергают, например, изделия, предназначенные для работы на истирание в сочетании с ударными нагрузками, т. е. тогда, когда они должны характеризоваться высокой твердостью поверхностных слоев при достаточно вязкой сердцевине. В зависимости от особенностей диффундируемого элемента можно воздействовать также на усталостную прочность, повышать сопротивление поверхности металла воздействию внешних агрессивных сред и т. д. Чаще всего применяют **цементацию** – насыщение стали углеродом. Поверхностный слой низкоуглеродистых сталей при цементации науглероживается до 0,8–1,1 % и подвергается термической обработке, в результате которой приобретает структуру мартенсита.

При науглероживании изделия обычно помещают в стальные ящики, засыпают цементационной смесью, состоящей из активированного угля и углекислой соли, и нагревают до 900–950 °С. Кислород воздуха при нагреве с углем образует оксид углерода, который при наличии железа диссоциирует с образованием углерода. Кроме цементации применяют азотирование, цианирование, алитирование, хромирование и другие виды химико-термической обработки металлов.

14.7. Коррозия стали и методы борьбы с ней

Разрушение строительных металлов в результате химического или электрохимического воздействия на них внешней среды называют коррозией.

Чтобы избежать коррозии металлов, применяют стойкие противокоррозионные сплавы (главным образом железоуглеродистые, в состав которых входят легирующие элементы), защиту основного металла металлическими и неметаллическими покрытиями.

Защитные металлические покрытия наносят на металлы гальваническим, химическим, анодизационным, диффузионным, горячим, металлизационным способами.

К числу неметаллических покрытий относят: эмалирование, покрытие стеклом, образование высыхающих или невысыхающих пленок, напыление пластмасс, нанесение защитных слоев обкладкой листовыми пластиками, стойкими к агрессии плитками, обмазками и др.

Эффективным средством защиты металла служат ингибиторы.

Покрyтия, получаемые при пропускании внешнего источника в соответствующем электролите, в который погружена защищаемая деталь в паре с анодом, называют электролитическими или гальваническими.

Защитные слои на обычной углеродистой или низколегированной сталях наносят также способом *плакирования*, или *биметаллизации*. Биметалл – это двуслойная сталь с плакирующим тонким слоем нержавеющей стали.

В качестве высыхающих лакокрасочных *пленкообразующих* материалов применяют различные синтетические лаки (например, поливинилхлоридный), эпоксидную смолу, нитроэмали, хлоркаучуковые эмали, нефтяные и каменноугольные лаки, краски, содержащие растительные масла. В качестве стойких пигментирующих веществ в лаках и маслах применяют алюминиевую пыль, свинцовый сурик, железный сурик и др. Важным условием стойкости покрытия является тщательность подготовки поверхности.

Для антикоррозионной изоляции стальных изделий может применяться битумно-асбестовая мастика, цементно-казеиновое покрытие, обмотка рулонными гидроизоляционными материалами.

Применяют также в отдельных случаях нанесение на металл пленок путем горячего *напыления пластмассы*, приклеивание или приваривание пленок, защиту поверхности обкладочными материалами (винипластом, полиизобутиленом), плитками из плавленого базальта, кислотоупорного бетона, кислотостойкой керамики, резины, эбонита.

Обмазочные композиции служат также в качестве скрепляющих растворов при обкладке защищаемого металла (например, металлической ванны для травления металла и др.) кислотоупорными плитками.

Антикоррозионным средством для металлического оборудования служат летучие ингибиторы и ингибированная бумага. Ингибитором называют вещество, замедляющее или прекращающее протекание реакции. Таким веществом могут быть нитрит натрия с углекислым аммонием, с уротропином. Ничтожные дозы паров ингибитора в воздухе помещения сохраняют оборудование от коррозии, являясь безвредными для организма человека.

Помимо перечисленных мероприятий, борьба с коррозией металлов осуществляется рациональным конструктивным оформлением металлических конструкций, при котором исключается возможность попадания и задержки влаги в стыках на поверхности металла; применением проекторов, т. е. присоединением к основному металлу менее устойчивого против коррозии (например, цинковых или других материалов); катодной защитой подземных металлических сооружений (трубопроводы и др.) – присоединением к катоду отдельного источника питания и заземлением анода.

14.8. Цветные металлы и их сплавы

Алюминий – легкий серебристо-белый металл. Важное достоинство его – низкая плотность (2700 кг/м^3). В чистом виде алюминий мягок, пластичен, хорошо отливается, прокатывается, температура плавления – 657°C . Алюминий имеет повышенную стойкость к коррозии на воздухе за счет образования защитной пленки Al_2O_3 , высокую теплопроводность и электропроводность.

В чистом виде в строительстве алюминий применяется для отливки деталей, изготовления порошков (алюминиевые краски и газообразователи при изготовлении ячеистых бетонов), фольги, электропроводов.

Алюминиевую фольгу применяют для изготовления высокоэффективного утеплителя (альфоля), в качестве отражателя тепловых лучей, а также декоративного материала. Путем анодного оксидирования из алюминиевых сплавов получают архитектурные детали различной расцветки.

Для строительных изделий алюминий применяют в виде сплавов, в состав которых входят Cu, Mn, Mg, Si, Fe.

Сплавы, состоящие из алюминия, меди, магния и марганца, носят название дюралюминий.

В настоящее время область применения алюминиевых сплавов сильно расширена. Их рекомендуется применять в конструкциях большепролетных сооружений, собственный вес которых составляет значительную часть нагрузок; в сборно-разборных конструкциях; в конструкциях сооружений, возводимых в труднодоступных местах; при строительстве в сейсмических районах; в конструкциях сооружений, предназначенных для службы в агрессивной среде; в конструкциях подвижных и подъемно-транспортных устройств.

Медь металл красного цвета с плотностью 8800 кг/м^3 , температурой плавления 1083°C , пределом прочности при растяжении около 200 МПа, относительным удлинением 30–60 %. Медь мягкий и пластичный металл, хорошо проводит электричество и тепло.

Медь добывают из медных сульфидных и окисленных руд. Применяют медь для изготовления электрических проводов и в качестве составной части различных сплавов.

Сплав, состоящий из меди и цинка, называют латунью. Латунь обладает высокими механическими и антикоррозийными свойствами и поддается горячей и холодной обработке. Иногда к сплаву латуни добавляют свинец, олово, алюминий, кремний и др. Применяют ее в виде листов, прутьев, проволоки, труб.

Латунь в строительстве применяют также в виде специальных изделий, сочетающих антикоррозийные и художественные качества (для архитектурной отделки интерьеров – базы колонн, различные погодные изделия).

Сплав меди с оловом (до 10 %) называют оловянистой бронзой. Сплавы меди с алюминием, никелем, кремнием носят название безоловянистых бронз. Иногда в состав бронзы вводят свинец, цинк, фосфор. Бронзу применяют в виде изделий для внутреннего оборудования зданий (сантехническая арматура, вентиляционные решетки, детали карнизов, фурнитуры и др.).

Кроме бронз и латуни известны другие сплавы, содержащие медь. Например, мельхиор (20 % никеля и 80 % меди), никелин (45 % никеля и 55 % меди), константан (40 % никеля, 59 % меди и 1 % марганца).

Магний – один из наиболее легких металлов. Средняя плотность его – 1730 кг/м^3 , температура плавления – 649°C . В чистом виде магний малоустойчив. Получают его из морской рапы после осадки поваренной соли, из карналлита (KCl , MgCl_2), а также из магнезита.

Применяют магний при изготовлении специальных легких сплавов.

Плотность цинка – 7000 кг/м^3 , температура плавления – 419°C . Применяют главным образом для оцинкования различных стальных изделий (гвоздей, болтов, кровельной стали), в качестве составляющего сплавов. При обычной температуре цинк хрупок, при нагревании до 150°C он становится пластичным.

Цинк получают из сульфидных цинковых руд ZnS .

Свинец – мягкий, пластичный, тяжелый металл. Плотность свинца – 11400 кг/м^3 , температура плавления – 325°C . Свинец хорошо лется и прокатывается, хорошо противостоит действию серной и соляных кислот. Предел прочности при растяжении – до 20 МПа, твердость по Нв = 5,9. Свинец непроницаем для рентгеновских лучей и частично гамма-лучей. Применяется в строительстве для специальных труб, антикоррозийных покрытий, звуко- и гидроизоляции и как составная часть некоторых легких сплавов. Свинец добывают из сульфидных руд.

Плотность олова – 7230 кг/м^3 , температура плавления – 232°C . Олово – мягкий, стойкий против коррозии металл. Применяется для лужения стали и меди, в качестве припоя и как составная часть цветных легкосплавных сплавов. Предел прочности при растяжении – 35–45 МПа, относительное удлинение – 40 %, твердость по Нв = 12. Олово добывают из руды, которая называется оловянным камнем.

Сплавы, состоящие из свинца, олова, сурьмы, меди, применяют в качестве так называемых антифрикционных или подшипниковых.

II. ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

Керамический кирпич изготавливают из глины с добавками или без них в виде сплошного или пустотелого параллелепипеда размером для одинарного кирпича $250 \times 120 \times 65$ мм (рис. 1.1) и для модульного $250 \times 120 \times 88$ мм методом пластичного формования или полусухим прессованием.

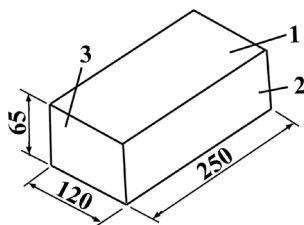


Рис. 1.1. Керамический кирпич:
1 – плашок; 2 – ложок; 3 – тычек

1.1. Оценка качества по форме, размерам, внешнему виду, определение степени обжига (СТБ 1160)

Оборудование и материалы: мерная металлическая линейка; угольник; эталон кирпича нормального обжига; образцы кирпича.

Проведение испытаний. Для оценки соответствия кирпича требованиям СТБ 1160 его осматривают, оценивают форму, непрямолинейность ребер и граней, отбитость углов, отбитость и притупленность ребер, степень обжига, определяют линейкой размеры по длине, ширине, толщине, длину сквозных трещин.

Кирпич должен иметь форму прямоугольного параллелепипеда с ровными гранями на лицевых поверхностях. Допускается изготовление кирпича с закругленными углами радиусом до 15 мм. Поверхность граней может быть рифленой.

Линейные размеры кирпича, размеры трещин замеряют линейкой с точностью до 1 мм. Каждую грань измеряют в трех местах (по краям и

середине), и за окончательный результат принимают среднее арифметическое значение из трех измерений.

Допускаемые отклонения от стандартных размеров отдельного образца кирпича, изготовленного из глинистых пород, не должны превышать: ± 5 мм по длине, ± 4 мм по ширине, ± 3 мм по толщине. Непрямолинейность ребер и граней кирпича не должна превышать по постели 3 мм, по ложку – 4 мм. Допускаемые отклонения отдельного образца кирпича из кремнеземистых пород не должны превышать ± 7 мм по длине, ± 5 мм по ширине, ± 3 мм по толщине. Непрямолинейность ребер и граней определяют металлической линейкой и угольником, как это показано на рис. 1.2.

Величину отбитости и притупленности определяют измерением просвета между поверхностью образца и гранью приложенного к образцу металлического угольника (рис. 1.2).

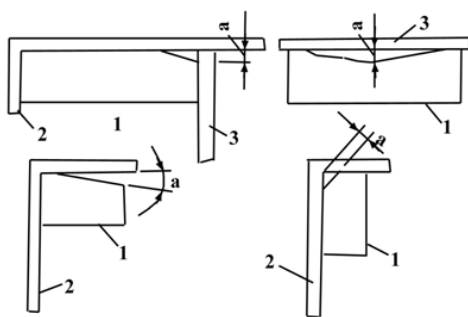


Рис. 1.2. Схема измерения искривленной поверхности и отбитости углов кирпича

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 с отбитостями, превышающее допустимые значения, не должно быть более 5 %.

Количество трещин в кирпиче ограничивается, так как они понижают физико-механические свойства изделия. Допускается на ложковой и тычковой гранях не более чем по одной сквозной трещине протяженностью до 30 мм по плашку полнотелого кирпича или не более чем до первого ряда пустот для пустотелого кирпича. Полнотелый

кирпич, имеющий сквозную трещину более 30 мм, или пустотелый кирпич со сквозными трещинами более чем до первого ряда пустот в половину плашковой или тычковой грани, а также изделия, состоящие из парных половинок, относятся к половняку. Содержание его в партии допускается не более 5 %.

Недожог или пережог кирпича 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. Недожженные изделия имеют низкую прочность и морозостойкость, пережженные – повышенную прочность, но теплопроводны. Результаты испытаний записывают в табл. 1.1.

Т а б л и ц а 1.1. Оценка качества кирпича

Показатель	Отклонения от размеров и показателей внешнего вида по СТБ 1160-99	Данные обмера и внешнего осмотра отобранной пробы кирпича				
		1	2	3	4	5
1. Отклонения от размеров, мм:						
по длине	±5					
по ширине	±4					
по толщине кирпича	±3					
2. Непрямолинейность ребер и граней кирпича, мм, не более:						
по плашку	3					
по ложку	4					
3. Отбитость углов глубиной от 10 до 15 мм, шт.	2					
4. Отбитость и притупленность ребер, не доходящие до пустот, глубиной более 5 мм, длиной по ребру от 10 до 15 мм, шт.	2					
5. Трещины протяженностью по плашку полнотелого кирпича до 30 мм, пустотелых изделий не более чем до первого ряда пустот – на всю толщину, шт.:	1					
на плашковых гранях	1					
на тычковых гранях	1					

1.2. Определение средней плотности (ГОСТ 7025)

По средней плотности (г/см³) кирпичи подразделяются на эффективные (со средней плотностью для кирпича до 1,4), условно эффективные (со средней плотностью кирпича от 1,4). Обыкновенный кирпич имеет среднюю плотность выше 1,6 г/см³. Чем меньше средняя плотность материала, тем меньше его коэффициент теплопроводности, что позволяет уменьшить толщину стены.

Оборудование и материалы: используемые образцы кирпича; измерительная линейка; технические весы; сушильный шкаф.

Проведение испытаний. Среднюю плотность кирпича с учетом пор и пустот определяют на трех кирпичах, предварительно высушенных до постоянной массы при температуре 105–110 °С. Образцы должны соответствовать требованиям стандарта по форме, внешнему виду и размерам.

Кирпич взвешивают, измеряют размеры: длину, ширину и толщину с точностью до 1 мм. Каждый линейный размер вычисляют как среднее арифметическое значение из трех измерений каждой стороны, по краям и посередине. Умножая длину на ширину и толщину, вычисляют его объем.

Обработка результатов. Среднюю плотность отдельного образца вычисляют по формуле

$$\rho_c = \frac{m}{V}, \quad (1.1)$$

где ρ_c – средняя плотность, г/см³;

m – масса образца, высушенного до постоянной массы, г;

V – объем образца, см³.

Среднюю плотность материала вычисляют как среднее арифметическое значение результатов испытания трех образцов с погрешностью до 0,01 г/см³. Полученные данные записывают в табл. 1.2.

Т а б л и ц а 1.2. Определение средней плотности

Показатель	Номер образцов		
	1	2	3
Масса сухого образца, г			
Размеры:			
длина l , см			
ширина b , см			
толщина h , см			
объем V , см ³			
Средняя плотность отдельного образца ρ_c , г/см ³			
Средняя плотность материала ρ_c , г/см ³			

1.3. Определение марки по прочности (ГОСТ 8462)

Марку керамического кирпича определяют путем определения пределов прочности при сжатии и изгибе испытанием образцов.

Оборудование и материалы: образцы кирпича; портландцемент с минеральными добавками или шлакопортландцемент марки 400; гипсовое вяжущее марки Г-16; песок кварцевый с зернами не более 1,25 мм; вода; чашка для приготовления растворной смеси; лопатки для перемешивания; пресс гидравлический; линейка металлическая измерительная; сито с сеткой № 1,25; пластины металлические или стеклянные размером 270×150×5 мм; войлок технический толщиной 5–10 мм; пластина резиноканевая 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 при сжатии. Подготовка к испытаниям. 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. 1.3. Допускается изготавливать образцы из половинок после испытания кирпича на изгиб. Поверхности раздела должны быть направлены в противоположные стороны.

Образцы из кирпича пластического прессования изготавливают, соединяя их части и выравнивая поверхности цементным раствором.

Для раствора применяют портландцемент или шлакопортландцемент марки 400 и песок, просеянный через сито № 1,25. Состав раствора с отношением: цемент/песок = 1:1, вода/цемент = 0,4–0,42.

Кирпич предварительно погружают в воду на 1 мин. Затем на ровную горизонтальную поверхность укладывают стеклянную или металлическую пластинку, на нее кладут лист бумаги, и по бумаге расстилают слой раствора толщиной 5 мм. Потом на раствор кладут кирпич, слегка прижимая его рукой, после чего на 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 опорную поверхность образца.

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

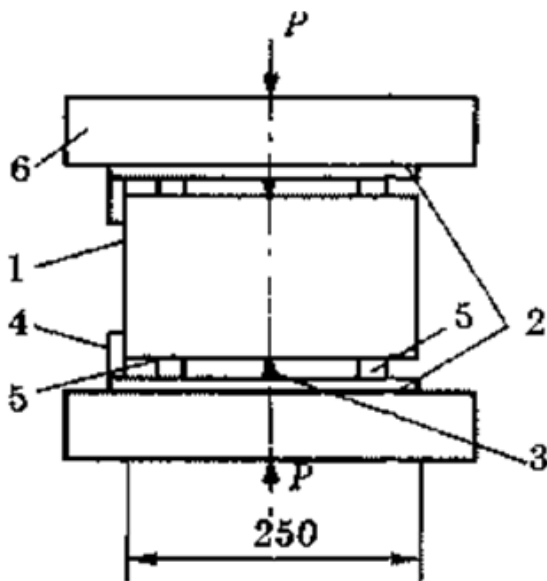


Рис. 1.3. Схема раскалывания кирпича на прессе:
1 – образец; 2 – основание; 3 – металлический нож; 4 – упор;
5 – резиновые прокладки; 6 – плита пресса

Допускается выравнивать горизонтальные поверхности кирпича шлифованием, гипсовым раствором или применять прокладки из технического войлока, резиноканевых пластин, картона.

Толщина слоя гипсового раствора с водогипсовым отношением 0,32–0,35 должна быть не более 5 мм, и испытания должны проводиться не ранее чем через 2 ч. Поверхности образцов из кирпича полусухого прессования не выравниваются.

Проведение испытаний. Схема испытания образцов на сжатие приведена на рис. 1.4. Перед испытанием вычисляют площадь поперечного сечения образца как среднее арифметическое площадей верхней и нижней граней. Линейный размер каждой грани определяют как среднее арифметическое значение результатов измерений поверхностей образца. Замеры выполняют с точностью до 1 мм.

Разрушающую нагрузку определяют на гидравлическом прессе при нарастании скорости хода поршня, обеспечивающей разрушение образца через 20–60 с после начала испытания.

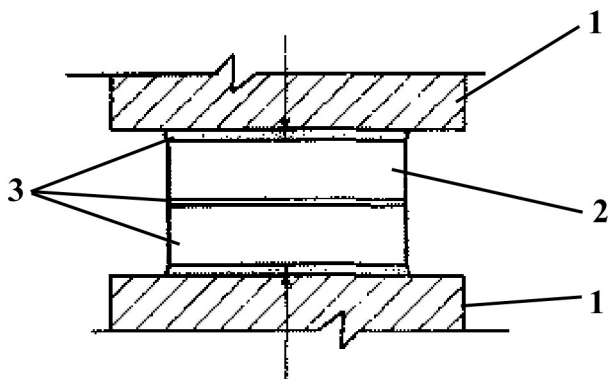


Рис. 1.4. Схема испытания кирпича на сжатие:
1 – плиты пресса; 2 – половинки кирпича; 3 – цементное тесто

Обработка результатов. Предел прочности при сжатии отдельного образца вычисляют по формуле

$$R_{сж} = \frac{P}{F}, \quad (1.2)$$

где $R_{сж}$ – предел прочности при сжатии, МПа;

P – разрушающая нагрузка, Н;

F – площадь образца, м².

Средний предел прочности вычисляют с точностью до 0,1 МПа как среднее арифметическое значение результатов испытаний пяти образцов.

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

При вычислении предела прочности кирпича пластического прессования, выровненного шлифованием, гипсовым раствором или прокладками, применяют поправочный коэффициент перехода. Он вычисляется по формуле

$$K = \frac{R_{сж1}}{R_{сж2}}, \quad (1.3)$$

где K – поправочный коэффициент;

$R_{сж1}$ – предел прочности при сжатии образцов, отобранных от десяти партий кирпича, изготовленных по основной методике, как среднее арифметическое значение результатов испытаний 50 образцов, МПа;

$R_{сж2}$ – предел прочности при сжатии образцов, отобранных от десяти партий кирпича и изготовленных по ускоренной методике, как среднее арифметическое значение результатов испытаний 50 образцов, МПа.

Результаты испытаний записывают в табл. 1.3.

Таблица 1.3. Определение предела прочности кирпича при сжатии

Номер образца	Площадь образца F , м^2	Разрушающая нагрузка P , Н	Предел прочности при сжатии отдельного образца $R_{сж}$, МПа	Среднее значение предела прочности $R_{сж}$, МПа	Наименьшее значение предела прочности $R_{сж}$, МПа

Определение предела прочности кирпича при изгибе. Проведение испытаний. Испытание кирпича на изгиб выполняют на целых кирпичах как балок, свободно лежащих на двух опорах и нагруженных посередине пролета (рис. 1.5).

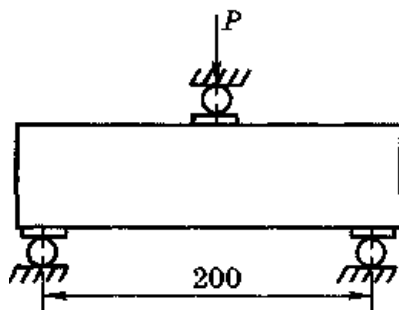


Рис. 1.5. Схема испытания кирпича на изгиб

Опоры должны быть расположены на расстоянии 200 мм друг от друга. Передача нагрузки от пресса на середину кирпича выполняется через опору. Длина каждой опоры должна быть не менее ширины кирпича и иметь закругления радиусом 10–15 мм.

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 мм.

Обработка результатов. Предел прочности при изгибе отдельного образца определяют по формуле

$$R_{\text{и}} = \frac{3PL}{2bh^2}, \quad (1.4)$$

где $R_{\text{и}}$ – предел прочности при изгибе, МПа;

P – разрушающая сила, Н;

L – длина пролета между опорами, м;

b – ширина кирпича, м;

h – высота (толщина) кирпича посередине пролета, м.

За окончательное значение предела прочности при изгибе принимают среднее арифметическое значение из результатов испытаний пяти образцов, вычисленное с точностью 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 значение прочности четырех образцов. Результаты испытаний записывают в табл. 1.4.

Таблица 1.4. Определение пределов прочности кирпича при изгибе

№ образцов	Размеры, м			Разрушающая нагрузка P , Н	Среднее значение предела прочности $R_{\text{и}}$, МПа	Среднее значение предела прочности $R_{\text{и}}$, МПа	Среднее значение предела прочности $R_{\text{и}}$, МПа
	L	b	h				

Результаты испытаний при сжатии и изгибе сравнивают с данными СТБ 1160-99, приведенными в табл. 1.5, и делают выводы о марке кирпича.

Т а б л и ц а 1.5. Прочность кирпича

Марка кирпича	Предел прочности, МПа							
	для всех видов кирпича		при изгибе					
			для полнотелого		для пустотелого		для утолщенного кирпича	
	средний	наименьший для отдельного образца	средний	наименьший для отдельного образца	средний	наименьший для отдельного образца	средний	наименьший для отдельного образца
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	2,0	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
Для кирпича с горизонтальным расположением пустот								
100	10	7,5	–	–	–	–	–	–
75	7,5	5,0	–	–	–	–	–	–
50	5,0	3,5	–	–	–	–	–	–
35	3,5	2,5	–	–	–	–	–	–
25	2,5	1,5	–	–	–	–	–	–

1.4. Определение известковых включений

Оборудование и материалы: образцы кирпича; пропарочный бак с решеткой; газовая или электроплитка; металлическая линейка; часы; вода.

Проведение испытаний. Известковые включения в кирпиче или камнях могут привести к их разрушению в процессе эксплуатации. Наличие известковых включений определяют пропариванием.

Образцы изделий укладывают на решетку пропарочного бачка, заполняя водой до уровня ниже решетки, закрывают крышкой и подогревают до кипения на газовой плите или электроплитке. Кипячение продолжают один час и затем охлаждают 4 ч в пропарочном бачке при закрытой крышке. Далее образцы осматривают и определяют повреждения. Кирпич не должен разрушаться, не допускается на поверхности более трех отколов от 5 до 10 мм по наибольшему измерению.

1.5. Определение водопоглощения (ГОСТ 7025)

Водопоглощение полнотелого кирпича должно быть не менее 8 %, пустотелого кирпича – не менее 6 %.

Оборудование и материалы: образцы кирпича; сушильный шкаф; технические весы; сосуд с решеткой; электроплитка; вода; ветошь.

Проведение испытаний. Испытания выполняют в помещении с температурой воздуха $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ на трех целых образцах или половинках насыщением их в воде с температурой $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$, в кипящей воде при атмосферном давлении и под вакуумом в воде с температурой $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$. Испытание в кипящей воде не заменяет способ насыщения в воде при температуре $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$. Рассмотрим первые два способа.

Образцы высушивают до постоянной массы при температуре 105–110 °С. Высушивание считается законченным, если между двумя последовательными взвешиваниями разность не будет превышать 1 г при массе образцов от 20 до 1000 г и 5 г – при массе от 1000 до 10000 г. Перерыв между взвешиванием не должен превышать 4 ч для образца и 2 ч – для пробы.

После взвешивания высушенных образцов их помещают на решетку в сосуд с водой в один ряд с зазором не менее 2 см. Температура воды должна быть $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$, уровень воды – выше верха образцов на 2–10 см.

Образцы выдерживают в воде (48 ± 1) ч, после чего вынимают, обтирают влажной ветошью и взвешивают не позднее 2 мин. Вытекшую воду включают в массу насыщенного водой образца.

При определении водопоглощения по ускоренной методике кирпичи кипятят в воде $(5 \pm 0,1)$ ч. Воду до кипения доводят в течение 1 ч. Затем образцы оставляют на 16–19 ч в помещении, после чего взвешивают.

Обработка результатов. Водопоглощение ($\text{кг}/\text{м}^3$) кирпичей характеризуется отношением массы поглощенной воды к массе сухого ма-

териала и для отдельного образца вычисляется по формуле

$$W_{\text{мас}} = \frac{m_1 - m}{m \cdot 100}, \quad (1.5)$$

где $W_{\text{мас}}$ – водопоглощение, %;

m_1 – масса образца, насыщенного водой, г;

m – масса образца, высушенного до постоянной массы, г.

Водопоглощение пробы вычисляют как среднее арифметическое значение результатов испытаний трех образцов с точностью до 1 %. Полученные данные записывают в табл. 1.6.

Т а б л и ц а 1.6. Определение водопоглощения кирпича

Показатель	Номер образцов		
	1	2	3
Масса образца, высушенного до постоянной массы m , г			
Масса образца, насыщенного водой m_1 , г			
Водопоглощение отдельного образца по массе $W_{\text{мас}}$, %			
Среднее значение водопоглощения $W_{\text{мас}}$, %			

1.6. Определение морозостойкости (ГОСТ 7025)

Оборудование и материалы: испытываемые образцы; камера морозильная с принудительным перемешиванием воздуха и автоматически регулируемой температурой от -15 до -20 °С; контейнеры; ванна с решеткой для насыщения образцов водой и их оттаивания; термостат для поддержания температуры воды (20 ± 5) °С; ванна с гидравлическим затвором; сушильный шкаф; термометр; краска; кисть.

Проведение испытаний. Морозостойкость кирпича и камней определяют методами объемного или одностороннего замораживания. Рассмотрим методику испытания объемным замораживанием.

Контроль повреждений выполняется по степени повреждения испытанием не менее 5 кирпичей. Образцы вначале высушивают до постоянной массы, а затем насыщают водой в течение 48 ч, как это указано в п. 10.5. Можно использовать образцы после определения водопоглощения.

Замораживают образцы в морозильной камере, оборудованной вентилятором для перемешивания воздуха и термостатом, при температуре $-15 \dots -20$ °С. До начала загрузки температура в камере не должна превышать -5 °С. Продолжительность одного замораживания должна составлять не менее 4 ч от начала установления в ней температуры -15 °С. Перерывы не допускаются.

После выдерживания образцов в морозильной камере их погружают в контейнерах в ванну с водой и выдерживают там не менее половины времени замораживания при температуре $+15...+20\text{ }^{\circ}\text{C}$, которая поддерживается термостатом. Продолжительность оттаивания составляет не менее половины времени замораживания. Один цикл не должен превышать 24 ч. При временном прекращении испытания после оттаивания образцы хранят в камере с гидравлическим затвором, а при продолжении испытания насыщают водой.

При оценке морозостойкости образцы перед замораживанием осматривают и фиксируют несмываемой краской все дефекты: трещины, отколы ребер и углов и пр. После испытания осматривают, определяют степень повреждений и делают заключение о качестве кирпича. Кирпич считают выдержавшим испытания, если после установленного количества циклов попеременного замораживания и оттаивания, соответствующих марке по морозостойкости, не будет наблюдаться расслоение, шелушение, растрескивание, выкрашивание.

1.7. Определение качества дренажных керамических труб (ГОСТ 8411)

Керамические дренажные трубы (рис. 1.6) изготавливают из пластичных тугоплавких глин с добавками или без них. Трубы формуют на горизонтальных вакуум-прессах трех типов с цилиндрической, шестигранной и восьмигранной наружной поверхностью с внутренним диаметром 50–250 мм при толщине стенок соответственно 11–25 мм и длине 333 мм.

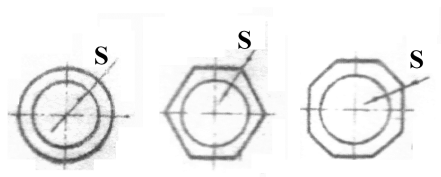


Рис. 1.6. Типы дренажных труб:
круглые, шестигранные, восьмигранные

1.7.1. Оценка качества по внешнему виду, форме и размерам

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

Проведение испытания. Трубы осматривают, проверяют правильность формы, наличие выплавок, пузырей, вмятин, отбитостей, инородных включений, трещин. Предельные отклонения от размеров труб должны соответствовать указанным в табл. 1.7.

Таблица 1.7. Основные размеры труб и допустимые отклонения

Внутренний диаметр трубы, мм		Толщина стенки трубы, мм		Длина трубы, мм	
Номинальный	Предельные отклонения	Номинальный	Предельные отклонения	Номинальный	Предельные отклонения
50	±2	11	±2		
75		13			
100		15			±10
125	±3	18	±3	333	
150		20			±5
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 измеряют штангенциркулем на обоих концах трубы, а 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. 1.7).

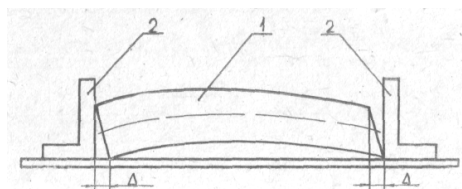


Рис. 1.7. Измерение искривления поверхности трубы:
1 – труба; 2 – угольники

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.

Перекос 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 (см. рис. 1.5).

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 $\frac{1}{4}$ 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 не более $\frac{1}{4}$ длины окружности (периметра). Полученные данные записывают в табл. 1.8.

Т а б л и ц а 1.8. Оценка качества дренажных керамических труб по внешнему виду, форме и размерам, диаметр труб _____ мм

Показатели обмера и осмотра	Отклонения, допускаемые ГОСТом	Номер образца					
		1	2	3	4	5	Сред- нее
Отклонения в размерах труб: по внутреннему диаметру d , мм							
по толщине стенки S , мм							
по длине l , мм							
Овальность труб, мм							
Искривление, мм							
Перекос труб, мм							
Отдельные выплавки, пузыри, вмятины, иородные включения, шт.							
Трещины, шт.							

1.7.2. Определение прочности

Оборудование и материалы: образцы труб; гидравлический пресс; деревянные бруски 100×100 мм; резиновые прокладки.

Проведение испытания. 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, 200 мм. Результаты испытаний записывают в табл. 1.9.

Т а б л и ц а 1.9. Определение прочности дренажных керамических труб

Номер опыта	Диаметр труб, мм	Нагрузка, Н	
		разрушающая	допускаемая

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА

Портландцементом называют гидравлическое вяжущее вещество, получаемое тонким измельчением обожженной до спекания при температуре 1450–1500 °С сырьевой смеси, состоящей из известняка (75–78 %) и глины (22–25 %), обеспечивающей преобладание в клинкере силикатов кальция.

Клинкером называют спекшуюся сырьевую смесь в виде зерен размером до 40 мм. Для регулирования сроков схватывания цемента к клинкеру при помоле добавляют гипс в количестве не менее 1,5 % и не более 3,5 % от массы цемента.

2.1. Определение истинной плотности

Истинная плотность оказывает влияние на свойства портландцементов. 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.

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

Истинную плотность портландцемента определяют с помощью объемметра Ле Шателье (рис. 2.1), который выполнен в виде стеклянной колбы с узким горлом, расширяющимся в средней части. Объем колбы составляет 120–150 см³. Горло градуировано с ценой деления 0,1 см³. В нижней и верхней частях от уширения нанесены две черты, объем между которыми равен 20 см³.

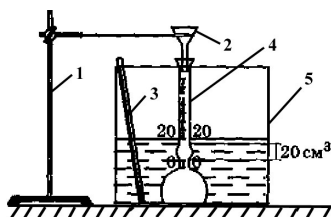


Рис. 2.1. Объемметр Ле Шателье:
1 – штатив; 2 – воронка; 3 – термометр;
4 – объемметр; 5 – сосуд с водой

Проведение испытаний. Объемометр помещают в сосуд с водой, чтобы градуированная часть его была погружена в воду. Температура воды должна быть $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$, т. е. соответствовать температуре, при которой производилась тарировка прибора. Во избежание всплывания прибор закрепляют на штативе.

Объемометр заполняют безводной жидкостью до нижней нулевой черты. Верхнюю часть, свободную от жидкости, вытирают тампоном из фильтровальной бумаги.

Из пробы цемента, предварительно высушенной в течение двух часов при температуре $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ до постоянной массы, а затем охлажденной в эксикаторе, отвешивают 65 г цемента. Через воронку совком цемент всыпают в объемометр, пока уровень жидкости не поднимется до черты 20 см^3 . Для удаления пузырьков воздуха из цемента объемометр поворачивают вокруг его вертикальной оси. Остаток цемента взвешивают.

Обработка результатов. Истинную плотность $\rho_{\text{иц}}$, г/см^3 , определяют по формуле

$$\rho_{\text{иц}} = \frac{m - m_1}{V}, \quad (2.1)$$

где $\rho_{\text{иц}}$ – истинная плотность, г/см^3 ;

m – масса цемента до начала опыта, г;

m_1 – масса остатка цемента, г;

V – объем жидкости, вытесненной цементом, см^3 .

Испытания выполняют три раза. За окончательный результат принимают среднее арифметическое значение из трех определений. Полученные данные записывают в табл. 2.1.

Т а б л и ц а 2.1. Определение истинной плотности

Показатель	Номер определений		
	1	2	3
Масса цемента до начала опыта m , г			
Масса остатка цемента m_1 , г			
Объем жидкости, вытесненной цементом V , см^3			
Истинная плотность цемента $\rho_{\text{иц}}$, г/см^3			
Среднее значение истинной плотности цемента $\rho_{\text{иц}}$, г/см^3			

2.2. Определение насыпной плотности

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

Оборудование и материалы: проба цемента; стандартная воронка; мерный цилиндр вместимостью 1000 см^3 ; весы; виброплощадка.

Насыпную плотность портландцемента в рыхлом состоянии определяют с помощью стандартной воронки (рис. 2.2) с поворачивающимся затвором в нижней части и мерного металлического сосуда объемом 1000 см^3 .

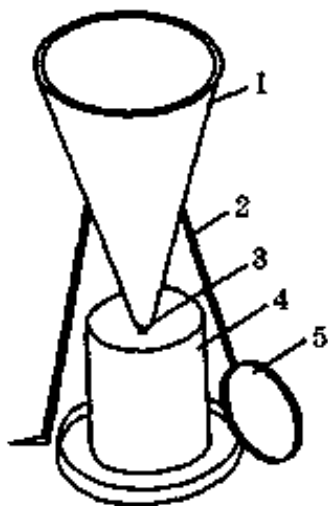


Рис. 2.2. Прибор для определения насыпной плотности цемента:
1 – воронка; 2 – подставка; 3 – задвижка; 4 – мерный цилиндр; 5 – сито

Проведение испытаний. Испытания проводят в следующей последовательности. 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 затвор закрывают, а избыток цемента срезают линейкой. Цилиндр с цементом взвешивают с точностью до 1 г.

Обработка результатов. Насыпную плотность ρ_n , г/см³, вычисляют по формуле

$$\rho_n = \frac{m_1 - m_2}{V}, \quad (2.2)$$

где ρ_n – насыпная плотность, г/см³;

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

V – объем сосуда, см³.

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. Результаты испытания записывают в табл. 2.2.

Т а б л и ц а 2.2. **Определение насыпной плотности**

Показатель	Номер определений		
	1	2	3
Масса сосуда с цементом m_1 , г			
Масса сосуда без цемента m_2 , г			
Объем сосуда V , см ³			
Насыпная плотность ρ_n , г/см ³			
Среднее значение насыпной плотности цемента ρ_n , г/см ³			

2.3. Определение тонкости помола (ГОСТ 310.2)

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

Оборудование и материалы: проба цемента; фарфоровая чашка; технические весы; сито № 09; сито № 008 с донышком и крышкой; прибор для встряхивания сит; сушильный шкаф; эксикатор; лист глянцевой бумаги; кисточка.

Проведение испытаний. 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 эксика-

торе до температуры помещения (20 ± 3) °С и просеивают через сито № 09. Из подготовленной таким образом пробы отвешивают 50 г цемента и помещают в сито № 008 (рис. 2.3), закрывают крышкой и просеивают в механическом приборе в течение 5–10 мин. При отсутствии прибора просеивание можно делать вручную. Испытание считают законченным, если при контрольном просеивании в течение одной минуты через сито проходит не более 0,05 г цемента.

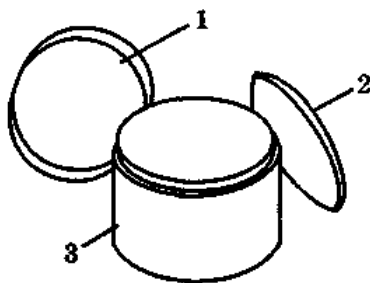


Рис. 2.3. Сито для просеивания цемента:
1 – сито с сеткой № 008; 2 – крышка; 3 – доньшко

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

$$\Delta = \frac{m_1}{m} \cdot 100, \quad (2.3)$$

где Δ – тонкость помола, %;

m_1 – масса цемента, взятая для испытания, г;

m – масса цемента, оставшегося на сите после просеивания, г.

Результаты испытания записывают в табл. 2.3.

Т а б л и ц а 2.3. **Определение тонкости помола**

Показатель	Результат
Масса цемента, взятого для испытания m_1 , г	
Масса цемента, оставшегося на сите после просеивания m , г	
Тонкость помола (остаток на сите) T , %	

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

2.4. Определение удельной поверхности цемента

Одним из показателей дисперсности цемента является удельная поверхность. Она характеризуется суммарной площадью поверхности зерен в одном грамме цемента. Определяется методом воздухопроницаемости, который основан на сопротивлении слоя цемента воздуху, проходящему через него. С увеличением дисперсности с 3 до 4–4,5 тыс. см²/г прочность цемента повышается на 15–20 %.

Оборудование и материалы: проба цемента; пневматический поверхностемер; сушильный шкаф; эксикатор; технические весы; фарфоровая чашка, сито № 09; секундомер; фильтровальная бумага.

Удельная поверхность зерен определяется с помощью специального прибора – пневматического поверхностемера (рис. 2.4), который состоит из гильзы, манометра-аспиратора, крана, резиновой груши и регулятора разрежения.

Гильза представляет собой металлический цилиндр с внутренним диаметром $(25,2 \pm 0,1)$ мм, перегороденный диском в виде металлической перфорированной пластинки толщиной 2 мм с 88 отверстиями диаметром 1,2 мм каждое, опирающейся на заплечники гильзы. Цилиндр устанавливается на донышко в виде обоймы. С помощью гильзы через резиновый шланг нижняя часть камеры соединяется с манометром-аспиратором.

Для уплотнения цемента в гильзе служит плунжер, изготовленный в виде цилиндра с вертикальным каналом для прохода воздуха, упорным кольцом и рукояткой. Манометр-аспиратор предназначен для создания разрежения, в результате которого происходит просасывание воздуха через слой цемента, и для измерения величины этого разрежения. Он представляет собой стеклянный сосуд с двумя коленами, заполненными водой до нулевой отметки. Одно колено присоединено к гильзе и регулятору разрежения, второе – открыто. Первое колено имеет два уширения, из которых верхнее служит для измерения дисперсности цемента с большей удельной поверхностью, нижнее – с малой. Выше и ниже этих уширений имеются метки «в», «с», «d», «е», а также нулевая метка на колене, до которой манометр-аспиратор заполняется жидкостью, и верхняя «а», до которой должна подняться жидкость до начала измерения. Манометр-аспиратор включается и выключается краном.

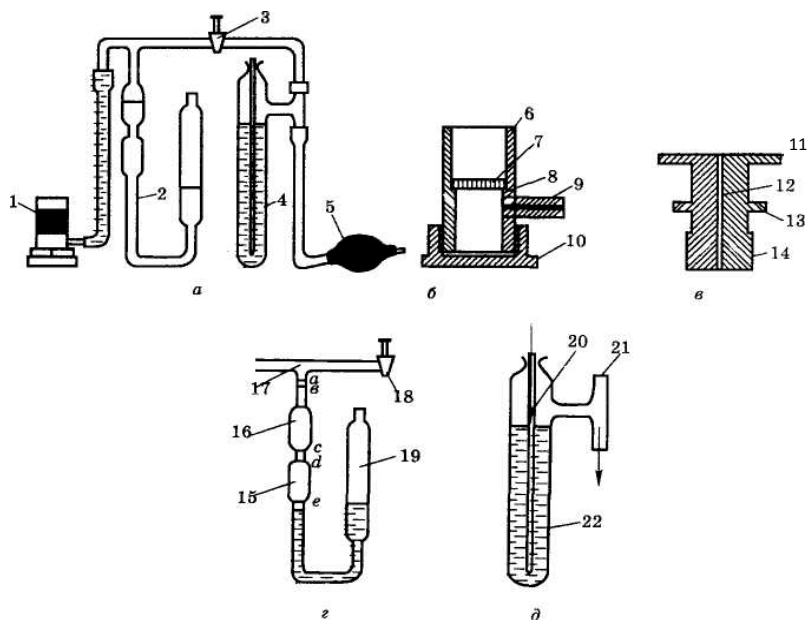


Рис. 2.4. Пневматический поверхностемер:

- а* – схема прибора: 1 – гильза; 2 – манометр-аспиратор; 3 – кран;
4 – регулятор разрежения; 5 – резиновая груша;
б – гильза: 6 – камера; 7 – перфорированный диск; 8 – запечники;
9 – трубка; 10 – доннышко с обоймой;
в – плунжер: 11 – рукоятка; 12 – канал; 13 – упорное кольцо; 14 – корпус;
г – манометр-аспиратор: 15, 16 – уширения на трубке для воды;
17 – трубка; 18 – кран; 19 – открытое колено с уширением;
д – гидравлический регулятор разрежения: 20 – трубка для ввода
воздуха; 21 – трубка в виде тройника; 22 – сосуд

Гидравлический регулятор разрежения состоит из стеклянного сосуда и трубки для ввода воздуха. Он заполняется насыщенным раствором поваренной соли в количестве, достаточном для того, чтобы при создании разрежения жидкость в закрытом колене манометра-аспиратора поднималась до уровня, отмеченного буквой «а».

Разрежение создается водоструйным насосом или резиновой грушей, имеющей клапаны для создания движения воздуха в одном направлении.

Подготовка к испытанию. Перед испытанием следует проверить герметичность гильзы и всех соединений прибора. Для этого гильзу

закрывают сверху резиновой пробкой, гидравлический регулятор заполняют насыщенным раствором поваренной соли, а манометр-аспиратор – водой. Открывают кран и создают разрежение с помощью резиновой груши или водоструйного насоса.

Уровень воды в манометре-аспираторе доводят до метки «а» и закрывают кран. При герметичности соединений прибора уровень воды не должен опускаться. Если же он опускается, следует найти и устранить место подсоса воздуха.

Для проверки правильности измерения применяется эталонный порошок, размолотый до определенной удельной поверхности, и очищенный соляной кислотой кварцевый песок.

В паспорте прибора указывается величина навески, коэффициент пористости, удельная поверхность эталонного порошка.

Подготовка пробы цемента заключается в следующем. Цемент просеивают через сито № 09, отвешивают 25 г, высушивают в сушильном шкафу при температуре 105–110 °С в течение 2 ч, охлаждают в эксикаторе. Затем из подготовленной пробы берут навеску цемента, взвешенную с точностью до 0,01 г, которую затем помещают в гильзу прибора. Величину навески подбирают опытным путем. Она зависит от истинной плотности цемента и величины уплотнения.

Цемент помещают в гильзу, сверху устанавливают плунжер, умеренно нажимают на него рукой, чтобы верхний обрез кольца был на верхнем уровне гильзы. В гильзе должен получиться плотный слой цемента с коэффициентом пористости $\Pi = (0,48 \pm 0,1)$. По истинной плотности цемента $\rho_{\text{ц}}$ и его объему V в гильзе вычисляют массу навески m , г, по формуле

$$m = \rho_{\text{ц}}(1 - \Pi), \quad (2.4)$$

где m – масса испытываемого цемента, г;

$\rho_{\text{ц}}$ – истинная плотность цемента, г/см³;

V – объем слоя цемента в гильзе, см³. Он равен 7,5 см³ при площади поперечного сечения гильзы 5 см² и высоте слоя цемента 1,5 см.

Проведение испытаний. Из приготовленной пробы цемента берут навеску, подобранную опытным путем, и взвешивают ее с точностью до 0,01 г.

В гильзу прибора помещают перфорированный диск, на него укладывают кружок фильтровальной бумаги, вырезанной по диаметру гильзы, и всыпают цемент. Слегка постукивая по стенке цилиндра,

выравнивают поверхность цемента. Затем укладывают второй кружок фильтровальной бумаги, сверху устанавливают плунжер, умеренно нажимают на него рукой, чтобы упорное кольцо плунжера было на уровне верха гильзы.

Гильзу присоединяют к манометру-аспиратору резиновой трубкой. Затем при помощи груши или водоструйного насоса создают разрежение под слоем цемента и открывают кран. Вода должна подняться до уровня «а» между двумя линиями, после чего кран закрывают.

Вода в колене начнет опускаться, просасывая воздух через цемент, находящийся в гильзе. Когда вода достигнет уровня «b», включают секундомер и измеряют время T опускания ее до уровня «с». Если вода опускается быстро и затрудняется возможность зафиксировать время опускания, пользуются нижним расширением и измеряют время опускания воды между уровнями «d» и «с». Просасывание воздуха через одну навеску цемента выполняют два или три раза. Разность между наименьшим и наибольшим значениями не должна превышать 10 %. Для последующих расчетов принимают среднее арифметическое значение.

Обработка результатов. Удельную поверхность цемента вычисляют по формуле

$$S = \frac{K}{\rho_{\text{ц}}} \sqrt{\frac{\Pi^3 T}{(1 - \Pi)\eta}}, \quad (2.5)$$

где S – удельная поверхность цемента, $\text{см}^2/\text{г}$;

K – постоянная пневматического поверхностемера, которая указывается в паспорте прибора для верхнего и нижнего расширений манометра-аспиратора;

Π – коэффициент пористости цемента в гильзе в долях единицы;

T – время снижения уровня воды от отметки «а» до отметки «b» верхнего расширения или от «с» до «d» нижнего расширения манометра-аспиратора, с;

η – вязкость воздуха, пуаз.

Результаты испытания записывают в табл. 2.4.

Истинную плотность цемента определяют раньше, вязкость воздуха в зависимости от температуры принимается по табл. 2.5. На приборе определяется только время T просасывания воздуха через гильзу с цементом.

Возможны следующие ошибки при повторных испытаниях: навеска цемента неравномерно распределена по сечению гильзы, недостаточ-

ное прессование, появление трещин в уплотненном слое цемента в результате быстрого извлечения плунжера из гильзы.

Таблица 2.4. Определение удельной поверхности цемента

Дата	Вид цемента	Истинная плотность цемента $\rho_{ц}$, г/см ³	Навеска цемента m , г	Объем слоя цемента в гильзе V , см ³	Постоянная прибора K	Коэффициент пористости цемента в гильзе P	Температура помещения при проведении опыта, °C	Вязкость воздуха η , пуаз	Продолжительность опыта T , с	Удельная поверхность цемента S , см ² /г

Таблица 2.5. Вязкость воздуха при различных температурах

Температура, °C	Вязкость воздуха η , пуаз	$\sqrt{\frac{1}{\eta}}$
8	0,0001719	75,64
10	0,0001759	75,41
12	0,0001763	75,21
14	0,0001778	75,00
16	0,0001788	74,79
18	0,0001798	74,58
20	0,0001808	74,34
22	0,0001818	74,16
24	0,0001828	73,96
26	0,0001837	73,78
28	0,0001847	73,58
30	0,0001857	73,38
32	0,0001867	73,19

2.5. Определение нормальной густоты цементного теста (ГОСТ 310.3)

Нормальная густота цементного теста характеризуется процентным отношением содержания воды от массы цемента. Уменьшение нормальной густоты цементного теста на 1 % понижает водопотребность бетонной смеси на 2–5 л/м³, что приводит к уменьшению расхода цемента на 1 м³ бетона. Сроки схватывания и равномерность изменения объема цемента определяются также на цементном тесте нормальной густоты.

Оборудование и материалы: средняя проба цемента; вода; прибор Вика; механическая мешалка или чашка для затворения; стандартная лопатка; нож; мерный цилиндр; технические весы; машинное масло; секундомер.

Подготовка к испытаниям. Нормальную густоту цементного теста определяют на приборе Вика с пестиком (рис. 2.5). Цементное тесто приготавливают вручную или в механической мешалке.

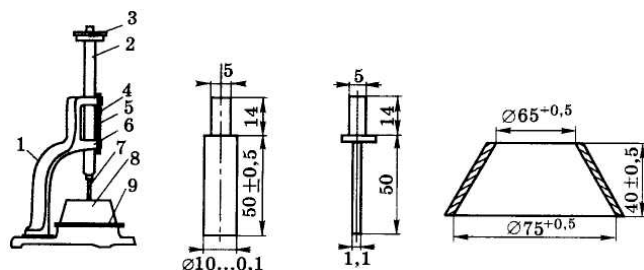


Рис. 2.5. Прибор Вика:

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

При ручном перемешивании 400 г цемента, взвешенного с точностью до 1 г, всыпают в металлическую сферическую чашку (рис. 2.6), предварительно протертую влажной тканью, делают в цементе углубление, вливают воду.

Количество воды для первого пробного замеса может быть ориентировочно принято 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. 2.7) во взаимно перпендикулярных направлениях. Продолжительность перемешивания и растирания составляет 5 мин.

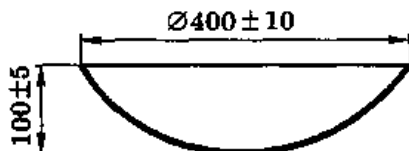


Рис. 2.6. Чашка для затворения цемента

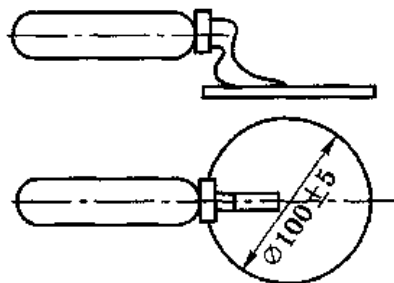


Рис. 2.7. Стандартная лопатка

При перемешивании в механической мешалке 400 г цемента распределяют равномерно по дну чаши мешалки, 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 пластинку о стол, после чего выравнивают поверхность теста ножом, смоченным водой, и ставят под стержень прибора Вика.

Проведение испытаний. Перед началом испытания следует проверить, свободно ли опускается стержень прибора, положение стрелки, которая должна находиться на нуле при соприкосновении пестика с пластинкой. Кольцо и пластинку смазывают машинным маслом тонким слоем.

Затем приводят пестик в соприкосновение с цементным тестом в центре кольца, и стержень закрепляют винтом. Потом винт отвертывают, одновременно запуская секундомер. Через 30 с винт завертывают, и по шкале определяют глубину погружения. Если отсчет показывает, что пестик не дошел до пластинки на 5–7 мм, тесто считается нормальной густоты. В противном случае цемент затворяют вновь, изменив количество воды. Результаты испытания записывают в табл. 2.6.

Таблица 2.6. Определение нормальной густоты цементного теста

Номер опыта	Количество воды		Глубина погружения пестика, мм	Нормальная густота теста, %
	г	%		

2.6. Определение сроков схватывания цементного теста (ГОСТ 310.3)

Сроки схватывания портландцемента должны наступать не ранее 45 мин и не позже 10 ч. В действительности для большинства цементов начало схватывания наступает через 1–2 ч, а конец – через 5–8 ч. Эти сроки обеспечивают перевозку и укладку растворных и бетонных смесей. При необходимости сроки схватывания цементов можно регулировать введением химических добавок.

Оборудование и материалы: проба цемента; вода; прибор Вика; чаша для затворения сферической формы; стандартная лопатка; мерный цилиндр; секундомер; технические весы; нож; машинное масло; часы.

Сроки схватывания цементного теста определяются на приборе Вика (см. рис. 2.5), на нижней части подвижного стержня которого закреплена стальная игла сечением 1 мм². Для сохранения общей массы подвижной части прибора, равной (300 ± 2) г, на верх стержня укладывают довеску. За начало схватывания принимают время от начала затворения (приливания воды) 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 опустится в тесто не более чем на 1–2 мм.

Проведение испытаний. Приготавливают тесто нормальной густоты, которым заполняют кольцо прибора, 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 делают 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.

Результаты испытания записывают в табл. 2.7.

Таблица 2.7. **Определение сроков схватывания цементного теста**

Цемент _____ Завод _____
 Температура помещения _____ Навеска цемента _____
 Количество воды для теста нормальной густоты _____ г _____ %
 Прибор _____
 Время затворения _____ ч _____ мин

Номер опыта	Показания прибора, мм	Время	
		ч	мин

Начало схватывания _____ ч _____ мин
 Конец схватывания _____ ч _____ мин

2.7. Определение сроков схватывания полевым способом

Этот способ служит для ориентировочной оценки качества цемента и не заменяет основной способ.

Оборудование и материалы: проба цемента; вода; чашка для затворения; стандартная лопатка; мерный цилиндр; технические весы; нож; машинное масло; часы; стеклянная пластинка.

Проведение испытаний. Из теста нормальной густоты изготавливают лепешку, как при определении равномерности изменения объема (см. п. 2.8). На ее поверхности через каждые 10 мин делают легкие, без нажима, надрезы ножом или бритвой.

За начало схватывания принимают время от начала затворения до момента, когда после легкого нажима ножом или бритвой след на лепешке не заплывает.

За конец схватывания принимают время от начала затворения до момента, когда нож или бритва при легком нажиме перестанут оставлять след на лепешке. При более сильном нажиме корочка должна лопаться с хрустом.

2.8. Определение равномерности изменения объема цемента (ГОСТ 310.3)

Содержание в цементе свободных оксидов кальция $\text{CaO} > 2\%$, магния $\text{MgO} > 5\%$ и гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} > 3\%$ вызывает неравномерность изменения объема цементного камня. Это происходит из-за нарушений 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.

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

Проведение испытаний. 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 шарика в лепешку диаметром 7–8 см и толщиной в середине 1 см. Поверхность лепешек сглаживают от наружных краев к центру ножом, смоченным водой.

Изготовленные лепешки в течение (24 ± 2) ч хранят в ванне с гидравлическим затвором (рис. 2.8) при температуре (20 ± 5) °С, затем снимают с пластинок и помещают на решетчатую полку пропарочного бачка (рис. 2.9).

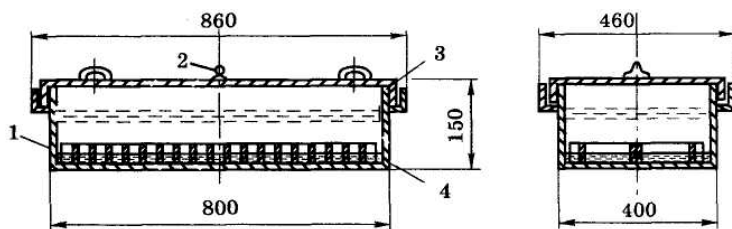


Рис. 2.8. Ванна с гидравлическим затвором:
1 – ванна; 2 – пробка; 3 – гидравлический затвор;
4 – решетка для образцов

Бачок заполняют водой до уровня на 4–6 см выше поверхности лепешек, после чего его закрывают и ставят на нагревательный прибор. За 30–45 мин воду доводят до кипения и кипятят 3 ч. Затем охлаждают в бачке до температуры (20 ± 5) °С и осматривают образцы.

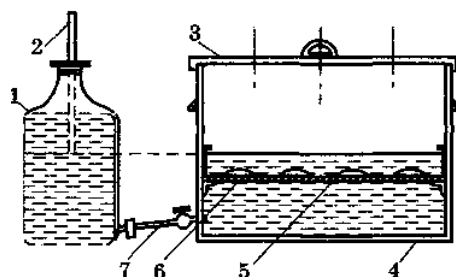


Рис. 2.9. Пропарочный бачок:

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

Цемент считается качественным, если на образцах-лепешках не обнаружится радиальных, доходящих до краев, трещин или мелких трещин, видимых в лупу или невооруженным глазом, а также каких-либо искривлений (рис. 2.10).

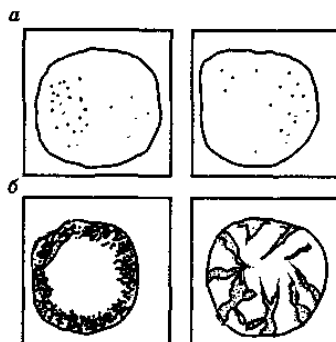


Рис. 2.10. Лепешки для испытания на равномерность изменения объема:
а – лепешки, выдержавшие испытания; б – лепешки, не выдержавшие испытания

Результаты испытаний записывают по следующей форме:

Цемент _____

Завод _____

Навеска цемента _____ г

Вода _____ % от массы цемента.

2.9. Определение марки цемента по пределу прочности при изгибе и сжатии (ГОСТ 310.4)

Марку цемента определяют по результатам испытаний образцов-балочек размером $40 \times 40 \times 160$ мм на изгиб и их половинок на сжатие по схемам, приведенным на рис. 2.11 и 2.12. Предел прочности образцов на сжатие в возрасте 28 суток называют активностью.

По механической прочности портландцементы подразделяются на марки 300, 400, 500, 550, 600, каждой из которых соответствует предел прочности при изгибе и сжатии образцов в возрасте 28 суток, приведенных в табл. 2.8.

Для быстротвердеющих портландцемента и шлакопортландцемента, кроме того, нормируется предел прочности в возрасте 3 суток.

Таблица 2.8. Марки портландцемента

Гарантированная марка цемента	Предел прочности в возрасте 28 суток, МПа, не менее	
	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

Примечание. Марка цемента 300 приведена для шлакопортландцемента.

Оборудование и материалы: проба цемента; вода; нормальный песок; технические весы; чаша сферическая для затворения; стандартная лопатка; лабораторная мешалка; встряхивающий столик; формаконус; металлическая штыковка; комплект форм-балочек с насадкой; виброплощадка; ванна с гидравлическим затвором; ванна для хранения балочек; нож; машинное масло; секундомер; испытательная машина МИИ-100; нажимные пластинки; гидравлический пресс $P = 500$ кН.

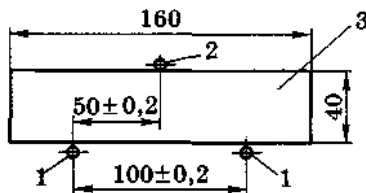


Рис. 2.11. Схема испытания цементных образцов на изгиб:
1 – опора; 2 – нагружающий валик; 3 – образец-балочка

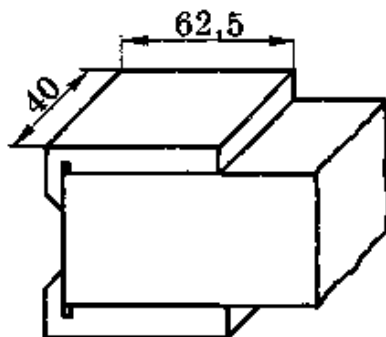


Рис. 2.12. Расположение нажимных металлических пластинок при испытании половинок-балочек на сжатие

Подготовка к испытаниям. Отвешивают 500 г цемента и 1500 г нормального песка, насухо перемешивают их в течение 1 мин в стальной сферической чашке. Затем в центре смеси делают углубление, вливают 200 г воды, что соответствует водоцементному отношению, равному 0,4, и снова перемешивают в течение 1 мин. Растворную смесь помещают в лабораторную мешалку (рис. 2.13) и перемешивают 2,5 мин двадцатью оборотами мешалки, после чего проверяют консистенцию с помощью встряхивающего столика и формы-конуса (рис. 2.14). Для этого форму-конус устанавливают в центре диска на стекло, предварительно увлажнив, и заполняют растворной смесью в два слоя. Каждый слой уплотняют металлической штыковкой (рис. 2.15): 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, потом замеряют величину расплыва конуса во взаимно перпендикулярных направлениях. 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.

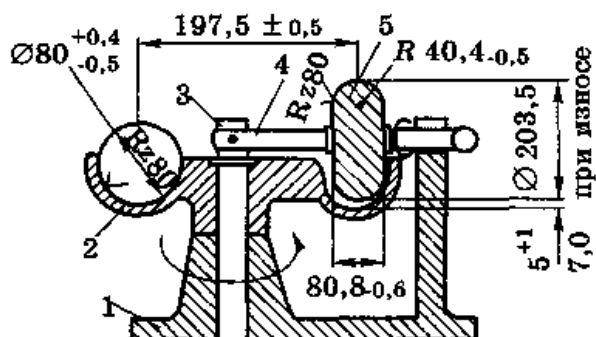


Рис. 2.13. Лабораторная мешалка:
1 – станина; 2 – смесительная чаша; 3 – ось чаши;
4 – откидная траверса; 5 – валик для перемешивания раствора

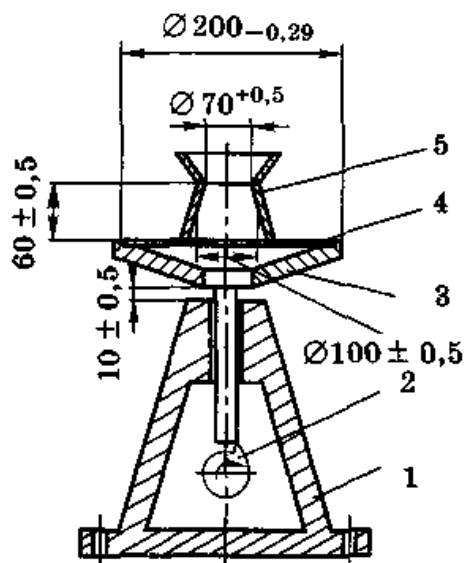


Рис. 2.14. Встряхивающий столик и форма-конус:
1 – чугунная станина; 2 – кулачок;
3 – ось с горизонтальным диском; 4 – стекло; 5 – форма

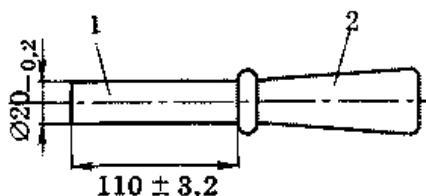


Рис. 2.15. Металлическая штыковка:
1 – стержень; 2 – ручка

Из приготовленного цементного раствора на каждый срок испытания изготавливают три образца-балочки. Их формуют в трехгнездных формах (рис. 2.16). На формы надевают насадки, смазывают машинным маслом, ставят на стандартную виброплощадку (рис. 2.17) и прочно закрепляют. Виброплощадка создает вертикальные колебания амплитудой 0,35 мм и частотой 2800–3000 колебаний в мин. Приготовленный раствор вкладывают в гнезда формы высотой 1 см и включают виброплощадку. В течение 2 мин равномерными порциями заполняют гнезда раствором. Общее время вибрации должно быть 3 мин. Затем снимают с формы насадку, а излишки раствора срезают ножом, смоченным в воде.

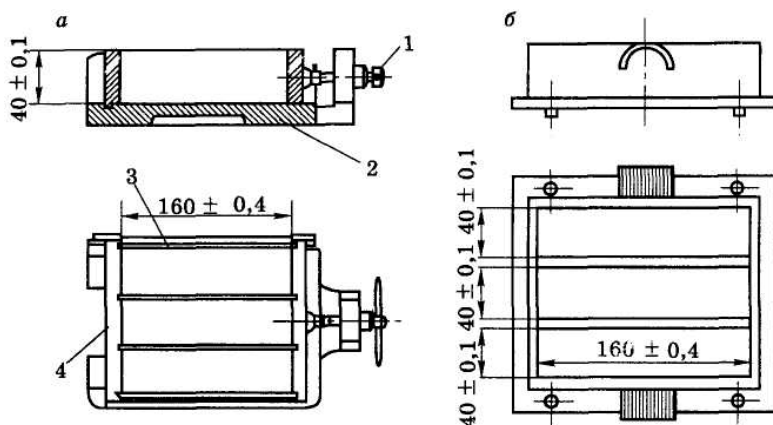


Рис. 2.16. Металлическая разъемная форма для балочек (а) и насадка к ней (б):
1 – зажимный винт; 2 – поддон; 3 – боковые стенки; 4 – торцевые стенки

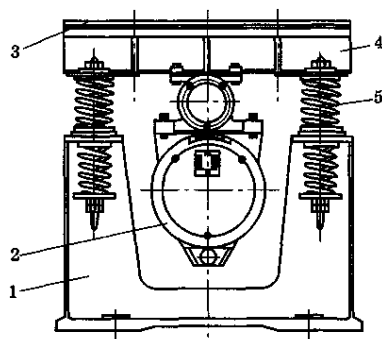


Рис. 2.17. Лабораторная виброплощадка:
1 – станина; 2 – электродвигатель с неуравновешенным грузом;
3 – площадка; 4 – рама; 5 – пружина

Образцы в формах хранят в ванне с гидравлическим затвором в течение (24 ± 2) ч, после чего расформовывают и укладывают горизонтально в ванне с водой так, чтобы они не соприкасались друг с другом. Температура воды должна быть $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$. Воду меняют через 14 суток.

Испытания проводят через 28 суток с момента изготовления образцов, вначале на изгиб на испытательной машине МИИ-100 (рис. 2.18), а половинки – на сжатие на гидравлическом прессе (рис. 2.19). Перед испытанием образцы вытирают насухо.

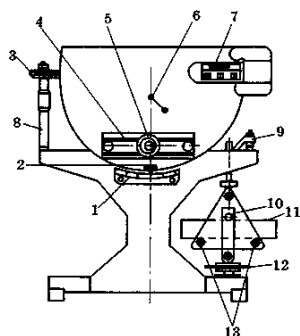


Рис. 2.18. Испытательная машина МИИ-100:
1 – шкала; 2 – стрелка; 3 – шайба; 4 – прорезь; 5 – груз; 6 – рукоятка управления;
7 – счетчик; 8 – амортизатор; 9 – коромысло; 10 – валик;
11 – образец-балочка; 12 – маховичок; 13 – опоры

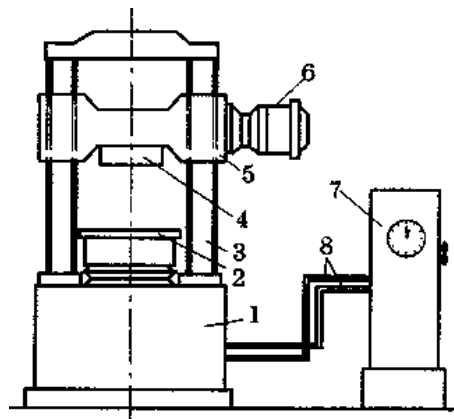


Рис. 2.19. Схема гидравлического пресса:
 1 – чугунная станина; 2 – нижняя опора; 3 – стальные колонны;
 4 – верхняя опорная плита; 5 – траверса; 6 – электродвигатель;
 7 – пульт управления; 8 – маслопроводы

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

Половинки балочек испытывают на сжатие, для чего применяют стальные пластинки размером $40 \times 62,5$ мм площадью 25 см^2 (рис. 2.20).

Каждый образец помещают между двумя пластинками таким образом, чтобы вертикальные плоскости находились между пластинками. Затем образец сжимают со скоростью $(2 \pm 0,5)$ МПа в секунду.

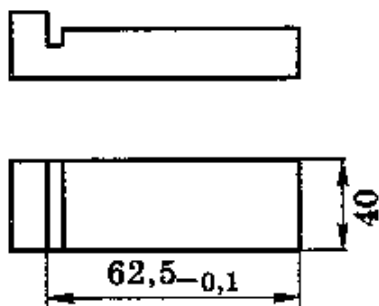


Рис. 2.20. Стальные пластинки для испытания на сжатие
 половинок-образцов

Обработка результатов. Предел прочности при сжатии вычисляют по формуле

$$R_{сж} = \frac{P}{F}, \quad (2.6)$$

где $R_{сж}$ – предел прочности при сжатии, МПа;

P – разрушающая нагрузка, Н;

F – площадь образца, мм².

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

Полученные данные предела прочности при изгибе и сжатии сравнивают с требованиями ГОСТ 10178-5* и определяют марку цемента.

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

Результаты испытаний записывают по нижеследующей форме и в табл. 2.9 и 2.10.

Цемент _____

Дата изготовления _____

Дата испытания _____

Количество изготовленных образцов _____

Навеска цемента _____ г, навеска песка _____ г

Водоцементное отношение _____

Прибор _____

Т а б л и ц а 2.9. Результаты испытания балочек на изгиб

Показатель	Номер образца		
	1	2	3
Предел прочности $R_{и}$, МПа			
Средний предел прочности из двух наибольших значений $R_{и}$, МПа			

Т а б л и ц а 2.10. Результаты испытания половинок-балочек на сжатие

Показатель	Номер образца				
	1	2	3	4	5
Площадь сечения F , мм ²					
Разрушающая нагрузка P , Н					
Предел прочности отдельного образца $R_{сж}$, МПа					
Средний предел прочности из четырех наибольших значений $R_{сж}$, МПа					

3. ИСПЫТАНИЯ МЕЛКОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ ДЛЯ БЕТОНОВ И РАСТВОРОВ (ГОСТ 8735)

Песок представляет собой рыхлую смесь зерен крупностью от 0,16 до 5 мм. Он подразделяется на природный и искусственный. Природный песок образовался в результате выветривания горных пород. По условиям залегания он может быть речной, морской и горный (овражный), по минералогическому составу – кварцевый, полевошпатовый, известняковый, доломитовый. Наибольшее применение находит кварцевый песок. Искусственный песок получают дроблением горных пород. Песок бывает следующих видов: природный, природный обогащенный, из отсевов дробления и обогащенный из отсевов дробления.

3.1. Определение влажности песка

Влажность песка учитывается при его приемке и дозировке для бетонной смеси. Наибольший объем песок занимает при влажности 5–7 %.

Оборудование и материалы: проба песка массой 1000 г; весы технические; шкаф сушильный; противень.

Проведение испытаний. Из испытуемого песка берут навеску массой 1000 г, помещают на противень и высушивают до постоянной массы при температуре 105–110 °С. Затем песок охлаждают до комнатной температуры и взвешивают.

Обработка результатов. Влажность песка в процентах по массе вычисляют по формуле

$$W_{\text{п}} = \frac{m - m_1}{m_1} \cdot 100, \quad (3.1)$$

где $W_{\text{п}}$ – влажность песка, %;

m – масса песка в состоянии естественной влажности, г;

m_1 – масса сухого песка, г.

Результаты испытания записывают в табл. 3.1.

Т а б л и ц а 3.1. Определение влажности песка

Показатель	Данные
Масса песка в состоянии естественной влажности m , г	
Масса сухого песка m_1 , г	
Влажность песка $W_{\text{п}}$, %	

3.2. Определение истинной плотности песка ускоренным методом

Истинную плотность песка необходимо знать для определения его пустотности и подбора состава бетона.

Оборудование и материалы: проба песка массой 200 г; вода; сито с отверстиями 5 мм; объемметр Ле Шателье; весы технические; стаканчик для взвешивания; совок; воронка; фильтровальная бумага; шкаф сушильный; эксикатор.

Проведение испытаний. Объемметр наполняют водой до нижней нулевой черты. Верхнюю часть вытирают тампоном из фильтровальной бумаги. Из средней пробы берут 200 г песка, просеивают его через сито с отверстиями 5 мм, насыпают в стаканчик и высушивают до постоянной массы. Затем охлаждают до комнатной температуры в эксикаторе над серной кислотой или безводным хлористым кальцием и из него отвешивают две навески по 75 г каждая. Через воронку совком песок всыпают в объемметр, пока уровень воды не поднимется до черты 20 см³. Для удаления воздуха объемметр поворачивают вокруг вертикальной оси. Остаток песка взвешивают.

Обработка результатов. Истинную плотность песка вычисляют по формуле

$$\rho_{\text{ип}} = \frac{m - m_1}{V}, \quad (3.2)$$

где $\rho_{\text{ип}}$ – истинная плотность песка, г/см³;

m – масса песка до испытания, г;

m_1 – масса остатка песка, г;

V – объем воды, вытесненной песком, см³.

Испытания выполняют 2 раза, расхождение не должно превышать 0,02 г/см³. При большем расхождении делают третье определение и принимают среднее арифметическое двух ближайших значений. Полученные данные записывают в табл. 3.2.

Т а б л и ц а 3.2. Определение истинной плотности

Показатель	Номер определений	
	1	2
Масса песка до испытания m , г		
Масса остатка песка m_1 , г		
Объем воды, вытесненной песком, V , см ³		
Истинная плотность песка $\rho_{\text{ип}}$, г/см ³		
Среднее значение истинной плотности $\rho_{\text{ип}}$, г/см ³		

3.3. Определение насыпной плотности песка

Насыпная плотность может быть в сухом стандартном неуплотненном состоянии или в партии в состоянии естественной влажности с учетом имеющихся в нем зерен гравия. В первом случае она необходима для определения пустотности песка, для расчета состава бетона, во втором – для перевода количества поставляемого песка из весовых единиц в объемные.

Песок для тяжелого бетона класса В15 и выше и для бетона, подвергаемого замораживанию в насыщенном водой состоянии, должен иметь насыпную плотность не ниже $1,55 \text{ г/см}^3$, в остальных случаях – не ниже $1,4 \text{ г/см}^3$.

Оборудование и материалы: проба песка массой 5–10 кг; весы технические; мерный цилиндрический сосуд; совок; шкаф сушильный; металлическая линейка; сито с отверстиями 5 мм.

Проведение испытаний. Насыпную плотность песка в стандартном неуплотненном состоянии определяют с помощью мерного цилиндрического сосуда вместимостью 1 л.

Пробу песка массой от 5 до 10 кг (в зависимости от содержания и размера фракций гравия) высушивают до постоянной массы и просеивают через сито с круглыми отверстиями 5 мм.

Просеянный песок с высоты 10 см всыпают в предварительно взвешенный мерный сосуд с избытком. Избыток срезают линейкой, и сосуд с песком взвешивают.

Обработка результатов. Насыпную плотность вычисляют по формуле

$$\rho_{\text{нп}} = \frac{m_1 - m}{V}, \quad (3.3)$$

где $\rho_{\text{нп}}$ – насыпная плотность песка, г/см^3 ;

m – масса пустого мерного сосуда, г;

m_1 – масса мерного сосуда с песком, г;

V – объем сосуда, см^3 .

Испытания повторяют два раза на новых навесках песка. За окончательный результат берут среднее арифметическое из двух определений. Результаты записывают в табл. 3.3.

Т а б л и ц а 3.3. Определение плотности песка

Показатель	Номер определений	
	1	2
Масса пустого мерного сосуда m , г		
Масса мерного сосуда с песком m_1 , г		
Объем сосуда V , см ³		
Насыпная плотность $\rho_{\text{нп}}$, г/см ³		
Среднее значение насыпной плотности $\rho_{\text{нп}}$, г/см ³		

Пустотность песка вычисляют по ранее определенной истинной и насыпной плотности песка по формуле

$$P_{\text{п}} = \left(1 - \frac{\rho_{\text{нп}}}{\rho_{\text{ип}}} \right) \cdot 100, \quad (3.4)$$

где $P_{\text{п}}$ – пустотность, %;

$\rho_{\text{нп}}$ – насыпная плотность песка, г/см³;

$\rho_{\text{ип}}$ – истинная плотность песка, г/см³.

Для бетонов считается хорошим песок с пустотностью не более 40 %.

3.4. 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. Цементным тестом обволакиваются также зерна песка. Лучшим является песок с минимальной пустотностью и меньшей суммарной поверхностью частиц. Он наиболее экономичен. Песок по зерновому составу делят на пять групп.

Песок природный и из отсевов дробления подразделяют на группы: повышенной крупности, крупный, средний, мелкий и очень мелкий.

Обогащенный природный песок подразделяют на группы: повышенной крупности, крупный, средний и мелкий.

Обогащенный песок из отсевов дробления подразделяют на группы: повышенной крупности, крупный и средний.

Группа песка определяется по модулю крупности и полному остатку на сите с сеткой № 063, которые должны соответствовать значению, приведенным в табл. 3.4.

Т а б л и ц а 3.4. **Зерновой состав песка**

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

Качество песка оценивают путем построения графика зернового состава, приведенного на рис. 3.1.

Лучшим для бетона является средний песок. Он имеет относительно небольшую развернутую суммарную площадь зерен и оптимальный зерновой состав. Очень мелкий песок ($M_{кр}$ св. 1,0 до 1,5) для бетонов применять не рекомендуется. Его можно использовать в районах, где отсутствуют пески с $M_{кр}$ свыше 1,5 в смеси с укрупняющей добавкой.

В песке для бетона ограничивается количество частиц меньше 0,16 мм и крупнее 5 мм.

Содержание зерен, проходящих через сито с сеткой № 016, по массе не должно превышать:

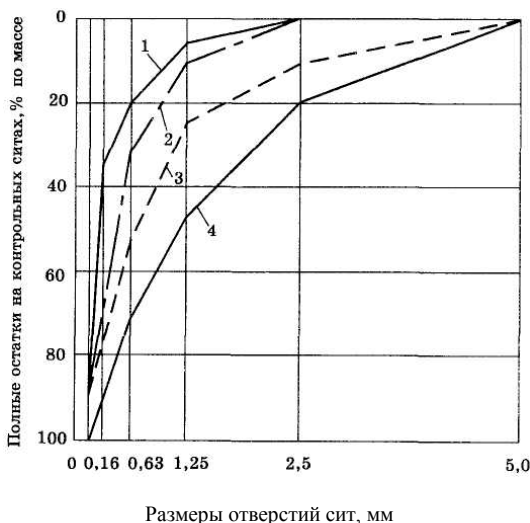
- в песках природном и из отсевов дробления повышенной крупности, крупном и среднем – 10 %;
- то же в мелком и очень мелком – 15 %;
- в обогащенном песке повышенной крупности, крупном и среднем – 5 %;
- то же в мелком – 10 %;
- в обогащенном песке из отсевов дробления – 5 %.

Наличие зерен размером свыше 5 мм по массе не должно превышать:

- в природном песке – 10 %;

- в песке из отсеивов дробления – 15 %;
- в обогащенном песке и в обогащенном песке из отсеивов дробления – 5 %.

Содержание зерен размером свыше 10 мм не должно превышать 0,5 % в песках всех видов.



Размеры отверстий сит, мм
Рис. 3.1. График зернового состава песка:

- 1 – допускаемая нижняя граница крупности песка (модуль крупности – 1,5);
- 2 – рекомендуемая нижняя граница крупности песка (модуль крупности – 2,0)
для бетонов класса В15 и выше,
- 3 – рекомендуемая нижняя граница крупности песка (модуль крупности – 2,5)
для бетонов классов В22,5 и выше,
- 4 – допускаемая верхняя граница крупности песка (модуль крупности – 3,25)

Для бетонов гидротехнических сооружений можно применять пески с $M_{кр}$ от 1,5 до 3,5 оптимального зернового состава с полными остатками на сите 2,5 мм от 0 до 30 %, 1,25 – от 5 до 55 %, 0,63 – от 20 до 75 %, 0,315 – от 40 до 90 % и на сите 0,16 – от 85 до 100 %. При применении мелких песков с $M_{кр}$ от 1,5 до 20 в бетонные смеси следует вводить поверхностно-активные добавки.

Оборудование и материалы: проба песка массой 2 кг; стандартный набор сит с отверстиями размером 10; 5; 2,5; 1,25; 0,63; 0,315 и 0,16 мм с поддоном; технические весы; вибростол; сушильный шкаф.

Проведение испытаний. Отвешивают пробу песка массой 2 кг, предварительно высушенного до постоянной массы, и просеивают через сита с отверстиями диаметром 10 и 5 мм. Вычисляют остатки на этих ситах $\Gamma_{p_{10}}$ и Γ_{p_5} по массе с точностью до 0,1 % по формулам:

$$\Gamma_{p_{10}} = \frac{M_{10}}{M} \cdot 100, \quad (3.5)$$

$$\Gamma_{p_5} = \frac{M_5}{M} \cdot 100, \quad (3.6)$$

где M_{10} и M_5 – остатки на ситах, %;

M – масса пробы, г.

Из песка, прошедшего через сито с отверстиями диаметром 5 мм, берут навеску в 1000 г и просеивают через стандартный набор сит с отверстиями 2,5; 1,25; 0,63; 0,315 и 0,16 мм, расположенных в последовательности по мере уменьшения отверстий.

Вычисляют остатки на этих ситах, которые называются частными, по формуле

$$a_i = \frac{m_i}{m_2} \cdot 100, \quad (3.7)$$

где a_i – частные остатки на ситах, %;

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

$$A_i = a_{2,5} + a_{1,25} + a_{0,63} + a_{0,315} + a_{0,16}, \quad (3.8)$$

где A_i – полные остатки, %;

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

Модуль крупности определяют по формуле

$$M_{кр} = (A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16}) / 100, \quad (3.9)$$

где $M_{кр}$ – модуль крупности;

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

Результаты испытания записывают в табл. 3.5.

Т а б л и ц а 3.5. Данные ситового анализа песка

Размер отверстий сит, мм	Остатки на ситах, г	Частные остатки a_i , %	Полные остатки A_i , %
2,5			
1,25			
0,63			
0,315			
0,16			
Прошло через сито 0,16			

Модуль крупности песка _____ $M_{кр} =$ _____.

Для графического изображения зернового состава песка по оси абсцисс (см. рис. 3.1) откладывают размеры отверстий сит, а по оси ординат – полные остатки на соответствующих ситах в процентах. Полученные точки соединяют ломаной кривой, сравнивают с граничными линиями, приведенными на рисунке, и таким образом оценивают возможность применения его для бетонов разных классов (марок) и видов.

При определении зернового состава фракционированного песка результаты испытания записывают в виде таблицы. Модуль крупности для него не определяется.

3.5. Определение содержания глины в комках, пылевидных и глинистых частицах

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

При повышении содержания пылевидных и глинистых частиц в песке на 1–3 % увеличивается расход цемента на 1–7 %. Причем чем выше класс бетона, тем больше расход цемента.

Содержание пылевидных и глинистых частиц, в том числе глины в комках, в песке для тяжелого бетона не должно превышать значений, приведенных в табл. 3.6.

Т а б л и ц а 3.6. Допустимое содержание пылевидных и глинистых частиц в песке

Вид песка	Содержание пылевидных и глинистых частиц, определяемое отмучиванием	В том числе содержание глины в комках
	% по массе, не более	
Природный:		
повышенной крупности, крупный и средний	3	0,5
мелкий и очень мелкий	5	0,5
Обогащенный природный:		
крупный и средний	2	0,25
мелкий	3	0,35
Из отсевов дробления	5	0,5
Обогащенный из отсевов дробления	3	0,35

Определение содержания глины в комках

Сущность работы заключается в отделении из песка частиц мельче 0,05 мм. Содержание глины в комках определяют в песке с частными остатками более 5 % по массе на ситах с отверстиями 2,5 и 1,25 мм.

Оборудование и материалы: проба песка массой 100 г; вода, технические весы; сушильный шкаф; сита с отверстиями 5; 2,5; 1,25 мм; лупа минералогическая; стальная игла; металлический или стеклянный лист.

Проведение испытаний. Пробу песка высушивают до постоянной массы, а затем просеивают через сито с отверстиями 5 мм. Из нее берут 100 г песка и рассеивают на две фракции: 2,5–5 мм и 1,25–2,5 мм. От фракции 2,5–5 мм отвешивают 5 г, а от фракции 1,25–2,5 мм – 1 г, рассыпают тонким слоем на стеклянный или металлический лист и увлажняют. С помощью стальной иглы отделяют комки глины от зерен песка в каждой фракции, применяя при необходимости лупу. Глину и оставшийся песок высушивают до постоянной массы. Содержание глины в комках в каждой навеске песка определяют по формулам:

$$Г_{л,2,5} = \frac{m}{m + m_1} \cdot 100; \quad (3.10)$$

$$Г_{л,1,25} = \frac{m_2}{m_2 + m_3} \cdot 100, \quad (3.11)$$

где $\Gamma_{2,5}$ и $\Gamma_{1,25}$ – содержание глины в комках, %;

m и m_2 – масса комков глины, г;

m_1 и m_3 – масса зерен песка, г.

Содержание комков глины в пробе песка вычисляют по формуле

$$\Gamma_{\text{л}} = (\Gamma_{2,5} a_{2,5} + \Gamma_{1,25} a_{1,25}), \quad (3.12)$$

где $\Gamma_{\text{л}}$ – содержание комков глины в пробе песка, %;

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

Определение содержания пылевидных и глинистых частиц отмучиванием

Оборудование и материалы: проба песка массой 1 кг; весы технические; шкаф сушильный; сито с отверстиями 5 мм; сосуд для отмучивания или цилиндрическое ведро высотой не менее 300 мм; секундомер или песочные часы.

Проведение испытаний. Из пробы высушенного до постоянной массы и просеянного через сито с отверстиями размером 5 мм песка отвешивают 1000 г и высыпают в сосуд для отмучивания (рис. 3.2). Заливают его водой до уровня выше поверхности на 200 мм и выдерживают в течение двух часов, периодически перемешивая. Природные пески с плотно сцементированными глиной зернами выдерживают в воде не менее суток. Затем содержимое сосуда энергично перемешивают, дают отстояться в течение двух минут и сливают воду. Далее опять наливают чистую воду, перемешивают, дают отстояться две минуты и вновь сливают. Эти операции повторяют до тех пор, пока вода не станет прозрачной.

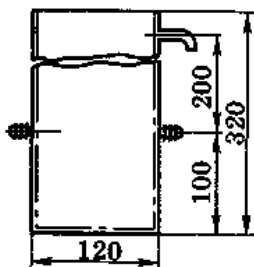


Рис. 3.2. Сосуд для отмучивания песка

При применении сосуда для отмучивания слив суспензии производится через нижние отверстия. При сливе через сифон конец его должен быть на расстоянии не менее 30 мм от поверхности песка. Затем промытый песок высушивают до постоянной массы и взвешивают.

Содержание в песке мелких пылевидных и глинистых частиц, полученных отмучиванием, в процентах по массе вычисляют по формуле

$$P_{\text{отм}} = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100, \quad (3.13)$$

где $P_{\text{отм}}$ – содержание в песке мелких пылевидных и глинистых частиц, %;

m – масса песка до промывки, г;

m_1 – масса песка после промывки, г.

Результаты испытания записывают в табл. 3.7.

Таблица 3.7. Определение глинистых частиц

Показатель	Данные
Масса песка до промывки m , г	
Масса песка после промывки m_1 , г	
Количество пылевидных и глинистых частиц $P_{\text{отм}}$, %	

3.6. Определение содержания органических примесей

Наличие органических примесей в песке отрицательно влияет на технические свойства бетона. Это объясняется тем, что они содержат в своем составе органические кислоты, которые разрушают цементный камень и тем самым понижают качество бетона.

Оборудование и материалы: проба песка массой 250 г; этиловый спирт; танин; едкий натр; колба с притертой пробкой; технические весы; два мерных цилиндра вместимостью 250 мл с внутренним диаметром от 36 до 40 мм; водяная баня.

Подготовка к испытаниям. Содержание примесей определяют колориметрическим методом, для чего испытываемую пробу сравнивают с эталоном. Эталон приготавливают следующим образом: берут 1%-ный раствор этилового спирта, добавляют к нему 2%-ный раствор танина и затем смешивают с 3%-ным раствором едкого натра (5 мл раствора танина на 195 мл раствора едкого натра). Приготовленный раствор взбалтывают, наливают в колбу с притертой пробкой и оставляют на 24 ч. Ярко-желтый цвет эталона является образцовым. Эталон должен применяться свежеприготовленным.

Проведение испытаний. Испытания проводят в такой последовательности. Из средней пробы песка естественной влажности берут навеску около 250 г и насыпают в мерный цилиндр вместимостью 250 мл до отметки 130 мл. Затем доливают 3%-ный раствор едкого натра до уровня 200 мл. Содержимое перемешивают и оставляют на 24 ч, повторяя перемешивание через 4 ч после начала испытания, после чего сравнивают цвет жидкости над песком с цветом эталона. Если жидкость над песком не окрашена или же ее цвет заметно светлее эталона, в этом случае песок считается пригодным для бетона.

Если же жидкость под песком незначительно светлее эталона, тогда содержимое сосуда подогревают в течение 2–3 ч на водяной бане при температуре 60–70 °С и вновь сравнивают с цветом эталона. При более темном цвете жидкости над песком по сравнению с эталоном полагают, что песок содержит органические примеси больше допустимого. В этом случае песок проверяют испытанием в бетоне, для чего изготавливают партию образцов на исходном песке и контрольную партию на песке, промытом вначале известковым молоком, а затем водой. Сравнивая результаты предела прочности обеих групп образцов, принимают окончательное решение о пригодности песка.

4. ИСПЫТАНИЯ КРУПНОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ ДЛЯ БЕТОНОВ (ГОСТ 8269)

Щебень и гравий представляет собой рыхлую смесь зерен размером от 5 (3) до 150 мм. Щебень получают дроблением плотных горных пород. Он имеет угловатую форму. Гравий образовался выветриванием горных пород и имеет окатанную форму. Часто он залегает вместе с песком. При содержании песка 25–40 % материал называется гравийно-песчаной смесью.

Для бетона классов до В25 лучшим заполнителем является гравий, причем чем ниже класс бетона, тем эффективнее применение гравия. Это объясняется тем, что гравий имеет гладкую поверхность, и водопотребность бетонной смеси на нем меньше.

Для бетонов классов выше В30 целесообразнее применять щебень. Влияние формы зерен здесь сглаживается. Преобладающим фактором становится величина сцепления заполнителя с цементным камнем. Применение гравия в таком бетоне может снизить его прочность на 10–20 %.

4.1. Определение влажности щебня (гравия)

Оборудование и материалы: средняя проба щебня (гравия) массой 2,0 кг при размере фракции 5–10 мм, 4,0 кг – 10–20 мм, 10,0 кг – 20–40 мм, 20,0 кг – 40 мм и 40,0 кг при размере фракций с крупностью зерен свыше 70 мм; весы технические; шкаф сушильный; сосуды.

Проведение испытаний. Берут пробу щебня (гравия) в количестве 0,5 кг при его наибольшей крупности D до 10 мм, 1,0 кг при D до 20 мм, 2,5 кг при D до 40 мм, 5,0 кг при D до 70 мм и 10,0 кг при D свыше 70 мм, высушивают до постоянной массы при температуре 105–110 °С, охлаждают до комнатной температуры и взвешивают.

Обработка результатов. Влажность щебня (гравия) $W_{\text{щ(гр)}}$ в процентах по массе вычисляют по формуле

$$W_{\text{щ(гр)}} = \frac{m_{\text{в}} - m_{\text{с}}}{m_{\text{с}}} \cdot 100, \quad (4.1)$$

где $W_{\text{щ(гр)}}$ – влажность щебня (гравия), %;

$m_{\text{в}}$ – масса пробы влажного щебня (гравия), г;

$m_{\text{с}}$ – масса пробы сухого щебня (гравия), г.

Результаты испытаний записывают в табл. 4.1.

Т а б л и ц а 4.1. Определение влажности

Показатель	Данные
Масса пробы влажного щебня (гравия) $m_{\text{в}}$, г	
Масса пробы сухого щебня (гравия) $m_{\text{с}}$, г	
Влажность щебня (гравия) $W_{\text{щ(гр)}}$, %	

4.2. Определение истинной плотности зерен щебня (гравия)

Оборудование и материалы: проба щебня (гравия) массой 2,0 кг при размере фракции 5–10 мм, 4 кг – 10–20 мм, 10,0 кг – 20–40 мм, 20,0 кг – 40–70 мм; щетка металлическая; металлическая пластинка и молоток; весы технические и лабораторные; сита с отверстиями 5,0 и 2,5 мм; стаканчик или чашка для взвешивания; шкаф сушильный; прибор Ле Шателье; стеклянная воронка; эксикатор с безводным хлористым кальцием или серной кислотой.

Подготовка к испытаниям. Отбирают пробу щебня (гравия) массой 0,5 кг при наибольшей крупности зерен D 10 мм, 1,0 кг при

D 20 мм, 2,5 кг при D 40 мм, 5,0 кг при D 70 мм и более. Зерна очищают от пыли щеткой, дробят до размеров 5 мм, сокращают квартованием до 150 г и затем повторно измельчают до зерен размером 1,25 мм. Из приготовленной пробы отбирают две навески по 50 г и истирают в чугунной или фарфоровой ступе в порошок, затем высушивают в сушильном шкафу при температуре 105–110 °С до постоянной массы и охлаждают в эксикаторе.

Проведение испытаний. Определение истинной плотности выполняют в приборе Ле Шателье. Прибор наполняют водой до нижней нулевой риски и всыпают через воронку истертый в порошок щебень (гравий) до тех пор, пока уровень воды не поднимется до риски с делением 20 см³. Для удаления пузырьков воздуха объеметр следует поворачивать вокруг вертикальной оси.

Обработка результатов. Остаток измельченной пробы взвешивают и определяют истинную плотность порошка по формуле

$$\rho_{\text{иш(гр)}} = \frac{m_1 - m}{V}, \quad (4.2)$$

где $\rho_{\text{иш(гр)}}$ – истинная плотность щебня (гравия);

m_1 – масса высушенной навески порошка щебня (гравия), г;

m – масса остатка, г;

V – объем порошка, равный объему вытесненной воды, см³.

Испытания выполняют два раза. Расхождение между результатами не должно превышать 0,02 г/см³. При большем расхождении выполняют определение истинной плотности третий раз и вычисляют среднее арифметическое значение из двух ближайших. Результаты испытаний записывают в табл. 4.2.

Т а б л и ц а 4.2. **Определение истинной плотности**

Показатель	Номер испытания	
	1	2
Масса высушенной навески m_1 , г		
Масса остатка m , г		
Объем порошка, равный объему вытесненной воды, V , см ³		
Истинная плотность каждой навески порошка щебня $\rho_{\text{иш(гр)}}$, г/см ³		
Средняя истинная плотность щебня (гравия) $\rho_{\text{иш(гр)}}$, г/см ³		

4.3. Определение насыпной плотности щебня (гравия)

Оборудование и материалы: проба щебня (гравия) массой 10 кг при размере фракций 5–10, 10–20, 20–40 мм; массой 20,0 кг при размере фракций 40–70 и более 70 мм; весы технические; шкаф сушильный; цилиндры мерные вместимостью 5; 10; 20 и 50 л.

Проведение испытаний. Насыпную плотность щебня (гравия) определяют взвешиванием определенного объема щебня (гравия) в мерном цилиндре. При D щебня (гравия) до 10 мм берут мерный цилиндр объемом 5 л, при D 20 мм – 10 л, при D 40 мм – 20 л, при D свыше 40 мм – 50 л.

Щебень (гравий) высушивают до постоянной массы при температуре 105–110 °С и высыпают с избытком до образования конуса с высоты 10 см в предварительно взвешенный мерный цилиндр. Затем конус срезают вровень с краями цилиндра и взвешивают цилиндр вместе с материалом.

Насыпную плотность щебня (гравия) с точностью до 0,01 г/см³ вычисляют по формуле

$$\rho_{\text{нщ(гр)}} = \frac{m_1 - m}{V}, \quad (4.3)$$

где $\rho_{\text{нщ(гр)}}$ – насыпная плотность щебня (гравия), г/м³;

m – масса мерного цилиндра, г;

m_1 – масса мерного цилиндра со щебнем (гравием), г;

V – объем мерного цилиндра, см³.

Опыт повторяют два раза на новой порции материала. За окончательный результат принимают среднее арифметическое значение из двух определений. Результат испытаний записывают в табл. 4.3.

Таблица 4.3. Определение насыпной плотности

Показатель	Номер испытания	
	1	2
Масса мерного цилиндра m , г		
Масса мерного цилиндра со щебнем (гравием) m_1 , г		
Объем мерного цилиндра V , см ³		
Насыпная плотность определенного объема щебня (гравия) $\rho_{\text{нщ(гр)}}$, г/см ³		
Среднее значение насыпной плотности $\rho_{\text{нщ(гр)}}$, г/см ³		

4.4. Определение средней плотности зерен щебня (гравия)

Щебень и гравий должны иметь среднюю плотность зерен от 2 до 2,8 г/см³. Для бетона зоны переменного уровня воды гидротехнических сооружений следует применять крупный заполнитель с ρ_c не ниже 2,5 г/см³, для бетона подводной и надводной зоны – не ниже 2,3 г/см³.

Оборудование и материалы: средняя проба щебня (гравия) массой 10 кг при размере фракций 5–10, 10–20 и 20–40 мм, 20 кг – 40–70 мм; весы технические с приспособлением для гидростатического взвешивания; шкаф сушильный; сосуд для насыщения щебня (гравия) водой; перфорированный контейнер; стандартный набор сит; щетка металлическая; молоток; металлическая пластинка; часы, вода, мягкая ткань.

Проведение испытаний. Отбирают пробу щебня (гравия) массой 2,5 кг при его наибольшей крупности до 40 мм и 5 кг при D крупнее 40 мм. Зерна крупнее 40 мм дробят до получения частиц размером не более 40 мм и пробу сокращают вдвое.

Пробу высушивают до постоянной массы в сушильном шкафу и просеивают через сито с отверстиями, соответствующими наименьшему размеру фракции, после чего отвешивают две навески по 1000 г каждая. Среднюю плотность щебня (гравия) определяют методом гидростатического взвешивания в перфорированном контейнере (рис. 4.1).

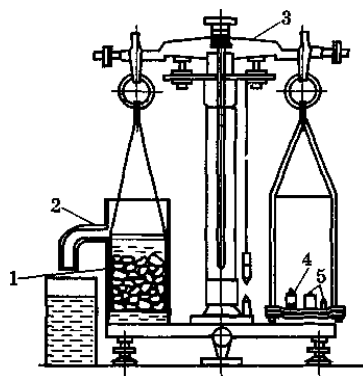


Рис. 4.1. Весы для гидростатического взвешивания щебня (гравия):
1 – сетчатый стакан; 2 – сосуд со сливом для воды; 3 – коромысло;
4 – стаканчик с дробью; 5 – разновесы

Вначале пустой контейнер взвешивают на воздухе (m_2), а затем в воде (m_5) на весах для гидростатического взвешивания. Потом в сухой контейнер всыпают 1000 г щебня (гравия), взвешивают вместе с контейнером на воздухе (m_1) и контейнер со щебнем (гравием) погружают в сосуд с водой на 2 ч для водонасыщения. Уровень воды должен быть выше уровня щебня (гравия) не менее чем на 20 мм. После водонасыщения щебень (гравий) взвешивают в контейнере на гидростатических весах в воде (m_4), потом вынимают из воды, высыпают, удаляют влагу с поверхности зерен мягкой влажной тканью, всыпают опять в контейнер и взвешивают (m_3).

Обработка результатов. Среднюю плотность зерен щебня (гравия) вычисляют по формуле

$$\rho_c = \frac{m}{m' - m''} \cdot \rho_v = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_3 - m_2) - (m_4 - m_5)} \cdot \rho_v, \quad (4.4)$$

где ρ_c – средняя плотность зерен щебня (гравия), г/см³;

m – масса сухого щебня (гравия), г;

m' – масса щебня (гравия), насыщенного водой, взвешенного в воздухе, г;

m'' – масса щебня (гравия), насыщенного водой, взвешенного в воде, г;

ρ_v – плотность воды, г/см³;

m_1 – масса контейнера со щебнем (гравием), взвешенных в воздухе, г;

m_2 – масса пустого контейнера, взвешенного в воздухе, г;

m_3 – масса щебня (гравия), насыщенного водой, с контейнером, взвешенных в воздухе, г;

m_4 – масса контейнера со щебнем (гравием) после водонасыщения, взвешенных в воде, г;

m_5 – масса пустого контейнера, взвешенного в воде, г.

Испытания выполняют дважды на новой навеске щебня (гравия). Среднюю плотность вычисляют как среднее арифметическое значение из двух испытаний. При этом расхождение не должно превышать 0,02 г/см³. При больших расхождениях производят третье определение и вычисляют среднее арифметическое из двух ближайших. Результаты испытания записывают в табл. 4.4.

Т а б л и ц а 4.4. Определение средней плотности

Показатель	Номер испытания	
	1	2
Масса сухого щебня (гравия), m , г		
Масса щебня (гравия), насыщенного водой, взвешенного в воздухе, m' , г		
Масса щебня (гравия), насыщенного водой, взвешенного в воде, m'' , г		
Плотность воды ρ_w , г/см ³		
Масса контейнера с сухим щебнем (гравием), взвешенных в воздухе, m_1 , г		
Масса пустого контейнера, взвешенного в воздухе, m_2 , г		
Масса щебня (гравия), насыщенного водой, с контейнером, взвешенных в воздухе, m_3 , г		
Масса контейнера со щебнем (гравием) после водонасыщения, взвешенных в воде, m_4 , г		
Масса пустого контейнера, взвешенного в воде, m_5 , г		
Средняя плотность зерен навески щебня (гравия) $\rho_{сщ(гр)}$, г/см ³		
Средняя плотность зерен щебня (гравия) $\rho_{сщ(гр)}$, г/см ³		

Пористость зерен щебня (гравия) можно также вычислять по ранее определенной истинной плотности и средней плотности зерен по формуле

$$П_{щ(гр)} = \left(1 - \frac{\rho_{сщ(гр)}}{\rho_{ищ(гр)}}\right) \cdot 100, \quad (4.5)$$

где $П_{щ(гр)}$ – пустотность щебня (гравия), %;

$\rho_{сщ(гр)}$ – средняя плотность зерен щебня (гравия), г/см³;

$\rho_{ищ(гр)}$ – истинная плотность зерен щебня (гравия), г/см³.

Пустотность щебня (гравия) вычисляют по ранее определенной насыпной плотности и средней плотности зерен щебня (гравия) по формуле

$$П_{щ(г)} = \left(1 - \frac{\rho_n}{\rho_c}\right) \cdot 100, \quad (4.6)$$

где $П_{щ(г)}$ – пустотность щебня (гравия), %;

ρ_n – насыпная плотность щебня (гравия), г/см³;

ρ_c – средняя плотность зерен щебня (гравия), г/см³.

Пустотность качественного щебня не должна превышать 44 %.

4.5. Определение водопоглощения щебня (гравия)

Оборудование и материалы: средняя проба щебня (гравия) массой 2,0 кг при размере фракции 5–10 мм, 4,0 кг – 10–20 мм, 10,0 кг – 20–40 мм, 20,0 кг – 40–70 мм и 40,0 кг – более 70 мм; технические весы; шкаф сушильный; сосуд для насыщения щебня (гравия) водой; щетка металлическая; мягкая ткань.

Проведение испытаний. Из высушенной до постоянной массы и при необходимости очищенной от рыхлых частиц и пыли средней пробы берут навески щебня (гравия) массой 0,5 кг при наибольшей его крупности D до 10 мм, 1,0 кг при D до 20 мм, 2,5 кг при D до 40 мм, 5,0 кг при D до 70 мм, 10,0 кг при D свыше 70 мм, помещают в сосуд с водой комнатной температуры с таким расчетом, чтобы ее уровень был выше поверхности щебня (гравия) не менее чем на 20 мм, и выдерживают в течение 48 ч. Затем пробу вынимают из сосуда, протирают зерна мягкой тканью и взвешивают. Вода, вытекшая из зерен щебня (гравия), включается в массу пробы.

Обработка результатов. Водопоглощение в процентах по массе вычисляют по формуле

$$W_{\text{погл}} = \frac{m_1 - m}{m} \cdot 100, \quad (4.7)$$

где $W_{\text{погл}}$ – водопоглощение по массе, %;

m – масса пробы сухого щебня (гравия), г;

m_1 – масса пробы щебня (гравия), насыщенного водой, г.

Результаты испытания записывают в табл. 4.5.

Т а б л и ц а 4.5. Определение водопоглощения

Показатель	Данные
Масса пробы сухого щебня (гравия) m , г	
Масса пробы щебня (гравия), насыщенного водой, m_1 , г	
Водопоглощение щебня (гравия) $W_{\text{погл}}$, %	

4.6. Определение зернового состава щебня (гравия)

Щебень (гравий) для бетона выпускают в виде фракций с размерами зерен от 5 до 10 мм или от 3 до 10, от 10 до 20, от 20 до 40, от 40 до 70 и от 70 до 120 мм. Допускается щебень (гравий) в виде смеси фракций от 5 до 20 или от 3 до 20 мм.

При расसेве на фракции полные остатки на контрольных ситах в процентах по массе для щебня (гравия) фракций от 5(3) до 10 мм, от 10 до 20, от 20 до 40, от 40 до 70 мм, а также смеси фракций 5(10)–40 и 20–70 мм должны находиться в пределах, указанных в табл. 4.6.

При рассеве щебня (гравия) фракций 5–10 и 3–10 мм полные остатки на ситах с отверстиями размером соответственно 2,5 и 1,25 мм должны быть по массе в пределах от 95 до 100 %.

Полные остатки на контрольных ситах при рассеве щебня (гравия) фракций от 5(3) до 20 мм должны соответствовать указанным в табл. 4.7.

Для щебня (гравия) фракций от 70 до 120 и от 120 до 150 мм полные остатки на ситах должны соответствовать указанным в табл. 4.6.

Т а б л и ц а 4.6. **Зерновой состав щебня (гравия)**

Диаметр отверстий контрольных сит, мм	d	$0,5 (d + D)$	D	$1,25D$
Полные остатки на ситах, % по массе	90–100	30–80	0–10	0–0,5

Т а б л и ц а 4.7. **Зерновой состав щебня (гравия)**

Диаметр отверстий контрольных сит, мм	5(3)	10	20	25
Полные остатки на ситах, % по массе	95–100	55–75	0–10	0–0,5

При назначении зернового состава щебня (гравия) исходят из условия, чтобы плотность укладки зерен была наибольшей. Пустотность щебня (гравия) не должна превышать 44 %. Это достигается тогда, когда в заполнителе содержится оптимальное количество зерен разных размеров. Поэтому применять щебень (гравий) в бетонах следует в виде смеси фракций в соотношении, приведенном в табл. 4.8.

Т а б л и ц а 4.8. **Содержание фракций в крупном заполнителе, %**

Наибольшая крупность D , мм	Фракции, мм				
	5–10	10–20	20–40	40–70	70–120
20	25–40	60–75	–	–	–
40	15–25	20–35	40–65	–	–
70	10–20	15–25	20–35	35–55	–
120	5–10	10–20	15–25	20–30	30–40

4.6.1. Определение зернового состава щебня (гравия) данной фракции

Оборудование и материалы: средняя проба щебня (гравия) массой 20 кг для фракции 5–10 мм, 40 кг – 10–20 мм, 80 кг – 20–40 мм,

120 кг – 40–70 мм, 200 кг – свыше 70 мм; шкаф сушильный; весы технические; сита с размерами отверстий, соответствующими номинальным размерам зерен данной фракции – $1,25D$, D , $0,5(D + d)$, d ; сита с отверстиями 2,5 и 1,25 мм соответственно при испытании щебня (гравия) фракций 5–10 и 3–10 мм.

Проведение испытаний. Из предварительно высушенной до постоянной массы средней пробы щебня (гравия) берут пробу массой 5 кг для фракции 5–10 мм, 10 кг – 10–20 мм, 20 кг – 20–40 мм, 30 кг – 40–70 мм, 50 кг – для пробы фракции более 70 мм и просеивают через четыре сита с отверстиями размером $1,25D$, D , $0,5(D + d)$, d , составленных по мере уменьшения отверстий. Вычисляют частные и полные остатки на каждом сите в процентах от массы всей пробы. Полученные данные записывают в табл. 4.9.

Т а б л и ц а 4.9. Результаты просеивания щебня (гравия) фракций 5(3)–10, 10–20, 20–40, 40–70 мм и смеси фракций 5(10)–40 и 20–40 мм

Размеры отверстий контрольных сит, мм	Остатки на ситах, г	Частные остатки, %	Полные остатки, %
$1,25D$			
D			
$0,5(D + d)$			
d			
2,5 для фракции 5–10 мм			
1,25 для фракции 3–10 мм			

При испытании смеси фракций 5(3)–20 мм пробу щебня (гравия) массой 10 кг просеивают через сита с отверстиями 25, 20, 10, 5(3) мм и определяют на них частные и полные остатки в процентах. Полученные результаты записывают в табл. 4.10.

Результаты испытания сравнивают с данными табл. 4.6 и 4.7 и делают вывод о качестве щебня (гравия) по зерновому составу.

Т а б л и ц а 4.10. Результаты просеивания щебня (гравия) фракций 5(3)–20 мм

Размеры отверстий контрольных сит, мм	Остатки на ситах, г	Частные остатки, %	Полные остатки, %
25			
20			
10			
5(3)			

4.6.2. Определение зернового состава щебня смеси фракций 5(10)–40 и 20–70 мм

Оборудование и материалы: проба щебня массой 80 кг для фракций 5(10)–40 мм, 120 кг – 20–70 мм; шкаф сушильный; весы технические; сита с размерами отверстий 70, 40, 20, 10 и 5 мм из стандартного набора; сита для определения средней крупности с размерами отверстий 45, 25 и 22,5 мм и сита для определения крупности 87,5 и 50 мм.

Проведение испытаний. Из предварительно высушенной до постоянной массы средней пробы щебня берут пробу массой 20 кг для фракций 5(10)–40 мм, 30 кг – 20–70 мм и просеивают через набор сит, составленных в последовательности по мере уменьшения размера их отверстий. Вычисляют частные и полные остатки на каждом сите в процентах. По полным остаткам определяют наибольшую крупность зерен D , наименьшую d и среднюю $0,5(D + d)$.

За наибольшую крупность зерен щебня D принимают размер отверстий верхнего сита, полный остаток на котором не превышает 10 %, за наименьшую крупность d принимают размер отверстий нижнего сита, полный остаток на котором составляет не менее 90 %.

Полученные данные записывают в табл. 4.11.

Зерновой состав должен находиться в интервале, приведенном в табл. 4.6.

Пример. Определить зерновой состав щебня смеси фракций 10–40 мм.

Берем навеску щебня 20 кг и просеиваем через набор сит с отверстиями 70, 40, 25, 20, 10 и 5 мм. Вычисляем частные и полные остатки и записываем в табл. 4.11.

Определяем наибольшую D , наименьшую d и среднюю $0,5(D + d)$ крупности щебня.

Таблица 4.11. Зерновой состав щебня смеси фракций 10–40 мм

Размеры отверстий сит, мм	Остатки, г	Частные остатки, %	Полные остатки, %
70	–	–	0
40	1200	6	6
25	9800	49	55
20	600	3	58
10	7800	39	97
5	400	2	99
Прошло через сито 5 мм	200	1	100

Наибольшая крупность щебня D будет 40 мм, так как полный остаток на сите 40 мм составил 6 %, что меньше 10 %. Наименьшая крупность щебня d равна 10 мм, так как полный остаток на сите 10 мм составил 97 %, что больше допустимого значения 90 %.

Средняя крупность $0,5(D + d)$ составила $0,5(40 + 10) = 25$ мм с полным остатком на сите 55 %.

Полученные данные сравниваем со значениями, приведенными в табл. 4.6. Делаем вывод, что щебень имеет оптимальный зерновой состав.

Для наглядности зерновой состав щебня можно изобразить графически (рис. 4.2).

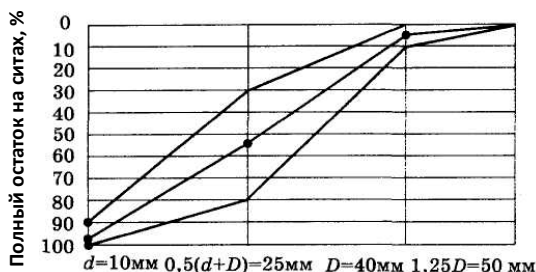


Рис. 4.2. График зернового состава щебня

4.6.3. Определение зернового состава нефракционного гравия

Оборудование и материалы: проба щебня (гравия) массой 20 кг при наибольшей крупности D до 10 мм, 40 кг – при D до 20 мм, 30 кг – при D до 40 мм, 120 кг – при D до 70 мм и 200 кг – при D свыше 70 мм; весы технические; шкаф сушильный; необходимые сита из стандартного набора (стандартный набор включает сита с диаметром отверстий 3; 5; 7,5; 10; 12,5; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60 и 70 мм); сито с сеткой № 016; калибры проволоочные круглые диаметром 90; 100; 110; 120 мм и более в зависимости от предельной крупности зерен испытуемого материала.

Проведение испытаний. Из предварительно высушенной до постоянной массы средней пробы гравия берут навеску массой 5 кг при наибольшей его крупности до 10 мм, 10 кг – при D до 20 мм, 20 кг – при D до 40 мм, 30 кг – при D до 70 мм и 50 кг – при D свыше 70 мм и

просеивают через стандартный набор сит, составленных в порядке уменьшения отверстий. Последним должно быть сито с сеткой № 016. Пробу просеивают полностью или по частям и одновременно промывают водой. Толщина слоя на каждом сите не должна превышать наибольший размер зерен гравия. Частицы, прошедшие через сито с сеткой № 016, отбрасывают. Остатки на ситах высушивают до постоянной массы и взвешивают. Эти остатки называют частными. Затем определяют массу просеянного гравия как сумму частных остатков на ситах в граммах:

$$\sum m = m_{0,16} + m_3 + m_5 + \dots + m_{70} . \quad (4.8)$$

По данным испытания вычисляют частные остатки a_i в процентах по формуле

$$a_i = \frac{m_i}{\sum m} \cdot 100, \quad (4.9)$$

а также полные остатки A_i , равные сумме частных остатков на данном и вышележащих ситах с отверстиями большего размера.

При наличии остатка на сите размером 70 мм с помощью калибров определяют предельный размер зерен, который необходим для построения графика.

Зерновой состав гравия с чистой поверхностью зерен и без наличия глины можно определять без промывания водой. Полученные данные записывают в табл. 4.12.

По полученным данным строят кривую просеивания, которая характеризует зерновой состав гравия (рис. 4.3).

Для построения графика по горизонтали откладывают размеры отверстий сит от 0,16 мм до 70 или более, по вертикали – полные остатки в процентах. При этом 100 % соответствует ситу с отверстиями 0,16 мм, а 3 % – размеру сита, полный остаток на котором равен нулю.

По данным остаткам определяют наименьшую (d) и наибольшую (D) крупность зерен.

За наименьшую и наибольшую крупности принимают крупность зерен гравия по размеру отверстий, полные остатки на которых, определенные по кривой просеивания (рис. 4.3), составляют 95 % (d) и 5 % (D). Значения округляют в большую сторону до ближайших размеров стандартных сит.

Т а б л и ц а 4.12. Результаты просеивания

Размеры отверстий сит, мм	70	60	50	40	30	25	20	15	12,5	10	7,5	5,0	3,0	0,16
Частные остатки на ситах, г														
Частные остатки a_i , %														
Полные остатки A_i , %														

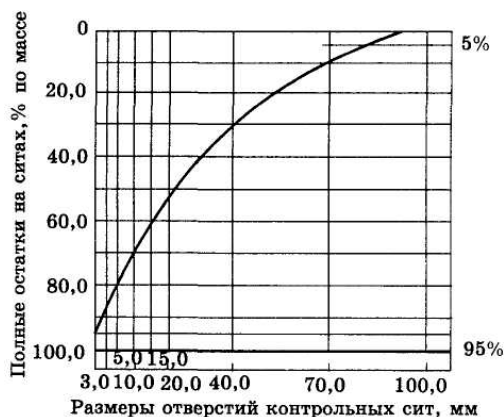


Рис. 4.3. Размеры отверстий контрольных сит, мм

4.7. Определение прочности щебня (гравия)

Прочность щебня (гравия) характеризуется маркой, определяемой по дробимости при сжатии в цилиндре, которая должна соответствовать данным, приведенным в табл. 4.13–4.15.

Для тяжелого бетона следует применять щебень из изверженных горных пород марки не ниже 800, щебень из метаморфических пород – марки не ниже 600 и осадочных пород – не ниже 300, гравий и щебень из гравия – марки не ниже Др16.

Марка щебня из естественного камня должна быть выше класса бетона до В20 включительно не менее чем в 1,5 раза, для бетона класса В25 и выше – не менее чем в 2 раза.

Для бетона класса В25 допускается применять щебень из карбонатных пород марки 400 при содержании зерен слабых пород не более

5 %, для бетона В45 и выше – щебень из изверженных пород марки 1200 и более.

Марки гравия и щебня из гравия по дробимости для бетона должны отвечать требованиям, приведенным в табл. 4.16.

Т а б л и ц а 4.13. Марки щебня из природного камня по дробимости при сжатии в цилиндре (ГОСТ 8267-93)

Марка по прочности	Потеря массы, %, после испытания щебня			
	изверженных пород		осадочных и метаморфических пород	
	интрузивных (глубинных)	эффузивных (излившихся)	в сухом состоянии	в насыщенном водой состоянии
1400	До 12	До 9	–	–
1200	12–16	9–11	До 11	До 11
1000	16–20	11–13	11–13	11–13
800	20–25	13–15	13–15	13–15
600	25–34	15–20	15–19	15–20
400			19–24	20–28
300			24–28	28–38
200			28–35	38–54

Т а б л и ц а 4.14. Марки щебня из гравия по дробимости при сжатии в цилиндре по ГОСТ 8267-93

Марка по дробимости	Прочность при сжатии пород, слагающих зерна, МПа	Потеря массы, %, после испытания
Др8	Св. 100	До 10
Др12	80–100	10–14
Др16	60–80	14–18
Др24	40–60	18–26

Т а б л и ц а 4.15. Марки гравия по дробимости при сжатии в цилиндре по ГОСТ 8267-93

Марка по дробимости	Прочность при сжатии пород, слагающих зерна, МПа	Потеря массы, %, после испытания
Др8	Св. 100	До 8
Др12	80–100	8–12
Др16	60–80	12–16
Др24	40–60	16–24

Таблица 4.16. Марки гравия и щебня из гравия по дробимости для бетона

Класс бетона	Марка заполнителя
V30 и выше	Др8
B25	Др12
B20 и ниже	Др16

Для бетонов мостовых конструкций зоны переменного уровня воды, мостового полотна, водопропускных труб должен применяться щебень из изверженных горных пород марки не ниже 1000, из метаморфических и осадочных горных пород – марки не ниже 800. Для бетона V30 и выше следует применять гравий и щебень из гравия марки не ниже Др8, для бетона класса до B25 включительно – не ниже Др12. Для бетона зоны переменного уровня воды и подводной зоны не следует применять заполнители с коэффициентом размягчения ниже 0,8.

Для бетона железобетонных шпал следует применять щебень из изверженных пород марки не ниже 1200, из метаморфических и осадочных пород – марки не ниже 1000, гравий и щебень из гравия – марки не ниже Др8.

Оборудование и материалы: проба щебня (гравия) массой 4,0 кг при испытании в цилиндре диаметром 75 мм и массой 32,0 кг – 150 мм; пресс гидравлический с усилием до 100 или 500 кН; цилиндры стальные диаметром 75 или 150 мм со съемным дном и плунжером; стандартный набор сит; весы технические; шкаф сушильный; сосуд для насыщения щебня (гравия) водой; сита с отверстиями 2,5 и 1,25 мм.

Проведение испытаний. Испытание щебня (гравия) на прочность выполняют в стальном цилиндре со съемным дном диаметром 150 мм (рис. 4.4) и 75 мм. Испытывают фракции 5–10, 10–20 или 20–40 мм. Смесь фракций или нефракционированный материал рассеивают на отдельные фракции, крупнее 40 мм дробят на фракции 10–20 и 20–40 мм. Для текущего контроля щебня (гравия) фракций 5–10 и 10–20 мм разрешается применять цилиндр диаметром 75 мм.

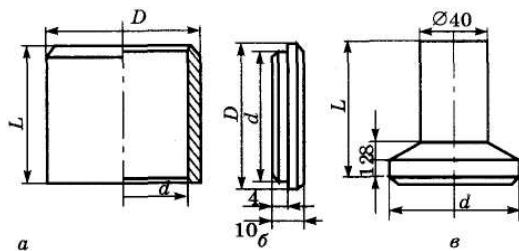


Рис. 4.4. Прибор для определения прочности щебня (гравия)

Испытание щебня (гравия) можно проводить как в сухом состоянии, так и насыщенного водой. При испытании в сухом состоянии высушивают до постоянной массы, при испытании во влажном состоянии его насыщают в воде в течение 2 ч.

Пробу щебня (гравия) предварительно просеивают через два сита, из которых отверстия верхнего соответствуют размерам наибольшей, а отверстия нижнего – наименьшей крупности испытываемой фракции. Из остатка на сите с отверстиями d отбирают навеску не менее 4 кг для испытания в цилиндре диаметром 150 мм и не менее 0,5 кг для испытания в цилиндре диаметром 75 мм.

Навеску щебня (гравия) всыпают с высоты 50 мм в цилиндр, чтобы уровень материала после разравнивания не доходил на 15 мм до края. Затем вставляют плунжер и испытывают на гидравлическом прессе со скоростью 1–2 кН в секунду, доводя давление до 200 кН при испытании в цилиндре диаметром 150 мм и до 50 кН при испытании в цилиндре диаметром 75 мм. Потом раздавленный материал просеивают через сито с отверстиями, соответствующими определенной фракции. Щебень (гравий) фракции 5–10 мм просеивают через сито с отверстиями 1,25 мм, фракции 10–20 мм – с отверстиями 2,5 мм и фракции 20–40 мм – с отверстиями 5,0 мм.

Обработка результатов. Остаток щебня (гравия) на сите взвешивают и определяют показатель дробимости с точностью до 1 % по формуле

$$Др = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100, \quad (4.10)$$

где $Др$ – показатель дробимости, %;

m – масса щебня (гравия) до начала просеивания, г;

m_1 – масса щебня (гравия), оставшаяся на контрольном сите после просеивания, г.

Испытания выполняют два раза на отдельных пробах. За окончательный результат принимают среднее арифметическое значение из двух определений.

При испытании щебня (гравия), состоящего из нескольких фракций, показатель дробимости определяют как средневзвешенные результаты испытаний отдельных фракций.

По показателю дробимости определяют марку щебня (гравия). Полученные данные записывают в табл. 4.17.

Т а б л и ц а 4.17. Определение прочности щебня

Показатель	Номер испытания	
	1	2
Испытуемая навеска щебня (гравия) m , г		
Масса щебня (гравия), оставшегося на контрольном сите после просеивания, m_1 , г		
Показатель дробимости щебня (гравия) отдельной пробы Др, %		
Показатель дробимости щебня (гравия) Др, %		
Марка щебня (гравия) Др, %		

4.8. Определение в щебне (гравии) пылевидных, глинистых частиц и глины в комках

Частицы размером менее 0,05 мм относят к пылевидным и глинистым, выделяют также комки глины с крупностью от 1,25 мм до наибольшего размера зерен данной фракции.

Общее содержание глинистых и мелких пылевидных фракций в щебне изверженных и метаморфических пород, щебне из гравия и в гравии для бетона не должно превышать следующих значений:

- для бетона сборных и монолитных конструкций и деталей производственных, жилых и общественных зданий и сооружений класса ниже В25 – 3 % по массе, класса В25 и выше – не более 2 %;
- для бетона пролетных строений мостов, постовых конструкций зоны переменного уровня воды, водопропускных труб, железобетонных шпал, опор контактной сети, линий связи и автоблокировки, опор ЛЭП – 1 %;
- для монолитного бетона опор мостов и фундаментов водопропускных труб, расположенных в подводной или надводной зоне – 2 %;
- для дорожного бетона однослойных и верхнего слоя двухслойных покрытий – 2 %;
- для дорожного бетона нижнего слоя двухслойных покрытий и оснований усовершенствованных капитальных покрытий – 3 %;
- для бетона железобетонных и бетонных труб – 1 %.

Для бетона гидротехнических сооружений количество пылевидных и глинистых частиц в щебне, в щебне из гравия и в гравии из любых горных пород не должно превышать в зоне переменного уровня воды и надводной зоне 1 %, для подводной и внутренней зон – 2 %.

Для бетона железобетонных и бетонных труб и бетонов мостовых и гидротехнических сооружений зоны переменного уровня воды наличие глины в комках в крупном заполнителе не допускается.

Не допускается применять гравий в бетонах конструкций мостов и водопропускных труб, эксплуатируемых в районах со средней температурой наиболее холодной пятидневки ниже 40 °С.

Не допускается применять гравий также для бетонов транспортных сооружений с маркой по морозостойкости F200 и выше и для бетонов гидротехнических сооружений с маркой по морозостойкости F300 и выше, эксплуатируемых в зоне переменного уровня воды.

Повышение содержания глинистых и мелких пылевидных частиц на 1–3 % против допустимых увеличивает расход цемента на 1–7 %, на 3–5 – до 15 %. Иногда прочность бетона понижается на 30–40 %.

4.8.1. Определение в щебне (гравии) пылевидных и глинистых частиц

Оборудование и материалы: проба щебня (гравия) массой 20 кг при наибольшей крупности зерен D до 40 мм или 40 кг при D свыше 40 мм; технические весы; шкаф сушильный; сосуд для отмучивания или цилиндрическое ведро высотой не менее 300 мм с сифоном; деревянная мешалка; часы.

Проведение испытаний. Глину, ил и мелкие пылевидные фракции определяют для гравия, поскольку щебень обычно не содержит этих примесей, и проверку делают в случае, если сомневаются в его чистоте.

Для испытания из предварительно высушенной до постоянной массы средней пробы щебня (гравия) отвешивают навеску массой 5 кг при D до 40 мм и 10 кг при D свыше 40 мм. Пробу с D свыше 40 мм испытывают частями по 5 кг.

Пробу щебня (гравия) помещают в сосуд для отмучивания (рис. 4.5) или в ведро, заливают водой выше уровня поверхности на 200 мм и выдерживают примерно 2 ч до размокания глинистых частиц.

Затем содержимое перемешивают деревянной мешалкой, дают отстояться две минуты и сливают через два нижних отверстия при использовании сосуда для отмучивания или с помощью сифона при применении ведра. Причем слой воды над щебнем должен оставаться не менее 30 мм. Промывку щебня (гравия) повторяют до тех пор, пока вода после промывки не станет прозрачной.

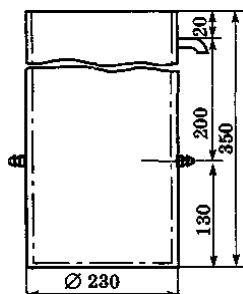


Рис. 4.5. Сосуд для отмучивания щебня (гравия)

Затем материал высушивают до постоянной массы и вычисляют содержание отмучиваемых пылевидных и глинистых частиц в процентах по формуле

$$П_{отм} = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100, \quad (4.11)$$

где $П_{отм}$ – содержание в щебне (гравии) отмучиваемых пылевидных частиц, %;

m – масса пробы до отмучивания, г;

m_1 – масса пробы после отмучивания, г.

Результаты испытания записывают в табл. 4.18.

Т а б л и ц а 4.18. Определение в щебне глинистых частиц

Показатель	Данные
Масса щебня (гравия) до промывки m , г	
Масса щебня (гравия) после промывки m_1 , г	
Содержание в щебне (гравии) отмучиваемых пылевидных и глинистых частиц $П_{отм}$, %	

4.8.2. Определение в щебне (гравии) глины в комках

Оборудование и материалы: проба щебня (гравия) массой 1,0 кг при размере фракций 5–10 мм, 4,0 кг – 10–20 мм, 20 кг – 20–40 мм, 60 кг – 40–70 мм, 140 кг – при размере свыше 70 мм; весы технические; сита с отверстиями диаметром 5; 10; 20; 40; 70 мм; шкаф сушильный; металлический лист; вода.

Проведение испытаний. От средней пробы фракционированного щебня (гравия) берут следующие навески: от фракции размером 5–10 мм – 0,25 кг, от 10–20 мм – 1,0 кг, от 20–40 мм – 5 кг, от 40–70 мм – 15 кг, свыше 70 мм – 35 кг.

При испытании фракций или нефракционированного щебня (гравия) среднюю пробу просеивают через набор сит с отверстиями 70, 40, 20, 10, 5 мм и от каждой фракции отбирают такие же навески. Эти навески высыпают тонким слоем на металлический лист и увлажняют. Затем отделяют глину, высушивают их до постоянной массы и взвешивают.

Обработка результатов. Содержание комков глины в каждой навеске щебня (гравия) определяют по формуле

$$Г_{л_i} = \frac{m}{m + m_1} \cdot 100, \quad (4.12)$$

где $Г_{л_i}$ – содержание комков глины в щебне (гравии), %;

m – масса глины в комках, кг;

m_1 – масса зерен щебня (гравия), кг.

Содержание комков глины в процентах в пробе смесей фракций и нефракционированного щебня (гравия) вычисляют как средневзвешенное значение их количества с учетом зернового состава.

4.8.3. Определение содержания пластинчатых (лещадных) и игловатых зерен

Для всех видов тяжелого бетона должен применяться щебень и щебень из гравия с содержанием зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы в количестве не более 35 % по массе.

Содержание таких зерен более 35 % по массе допускается при обеспечении заданной удобоукладываемости и прочности бетона без перерасхода цемента.

Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм для бетона дорожных и аэродромных однослойных и верхнего слоя двухслойных покрытий и для бетона безнапорных железобетонных и бетонных труб не должно превышать 25 % по массе, для бетона напорных и низконапорных железобетонных труб, опор ЛЭП, контактной сети, линий связи и автоблокировки – 15 % по массе. Повышенное содержание зерен пластинчатой и игловатой форм приводит к перерасходу цемента.

Оборудование и материалы: проба щебня (гравия) массой 1 кг для фракции 5–10 мм, 4 кг – 10–20 мм, 20 кг – 20–40 мм, 80 кг – 40–70 мм, 140 кг – для фракции более 70 мм; весы технические; штангенциркуль; стандартный набор сит.

Проведение испытаний. Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм в щебне (гравии) определяют для каждой фракции в отдельности, для этого пробу рассеивают при необходимости на фракции.

Для испытания от средней пробы, высушенной до постоянной массы, берут навески массой 0,25 кг при размере фракции 5–10 мм, 1,0 кг – 10–20 мм, 5,0 кг – 20–40 мм, 15,0 кг – 40–70 мм и 35 кг – для фракции более 70 мм.

Из пробы щебня (гравия) каждой фракции отбирают визуально зерна, длина которых превышает ширину или толщину в три и более раза. В сомнительных случаях размеры проверяют штангенциркулем.

Содержание пластинчатых (лещадных) и игловатых зерен для каждой фракции вычисляют по формуле

$$\Pi_{\text{пл}} = \frac{m_1}{m} \cdot 100, \quad (4.13)$$

где $\Pi_{\text{пл}}$ – содержание пластинчатых и игловатых зерен в щебне (гравии), %;

m – масса зерен каждой фракции, г;

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

Общее содержание в щебне (гравии) зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм по пробе определяют как средневзвешенное значение результатов испытаний отдельных фракций.

Результаты испытаний записывают в табл. 4.19.

Т а б л и ц а 4.19. Определение содержания пластинчатых и игловатых зерен

Показатель	Номер испытания		
	1	2	3
Масса зерен каждой фракции m , г			
Масса зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм m_1 , г			
Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм во фракции $\Pi_{\text{пл}}$, %			
Общее содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм в пробе $\Pi_{\text{пл}}$, %			

4.9. Определение морозостойкости щебня (гравия)

По морозостойкости щебень (гравий) подразделяется на марки F15, F25, F50, F100, F150, F200, F300.

Разрушение бетона может происходить из-за недостаточной способности щебня (гравия) сопротивляться воздействию знакопеременных температур (недостаточной морозостойкости). Поэтому морозостойкость крупного заполнителя должна обеспечить получение бетона заданной морозостойкости и быть не ниже марки бетона по морозостойкости.

Морозостойкость щебня (гравия) определяется двумя способами: путем попеременного замораживания и последующего оттаивания в воде или попеременным насыщением в растворе сернокислого натрия и последующим высушиванием, причем основным является первый способ.

Требуемые показатели морозостойкости приведены в табл. 4.20.

Т а б л и ц а 4.20. Морозостойкость щебня (гравия)

Вид испытания	Марки щебня (гравия) по морозостойкости						
	F15	F25	F50	F100	F150	F200	F300
Замораживание: число циклов	15	25	50	100	150	200	300
Потеря в массе после испытания, %, не более	10	10	5	5	5	5	5
Насыщение в растворе сернокислого натрия: число циклов	3	5	10	10	15	15	15
Потеря в массе после испытания, %, не более	10	10	10	5	5	3	2

4.9.1. Определение морозостойкости щебня (гравия) замораживанием

Оборудование и материалы: проба щебня (гравия) массой 8,0 кг для фракции 5–10 мм, 12,0 кг – 10–20 мм, 20,0 кг – 20–40 мм, 40,0 кг – 40–70 мм; камера холодильная; шкаф сушильный; весы технические; сита с диаметром отверстий, соответствующим наибольшей и наименьшей крупности щебня (гравия); широкодонный перфорированный сосуд; ванна для насыщения водой и оттаивания; вода.

Проведение испытаний. Морозостойкость щебня (гравия) определяют на отдельных фракциях. Для этой цели его просеивают через два сита, из которых отверстия верхнего соответствуют диаметру

наибольшей крупности, а отверстия нижнего – диаметру наименьшей крупности зерен.

Испытанию подвергают зерна, оставшиеся на нижнем сите. При испытании щебня (гравия), состоящего из смеси фракций, его рассеивают на стандартные фракции.

Фракции, содержащиеся в количестве менее 5 % по массе, на морозостойкость не испытывают. Зерна крупнее 70 мм дробят до получения фракции размером 40–70 мм. Для очистки от загрязнения щебень (гравий) промывают в воде, после чего высушивают до постоянной массы.

Из подготовленного материала от каждой фракции берут по две пробы. Проба массой 1 кг берется от фракции 5–10 мм, 1,5 кг – от фракции 10–20 мм, 2,5 кг – от фракции 20–40 мм, 5,0 кг – от фракции 40–70 мм.

Каждую пробу данной фракции насыпают в широкодонный перфорированный сосуд и разравнивают, чтобы толщина слоя не превышала толщины зерен наибольшей крупности, а затем погружают в воду с температурой $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$. Через 48 ч щебень (гравий) вынимают из воды и помещают в холодильную камеру, где его замораживают.

Время замораживания при установившейся температуре минус $17\text{--}25^\circ\text{C}$ должно быть не менее 4 ч. После этого сосуд со щебнем (гравием) опять погружают в ванну с водой с температурой $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$. Вода должна периодически меняться или быть проточной. Щебень (гравий) выдерживают в воде до полного оттаивания, но не менее 2 ч. Циклы испытаний повторяют.

После 15, 25 и каждых последующих 25 циклов пробу щебня (гравия) высушивают до постоянной массы, просеивают через сито, соответствующее минимальным размерам фракций, и определяют потери массы, которые не должны превышать величин, приведенных в табл. 4.20.

Зерна щебня (гравия) фракции 40–70 мм при их раскалывании относят к неморозостойким, даже если они остаются на сите с размером отверстий 40 мм.

Обработка результатов. Потери массы Δm , %, определяют по формуле

$$\Delta m = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100, \quad (4.14)$$

где Δm – потеря массы образца после испытаний, г;

m – масса пробы до испытания, г;
 m_1 – остаток после просеивания на сите, г.
 Результаты испытаний записывают в табл. 4.21.

Таблица 4.21. **Определение морозостойкости**

Показатель	Номер пробы	
	1	2
Масса пробы до испытания m , г		
Остаток после просеивания на сите m_1 , г		
Потери массы после испытания на морозостойкость Δm , %		
Среднее значение потери массы Δm , %		
Марка по морозостойкости F		

Если щебень (гравий) необходимой марки по морозостойкости после испытаний имел потери массы не больше допустимого значения, испытания продолжают в течение следующих 25 циклов. Если потеря массы превысила допустимое значение, испытания прекращают и марку по морозостойкости щебня (гравия) принимают по предыдущему числу циклов.

4.9.2. Определение морозостойкости щебня (гравия) насыщением в растворе сернокислого натрия

Оборудование и материалы: проба щебня (гравия); сернокислый натрий; дистиллированная вода; весы технические; сита с диаметрами отверстий, соответствующими наибольшей и наименьшей крупности щебня (гравия); сосуд металлический для насыщения щебня (гравия) раствором сернокислого натрия; часы.

Проведение испытаний. Контрольную проверку на морозостойкость щебня (гравия) по ускоренной методике в растворе сернокислого натрия выполняют на отдельных фракциях. Подготовка проб производится так же, как и при испытании замораживанием.

Раствор для насыщения щебня (гравия) приготавливают растворением 250–300 г безводного или 700–1000 г кристаллического сернокислого натрия в 1 л подогретой дистиллированной воды.

Пробу щебня (гравия) насыпают в сосуд слоем, не превышающим толщины зерен наибольшей крупности, заливают раствором сернокислого натрия и выдерживают в нем в течение 20 ч при комнатной температуре. Затем раствор сливают, а навеску щебня (гравия) высушивают при температуре 105–110 °С в течение 4 ч.

После охлаждения пробу опять заливают раствором сернокислого натрия на 4 ч. Попеременное насыщение и высушивание повторяют несколько раз согласно маркам щебня (гравия) по морозостойкости.

После окончания испытания навеску щебня (гравия) промывают горячей водой, высушивают до постоянной массы, просеивают через сита с отверстиями, соответствующими наименьшей крупности испытуемой фракции, и определяют потери массы Δm , %, по формуле (4.14).

Полученные данные сопоставляют с приведенными в табл. 4.20 и устанавливают марку по морозостойкости. Результаты испытания записывают в табл. 4.21.

5. ПОДБОР СОСТАВА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ БЕТОННОЙ СМЕСИ И БЕТОНА

Бетоном называется искусственный каменный материал, состоящий из затвердевшей смеси вяжущего, воды, мелкого и крупного заполнителя. Для улучшения свойств бетона или бетонной смеси в их состав могут вводиться химические добавки.

В соответствии с СТБ 1310 «Бетоны. Классификация и общие технические требования» бетоны классифицируются по основному назначению, виду вяжущего и заполнителей, структуре.

5.1. Подбор составов бетона (СТБ 1182)

Подбор состоит в установлении соотношения между цементом, водой, песком, щебнем (гравием) и добавками в виде расхода материалов на 1 м³ уплотненной бетонной смеси. Это соотношение должно обеспечить необходимые технологические свойства бетонной смеси и технические свойства затвердевшего бетона.

Для расчета необходимо иметь следующие исходные данные: требуемую удобоукладываемость бетонной смеси, класс или марку по прочности затвердевшего бетона в возрасте 28 суток (В или М) или требуемый процент прочности к заданному сроку, при необходимости – марку по водонепроницаемости (W), морозостойкости (F), коррозионную стойкость и т. д., 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 оценку пригодности имеющихся материалов, расчет ориентировочного состава бетона, экспериментальную проверку и корректирование состава бетона на опытных замесах, назначение рабочего состава бетона и расчет материалов на замес бетономешалки.

5.1.1. Материалы, рекомендуемые для бетона

Для изготовления бетона следует применять портландцементы, соответствующие требованиям ГОСТ 10178 «Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия» и ГОСТ 22266 «Цементы сульфатостойкие. Технические условия».

Марки цемента принимают в зависимости от класса бетона по табл. 5.1 согласно СНиП 5.01.23 «Типовые нормы расхода цемента для приготовления бетонов сборных и монолитных бетонных и железобетонных изделий и конструкций».

Таблица 5.1. Назначение марки цемента в зависимости от класса бетона

Проектный класс бетона	Марки цемента для тяжелого бетона при твердении в условиях					
	естественных		тепловой обработки при отпускной прочности бетона			
			70 % проектной и менее		80–100 % проектной	
	рекомендуемые	допустимые	рекомендуемые	допустимые	рекомендуемые	допустимые
B7,5	300	–	300	–	–	–
B10	300	400	300	400	400	300, 500
B15	400	300, 500	400	300, 500	400	500
B20	400	300, 500	400	300, 500	400	500
B25	400	500	400	500	500	400
B27,5	400	500	400	500	500	400
B30	500	550, 600	500	550, 600	550	500, 600
B35	550	500, 600	550	500, 600	600	500, 550
B40	600	550, 600	600	550, 500	600	550
B45	600	550	600	550	–	–

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

При применении цемента высокой активности для бетонов низких классов следует вводить минеральные добавки тонкомолотых шлаков,

золы ТЭС, активных минеральных добавок естественного происхождения.

Расход цемента не должен превышать типовую норму по СНиП 5.01.23. Вид цемента для различных условий работы необходимо выбирать с учетом требований ГОСТ 30515 «Цементы. Классификация».

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 «Вода для бетонов и растворов. Технические условия». Рекомендуется применять питьевую воду. Можно использовать технические оборотные и природные минерализованные воды с допустимым содержанием примесей. Количество солей, ионов SO_4^{2-} , Cl^- , взвешенных частиц не должно превышать значений, приведенных в табл. 5.2.

Таблица 5.2. Допустимое содержание примесей в воде

Назначение бетонов	Растворимые соли	Ионы		Взвешенные частицы
		SO_4^{2-}	Cl^-	
Для напряженных железобетонных конструкций, а также бетоны на глиноземистом цементе	2000	600	350	200
Для конструкций с напрягаемой арматурой, в том числе для водосбросных сооружений и зоны переменного уровня воды массивных сооружений	5000	2700	1200	200
Для неармированных конструкций, к которым не предъявляются требования по ограничению образования высолов	10000	2700	3500	300

Водородный показатель pH воды должен быть не менее 4 и не более 12,5. Допускается не более 10 мг/л органических поверхностно-активных веществ, сахаров, фенолов. Для улучшения свойств бетонной смеси, затвердевшего бетона, ускорения твердения бетона, замедления или ускорения сроков схватывания вводятся химические добавки, применение которых регламентируется.

5.1.2. Подбор 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 состав бетона, а затем уточняют его по результатам пробных замесов и испытаний контрольных образцов.

Расчет ориентировочного состава бетона. Расчет состава бетона выполняют в следующей последовательности.

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

$$В/Ц = \frac{A_1 R_{ц}}{R_b + A_1 \cdot 0,5 R_{ц}} \text{ при } \frac{В}{Ц} \geq 0,4; \quad (5.1)$$

$$В/Ц = \frac{A_2 R_{ц}}{R_b + A_2 \cdot 0,5 R_{ц}} \text{ при } \frac{В}{Ц} < 0,4, \quad (5.2)$$

где A_1 и A_2 – коэффициенты, учитывающие качество материалов, которые принимаются по табл. 5.3;

$R_{ц}$ – активность цемента, МПа;

R_b – предел прочности бетона на сжатие, МПа.

Т а б л и ц а 5.3. Значения коэффициентов, учитывающих качество 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, оптимального зернового состава;

2) 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 расход воды V , кг/м^3 , в зависимости от удобоукладываемости бетонной смеси, вида и крупности заполнителя ориентировочно по табл. 5.4 или на основании предварительных испытаний.

3. Определяют расход цемента Π , кг/м^3 , по известному V/Π и водопотребности бетонной смеси:

$$\Pi = V : V/\Pi, \quad (5.3)$$

где V – расход воды, кг/м^3 ;

V/Π – отношение массы воды к массе цемента.

Нормы расхода цемента не должны превышать типовые по СНиП 5.01.23.

Для неармированных сборных изделий минимальная норма расхода цемента должна быть не менее 200 кг/м^3 , для железобетонных изделий – не менее 220 кг/м^3 .

Допускается снижение минимальной нормы расхода цемента для бетонных изделий до 150 кг/м^3 и для железобетонных – до 180 кг/м^3 при добавлении в бетон золы ТЭС до 200 или 220 кг/м^3 . Если расход цемента превышает типовые нормы, тогда следует проводить мероприятия по экономии цемента.

Т а б л и ц а 5.4. Водопотребность бетонной смеси

Подвижность $ОК$, см	Жесткость, с	Расход воды, кг/м^3 ,							
		гравий, мм				щебень, мм			
		10	20	40	70	10	20	40	70
–	40–50	150	135	125	120	160	150	135	130
–	25–35	160	145	130	125	170	160	145	140
–	15–20	165	150	135	130	175	165	150	145
–	10–15	175	160	145	140	185	175	160	155
2–4	–	190	175	160	155	200	190	175	170
5–7	–	200	185	170	165	210	200	185	180
8–10	–	205	190	175	170	215	205	190	185
10–12	–	215	205	190	180	225	215	200	190
12–16	–	220	210	197	185	230	220	207	195
16–20	–	227	218	203	192	237	228	213	202

Примечания:

1) значения водопотребности приведены для бетонной смеси на портландцементе с нормальной плотностью цементного теста 26–28 % и песке с $M_{кр} = 2$;

2) на каждый процент повышения нормальной плотности цементного теста (НГЦТ) расход воды увеличивается на $3\text{--}5 \text{ кг/м}^3$, при уменьшении НГЦТ – уменьшается на $3\text{--}5 \text{ кг/м}^3$;

3) увеличение модуля крупности песка на каждые $0,5$ вызывает необходимость уменьшения расхода воды на $3\text{--}5 \text{ кг/м}^3$, уменьшение – повышение расхода воды на $3\text{--}5 \text{ кг/м}^3$.

4. Определяют расход крупного заполнителя $\Pi(\Gamma)$, кг/м^3 , по формуле

$$\Pi(\Gamma) = \frac{1}{\frac{\alpha \cdot \Pi_{\text{ш}(\Gamma)}}{\rho_{\text{нш}(\Gamma)}} + \frac{1}{\rho_{\text{нш}(\Gamma)}}}, \quad (5.4)$$

где $\Pi_{\text{ш}(\Gamma)}$ – пустотность щебня (гравия) в рыхлонасыпанном состоянии, подставляется в формулу в виде коэффициента, определяемого по формуле (5.5);

$\rho_{\text{нш}(\Gamma)}$ – насыпная плотность щебня (гравия), г/см^3 ;

$\rho_{\text{нш}(\Gamma)}$ – истинная плотность щебня (гравия), г/см^3 ;

α – коэффициент раздвижки зерен щебня (гравия).

Пустотность щебня (гравия) определяется по формуле

$$\Pi_{\text{ш}(\Gamma)} = 1 - \frac{\rho_{\text{нш}(\Gamma)}}{\rho_{\text{нш}(\Gamma)}}. \quad (5.5)$$

Коэффициент раздвижки зерен α определяется по табл. 5.5.

Таблица 5.5. Коэффициенты раздвижки зерен α для пластичных бетонных смесей на песке с $B_n = 7\%$

Расход цемента, кг/м^3	Водоцементное отношение В/Ц					
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
250	—	—	—	1,26	1,32	1,38
300	—	—	1,30	1,36	1,42	—
350	—	1,32	1,38	1,44	—	—
400	1,31	1,40	1,46	—	—	—
500	1,44	1,52	1,56	—	—	—
600	1,52	1,56	—	—	—	—

Примечания:

1) при других значениях В/Ц коэффициент α находят интерполяцией;

2) при применении крупного песка с $B_n < 7\%$ коэффициент α увеличивается на 0,03 на каждый процент увеличения В. При использовании мелкого песка с $B > 7\%$ коэффициент α уменьшают на 0,03 на каждый процент увеличения В;

3) для жестких бетонных смесей при расходе цемента менее 400 кг/м^3 коэффициент α принимают 1,05–1,15, в среднем 1,1.

5. Определяют расход песка Π , кг/м^3 , по формуле

$$\Pi = \left[1 - \frac{\Pi}{\rho_{\text{п}}} + \frac{B}{\rho_{\text{в}}} + \frac{\Pi(\Gamma)}{\rho_{\text{ш}(\Gamma)}} \right] \cdot \rho_{\text{п}}, \quad (5.6)$$

где Ц, В, Щ(Г) – расход цемента, воды, щебня (гравия) в кг на 1 м³ бетонной смеси;

$\rho_{ц}, \rho_{в}, \rho_{щ(г)}, \rho_{п}$ – истинная плотность материалов, кг/м³.

Экспериментальная проверка и корректировка состава бетона

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 отношения. При повышенной удобоукладываемости увеличивают количество крупного заполнителя и песка на 5–10 %, сохраняя их отношение неизменным.

Объем пробного замеса V_3 , м³, после корректирования состава бетонной смеси определяют по формуле

$$V_3 = \frac{Ц_3 + В_3 + П_3 + Щ(Г)_3}{\rho_{с.б.см}}, \quad (5.7)$$

где $Ц_3, В_3, П_3, Щ(Г)_3$ – масса материалов на замес, кг;

$\rho_{с.б.см}$ – средняя плотность бетонной смеси, кг/м³.

Имея объем бетонной смеси и расход материалов на замес, определяют расход материалов Ц, В, П, Щ(Г) в кг на 1 м³ бетонной смеси по следующим формулам:

$$Ц = \frac{Ц_3 \cdot 1}{V_3}; В = \frac{В_3 \cdot 1}{V_3}; П = \frac{П_3 \cdot 1}{V_3}; Щ(Г) = \frac{Щ(Г)_3 \cdot 1}{V_3}. \quad (5.8)$$

Откорректировав удобоукладываемость бетонной смеси, проверяют прочность бетона. Для этого приготавливают еще два пробных замеса: один с В/Ц, большим на 10–30 %, второй – меньшим на 10–30 %, чем V_3 основного замеса.

Величину В/Ц изменяют, увеличивая или уменьшая расход цемента, изменяется также соответственно расход песка, 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 м³ бетона. Затем при необходимости проверяют водонепроницае-

мость и морозостойкость бетона. В случае несоответствия требуемым значениям состав бетона корректируют изменением В/Ц и затем опять уточняют расход материалов на 1 м³ бетона.

***Производственный состав бетона
и расчет материалов на замес бетономешалки***

В производственных условиях заполнители обычно бывают влажными, поэтому состав бетона следует рассчитывать с учетом воды, содержащейся в них. Для этого следует вычислить количество воды в щебне (гравии) и песке из расчета на 1 м³ бетона и вычесть ее из общего расхода воды, указанного в номинальном составе. К расходу щебня (гравия) и песка следует добавить количество их во влажном состоянии, соответствующее содержанию воды в них.

Расход материалов рабочего состава бетона с учетом влажности заполнителей Ц, Щ(Г), П, В, кг/м³, рассчитывают по следующим формулам:

$$\begin{aligned} \text{Ц}_p &= \text{Ц} ; \\ \text{П}_p &= \text{П} \left(1 + \frac{W_{\text{п}}}{100} \right) ; \\ \text{Щ(Г)}_p &= \text{Щ(Г)} \left(1 + \frac{W_{\text{щ(Г)}}}{100} \right) ; \\ \text{В}_p &= \text{В} - \text{Щ(Г)} \frac{W_{\text{щ(Г)}}}{100} - \text{П} \frac{W_{\text{п}}}{100}, \end{aligned} \quad (5.9)$$

где Ц, П, Щ(Г), В – расход материалов в подобранном составе, кг/м³;

$W_{\text{щ(Г)}}$, $W_{\text{п}}$ – влажность щебня или гравия и песка, %.

Зная расход компонентов Ц_p , В_p , Щ(Г)_p , П_p на 1 м³ бетонной смеси, вычисляем ее расчетную объемную массу $\rho_{\text{р.об.с}}$ по формуле

$$\rho_{\text{р.об.с}} = \text{Ц}_p + \text{В}_p + \text{Щ(Г)}_p + \text{П}_p, \text{ кг/м}^3. \quad (5.10)$$

Коэффициент выхода бетона определяется по формуле

$$\beta = \frac{1}{\frac{\text{Ц}_p}{\rho_{\text{ц}}} + \frac{\text{П}_p}{\rho_{\text{п}}} + \frac{\text{Щ(Г)}_p}{\rho_{\text{щ(Г)}}}}. \quad (5.11)$$

Для получения производственного состава в соотношениях по массе расход каждого компонента бетонной смеси (кг) делят на расход цемента:

$$\frac{\Pi_p}{\Pi_p} : \frac{\Pi_p}{\Pi_p} : \frac{\Pi(\Gamma)_p}{\Pi_p} = 1 : x : y \quad \text{при} \quad \frac{B}{\Pi} = z. \quad (5.12)$$

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

Для проверки прочности изготавливают 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 ± 3 %. Корректирование состава бетона следует производить изменением расхода цемента, для чего можно использовать ранее полученную зависимость между прочностью и расходом цемента.

Приготовление бетонной смеси обычно производится в бетономешалках различной емкости. Емкость их барабана приводится в литрах бетонной смеси. Расход материалов на замес бетономешалки Π' , $\Pi(\Gamma)'$, Π' , B' определяется в кг по формулам

$$\begin{aligned} \Pi' &= \Pi_p \frac{V_3}{1}; & B' &= B_p \frac{V_3}{1}; \\ \Pi' &= \Pi_p \frac{V_3}{1}; & \Pi(\Gamma)'_p &= \Pi \frac{\Pi(\Gamma)_3}{1}, \end{aligned} \quad (5.13)$$

где Π , B , Π , $\Pi(\Gamma)$ – расход материалов в кг на 1 м³ бетонной смеси;

V_3 – объем замеса бетономешалки, м³.

Затем массу каждого составляющего умножают на объем бетономешалки и таким образом определяют расход материалов на замес бетономешалки.

5.1.3. Подбор состава бетона с химическими добавками

Подбор состава бетона с химическими добавками может осуществляться двумя способами. По первому способу вначале подбирают со-

став бетона без добавки по общепринятой методике, а затем его корректируют с учетом действия добавки.

По второму способу, когда известно приблизительное влияние добавок, в расчетные формулы общепринятой методики вводят поправочные коэффициенты, учитывающие действия этих добавок. Добавки не изменяют характер зависимостей удобоукладываемости бетонных смесей от количества воды, прочности бетона от водоцементного отношения и активности цемента, но оказывают влияние на их величину. Этот способ позволяет сократить объем работы.

Подбор состава бетона по второму способу выполняют в следующей последовательности.

1. Определяют ориентировочный расход воды, кг/м^3 , по табл. 5.4 для бетона без добавки, а затем уточняют его с учетом пластифицирующего действия добавки по формуле

$$B_1 = K_1 B, \quad (5.14)$$

где K_1 – коэффициент, учитывающий пластифицирующее действие добавки.

Водопотребность бетонной смеси зависит от вида и количества пластифицирующей добавки, вида и расхода цемента. При введении ускорителей твердения водопотребность бетонной смеси принимается, как для бетона без добавки. Окончательный расход воды уточняется на пробных замесах.

2. В/Ц определяют по формуле

$$B/C = \frac{K_2 A R_{\text{ц}}}{R_{\text{б}} + 0,5 K_2 R_{\text{ц}}} \text{ при } B/C \geq 0,25, \quad (5.15)$$

где K_2 – поправочный коэффициент, учитывающий изменение прочности бетона с добавкой в возрасте 28 суток, $K_2 = R_{\text{доб}} / R_{\text{б}}$. Если добавка не влияет на прочность бетона, то $K_2 = 1$.

3. Расход цемента определяют по формуле

$$C = B_1 B / C, \quad (5.16)$$

где C – расход цемента, кг/м^3 ;

B_1 – расход воды с учетом пластифицирующего действия добавки, кг.

4. Определяют расход химических добавок. Химические добавки вводятся в бетонную смесь в виде водных растворов: воздухововлекающие добавки 5%-ной концентрации, пластифицирующие, пластифи-

цирующе-воздухововлекающие, уплотняющие, замедлители схватывания, ускорители твердения и ингибиторы коррозии стали 5–10%-ной, противоморозные 10–20%-ной концентрации.

Расход добавок в сухом веществе $D_{\text{сух}}$, кг, вычисляют по формуле

$$D_{\text{сух}} = \frac{\text{Ц} \cdot D_{\text{сух, \%}}}{100}, \quad (5.17)$$

где $D_{\text{сух}}$ – расход добавки в сухом веществе, кг;

Ц – расход цемента, кг;

$D_{\text{сух, \%}}$ – расход добавки в сухом веществе от массы цемента, %.

Расход добавки в виде раствора повышенной концентрации на 1 м³ бетонной смеси определяют по формулам:

в килограммах –

$$D_p = \frac{\text{Ц} \cdot D_{\text{сух}}}{K}; \quad (5.18)$$

в литрах –

$$D_p = \frac{\text{Ц} \cdot D_{\text{сух, \%}}}{K \rho_d}, \quad (5.19)$$

где D_p – расход добавки повышенной концентрации, кг (л);

K – концентрация рабочего раствора добавки, %, принимается по табл. 5.6;

ρ_d – плотность рабочего раствора добавки, кг/м³, принимается по табл. 5.6.

При объемном дозировании раствора добавок следует учитывать влияние температуры t °С на количество сухого вещества в растворе добавки определяемого по формуле

$$D_{p_{t_n}} = \frac{D_{p_{t=20\text{ °С}}} \rho_{t_n}}{\rho_{t=20\text{ °С}}}, \quad (5.20)$$

где $D_{p_{t_n}}$ – содержание сухого вещества в добавке при температуре окружающей среды, кг/м³;

$D_{p_{t=20\text{ °С}}}$ – содержание добавки в виде сухого вещества в 1 л раствора при температуре $t = 20$ °С, кг/м³;

ρ_{t_n} и $\rho_{t=20^\circ\text{C}}$ – плотность раствора соответственно при t_n и $t = 20^\circ\text{C}$, г/см³.

5. Определяют расход воды V_n на 1 м³ бетонной смеси за вычетом воды в рабочем растворе добавки, кг, по формуле

$$V_n = V_1 - D_p \rho_d (1 - 0,01K), \quad (5.21)$$

где D_p подставляют в литрах.

6. Определяют расход крупного заполнителя $\Pi(\Gamma)$, кг/м³, по формуле (5.4).

7. Определяют расход песка Π , кг/м³, по формуле

$$\Pi = \left[1 - \left(\frac{\Pi}{\rho_{\Pi}} + \frac{\Pi(\Gamma)}{\rho_{\Pi(\Gamma)}} + \frac{D_p}{\rho_d} + \frac{V}{\rho_v} \right) \right] \cdot \rho_n. \quad (5.22)$$

Экспериментальную проверку и корректировку состава бетона, расчет производственного состава и расход материалов на замес бетономешалки выполняют по методике для бетона без добавки с включением всех данных по добавкам.

Т а б л и ц а 5.6. Плотность водных растворов наиболее распространенных добавок

Добавки	Плотность раствора, г/см ³ , при концентрации в %											
	1	3	5	7	10	15	20	25	30	35	40	50
С-3	1,007	1,013	1,02	1,03	1,045	1,069	1,09	1,116	1,148	1,18	1,205	–
ЛСТМ-2	1,006	1,012	1,021	1,029	1,043	1,067	1,091	1,117	–	–	–	–
ЛСТ	1,004	1,013	1,021	1,029	1,043	1,068	1,091	1,117	1,144	1,173	1,202	1,266
УПБ	1,004	1,012	1,019	1,028	1,04	1,061	1,083	1,106	1,129	1,154	1,179	1,232
ХК	1,01	1,023	1,04	1,058	1,084	1,13	1,178	1,228	1,282	1,362	–	–
СН	0,007	1,026	1,044	1,063	1,092	1,141	–	–	–	–	–	–
ПАЩ-1	1,003	1,015	1,031	1,046	1,066	1,09	1,09	–	–	–	–	–

Пример 1. Подобрать состав бетона для плит пролетного строения мостового переезда. Марка бетонной смеси по удобоукладываемости П1 (осадка конуса ОК = 3 см). Класс бетона по прочности после пропаривания и последующего твердения в нормальных условиях – В25 ($B_b = 25 : 0,778 = 32$ МПа), марка по морозостойкости – F150, марка по водонепроницаемости – W4. Отпускная прочность – 70 % от предела прочности в возрасте 28 суток: $32 \cdot 0,7 = 22,4$ МПа.

Материалы: портландцемент среднеалюминатный активностью 38,5 МПа с НГЦТ – 26 %; крупный заполнитель – гранитный щебень с содержанием фракций 5–10 мм – 20 %, 10–20 мм – 25 %, 20–40 мм – 55 %; мелкий заполнитель – кварцевый песок средней крупности $M_{кр} = 2,1$; насыпная плотность сухих материалов: $\rho_{нц} = 1200$ кг/м³, $\rho_{нп} = 1400$ кг/м³; $\rho_{нщ} = 1500$ кг/м³; истинная плотность материалов: $\rho_{ц} = 3100$ кг/м³; $\rho_{п} = 2500$ кг/м³; $\rho_{щ} = 2550$ кг/м³.

Выполняем расчет ориентировочного состава бетона.

1. Определяем В/Ц по прочности на сжатие по формуле (5.1):

$$В/Ц = \frac{0,6 \cdot 38,5}{32 + 0,6 \cdot 0,5 \cdot 38,5} = 0,556.$$

2. Ориентировочно определяем расход воды по табл. 5.4;

$$В = 175 \text{ кг.}$$

3. Определяем расход цемента по формуле (5.3):

$$Ц = 175 : 0,556 = 315 \text{ кг.}$$

Уточним расход цемента с учетом требований СНиП 5.01.23-83. По таблице 14 СНиП для бетона класса В25 (М300) с отпускной прочностью 70 % проектной марки в условиях тепловой обработки при ОК бетонной смеси 3 см, приготовленного на портландцементе марки 400, расход его не должен превышать 335 кг/м³. С учетом поправки на применение щебня с $D = 40$ мм расход не должен превышать $335 \cdot 0,93 \approx 312$ кг.

Согласно таблице 20 упомянутого СНиП, для бетона марки по морозостойкости F150 расход цемента не должен превышать 300 кг/м³, а для бетона марки по водонепроницаемости W4 – 328 кг. Примем Ц = 315 кг/м³.

4. Определяем расход щебня по формуле (5.4):

$$\Pi = \frac{1}{\frac{1,36 \cdot 0,41}{1500} + \frac{1}{2550}} = 1309 \text{ кг.}$$

Пустотность щебня, определенная по формуле (5.5), составляет

$$\Pi_{\text{щ}} = \frac{2550 - 1500}{2550} = 0,41.$$

Коэффициент α принимаем по табл. 5.5; $\alpha = 1,36$.

5. Определяем расход песка по формуле (5.6):

$$\Pi = \left[1 - \left(\frac{315}{3100} + \frac{175}{1000} + \frac{1309}{2550} \right) \right] \cdot 2550 = 536 \text{ кг.}$$

В результате проведенных расчетов получим следующий ориентировочный номинальный состав бетона, кг/м³:

Цемент	315	Песок	536
Вода	175	Щебень	1309
Итого	2335		

Экспериментальная проверка и корректирование состава бетона осуществляется в следующей последовательности.

1. Вычисляем расход материалов на пробный замес исходя из номинального состава бетона. Объем пробного замеса примем 12 л. Тогда расход материалов, кг, составит:

цемента	$315 \cdot 0,012 = 3,78$;
воды	$1750 \cdot 0,012 = 2,10$;
песка	$536 \cdot 0,012 = 6,432$;
щебня	$1309 \cdot 0,012 = 15,708$.

2. Вычисляем расход материалов в килограммах на пробный замес бетона после корректировки содержания материалов.

Допустим, что после проверки удобоукладываемости бетонной смеси оказалось, что вместо принятой осадки конуса 3 см фактическая осадка конуса составила 6 см. Для обеспечения требуемой осадки конуса добавим 5 % песка и щебня. Бетонную смесь дополнительно перемешиваем и опять проверяем осадку конуса. Если она остается принятой, опыт заканчиваем и делаем перерасчет действительного расхода материалов (табл. 5.7).

Т а б л и ц а 5.7. Уточнение расчетного состава бетона по удобоукладываемости

Материалы и характеристика бетона	Расход материалов бетона номинального состава	Добавлено	Расход материалов бетона уточненного состава
Цемент, кг	3,78	–	3,78
Вода, кг	2,10	–	2,10
Песок, кг	6,432	0,3216	6,7536
Щебень, кг	15,708	0,7854	16,4934
В/Ц	0,556	–	0,556
Осадка конуса, см	6	–	3

3. Определяем абсолютный объем откорректированного состава бетонной смеси по формуле (5.7), м³:

$$V_3 = \frac{3,78 + 2,10 + 6,7536 + 16,4934}{2325,0} = 0,01253,$$

предварительно определив среднюю плотность бетонной смеси $\rho_{б,см} = 2325,0 \text{ кг/м}^3$,

4. Определяем расход материалов в килограммах на 1 м³ бетонной смеси по формулам (5.8):

$$\begin{aligned} Ц &= \frac{3,78 \cdot 1}{0,01253} = 302; & В &= \frac{2,10 \cdot 1}{0,01253} = 168; \\ П &= \frac{6,7536 \cdot 1}{0,01253} = 539; & Щ &= \frac{16,4934 \cdot 1}{0,01253} = 1316. \end{aligned}$$

5. Уточняем В/Ц из условия получения бетона необходимой прочности. Для этого приготавливаем дополнительно два замеса, один с В/Ц, большим на 20 %, второй – меньшим на 20 %, чем у основного. За основной примем состав I, откорректированный по удобоукладываемости бетонной смеси. Величину В/Ц изменяем, уменьшая или увеличивая расход цемента. Изменяем также расход песка. Расход щебня остается неизменным. Образцы пропариваем по принятому режиму. Определяем предел прочности после пропаривания и через 28 суток от начала изготовления образцов при хранении их после пропаривания в нормальных условиях.

Составы и прочность бетонов с разными В/Ц сводим в табл. 5.8.

Т а б л и ц а 5.8. Уточнение расчетного состава бетона по прочности

Материал и характеристика бетона	Составы бетона		
	I	II	III
Цемент, кг	3,624	3,022	4,532
Вода, кг	2,016	2,016	2,016
Песок, кг	6,468	7,07	5,56
Щебень, кг	15,792	15,792	15,792
В/Ц	0,556	0,6672	0,4448
Прочность при сжатии, МПа:			
$R_{б, н}$	36,65	31,66	42,11
$R_{б, проч}$	25,0	20,83	31,25

По полученным значениям прочности строим график $R_b = f(V/C)$ (рис. 5.1).

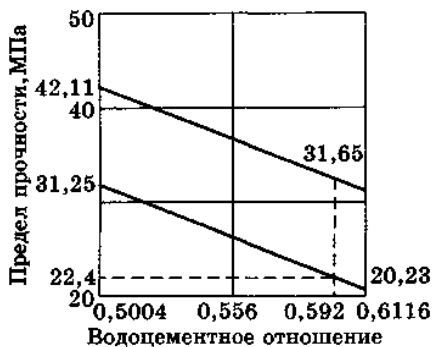


Рис. 5.1. График зависимости между прочностью бетона и водоцементным отношением

По графику определяем, что для бетона с $R_{проч} = 22,4$ МПа соответствует $V/C = 0,592$. Предел прочности этого бетона через 28 суток составил 33 МПа.

Окончательный номинальный состав бетона, $кг/м^3$, следующий:

$$Ц = 284; В = 168; П = 557; Щ = 1316.$$

Расчет производственного состава бетона и расхода материалов на замес бетономешалки выполняем в следующей последовательности.

1. Рассчитываем состав бетона на влажных заполнителях. Условно примем, что щебень имеет влажность 1 %, песок – 4 % по массе. Тогда

количество воды в щебне составит $1316 \cdot 0,01 = 13$ кг, а количество воды в песке – $557 \cdot 0,04 = 22$ кг.

Из общего количества воды бетона номинального состава следует вычесть воду, содержащуюся в заполнителях. Ее расход составит $168 - 13 - 22 = 133$ кг. Количество же заполнителей следует увеличить. Тогда расход щебня станет $1316 + 13 = 1329$ кг, а расход песка – $557 + 22 = 579$ кг.

Таким образом, откорректированный состав бетона на влажных заполнителях, кг/м³, будет следующий:

цемент – 284, вода – 133, щебень – 1329, песок – 579.

Состав бетона можно выразить в виде соотношения

$$\frac{\text{Ц}}{\text{П}} : \frac{\text{П}}{\text{Ц}} : \frac{\text{Щ}}{\text{Ц}} = \frac{284}{284} : \frac{579}{284} : \frac{1329}{284} = 1 : 2,04 : 4,68 \text{ при } \text{В/Ц} = 0,592.$$

2. Определяем расход материалов на замес бетономешалки. Пусть бетономешалка имеет вместимость барабана 0,25 м³. Тогда расход материалов на один замес в килограммах составит:

цемент –	$284 \cdot 0,25 = 71;$
вода –	$133 \cdot 0,25 = 33,25;$
песок –	$579 \cdot 0,25 = 144,75;$
щебень –	$1329 \cdot 0,25 = 332,25.$

Пример 2. Подобрать состав бетона с пластифицирующей добавкой ПАЩ-1 для сокращения расхода цемента (по первому способу). Исходные данные взяты из примера 1.

Расход материалов номинального состава бетона в килограммах после экспериментальной проверки и последующего корректирования, согласно данным примера 1, следующий:

цемента – 284; воды – 168; песка – 557; щебня – 1316.

Введение добавки ПАЩ-1 за счет пластифицирующего эффекта, согласно табл. 1 прил. 3 Руководства, в бетонах на среднеалюминатных портландцементе при их расходе до 300 кг/м³ дает возможность уменьшить на 4 % расход цемента. Тогда расход материалов в кг при постоянном отношении песка к щебню будет следующий:

цемента –	$284 - 284 \cdot 0,04 = 272,64;$
воды –	$168 - 168 \cdot 0,04 = 161,28;$

песка – $557 + 18 \cdot 0,3 = 562,4$;
 щебня – $1316 + 18 \cdot 0,7 = 1328,6$.

Согласно табл. 5 Руководства, количество добавки ПАЩ-1 в расчете на сухое вещество при расходе цемента до 300 кг/м^3 составляет 0,1–0,25 % от массы цемента. Для определения оптимального количества добавки для пробных замесов примем расход ПАЩ-1 0,1; 0,18 и 0,25 %.

При 0,1%-ном расходе количество сухого вещества на 1 м^3 бетонной смеси, определенного по формуле (5.17), составит

$$D_{\text{сух}} = (272,64 \cdot 0,1) : 100 = 0,2726 \text{ кг.}$$

ПАЩ-1 рекомендуется вводить в виде раствора 10%-ной концентрации плотностью $1,066 \text{ г/см}^3$ (см. прил. 4, табл. 8 Руководства).

Тогда количество раствора ПАЩ-1, определенного по формулам (5.18) и (5.19), составит:

$$D_p = \frac{272,64 \cdot 0,1}{10} = 2,72 \text{ кг;} \quad D_p = \frac{272,64 \cdot 0,1}{10} = 2,72 \text{ л.}$$

Недостающее количество воды, за вычетом воды в рабочем растворе добавки, определенном по формуле (5.20), составит

$$W_n = 161,28 \cdot 2,72 \cdot 1,006 \cdot (1 - 0,01 \cdot 10) = 158,67 \text{ кг (л).}$$

Аналогично определяем расход материалов при введении добавки в количестве 0,18 и 0,25 %. Результаты расчетов сводим в табл. 5.9.

Т а б л и ц а 5.9. Уточнение состава бетона с добавкой ПАЩ-1

№ п/п	Расход ПАЩ-1, % от массы цемента	Расход материалов на 1 м^3 бетона						В/Ц	Уменьшение расхода цемента
		цемент, кг	песок, кг	щебень, кг	вода, кг(л)	ПАЩ-1, кг сухого вещества	10%-ный раствор ПАЩ-1, кг(л)		
1	–	284	557	1316	168	–	–	0,592	–
2	0,1	272,64	562,4	1328,6	158,67	0,2726	2,72 (2,56)	0,592	4
3	0,18	272,64	562,4	1328,6	156,57	0,491	4,91 (4,61)	0,592	4
4	0,25	272,64	562,4	1328,6	154,74	0,682	6,82 (6,4)	0,592	4

На основании данных табл. 5.9 приготавливаем пробные замесы, на которых проверяется удобоукладываемость бетонной смеси, проч-

ность бетона, и при необходимости делаем корректирование состава бетона.

Если прочность бетона получается выше требуемой, уменьшаем расход цемента и опять повторяем весь расчет по вышеприведенной методике, чтобы получить необходимую удобоукладываемость бетонной смеси и прочность бетона.

Далее определяем среднюю плотность бетонной смеси и, если она изменилась более чем на 5 %, уточняем фактический расход материалов в связи с изменением средней плотности. Для этого необходимо поделить расход материалов на 1 м³ бетонной смеси на ее среднюю плотность без добавки и умножить на значение средней плотности бетонной смеси с добавкой ПАЩ-1.

В заключение следует произвести расчет производственного состава бетонной смеси, т. е. с учетом влажности заполнителей, и расчет расхода материалов на замес бетономешалки.

Пример 3. Подобрать состав бетона для панелей внутренних стен с комплексной добавкой суперпластификатора С-3 и сульфата натрия СН (второй способ).

Марка бетонной смеси по удобоукладываемости ПЗ (ОК = 12 см), класс по прочности при сжатии В15 ($R_b = 15 : 0,778 = 19,28$ МПа).

Материалы: портландцемент марки 400 (активность 40 МПа), НГЦТ = 26 %; мелкий заполнитель – кварцевый песок с $M_{кр} = 1,43$; крупный заполнитель – гранитный щебень фракции 5–20 мм.

Насыпная плотность сухих материалов: цемента $\rho_{нц} = 1100$ кг/м³, песка $\rho_{пс} = 1500$ кг/м³, щебня $\rho_{щ} = 1320$ кг/м³. Истинная плотность материалов: цемента $\rho_{ц} = 3100$ кг/м³, песка $\rho_{п} = 2500$ кг/м³, щебня $\rho_{щ} = 2600$ кг/м³.

Ранее установлено оптимальное количество добавок в бетон в процентах от расхода цемента: С-3 – 0,3 %, СН – 1 %. Плотность растворов добавок 10%-ной концентрации: $\rho_{С-3} = 1045$ кг/м³, $\rho_{сн} = 1092$ кг/м³.

Осуществляем расчет ориентировочного состава бетона.

1. Определяем ориентировочный расход воды по табл. 5.4 и формуле (5.14): $B = 225$ кг, $K_1 = 0,85$; $B_1 = 2250,85 = 191$ кг.

2. Определяем В/Ц по прочности на сжатие по формуле (5.15). Принимаем $K_2 = 1,15$.

$$В/Ц = \frac{1,15 \cdot 0,55 \cdot 40}{19,28 + 0,5 \cdot 1,15 \cdot 0,55 \cdot 40} = 0,792.$$

3. Определяем расход цемента по формуле (5.16):

$$\Pi = 191 : 0,792 = 241 \text{ кг.}$$

4. Определяем расход химических добавок сухого вещества и раствора 10%-ной концентрации по формулам (5.17)–(5.19):

$$D_{\text{сух.с-з}} = \frac{241 \cdot 0,3}{100} = 0,723 \text{ кг; } D_{\text{сух.сн}} = \frac{241 \cdot 1}{100} = 2,41 \text{ кг;}$$

$$D_{\text{р.с-з}} = \frac{241 \cdot 0,3}{10} = 7,23 \text{ кг; } D_{\text{р.с-з}} = \frac{241 \cdot 0,3}{10 \cdot 1,045} = 6,92 \text{ кг;}$$

$$D_{\text{р.сн}} = \frac{241 \cdot 1,0}{10} = 24,1 \text{ кг; } D_{\text{р.сн}} = \frac{241 \cdot 1,0}{10 \cdot 1,045} = 23,06 \text{ кг.}$$

5. Определяем недостающий расход воды, за вычетом ее в рабочем растворе добавок, по формуле (5.21):

$$B = 191 - [6,92 \cdot 1,045 \cdot (1 - 0,01) + 23,06 \cdot 1,092 (1 - 0,01 \cdot 10)] \approx 162 \text{ кг.}$$

6. Определяем расход щебня по формуле (5.22):

$$\Pi = \frac{1}{\frac{1,38 \cdot 0,492}{1320} + \frac{1}{2600}} = 1112 \text{ кг.}$$

7. Определяем расход песка по формуле (5.22):

$$\Pi = \left[1 - \left(\frac{241}{3100} + \frac{1112}{2600} + \frac{7,23}{1045} + \frac{24,1}{1092} + \frac{162}{1000} \right) \right] \cdot 2500 = 759 \text{ кг.}$$

В результате приведенных расчетов получим следующий ориентировочный номинальный состав бетона на 1 м³, кг:

Цемент –	241
Общее количество воды –	191
Вода за вычетом воды в растворах добавок –	162
С-3 в виде раствора 10%-ной концентрации –	7,23 (6,92 л)
СН в виде раствора 10%-ной концентрации –	24,1 (23,06 л)
Щебень –	1112
Песок –	759
Итого –	2305

Затем по общепринятой методике выполняем экспериментальную

проверку и корректирование состава бетона по удобоукладываемости и прочности. Уточняем расход материалов при изменении средней плотности бетонной смеси более чем на 5 %. Затем определяем расход материалов производственного состава и на замес бетономешалки.

5.2. Испытание бетонной смеси

К бетонной смеси предъявляется ряд требований. Она должна иметь достаточную жизнеспособность, необходимую для транспортирования, удобоукладываемость, позволяющую уложить и уплотнить ее в конструкции с минимальными затратами, а бетон – заданные технические свойства. Свойства бетонной смеси задают и корректируют на пробных замесах при подборе состава бетона.

При бетонировании монолитных и сборных конструкций должен осуществляться лабораторный контроль качества бетонной смеси. Пробы смеси отбирают на месте ее укладки.

При производстве товарной смеси их отбирают со 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 два раза больше, чем необходимо для испытаний.

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

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

5.2.1. Приготовление опытного замеса

Оборудование и материалы: 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).

Проведение испытаний. Опытный замес приготавливают из материалов, применяемых на данном 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 закрытом по-

мещении при температуре $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ из составляющих, выдержанных до температуры помещения лаборатории.

Бетонную смесь перемешивают вручную или в бетономешалке. При ручном перемешивании объем замеса не должен превышать 15 л. Ручное перемешивание выполняется на металлическом листе в такой последовательности. 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 все снова собирают в виде кучи, делают углубление в середине и вливают оставшуюся часть воды, после чего смесь опять перемешивают. Время перемешивания отсчитывается с момента первого приливания воды, оно должно составлять 3–5 мин.

Бетонную смесь в бетономешалке приготавливают в такой последовательности. Вначале отвешивают все материалы и помещают их в отдельную тару. Затем при включенном двигателе их загружают 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, считая 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 15 мин после начала перемешивания смеси с водой.

5.2.2. Определение средней плотности бетонной смеси (ГОСТ 10181.2)

Оборудование и материалы: бетонная смесь; мерные цилиндрические сосуды; стальной стержень для штыкования смеси; лабораторная виброплощадка; стальная линейка; весы; секундомер; кельма.

Проведение испытаний. Средней плотностью бетонной смеси

называют отношение уплотненной бетонной смеси к ее объему. Ее определяют путем взвешивания в стальных мерных сосудах, размеры которых в зависимости от наибольшей крупности щебня (гравия) приведены в табл. 5.10.

Т а б л и ц а 5.10. Размеры сосудов для определения средней плотности бетонной смеси

Наибольшая крупность щебня (гравия), мм	Объем мерных сосудов, дм ³	Внутренние размеры сосудов	
		диаметр, мм	высота, мм
40	5	186	186
100	15	267	267

Вначале взвешивают пустой мерный сосуд с точностью до 0,1 %. Затем заполняют его бетонной смесью и уплотняют в зависимости от удобоукладываемости вручную штыкованием или на виброплощадке.

При уплотнении штыкованием сосуд заполняют бетонной смесью в три слоя. Каждый слой штыкуют стальным стержнем по всей площади 16 раз при объеме сосуда 5 л и 35 раз при объеме сосуда 15 л. После уплотнения каждого слоя сосуд 15 раз постукивают о пол.

При уплотнении вибрированием сосуд, заполненный бетонной смесью, устанавливают на виброплощадке, укрепляют, а затем вибрируют до появления на поверхности бетонной смеси цементного молока, но не более 1,5 мин. Во время вибрирования сосуд дополняют бетонной смесью, а поверхность выравнивают вровень с краями. Затем сосуд с бетонной смесью взвешивают с точностью 0,1 %.

Обработка результатов. Среднюю плотность бетонной смеси $\rho_{с.б.см}$, г/см³, определяют по формуле

$$\rho_{с.б.см} = \frac{m - m_1}{V}, \quad (5.23)$$

где $\rho_{с.б.см}$ – средняя плотность бетонной смеси, г/см³;

m – масса мерного сосуда с бетонной смесью, г;

m_1 – масса пустого мерного сосуда, г;

V – объем мерного сосуда, см³.

Испытания выполняются два раза для каждой пробы бетонной смеси. Отличия не должны превышать 5 %.

За окончательный результат принимают среднее арифметическое значение из двух определений.

Результат записывают в табл. 5.11.

Т а б л и ц а 5.11. Определение средней плотности

Показатель	Номер испытания	
	1	2
Масса мерного сосуда с бетонной смесью m , г		
Масса пустого мерного сосуда m_1 , г		
Объем мерного сосуда V , см ³		
Средняя плотность бетонной смеси отдельного испытания $\rho_{с.б.см}$, г/см ³		
Среднее значение средней плотности бетонной смеси $\rho_{с.б.см}$, г/см ³		

5.2.3. Определение удобоукладываемости бетонной смеси (ГОСТ 10181.1)

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

Удобоукладываемость имеет значения, приведенные в табл. 5.12.

Определение подвижности бетонной смеси

Подвижность бетонной смеси определяют по величине осадки конуса (ОК) из испытываемой бетонной смеси.

При наибольшей крупности щебня (гравия) до 40 мм применяют обычный конус, при большей крупности – увеличенный конус (рис. 5.2).

Таблица 5.12. Удобоукладываемость бетонных смесей

Марка по удобоукладываемости	Норма удобоукладываемости по показателю		Марка по удобоукладываемости	Норма удобоукладываемости по показателю	
	жесткости, с	подвижности ОК, см		жесткости, с	подвижности ОК, см
Сверхжесткие смеси			Низкопластичные смеси		
	Более 100	–	П1	4 и менее	1–4
СЖ2	51–100	–	П2	–	509
СЖ1	41–50	–			
Жесткие смеси			Пластичные смеси		
Ж4	31–40	–	П3	–	10–15
Ж3	21–30	–	П4	–	16–20
Ж2	11–20	–	Литые смеси		
Ж1	5–10	–	П6	–	21 и более

Оборудование и материалы: проба бетонной смеси; обычный конус высотой 300 мм с диаметром оснований 100 и 200 мм или увеличенный – высотой 450 мм и 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 округленными концами; стальная линейка.

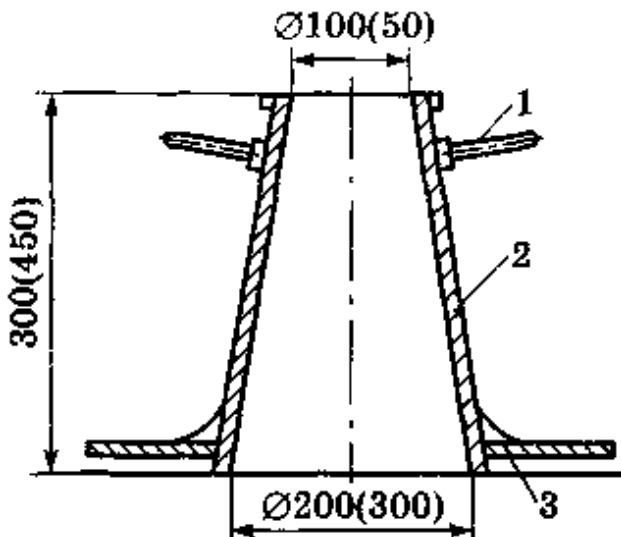


Рис. 5.2. Конус для определения подвижности бетонной смеси:
1 – ручка; 2 – корпус прибора; 3 – упоры

Проведение испытаний. Испытания выполняются в следующей последовательности. Конус и все приспособления для испытания, соприкасающиеся с бетонной смесью, протирают влажной тканью. Конус устанавливают на металлический лист, заполняют 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. После окончания уплотнения избыток смеси срезают по уровню верха конуса и заглаживают кельмой. Затем конус снимают, ставят рядом с бетонной смесью и замеряют ее осадку с точностью до 0,5 см. При испытании бетонной смеси в увеличенном конусе полу-

ченный результат приводят к величине осадки обычного конуса умножением на коэффициент 0,67.

Осадка конуса определяется дважды. Время между началом заполнения конуса при первом определении и до момента измерения осадки конуса при втором определении не должно превышать 10 мин.

Осадку конуса (ОК) вычисляют как среднее арифметическое значение результатов двух определений, отличающихся между собой не более чем на 1 см при ОК = 4 см, на 2 см – при ОК = 5–9 см и на 3 см – при ОК ≥ 10 см. Если расхождения получаются больше допустимых, испытания следует повторить на новой пробе бетонной смеси. Если осадка конуса будет равна нулю, следует определить жесткость бетонной смеси.

Определение жесткости бетонной смеси (основной способ)

Оборудование и материалы: проба бетонной смеси; прибор для определения жесткости; лабораторная виброплощадка; кельма; стальная стержень; секундомер; стальная линейка.

Проведение испытаний. Жесткость бетонной смеси определяется в специальном приборе (рис. 5.3) и характеризуется временем в секундах, необходимым для выравнивания и уплотнения конуса из бетонной смеси при вибрации на лабораторной виброплощадке.

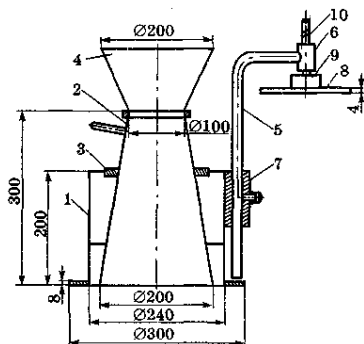


Рис. 5.3. Прибор для определения жесткости бетонной смеси:

- 1 – цилиндрическое кольцо с фланцем в основании; 2 – конус;
- 3 – кольцо-держатель с ручками; 4 – загрузочная воронка; 5 – штатив;
- 6 – направляющая втулка; 7 – фиксирующая втулка с зажимным винтом;
- 8 – диск с шестью отверстиями; 9 – стальная шайба; 10 – штанга

Испытания выполняют в следующей последовательности. На лабораторную виброплощадку устанавливают и укрепляют прибор, предварительно протерев влажной тканью поверхности, соприкасающиеся с бетоном. Затем конус прибора через насадку заполняют бетонной смесью в три слоя и уплотняют каждый слой штыкованием металлическим стержнем 25 раз. Потом снимают конус и на бетон опускают диск прибора, после чего включают виброплощадку и секундомер. Вибрирование продолжают до тех пор, пока не начнет выделяться цементное тесто из двух любых отверстий диска. Это время в секундах и характеризует жесткость бетонной смеси. Испытания проводят дважды, и за окончательный результат принимают среднее арифметическое значение из двух определений, отличающихся между собой не более чем на 20 %.

Определение жесткости бетонной смеси техническим вискозиметром

Оборудование и материалы: проба бетонной смеси; технический вискозиметр; лабораторная виброплощадка; кельма; стальной стержень; секундомер; стальная линейка.

Проведение испытаний. Жесткость бетонной смеси техническим вискозиметром (рис. 5.4) определяется при наибольшей крупности щебня (гравия) до 40 мм. На лабораторную виброплощадку устанавливают и закрепляют технический вискозиметр в рабочем положении, предварительно протерев влажной тканью поверхности, соприкасающиеся с бетоном. Затем конус через насадку наполняют бетонной смесью, уплотнив ее штыкованием. Окончательно уплотняют вибрированием в течение 5–30 с до появления из-под конуса цементного клея. Потом насадку снимают, избыток смеси срезают линейкой, а затем снимают конус. Далее на отформованный бетонный конус опускают диск со штангой, после чего включают виброплощадку и секундомер. При совпадении диска штанги с верхней плоскостью направляющей головки штатива выключают вибратор и отмечают время работы виброплощадки. Это время в секундах, умноженное на усредненный коэффициент 0,45, характеризует жесткость бетонной смеси на тяжелых заполнителях и на коэффициент 4 – на пористых заполнителях. Испытания выполняют два раза, и за окончательный результат принимают среднее арифметическое значение из двух определений, отличающихся между собой не более чем на 20 %.

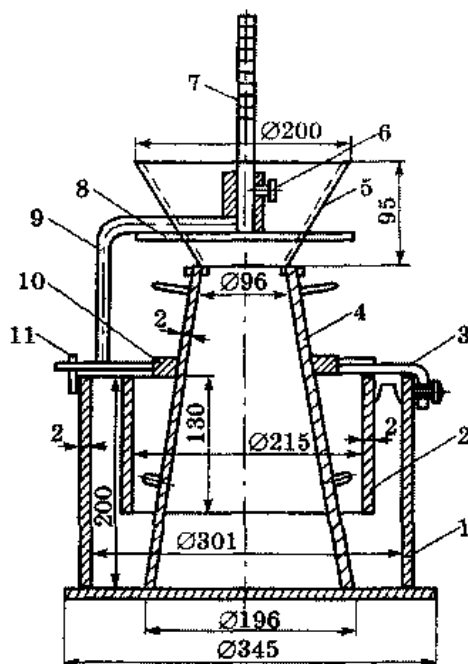


Рис. 5.4. Технический вискозиметр:

- 1 – цилиндрический сосуд; 2 – цилиндрическое кольцо;
 3 – опорные планки; 4 – металлический конус; 5 – насадки;
 6 – зажимный винт; 7 – штанга; 8 – плоский диск; 9 – штатив;
 10 – кольцо-держатель для крепления конуса во время предварительной
 вибрации; 11 – петли для крепления кольца-держателя

Определение жесткости бетонной смеси в формах для изготовления бетонных образцов

Оборудование и материалы: проба бетонной смеси; металлический конус; насадка; форма куба размером 200×200×200 мм; лабораторная виброплощадка; кельма; стальной стержень; секундомер; стальная линейка.

Проведение испытаний. Жесткость бетонной смеси упрощенным способом (при наибольшей крупности зерен до 70 мм) определяют на приборе, состоящем из металлической формы размером 200×200×200 мм и металлического конуса высотой 300 мм с диаметром нижнего осно-

вания 190 мм и верхнего основания 100 мм. Этим способом можно определять жесткость бетонной смеси при наибольшей крупности заполнителя до 70 мм.

Последовательность работы следующая. На виброплощадке жестко закрепляют форму куба, вставляют в него конус и заполняют его через насадку в три слоя бетонной смесью, уплотняя штыкованием. Затем конус снимают и включают вибратор. Вибрирование продолжают до выравнивания бетонной смеси. Это время в секундах, умноженное на усредненный переводной коэффициент 0,7 для бетонных смесей на плотных заполнителях, и коэффициент 2 – на пористых заполнителях, и принимается за показатель жесткости бетонной смеси. За окончательное значение жесткости бетонной смеси принимают среднее арифметическое из результатов двух испытаний, отличающихся не более чем на 20 %.

5.3. Испытание бетона на плотных и пористых заполнителях

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 при выполнении бетонных работ.

Технические характеристики для тяжелого и легкого бетонов назначаются по ГОСТ 26633 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия» и СТБ 1187 «Бетоны легкие. Технические условия».

5.3.1. Определение прочности бетона (ГОСТ 10180)

Прочность бетона характеризуется классом или маркой. Класс представляет собой гарантированную прочность бетона в МПа с обеспеченностью 0,95. Маркой называется нормируемое значение средней прочности бетона (МПа · 10).

Класс и марка определяются чаще всего в возрасте 28 суток, хотя в зависимости от времени нагружения конструкций могут и в другом возрасте.

Классы назначаются при проектировании конструкций с учетом требований стандарта СЭВ 1406-78, марки – без учета требований этого стандарта.

Определение прочности бетона при сжатии

По прочности на сжатие бетон подразделяется на классы:

тяжелый – В3,5; В5; В7,5; В10; В12,5; В15; В20; В22,5; В25; В27,5; В30; В35; В40; В45; В50; В55; В60; В65; В75; В80 или марки: М50; М75; М100; М150; М200; М250; М300; М350; М400; М450; М500; М600; М700; М800;

легкий – на классы: В2; В2,5; В3,5; В5; В7,5; В10; В12,5; В15; В17,5; В20; В22,5; В25; В30 или марки: М35; М50; М75; М100; М150; М200; М250; М300; М350; М400; М450; М500.

Между средней прочностью R_b и классом бетона В при коэффициенте вариации $V = 0,135$ имеется зависимость:

$$R_b = \frac{B}{0,778} . \quad (5.24)$$

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

Проведение испытаний. Прочность бетона при сжатии определяют испытанием серии образцов-кубов с размерами ребер 70, 100, 150, 200 и 300 мм или цилиндров диаметром 70, 100, 150 и 200 мм и высотой, равной двум диаметрам. Размеры образцов зависят от крупности щебня (гравия) и принимаются по табл. 5.13. За эталон принят куб с ребром 150 мм.

Т а б л и ц а 5.13. Размеры образцов в зависимости от крупности щебня (гравия)

Наибольшая крупность зерен щебня (гравия), мм	Наименьший размер образцов, мм	
	ребро куба	диаметр цилиндра
10	70	70
20	100	100
40	150	150
70	200	200
100	300	–

При испытании конструкционно-теплоизоляционного бетона на пористых заполнителях изготавливаются образцы с наименьшим размером 150 мм независимо от крупности заполнителя.

Количество образцов в серии зависит от внутрисерийного коэффициента вариации и принимается: ≥ 2 при $V \leq 5\%$, 3–4 – при $8 > V > 5$ и 6 – при $V > 8\%$.

Формы заполняют бетонной смесью слоями по высоте 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^2 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) и амплитудой $(0,5 \pm 0,05)$, причем форма с бетонной смесью должна быть закреплена жестко. Вибрируют до полного уплотнения и прекращают, когда поверхность бетона выравнивается, на ней появится тонкий слой цементного теста и прекратятся выделяться пузырьки воздуха. Поверхность образца заглаживают.

При изготовлении образцов из бетонной смеси жесткостью более 11 с смесь уплотняют вибрированием на виброплощадке с пригрузом, обеспечивающим давление, принятое на производстве, но не менее 0,004 МПа. Бетонной смесью заполняют форму с некоторым избытком, примерно до половины высоты насадки, укладывают сверху пригруз и встряхивают до прекращения оседания пригруза и еще дополнительно 5–10 с.

Образцы для твердения в условиях нормальной влажности вначале хранят в формах, покрытых влажной тканью, при температуре $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$.

Для бетонов классов В7,5 и выше их освобождают от форм не ранее чем через 24 ч, классов В5 и ниже – через 48–72 ч и затем помещают в камеру с температурой $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$ и относительной влажностью воздуха $(95 \pm 5)^\circ\text{C}$.

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 $\pm 2\%$. Пресс должен иметь шаровую опору на одной из опорных плит.

Шкалу силоизмерителя прессы выбирают из условия, что разрушающая нагрузка должна находиться в интервале 20–80 % от максимальной допускаемой шкалы. Нагрузка должна возрастать непрерывно и равномерно со скоростью $(0,6 \pm 0,4) \text{ МПа/с}$ до разрушения образца.

Образцы-кубы испытывают таким образом, чтобы сжимающая сила была направлена параллельно слоям укладки бетонной смеси в формы, при испытании образцов-цилиндров – перпендикулярно слоям укладки. Далее определяют площадь сдавливания, для чего замеряют размеры образцов с точностью до 1 %.

В образцах-кубах каждый линейный размер вычисляют как среднее арифметическое значение из двух измерений посередине противоположных граней. Диаметр образца-цилиндра определяют как среднее арифметическое значение результатов четырех измерений (по два взаимно перпендикулярных измерения диаметра на каждом торце).

Обработка результатов. Предел прочности отдельного образца при сжатии определяют по формуле

$$R_{б.с} = \frac{\alpha \cdot P}{F}, \quad (5.25)$$

где α – масштабный коэффициент для перевода к прочности образца-куба с ребром 15 см, который допускается принимать по табл. 5.14;

$R_{б.с}$ – предел прочности бетона при сжатии, ПМа;

P – разрушающая нагрузка, Н;

F – площадь образца, м².

Т а б л и ц а 5.14. Значения масштабных коэффициентов

Форма и номинальный размер образцов, мм	Минимальное значение масштабных коэффициентов	
	при испытании на сжатие α	при испытании на растяжение β
Кубы с ребром:		
70	0,85	0,85
100	0,95	0,92
150	1,00	1,00
200	1,05	1,08
300	1,10	
Цилиндры диаметром и высотой:		
100×200	1,16	
150×300	1,20	
200×400	1,24	
300×600	1,28	

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

Результаты испытания записывают в табл. 5.15.

Т а б л и ц а 5.15. **Определение прочности бетона при сжатии**

Показатель	Номер образца		
	1	2	3 и т. д.
Размеры образца: $a(d)$, м			
$b(h)$, м			
Площадь поперечного сечения F , м ²			
Разрушающая нагрузка P , Н			
Предел прочности при сжатии $R_{б,с}$, МПа			
Среднее значение предела прочности при сжатии двух наибольших значений $R_{б,с}$, МПа			

Определение прочности бетона на осевое растяжение

По прочности на осевое растяжение тяжелые и легкие бетоны подразделяются на классы: В_{0,4}; В_{0,8}; В_{1,2}; В_{1,6}; В₂; В_{2,4}; В_{3,2}; В_{3,6}; В_{4,0} или марки: В_{7,5}; Р₁₀; Р₂₀; Р₂₅; Р₃₀; Р₃₅; Р₄₀; Р₄₅; Р₅₀. Они назначаются для бетонов, применяемых в резервуарах для воды, внецентренно нагруженных колонн и др.

Оборудование и материалы: 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.

Проведение испытаний. Предел прочности на осевое растяжение определяется на образцах-восьмерках с размером рабочего сечения средней части 70×70, 100×100, 150×150, 200×200 мм (рис. 5.5) или призм квадратного сечения размером 100×100×400, 150×150×600 и 200×200×800 мм. Методика изготовления и выдерживания образцов та же, что и при испытании на сжатие. 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 в секунду.

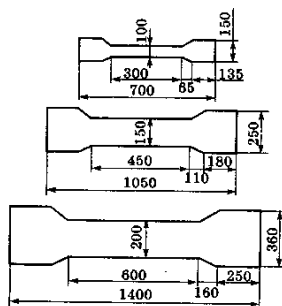


Рис. 5.5. Образцы восьмерки

Предел прочности бетона на осевое растяжение определяют по формуле

$$R_{ts} = \beta \frac{P}{F}, \quad (5.26)$$

где R_{ts} – предел прочности бетона на осевое растяжение, МПа;

β – масштабный коэффициент прочности бетона для перехода к образцам базового размера с рабочим сечением 150×150 мм. Определяется опытным путем или приблизительно принимается по табл. 5.14;

P – разрушающая нагрузка, Н;

F – средняя площадь рабочего сечения образца, м²;

Прочность бетона на растяжение вычисляется как среднее арифметическое двух наибольших значений результатов испытаний трех образцов. Результаты испытаний записывают в табл. 5.16.

Таблица 5.16. Определение прочности бетона на осевое растяжение

Показатель	Номер образца		
	1	2	3
Размеры образца:			
a , см			
b , см			
Площадь поперечного сечения F , м ²			
Разрушающая нагрузка P , Н			
Предел прочности при растяжении отдельного образца R_{ts} , МПа			
Среднее значение предела прочности из двух наибольших значений R_{ts} , МПа			

Определение прочности бетона на растяжение при изгибе

По прочности на растяжение при изгибе бетон подразделяется на классы: $V_{tb}0,4$; $V_{tb}0,8$; $V_{tb}1,2$; $V_{tb}1,6$; $V_{tb}2,0$; $V_{tb}2,4$; $V_{tb}2,8$; $V_{tb}3,2$; $V_{tb}3,6$; $V_{tb}4,0$; $V_{tb}4,4$; $V_{tb}4,8$; $V_{tb}5,2$; $V_{tb}5,6$; $V_{tb}6,0$; $V_{tb}6,4$; $V_{tb}6,8$; $V_{tb}7,2$; $V_{tb}8$ или марки: $R_{tb}5$; $R_{tb}10$; $R_{tb}15$; $R_{tb}20$; $R_{tb}25$; $R_{tb}30$; $R_{tb}35$; $R_{tb}40$; $R_{tb}45$; $R_{tb}50$; $R_{tb}55$; $R_{tb}60$; $R_{tb}65$; $R_{tb}70$; $R_{tb}75$; $R_{tb}80$; $R_{tb}85$; $R_{tb}90$; $R_{tb}100$. Они назначаются, например, при проектировании бетонов для дорожных и аэродромных покрытий.

Оборудование и материалы: 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.

Проведение испытаний. Прочность бетона на растяжение при изгибе определяют испытанием образцов-призм в возрасте 28 суток. Размер образцов зависит от наибольшей крупности заполнителя и принимается: $100 \times 100 \times 400$ мм при $D = 20$ мм и менее, $150 \times 150 \times 600$ мм при $D = 40$ мм и $200 \times 200 \times 800$ мм при $D = 70$ мм.

Методика изготовления образцов такая же, как и при испытании бетона на сжатие. Освобождение образцов от форм следует производить не ранее 4 суток после их изготовления.

Испытание образцов выполняется на гидравлическом прессе по схеме, приведенной на рис. 5.6.

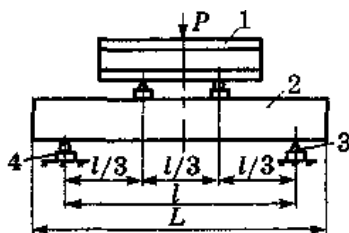


Рис. 5.6. Схема испытания бетонных образцов на растяжение при изгибе:

1 – траверса; 2 – испытательная призма; 3 – неподвижная опора;

4 – подвижная опора

Нагрузки на образец-призму должны передаваться перпендикулярно слою укладки бетонной смеси со скоростью $(0,5 \pm 0,02)$ МПа в секунду до разрушения образца. Образец должен разрушаться в средней

трети пролета, если же в другом месте, то этот результат не учитывают при определении средней прочности. Предел прочности отдельного образца R_{tb} , МПа, вычисляют по формуле

$$R_{tb} = \frac{\beta' Pl}{bh^2}, \quad (5.27)$$

где R_{tb} – предел прочности на растяжение при изгибе, МПа;

β' – масштабный коэффициент для перехода к образцам базового размера сечением 150×150 мм $\beta' = \beta\gamma$. Значение β принимается по табл. 5.14, а коэффициент γ по таблице 5.17;

P – разрушающая нагрузка, Н;

l – расстояние между опорами, м;

b – ширина призмы, м;

h – высота призмы, м.

Для перехода от прочности тяжелого бетона на растяжение при изгибе к прочности на осевое растяжение служат коэффициенты, приведенные в табл. 5.17.

Результаты испытания записывают в табл. 5.18.

Т а б л и ц а 5.17. Минимальные значения переходных коэффициентов γ

Марка (класс) тяжелого бетона на осевое растяжение	Коэффициент перехода от прочности на растяжение при изгибе к прочности на осевое растяжение γ
R _t 20 (B _t 1,6) и ниже	0,58
R _t 25 (B _t 2,0)	0,57
R _t 30 (B _t 2,4)	0,55
R _t 35 (B _t 2,8)	0,52
R _t 40 (B _t 3,2) и выше	0,50

Т а б л и ц а 5.18. Определение прочности бетона на растяжение при изгибе

Показатель	Номер образца		
	1	2	3
Ширина призмы b , м			
Высота призмы h , м			
Расстояние между опорами l , м			
Разрушающая нагрузка P , Н			
Предел прочности на растяжении при изгибе отдельного образца R_{tb} , МПа			
Среднее значение предела прочности R_{tb} , МПа			

Определение прочности бетона эталонным молотком Кашкарова

Предел прочности бетона в конструкции ускоренным способом можно определить по методике, изложенной в Рекомендациях по определению прочности бетона эталонным молотком Кашкарова по ГОСТ 22690-88.

Метод основан на установлении зависимости между прочностью бетона R^{Φ} и соотношением диаметров отпечатков на бетоне и стальном эталонном стержне H .

Эталонный молоток состоит из корпуса, стакана, пружины, головки, индентера (шарика) и эталонного стержня (рис. 5.7).

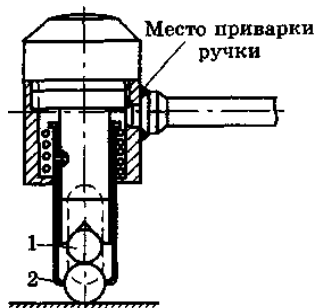


Рис. 5.7. Эталонный молоток Кашкарова:
1 – контрольный стержень; 2 – шарик

Шарик имеет диаметр от 15 до 16,7 мм с твердостью HRC60. Эталонные стержни должны иметь диаметр 10–12 мм и изготавливаются на токарном станке из прутковой стали марки ВСтЗсп2 или БСтЗпс2 с временным сопротивлением разрыву $\sigma_p = 412\text{--}451$ МПа.

Длина стержней 100–150 мм. Они заостряются с одной стороны. Прочность бетона определяется следующим образом.

В отверстие между корпусом и шариком вставляется эталонный стержень. Эталонным молотком ударяют по поверхности бетона. При чем головка молотка должна быть перпендикулярна к бетонной поверхности. Удары наносят или непосредственно эталонным молотком (способ А), или после установки молотка на поверхность бетона слесарным молотком массой 1 кг по головке эталонного молотка (способ Б) (рис. 5.8).

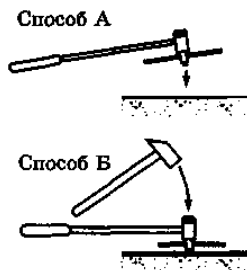


Рис. 5.8. Способы испытания

От удара возникает круглый отпечаток на поверхности бетона и эллипсоидный на поверхности эталонного стержня. Расстояние между отпечатками на бетоне должно быть ≥ 30 мм, на эталонном стержне – 10–12 мм. После каждого удара отпечаток на поверхности бетона нумеруется. После нанесения серии ударов измеряют диаметры отпечатков на бетоне и наибольшие размеры отпечатков по оси эталонного стержня угловым масштабом (рис. 5.9). Отпечатки неправильной формы на поверхности бетона, полученные в результате удара по крупному заполнителю, пустоте, и соответствующие им отпечатки на эталонном стержне отбраковывают. Диаметр отпечатка на бетоне должен быть в интервале 0,3–0,7 диаметра шарика, на стержне $\geq 2,5$ мм. Измерения выполняют при помощи углового масштаба, измерительной лупы или штангенциркуля с точностью до 0,1 мм. Затем для каждой серии испытаний суммируют размеры отпечатков на бетоне и стержне и определяют косвенную характеристику $H = \Sigma d_6 / d_s$, равную отношению суммы диаметров отпечатков на бетоне и стержне.

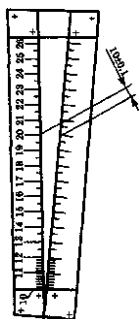


Рис. 5.9. Угловой масштаб

Прочность бетона определяют по предварительно построенной градуировочной зависимости между фактической прочностью бетона $R^ф$ и косвенной характеристикой H . Для ее построения изготавливают не менее 20 серий образцов размером 150×150×150 или 100×100×100 мм, которые испытывают эталонным молотком, и делают соответственно не более 5 или 4 отпечатков на каждом.

Для применения градуировочной зависимости в более широком диапазоне прочности изготавливают до 40 % образцов из бетонов с отклонением Ц/В до ±0,4.

Целесообразно пользоваться унифицированной зависимостью $H - R^{ny}$, приведенной на рис. 5.10.

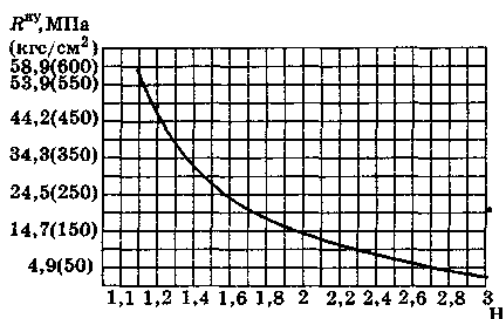


Рис. 5.10. Унифицированная градуировочная зависимость

Для этого следует вычислить коэффициент совпадения:

$$K_{\text{совп}} = \frac{R_{ci}^{\phi}}{R_{ci}^{ny}}, \quad (5.28)$$

который равен отношению прочности бетона, определенного на прессе путем разрушения образцов, к прочности бетона, определенного эталонным молотком.

Прочность бетона в конструкции рассчитывается как произведение прочности бетона по унифицированной зависимости, умноженной на коэффициент совпадения:

$$R_{ci}^H = R_{ci}^{ny} K_{\text{совп}}. \quad (5.29)$$

Привязку унифицированной зависимости выполняют на 25 сериях образцов и вычисляют $S_T R_{ci}^H$ и $F_{эф}$ по вышеприведенным формулам.

5.3.2. Определение морозостойкости бетона (ГОСТ 10060.0)

Морозостойкостью бетона называется его способность сохранять физико-механические свойства при попеременном многократном замораживании на воздухе и оттаивании на воздухе или воде – среде эксплуатации.

Бетоны, эксплуатируемые в природных или технологических водах, испытываются в воде – среде такого же состава. Бетоны для дорожных и аэродромных покрытий испытываются в 5%-ном растворе хлорида натрия.

Тяжелые бетоны имеют марки по морозостойкости F50; F75; F100; F150; F200; F300; F400; F500; F600; F800; F1000, легкие бетоны – марки F25; F35; F50; F75; F100; F150; F200; F300; F400; F500.

Марка назначается в зависимости от вида конструкций и условий их эксплуатации. Она характеризуется установленным числом циклов попеременного замораживания и оттаивания бетонных образцов с допустимым снижением прочности не более чем на 5 %, а для бетонов дорожных и аэродромных покрытий – кроме того, потери массы не более чем на 3 %.

Испытание выполняют на бетонах в возрасте, установленном нормативно-технической и проектной документацией при достижении им прочности на сжатие соответствующего класса (марки).

Оборудование и материалы: бетонные образцы; морозильная камера; ванна для насыщения бетонных образцов; ванна для оттаивания образцов с устройством для регулирования температуры в интервале $(18 \pm 2) ^\circ\text{C}$; сетчатые контейнеры для основных образцов; сетчатые стеллажи морозильной камеры; вода согласно ГОСТ 2874, природная вода или же технологическая вода-среда, в которой эксплуатируется бетон.

Подготовка к испытаниям. Образцы насыщаются водой или водой-средой при температуре $(18 \pm 2) ^\circ\text{C}$. Образцы погружаются в воду или воду-среду на $\frac{1}{3}$ их высоты и выдерживаются 24 ч, затем погружаются на $\frac{2}{3}$ и выдерживаются еще 24 ч, после чего погружаются полностью и выдерживаются 48 ч. Образцы должны быть окружены слоем воды не менее 20 мм.

Проведение испытаний. Основные образцы после насыщения их водой или водой-средой помещают в морозильную камеру в контейнерах или на стеллажи. Расстояние между образцами, образцами и контейнерами должно быть не менее 50 мм. Температура замораживания должна быть минус $(18 \pm 2) ^\circ\text{C}$. Время замораживания считается с момента, когда в камере установилась температура $-16 ^\circ\text{C}$. Температура

должна замеряться в центре камеры. Продолжительность цикла замораживания принимается по табл. 5.19.

Т а б л и ц а 5.19. **Режим испытания образцов**

Размеры образцов, мм	Замораживание		Оттаивание	
	время, ч	температура, °С	время, ч	температура, °С
100×100×100	2,5		2,0 ± 0,5	
150×150×150	3,5	-18 ± 2	3,0 ± 0,5	18 ± 2
200×200×200	3,5		5,0 ± 0,5	

Если одновременно испытываются образцы разных размеров, время замораживания устанавливается по образцам наибольших размеров.

После замораживания образцы извлекают из камеры и помещают в ванну с водой или водой-средой. Слой воды, окружающий образцы, должен быть не менее 50 мм. Смена воды или воды-среды должна производиться через каждые 50 циклов испытания. Число циклов замораживания и оттаивания в течение одних суток должно быть не менее одного. При вынужденных перерывах образцы должны находиться в замороженном состоянии. После соответствующего числа циклов замораживания, оттаивания и последующего выдерживания в течение 2–4 ч основные образцы испытываются на сжатие. Количество циклов, после которых производится испытание, приведено в табл. 5.20.

Т а б л и ц а 5.20. **Число циклов испытаний, соответствующее маркам бетона по морозостойкости**

Марка бетона по морозостойкости	F50	F75	F100	F150	F200	F300	F400	F500	F600	F800	F1000
Число циклов, после которых образцы испытываются на сжатие	50	75	100	100 и 150	150 и 200	200 и 300	300 и 400	400 и 500	500 и 600	600 и 800	800 и 1000

Для определения марки бетона по морозостойкости среднюю прочность на сжатие основных образцов сравнивают со средней прочностью контрольных образцов, насыщенных водой в течение 96 ч по методике, изложенной выше, в возрасте, установленном нормативно-технической или проектной документацией.

Бетон соответствует требуемой марке, если прочность основных образцов не будет меньше прочности контрольных образцов более чем на 5 %.

6. ПОДБОР СОСТАВА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ

Строительным раствором называют искусственный каменный материал, полученный в результате затвердевания оптимально подобранной смеси, состоящей из вяжущего вещества, воды и мелкого заполнителя. До затвердевания смесь материалов называют растворной смесью. Для придания растворной смеси или затвердевшим растворам определенных свойств в них вводят различные добавки (минеральные, химические и др.).

Подбор состава сложного раствора выполняется по СН 290 «Инструкция по приготовлению и применению строительных растворов». Свойства растворов регламентируются СТБ 1307 «Растворы строительные. Общие технические условия».

Растворы подразделяются:

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

б) по виду применяемого вяжущего – на цементные, известковые, гипсовые, цементно-известковые, цементно-глиняные, известково-гипсовые и др.; растворы, приготовленные на одном вяжущем, называются простыми, на двух или более вяжущих – сложными;

в) по средней плотности в сухом состоянии – на тяжелые (плотность 1,5 г/см³ и более) и легкие (плотность менее 1,5 г/см³);

г) по назначению – на кладочные, отделочные и специальные;

д) по прочности – на марки: 4, 10, 25, 50, 75, 100, 150 и 200;

е) по морозостойкости – на марки: F10, F15, F25, F35, F50, F100.

6.1. Подбор состава смешанного кладочного раствора

Подбор состава смешанного раствора заключается в установлении соотношения между вяжущим, водой, песком и добавками. Это соотношение должно обеспечить необходимую подвижность, водоудерживающую способность, водоотделение и нерасслаиваемость растворной смеси, прочность, среднюю плотность, водопоглощение и морозостойкость затвердевшего раствора.

Подбирают обычно растворы марки 25 и выше. Составы растворов марки ниже 25 приводятся в готовых таблицах. Если после испытаний будут отклонения от заданных показателей, то производят корректирование составов.

Для возведения зданий при отрицательных температурах без про-

грева рекомендуется применять растворы марки 50 и выше с противоморозными добавками, которые обеспечивают их твердение.

Вначале рассчитывают расход материалов на 1 м^3 песка в рыхлонасыпном состоянии при влажности 3–7 %. После уточнения состава на пробных замесах определяют расход материалов на 1 м^3 раствора.

Для расчета состава смешанного раствора необходимо иметь следующие исходные данные: заданную марку раствора R_p , подвижность растворной смеси OK , активность вяжущего R_b , насыпную плотность вяжущего $\rho_{н.в.}$, среднюю плотность минеральной добавки $\rho_{с.д.}$, насыпную плотность песка $\rho_{н.п.}$.

При подборе состава раствора вначале рассчитывают его ориентировочный состав, потом производят экспериментальную проверку и корректирование состава, далее рассчитывают производственный состав и определяют расход материалов на замес растворомешалки.

Расчет ориентировочного состава раствора

Состав растворной смеси на 1 м^3 песка рассчитывают в следующем порядке:

1. Определяют расход вяжущего на 1 м^3 песка:

а) по массе (табл. 6.1).

Если известно значение активности вяжущего $R_{в.ф.}$, то его расход в килограммах на 1 м^3 песка определяется по формуле

$$Q_b = \frac{R_b Q_p}{P_{в.ф.} 1000}, \quad (6.1)$$

в которой $R_b Q_p$ принимается по табл. 6.1.

Т а б л и ц а 6.1. Ориентировочный расход вяжущего

Вяжущие	Предел прочности раствора R_p , МПа	Рекомендуемые марки цемента $R_{ц.}$, МПа	$R_b Q_p$, МПа	Расход цемента, кг	
				на 1 м^3 песка Q_p	на 1 м^3 раствора Ц
1	2	3	4	5	6
По ГОСТ 10178; ГОСТ 25328; ГОСТ 22266	20	50 40	18	360 450	410 490
	15	50 40 30	14	280 350 470	330 400 510
	10	50 40 30	10,2	205 255 340	245 300 385

Окончание табл. 6.1

1	2	3	4	5	6
По ГОСТ 10178; ГОСТ 25328; ГОСТ 22266	7,5	50	8,1	160 200 270 405	195
		40			240
		30			310
		20			445
	5	40	5,6	140 185 280	175
		30 20			225 325
Известково- шлаковые и известково- пущолановые вяжущие	2,5	30	3,1	105 155	135
		20			190
	2,5	15	3,1	206 310	240
		10			330
	1,0	15	1,4	93 140 280	110
		10 5			165 320
	0,4	5		120 240	145
		2,5			270

При использовании цементов высоких марок для их экономии рекомендуется применять тонкодисперсные и тонкомолотые активные минеральные добавки (молотые, доменные и топливные шлаки, золунос ТЭЦ, диатомиты, трепелы, вулканические пеплы, туфы и др.). Процентное содержание активной минеральной добавки устанавливается экспериментально и примерно принимается пропорционально требуемому проценту снижения излишней активности цемента.

Расход вяжущего допускается не меньше значений, приведенных в табл. 6.2.

Т а б л и ц а 6.2. Минимальный расход вяжущего в растворах

Назначение раствора	Вид раствора	Минимальный расход вяжущего, в кг на 1 м ³ песка, при степени долговечности зданий и конструкций	
		I и II	III
1	2	3	4
Для кладки надземной части здания при относительной влажности воздуха помещений 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

1	2	3	4
Для кладки надземной части зданий при относительной влажности воздуха помещений 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

б) по объему $V_{ц}$, м³, по формуле

$$V_{ц} = \frac{Q_{ц}}{\rho_{н.ц}}, \quad (6.2)$$

где $\rho_{н.ц}$ – насыпная плотность цемента, г/см³.

2. Определяют расход добавки известкового или глиняного теста:

а) по объему $V_{д}$, м³, по формуле

$$V_{д} = 0,17(1 - 0,002 Q_{в}); \quad (6.3)$$

б) по массе $Q_{д}$, кг, по формуле

$$Q_{д} = V_{д} \rho_{с.д}, \quad (6.4)$$

где $\rho_{с.д}$ – средняя плотность известкового или глиняного теста, кг/м³.

Принимается: для известкового теста из извести II сорта с содержанием 50 % воды – 1400 кг/м³, для глиняного теста из пластичной глины с содержанием песка до 5 % – 1350 кг/м³, из глины средней пластичности с содержанием песка до 15 % – 1450 кг/м³.

При применении извести I сорта ее расход уменьшается на 10 % по сравнению с рассчитанным по формуле (6.4). При применении негашеной извести ее расход уменьшают: при I сорте – на 35 %, II – на 25 %, III – на 15 %.

При применении известкового молока его дозировка назначается из расчета содержания извести в количестве 25 % при средней плотности 1200 кг/м³.

3. Определяют ориентировочный расход воды B , (кг) по формулам: – для раствора без органического пластификатора

$$B = 0,5 (Q_{в} + Q_{д}); \quad (6.5)$$

– для раствора с органическим пластификатором

$$B = 0,65 (Q_v + Q_d), \quad (6.6)$$

где Q_v , Q_d – расход вяжущего, 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. 6.3.

Таблица 6.3. Расход органических пластификаторов

Органический пластификатор	Расход, кг/м ³ , в виде раствора 5%-ной концентрации при замене в растворе известкового теста	
	полной	на 50 %
Мылонафт	1–2	0,5–1
ЦНИПС-1	2–5,5	1–2,7
Отходы соопстока	2–3,5	1–1,7

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

При 50%-ной замене извести при положительных температурах нормативное сопротивление кладки не снижается, при производстве кладки методом замораживания нормативное сопротивление кладки следует снизить на 10 %.

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

5. Вычисляют расход песка Q_n , кг, по формуле

$$Q_n = V_n \rho_{n.п}, \quad (6.7)$$

где V_n – объем песка, равный 1 м³;

$\rho_{n.п}$ – насыпная плотность песка, кг/м³.

Экспериментальная проверка и корректирование состава раствора

Для проверки состава раствора приготавливают лабораторный замес, на котором определяют подвижность, среднюю плотность, рас-

слаиваемость, водоудерживающую способность растворной смеси, прочность и морозостойкость (если предъявляются требования по морозостойкости) затвердевшего раствора.

Расход песка берется равным объему лабораторного замеса. Количество вяжущего, добавок и воды $Q_{м.л.}$, кг, определяют по формуле

$$Q_{м.л.} = \frac{Q_m V_{л.з.}}{1000}, \quad (6.8)$$

где Q_m – расход материалов (вяжущего, минеральной добавки, химической добавки, воды, песка), кг на 1 м^3 песка;

$V_{л.з.}$ – объем лабораторного замеса, л.

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

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

Откорректировав состав раствора по подвижности, водоудерживающей способности и расслаиваемости 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, второй – на 10–20 % меньшим, чем у основного замеса. Строят зависимость между расходом вяжущего и прочностью раствора и уточняют по ней расход вяжущего.

Объем замеса $V_{л.з.}$, м^3 , после корректирования состава растворной смеси рассчитывают по формуле

$$V_{л.з.} = \frac{Q_{в.з.} + Q_{д.з.} + B_3 + Q_{п.з.}}{\rho_{р.см}}, \quad (6.9)$$

где $Q_{в.з.}$, $Q_{д.з.}$, B_3 , $Q_{п.з.}$ – масса составляющих материалов на замес, кг;

$\rho_{р.см}$ – средняя плотность растворной смеси, кг/м^3 .

Имея объем растворной смеси и расход материалов на лабораторный замес, определяют расход материалов в килограммах на 1 м^3 растворной смеси по следующим формулам:

$$\text{Вяж.} = Q_{в.з.} \frac{1}{V_3}; \quad Д = Q_{д.з.} \frac{1}{V_3};$$

$$B = B_3 \frac{1}{V_3}; \quad \Pi = Q_{п.з} \frac{1}{V_3}. \quad (6.10)$$

Расход материалов в кубических метрах на 1 м³ растворной смеси вычисляют по формулам

$$\begin{aligned} \text{Вяз.}' &= \frac{\text{Вяз.}}{\rho_{н.в}}; & Д' &= \frac{Д}{\rho_д}; \\ B' &= \frac{B}{\rho_в}; & \Pi' &= \frac{\Pi}{\rho_{н.п}}. \end{aligned} \quad (6.11)$$

Далее определяют соотношение объемных частей вяжущего, добавки песка:

$$\frac{\text{Вяз.}'}{\text{Вяз.}} : \frac{Д'}{\text{Вяз.}} : \frac{\Pi'}{\text{Вяз.}} = 1 : \frac{Д'}{\text{Вяз.}} : \frac{\Pi'}{\text{Вяз.}}. \quad (6.12)$$

6.2. Испытание растворной смеси (ГОСТ 5802)

Основными свойствами растворной смеси, по которым оценивают ее качество, являются подвижность, плотность, расслаиваемость и водоудерживающая способность.

6.2.1. Приготовление лабораторного замеса

Оборудование и материалы: (цемент, вода, известковое или глиняное тесто); сито с сеткой № 09; сито с отверстиями диаметром 2,5 мм; мерный цилиндр вместимостью 1000 мл; металлический боек; кельма; технические весы; секундомер.

Проведение испытаний. Рассчитав расход материалов на пробный замес, приступают к его приготовлению. Вначале проводят подготовительные работы. Песок просеивают через сито с отверстиями диаметром 2,5 мм. Цемент просеивают через сито с сеткой № 09. Приготавливают около 1 кг известкового или глиняного теста. Материалы выдерживают до температуры помещения лаборатории, которая должна быть $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$. Затем отвешивают необходимые материалы и приступают к непосредственному приготовлению пробного замеса. Боек и кельму протирают влажной тканью. Песок высыпают на боек, к нему добавляют цемент и перемешивают кельмой в течение 5 мин. Затем смешивают известковое или глиняное тесто с водой и получают известковое или глиняное молоко, которым затворяют смесь и переме-

шивают в течение 5 мин. При последующем корректировании состава растворной смеси, после добавления материалов, замес следует перемешать еще 5 мин.

6.2.2. Определение подвижности растворной смеси

Подвижностью растворной смеси называют способность смеси легко растекаться по поверхности камня и заполнять все его неровности. Определяют ее по глубине погружения эталонного конуса (в сантиметрах). Подвижность растворной смеси зависит от назначения раствора и принимается равной: для растворов, применяемых 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 см; для кладки из пустотелого кирпича и керамических камней – 7–8 см; для обычной бутовой кладки – 4–6 см; для заливки пустот в ней – 13–14 см и для вибрированной бутовой кладки – 1–3 см.

Оборудование и материалы: растворная смесь; прибор для определения подвижности; штыковка диаметром 12 мм, длиной 300 мм; кельма; секундомер.

Выполнение работы. Подвижность растворной смеси определяют с помощью прибора (рис. 6.1), который состоит из эталонного конуса высотой 145 мм, диаметром 75 мм и стержня с общей массой 300 г, которые с помощью держателя соединены 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 с диаметром нижнего основания 150 мм, верхнего – 250 мм и высотой 180 мм.

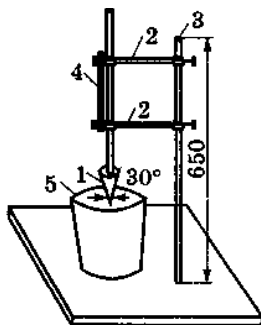


Рис. 6.1. Прибор для определения подвижности растворной смеси:
1 – конус; 2 – кронштейн; 3 – стойка; 4 – линейка; 5 – ведро

Проведение испытаний. Поверхности конуса и сосуда, соприкасающиеся с растворной смесью, протирают влажной тканью. Сосуд заполняют растворной смесью на 10 мм ниже его краев, уплотняют штыковкой диаметром 12 мм 25 раз и потом встряхивают легким постукиванием о стол 5–6 раз. Острие конуса подводят до соприкосновения с поверхностью раствора и закрепляют стержень зажимным винтом. Затем отворачивают зажимный винт и дают возможность конусу погружаться в растворную смесь в течение 1 мин, после чего по шкале определяют глубину его погружения. Подвижность вычисляют как среднее арифметическое значение из 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.

6.2.3. Определение плотности растворной смеси

Оборудование и материалы: растворная смесь; стальной цилиндрический мерный сосуд объемом 1000 мл; насадка к сосуду; металлический стержень (штыковка) $d = 12$ мм; весы; стальная линейка.

Проведение испытаний. Плотность растворной смеси определяют в цилиндрическом мерном сосуде объемом 1000 см³ 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 ткань стенки от раствора и снова взвешивают с точностью до 2 г.

Обработка результатов. Плотность растворной смеси вычисляют по формуле

$$\rho_{\text{р.см}} = \frac{m - m_1}{V}, \quad (6.13)$$

где $\rho_{\text{р.см}}$ – плотность растворной смеси, г/см³;

m – масса мерного сосуда с растворной смесью, г;

m_1 – масса пустого мерного сосуда, г;

V – объем мерного сосуда, см³.

За плотность растворной смеси принимают среднее арифметическое значение двух определений из одной пробы, отличающихся между собой не более чем на 5 %. Результаты испытаний записывают в табл. 6.4.

Т а б л и ц а 6.4. Результаты испытаний

Показатель	1	2
Масса мерного сосуда с растворной смесью m , г		
Масса пустого мерного сосуда m_1 , г		
Объем сосуда V , см ³		
Плотность растворной смеси отдельного определения $\rho_{p,см}$, г/см ³		
Среднее значение плотности растворной смеси из двух определений $\rho_{p,см}$, г/см ³		

6.2.4. Определение расслаиваемости растворной смеси

Расслаиваемость растворной смеси характеризует ее связность при хранении или при динамическом воздействии в результате перевозки или вибрирования. Расслаиваемость происходит от недостаточной связи частиц смеси. Она не должна превышать 10 %. Ее понижают введением известкового или глиняного теста.

Оборудование и материалы: растворная смесь; формы стальные размерами 150×150×150 мм; лабораторная виброплощадка; весы лабораторные; шкаф сушильный; сито с сеткой № 014; противень; стальной стержень (штыковка) диаметром 12 мм, длиной 300 мм.

Проведение испытаний. Расслаиваемость растворной смеси определяют следующим образом. Предварительно форму размером 150×150×150 мм заполняют перемешанной растворной смесью и уплотняют металлической штыковкой 25 раз и 5–6-кратным постукиванием о стол. Затем форму со смесью закрепляют жестко на виброплощадке и вибрируют 1 мин.

После вибрирования 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 г и подвергают мокрому рассеву на сите с сеткой № 014 с промывкой струей воды до полного удаления вяжущего и добавок.

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

$$a_{\text{в}} = \frac{m_1}{m_2} \cdot 100; \quad a_{\text{н}} = \frac{m'_1}{m'_2} \cdot 100; \quad (6.14)$$

тогда

$$\Delta a = a_{\text{в}} - a_{\text{н}} \text{ и } \Sigma a = a_{\text{в}} + a_{\text{н}},$$

где $a_{\text{в}}$ и $a_{\text{н}}$ – содержание отмытого песка с верхней и нижней частей образца, %;

m_1 и m'_1 – масса отмытого сухого песка из верхней и нижней части образца, г;

m_2 и m'_2 – масса растворной смеси отобранной пробы из верхней и нижней части образца, г;

Δa – абсолютная величина разности между содержанием песка в верхней и нижней частях образца, %;

Σa – общее количество песка в верхней и нижней частях образца, %.

Расслаиваемость растворной смеси в процентах определяют по формуле

$$P = \frac{\Delta a}{\Sigma a} \cdot 100. \quad (6.15)$$

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

За окончательный результат принимают среднее арифметическое значение из двух определений. Результаты испытаний записывают в табл. 6.5.

Таблица 6.5. **Определение расслаиваемости растворной смеси**

Показатель	1	2
Масса отмытого высушенного песка из верхней части образца m_1 , г		
Масса отмытого высушенного песка из нижней части образца m'_1 , г		
Масса растворной смеси отобранной пробы из верхней части образца m_2 , г		
Масса растворной смеси отобранной пробы из нижней части образца m'_2 , г		
Содержание отмытого песка в верхней части отформованного образца $a_{\text{в}}$, %		
Содержание отмытого песка в нижней части отформованного образца $a_{\text{н}}$, %		
Абсолютная величина разности между содержанием песка в верхней и нижней частях образца Δa , %		
Общее количество песка в верхней и нижней частях образца Σa , %		
Расслаиваемость растворной смеси отдельного определения P , %		
Среднее значение расслаиваемости растворной смеси из двух определений P , %		

6.2.5. Определение водоудерживающей способности растворной смеси

Водоудерживающей способностью растворной смеси называется способность ее удерживать воду в своем составе при отсосе пористым основанием. В результате обезвоживания может оказаться, что воды в растворной смеси останется недостаточно для твердения раствора, и он не наберет необходимой прочности.

Водоудерживающая способность растворной смеси повышается при введении в ее состав извести, глины, активных минеральных добавок, химических добавок.

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

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

Оборудование и материалы. Растворная смесь; листы промокающей 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, толщиной 5 мм; весы.

Проведение испытаний. Водоудерживающую способность растворной смеси определяют на специальном приборе, состоящем из кольца, листов промокающей бумаги, прокладки из марлевой ткани и стеклянной пластинки (рис. 6.2).

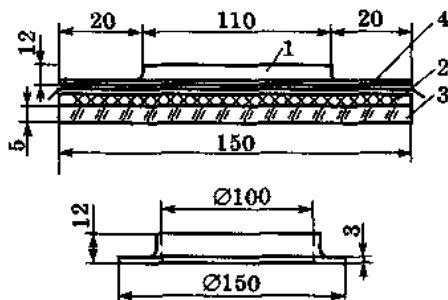


Рис. 6.2. Схема прибора для определения водоудерживающей способности растворной смеси:

- 1 – металлическое кольцо с раствором; 2 – 10 слоев промокающей бумаги;
3 – стеклянная пластинка; 4 – слой марлевой ткани

Перед испытанием 10 листов промокающей бумаги размером 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. Растворную смесь, предварительно перемешанную, укладывают в металлическое кольцо, выравнивают вровень с краями, взвешивают и оставляют на 10 мин. Затем вместе с марлей снимают металлическое кольцо с раствором, а промокающую бумагу взвешивают с точностью до 0,1 г.

Обработка результатов. Водоудерживающая способность V характеризуется содержанием воды в % в пробе до и после эксперимента и определяется по формуле

$$V = 100 - \frac{m_2 - m_1}{m_4 - m_3} \cdot 100, \quad (6.16)$$

где V – водоудерживающая способность, %;

m_1 – масса промокающей бумаги до испытания, г;

m_2 – масса промокающей бумаги после испытания, г;

m_3 – масса установки без растворной смеси, г;

m_4 – масса установки с растворной смесью, г.

Испытания растворной смеси выполняют дважды на отдельной пробе и вычисляют как среднее арифметическое значение из двух определений, отличающихся между собой не более чем на 20 % от наименьшего значения. Результаты испытания записывают в табл. 6.6.

Таблица 6.6. **Определение водоудерживающей способности**

Показатель	Номер испытания	
	1	2
Масса промокающей бумаги до испытания m_1 , г		
Масса промокающей бумаги после испытания m_2 , г		
Масса установки без растворной смеси m_3 , г		
Масса установки с растворной смесью m_4 , г		
Водоудерживающая способность растворной смеси отдельного определения V , %		
Водоудерживающая способность растворной смеси V , %		

6.3. Испытание затвердевшего раствора

Основными характеристиками затвердевшего раствора являются его прочность, средняя плотность, водопоглощение, влажность и морозостойкость. Они задаются и контролируются в процессе производства работ и эксплуатации кладок.

6.3.1. Определение прочности раствора на сжатие

Оборудование и материалы: растворная смесь; разъемные стальные формы с поддоном и без поддона размером 70,7×70,7×70,7 мм; пресс гидравлический; керамический обыкновенный кирпич; газетная бумага; штангенциркуль; стержень стальной диаметром 12 мм, длиной 300 мм; шпатель; весы; машинное масло.

Проведение испытаний. Прочность раствора определяют испытанием образцов-кубов размером 70,7×70,7×70,7 мм на сжатие в возрасте 28 суток или другом возрасте, установленном в стандарте или технических условиях на данный вид раствора по ГОСТ 5802.

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

Форму без поддона устанавливают на кирпич с влажностью не более 2 % и водопоглощением 10–15 % по массе, имитируя таким образом условия твердения раствора в кладке. Перед заполнением растворной смесью формы с внутренней поверхности смазывают машинным маслом.

При изготовлении образцов из смеси подвижностью 5 см и более формы устанавливают на кирпич, покрытый 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 призматическим конусом шпателя с уплотняющей поверхностью 60×10 мм 12 нажимами: шесть – в одном направлении и шесть – в противоположном.

Образцы, изготовленные из растворных смесей на портландцемент-тах, хранят 1 сутки в формах; изготовленные из растворных смесей на шлакопортландцемент-тах, пуццолановых портландцемент-тах, с добав-ками-замедлителями схватывания, а также образцы зимней кладки, находящиеся на открытом воздухе, хранят в формах 2–3 суток при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха 95–100 %. Затем их освобождают от форм и хранят в течение трех суток опять же в камере нормального твердения. Последующее время до начала испы-тания образцы выдерживают в таких условиях: для растворов, тверде-ющих на воздухе, – в помещении при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ и отно-сительной влажности воздуха $(65 \pm 10)\%$; для растворов, твердеющих во влажной среде, – в воде.

При отсутствии камеры нормального твердения допускается хране-ние образцов во влажном песке или опилках.

Образцы, изготовленные на воздушных вяжущих, хранят 1 сутки в формах при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ 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 испы-тания и вытирают.

Прочность при сжатии определяют путем испытания образцов-кубов на гидравлическом прессе. Шкалу измерителя пресса выбирают из условия, 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 в се-кунду. Образец устанавливают боковыми поверхностями на нижнюю плиту пресса так, чтобы сжимающая сила была направлена параллель-но слоям укладки растворной смеси в форме.

Предварительно измеряют размеры образцов с точностью $\pm 1\%$. Площадь сечения образца определяют как среднее арифметическое значение площадей двух противоположных граней.

Обработка результатов. Предел прочности при сжатии с погреш-ностью до 0,01 МПа вычисляют по формуле

$$R_{\text{сж}} = \frac{P}{F}, \quad (6.17)$$

где $R_{\text{сж}}$ – предел прочности при сжатии, МПа;

P – разрушающая сила, Н;

F – площадь сечения образца, м^2 .

За окончательный результат принимают среднее арифметическое значение результатов испытаний трех образцов. Результаты испытаний записывают в табл. 6.7.

Т а б л и ц а 6.7. **Определение прочности раствора на сжатие**

Показатель	Номер образцов		
	1	2	3
Разрушающая сила P , Н			
Площадь сечения образца F , м^2			
Предел прочности при сжатии отдельного образца $R_{\text{сж}}$, МПа			
Среднее значение предела прочности $R_{\text{сж}}$, МПа			

7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БИТУМОВ

Битумы бывают природные и искусственные. Искусственные битумы, в свою очередь, подразделяются на нефтяные, сланцевые и торфяные.

В строительстве применяются в основном нефтяные битумы. В зависимости от физико-механических свойств битумы подразделяются на вязкие, твердые и жидкие. Вязкие битумы подразделяются на нефтяные дорожные и нефтяные строительные.

При качественной оценке нефтяного битума определяют следующие его основные свойства: температуру размягчения, вязкость, растяжимость и температуру вспышки. Их сравнивают с требованиями ГОСТ, приведенными в табл. 7.1, и таким образом оценивают качество.

Т а б л и ц а 7.1. **Физико-механические свойства нефтяных битумов**

Марка битума	Глубина проникновения иглы, град		Температура, °C			Растяжимость, см	
	при 25 °C	при 0 °C	размягчения, не ниже	вспышки, не ниже	хрупкости, не ниже	при 20 °C	при 0 °C
1	2	3	4	5	6	7	8
Битумы нефтяные строительные (ГОСТ 6617)							
БН-50/50	41–60	–	50–60	230	–	40	–
БН-70/30	21–40	–	70–60	240	–	3	–
БН-90/10	5–20	–	90–105	240	–	1	

1	2	3	4	5	6	7	8
Битумы нефтяные кровельные (ГОСТ 9548)							
БНК-45/180	140–220	–	40–50	240	–	–	–
БНК-45/190	160–220	–	40–50	240	–	–	–
БНК-90/40	35–45	–	85–95	240	–20	–	–
БНК-90/30	25–35	–	85–95	240	–10	–	–
Битумы нефтяные дорожные вязкие (ГОСТ 22245)							
БНД-200/300	201–300	45	35	200	–20	–	20
БНД-130/200	130–200	35	39	220	–18	65	6
БНД-90/130	91–130	28	43	220	–17	60	4,2
БНД-60/90	61–90	20	47	220	–15	50	3,5
БНД-40/60	40–60	13	51	220	–10	40	–
БН-200/300	201–300	24	33	200	–14	–	–
БН-130/200	131–200	18	37	220	–12	70	–
БН-90/130	91–130	15	40	220	–10	60	–
БН-60/90	60–90	10	45	220	–4	50	–
Битумы нефтяные изоляционные (ГОСТ 9812)							
БНИ-1У-3	30–50	15	65–75	250	–	4	–
БНИ-1У	25–40	12	75–85	250	–	3	–
БНИ-У	20–40	9	90–100	240	–	2	–

7.1. Определение температуры размягчения (ГОСТ 11506)

Оборудование и материалы: проба битума 50 г; стакан фарфоровый или металлический для расплавления битума; палочка стеклянная или металлическая; стеклянная пластинка; тальк или декстрин; нож; прибор «Кольцо и шар»; дистиллированная вода; глицерин; газовая горелка или электроплитка; пинцет; секундомер.

Проведение испытаний. При наличии в битуме влаги его обезвоживают. Для этого пробу массой 50 г нагревают в зависимости от вязкости до температуры на 80–100 °С выше ожидаемой температуры размягчения, но не выше 180 °С и не ниже 120 °С. Затем расплавленный битум процеживают через сито с отверстиями 0,7 мм и перемешивают до полного удаления пузырьков воздуха, после чего применяют для испытания.

Температуру размягчения битума определяют на приборе «Кольцо и шар» (рис. 7.1), который состоит из трех скрепленных между собой дисков и стеклянного стакана.

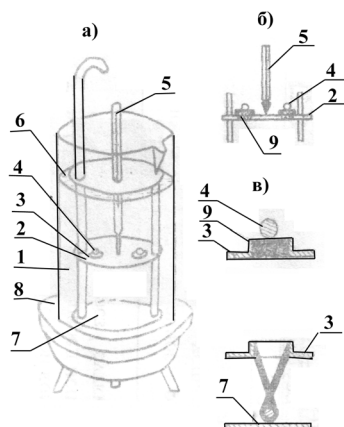


Рис. 7.1. Определение температуры размягчения битума:
а – прибор «кольцо и шар»; *б* – размещение колец на средней полке;

в – проход битума с шариком через кольцо;
 1 – огнестойкий стакан; 2 – металлический диск с гнездами; 3 – латунное кольцо;
 4 – металлический шар; 5 – термометр; 6 – вода; 7 – нижний металлический диск;
 8 – электроплитка; 9 – испытуемый битум

Расстояние между нижним и средним дисками – 25,0–25,4 мм. В среднем диске имеются отверстия, в которые вставляются два латунных кольца. В центре верхнего диска имеется отверстие для термометра, которым замеряется температура жидкости. Ртутный шарик во время испытания должен упираться в средний диск.

Проведение испытаний. Вначале заливают латунные кольца битумом. При испытании битумов с температурой размягчения ниже 80 °С применяют латунные гладкие кольца с внутренним диаметром $(15,7 \pm 0,24)$ мм и высотой 6,35 мм, при температуре размягчения свыше 80 °С – ступенчатые кольца с верхним внутренним диаметром $(17,7 \pm 0,24)$ мм и нижним внутренним диаметром $(15,7 \pm 0,24)$ мм, высотой 6,35 мм.

Кольца нагревают до предполагаемой температуры размягчения битума, укладывают на металлическую или стеклянную пластинку, смазанную смесью декстрина с глицерином или талька с глицерином состава 1:3, и заполняют с некоторым избытком расплавленным битумом.

При испытании битума с температурой размягчения в интервале 30–110 °С кольца с битумом охлаждают в течение 30 мин при температуре (25 ± 10) °С, а затем срезают избыток. Если битум имеет температуру размягчения более 110 °С, то избыток срезают после охлаждения в течение 5 мин, а затем выдерживают еще 15 мин.

При температуре размягчения ниже 30 °С кольцо с битумом помещают на 30 мин в стакан с водой с температурой на (8 ± 1) °С ниже предполагаемой температуры размягчения, а затем срезают вровень с краями.

Кольцо с битумом устанавливают в отверстия среднего диска подвески, которую опускают в стакан из термостойкого стекла диаметром не менее 85 мм и высотой не менее 120 мм, заполненный жидкостью. Уровень жидкости в стакане должен быть выше колец не менее чем на 5 см.

Если температура размягчения битума ниже 80 °С, стакан заполняют дистиллированной свежекипяченной водой с температурой (5 ± 1) °С.

Для битумов с температурой размягчения свыше 80 до 110 °С стакан заполняют смесью воды и глицерина в соотношении 1:2 и для битумов с температурой размягчения свыше 110 °С – глицерином с температурой (34 ± 1) °С.

Кольца с битумом выдерживают в жидкостях в течение 10 мин, затем вынимают вместе с подвеской и на каждое укладывают пинцетом стальной шарик диаметром 9,525 мм и массой $(3,5 \pm 0,05)$ г. Шарик предварительно выдерживают в стакане с жидкостями, где он охлаждается до $(5 \pm 0,5)$ °С или нагревается до (34 ± 1) °С.

Затем прибор снова помещают в стакан, ставят на асбестовую сетку и нагревают со скоростью 5 °С в минуту. Битум размягчается, и стальной шарик его продавливают.

За температуру размягчения битума принимают температуру, при которой выдавливаемый шариком битум коснется нижнего диска подвески.

За расчетную температуру размягчения принимают среднее арифметическое значение из двух определений, расхождение между которыми не должно превышать 1 °С при температуре размягчения до 80 °С и 2 °С – свыше 80 °С.

Результаты испытания записывают в табл. 7.2.

Т а б л и ц а 7.2. **Определение температуры размягчения**

Температура воды, смеси воды и глицерина,
глицерина во время опыта ____°С
Скорость нагревания жидкости ____°С/мин

Номер кольца прибора	Опыты	
	1	2
Температура размягчения, °С		
Средняя температура размягчения, °С		

7.2. Определение вязкости (ГОСТ 11501)

Оборудование и материалы: проба битума; сушильный шкаф или песчаная баня; сито с отверстиями 0,6–0,8 мм; пенетрометр; секундомер; бензол или скипидар.

Проведение испытаний. Характеристикой структурно-механических свойств битума является вязкость. Вязкость определяют по условному показателю – глубине проникновения иглы в битум при определенной нагрузке, температуре и времени погружения на приборе, называемом пенетрометром.

Пенетрометр (рис. 7.2) состоит из металлического штатива, столিকা, циферблата и падающего стержня с иглой и грузом, закрепленных на кронштейнах.

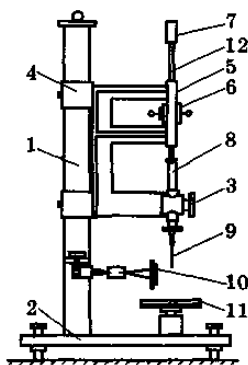


Рис. 7.2. Пенетрометр:
1 – стойка; 2 – опорная площадка; 3 – стопорная кнопка;
4 – кронштейн; 5 – лимб; 6 – стрелка; 7 – кремальера;
8 – свободно падающий стержень с грузом; 9 – игла;
10 – зеркало; 11 – вращающийся столик; 12 – пружина

Предварительно обезвоженный и процеженный битум расплавляют в сушильном шкафу или песчаной бане, перемешивают до удаления пузырьков воздуха и наливают в металлическую чашку (диаметром 55 и высотой 35 мм) на высоту не менее 30 мм. Выдерживают битум на воздухе при температуре $+18...+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 1 ч. Слой воды над битумом должен быть не менее 25 мм. Температуру поддерживают, добавляя холодной или горячей воды.

После выдерживания в воде чашку с битумом помещают в кристаллизатор, заполненный водой с температурой $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$, и устанавливают на столике пенетromетра. Подводят острие иглы к поверхности битума, а кремальеру – до прикосновения с верхней частью стержня с иглой. Отмечают положение стрелки на шкале циферблата. Затем погружают иглу в битум на 5 с, для чего нажимают стопорную кнопку и одновременно включают секундомер. Через 5 с кнопку отпускают. После этого доводят кремальеру до верхнего конца стержня и отмечают второе положение стрелки на шкале циферблата.

Разность показаний стрелки первого и второго отсчетов указывает глубину проникновения иглы в градусах. Один градус соответствует 0,1 мм погружения иглы в битум.

Испытания повторяют три раза в разных точках на поверхности образца, отстоящих от краев чашки и друг от друга не менее чем на 10 мм. После каждого погружения иглу отмывают от приставшего битума бензином, бензолом или скипидаром и вытирают насухо.

За окончательный результат принимают среднее арифметическое значение из трех определений. Расхождение не должно превышать значений, приведенных в табл. 7.3.

Т а б л и ц а 7.3. Глубина проникновения иглы

Глубина проникновения иглы, град	150–200	75–150	25–75	До 25
Расхождение, град	10	5	3	1

При больших расхождениях испытания повторяют. Полученные данные записывают в табл. 7.4.

Т а б л и ц а 7.4. Определение вязкости битума

Температура битума в воде _____ $^{\circ}\text{C}$

Нагрузка на иглу _____ г

Номер определения	1	2	3	Среднее значение
Глубина проникновения иглы, град				

7.3. Определение растяжимости (ГОСТ 11505)

Оборудование и материалы: проба битума; горелка газовая или электроплитка; сито с отверстиями 0,7 мм; дуктилометр; латунные формы (восьмерки); тальк; глицерин; нож; стеклянная или металлическая пластинка; вода; поваренная соль или спирт этиловый; бумага папиросная.

Растяжимостью, или дуктильностью, называют свойство битума вытягиваться в тонкие нити под воздействием растягивающей силы.

Растяжимость определяют в дуктилометре (рис. 7.3), который представляет собой металлический ящик, по длине которого движется червячный винт с салазками, передвигающимися по винту, вращаемому электродвигателем. Имеется линейка со шкалой, по которой можно определить длину.

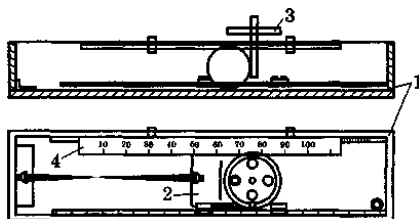


Рис. 7.3. Дуктилометр:
1 — металлический ящик; 2 — салазки;
3 — маховик; 4 — шкала с делениями

Проведение испытаний. Вначале при наличии влаги в битуме его обезвоживают, как указано в п. 7.1. Затем изготавливают образцы-восьмерки. Для этого формы образцов с внутренней стороны смазывают смесью талька с глицерином состава 1:3 или декстрина с глицерином состава 1:2 и устанавливают на стеклянную или металлическую пластинку, также смазанную вышеупомянутым составом, и заливают подготовленным к испытанию расплавленным битумом. После заливки формы с битумом охлаждают на воздухе при температуре не ниже 18 °С в течение 30–40 мин, а затем горячим ножом в два приема от середины формы к краям срезают избыток битума. Изготовленные таким образом образцы с формой и пластинкой выдерживают в ящике дуктилометра в течение 1 ч в воде с температурой $(25 \pm 0,5)$ °С. Слой воды над образцом должен быть не менее 25 мм. Температуру воды

поддерживают доливанием горячей или холодной воды или добавляют лед.

Затем образцы, снятые с пластинок, закрепляют на штифтах салазок дуктилометра, удаляют боковые части форм и включают электродвигатель, растягивая образцы со скоростью 5 см/мин. Следят, чтобы температура воды была $(25 \pm 0,5) ^\circ\text{C}$ и ее слой над образцом – не менее 25 мм. Длину нити в сантиметрах в момент ее разрыва, отмеченную на линейке указателем, принимают за показатель растяжимости.

Если битум имеет среднюю плотность, отличную от плотности воды, то плотность воды изменяют и доводят до средней плотности битума добавлением раствора поваренной соли, или глицерина, или этилового спирта. За конечный результат принимают среднее арифметическое значение из трех определений. Полученные результаты записывают в табл. 7.5.

Т а б л и ц а 7.5. Определение растяжимости битума

Температура воды во время испытания _____ $^\circ\text{C}$

Скорость растяжения образца _____ см/мин

Номер определения	1	2	3	Среднее значение
Растяжимость, см				

7.4. Определение температуры вспышки (ГОСТ 4333)

Оборудование и материалы: проба битума; сушильный шкаф; сито с отверстиями 0,6–0,8 мм; прибор для определения температуры вспышки битума; бензин.

Проведение испытаний. Температуру, при которой пары нагретого битума образуют с воздухом смесь, вспыхивающую при поднесении пламени, называют температурой вспышки. Она характеризует огнестойкость битумов и важна для установления безопасного технологического режима их расплавления и смешивания с растворителями и наполнителями. Температуру вспышки определяют на специальном приборе (рис. 7.4), состоящем из большого металлического наружного и малого фарфорового внутреннего тиглей, подогреваемых газовой горелкой. Пространство между тиглями заполняется прокаленным песком с таким расчетом, чтобы уровень песка был на 12 мм ниже края тигля, а слой песка между доньями тиглей – толщиной 5–8 мм. Перед испытанием малый тигель промывают бензином, высушивают над го-

релкой и вставляют в большой тигель. Затем заполняют его обезвоженным процеженным разогретым битумом, не доливая до краев на 12 мм, и погружают в него посередине термометр. Наружный тигель нагревают пламенем газовой горелки со скоростью 10 °С/мин в начале испытания. За 40 мин до ожидаемой температуры вспышки скорость уменьшают до 4 °С/мин. За 10 мин до ожидаемой температуры вспышки подводят зажигательное устройство, медленно проводят им по краю тигля на расстоянии 10–14 мм от поверхности испытуемого битума и следят за температурой битума.

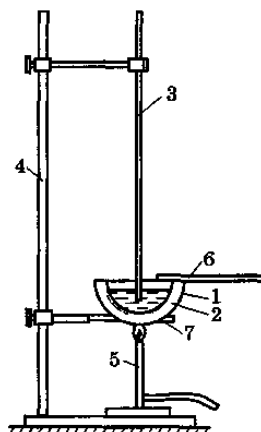


Рис. 7.4. Прибор для определения температуры вспышки битума:
1 – металлический тигель; 2 – фарфоровый тигель; 3 – термометр;
4 – штатив; 5 – горелка; 6 – зажигательное устройство; 7 – кольцо

За температуру вспышки битума принимают момент появления синего пламени над поверхностью битума. За окончательный результат принимают среднее арифметическое значение температур вспышки битума из двух определений (табл. 7.6).

Т а б л и ц а 7.6. Определение температуры вспышки

Номер определения	1	2	3	Среднее значение
Температура вспышки, °С				

8. ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Теплоизоляционные материалы и изделия имеют низкую среднюю плотность $\rho_0 \leq 500 \text{ кг/м}^3$ и низкую теплопроводность $\leq 0,175 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ (при температуре 25°C). Назначение теплоизоляционных материалов – тепловая изоляция промышленного оборудования и зданий, гражданских сооружений, энергетического оборудования, трубопроводов с целью уменьшения теплообмена с окружающей средой. Так как у воздуха низкая теплопроводность ($\lambda_{\text{возд}} = 0,023 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$), то теплоизоляционные материалы содержат большое количество замкнутых равномерно распределенных пор и пористость таких материалов составляет от 50 до 98 %. Кроме того, на теплопроводность оказывает влияние и структура материала, из которого состоят стенки пор.

Теплоизоляционные материалы и изделия классифицируют:

по виду основного исходного сырья:

- неорганические;
- органические;

по структуре:

- волокнистые (минеральная вата, стекловата);
- ячеистые (газосиликат, пенопласт, пенобетон);
- зернистые (керамзит, перлит, зольный гравий);

по внешнему виду и форме:

- рыхлые (вата, перлит и др.);
- плоские (плиты, маты, войлок и др.);
- фасонные (цилиндры, полуцилиндры, сегменты и др.);
- шнуровые;

по возгораемости:

- негоряемые;
- трудногоряемые;
- горяемые;

по содержанию связующего вещества:

- содержащие связующее вещество;
- не содержащие связующее вещество.

Марку материалов и изделий устанавливают по плотности. Предельную температуру применения материалов и изделий устанавливают в стандартах или технических условиях на конкретные виды материалов и изделий с обязательным указанием группы горючести. Теплопроводность материалов и изделий, в зависимости от предельной

температуры применения, указывают в стандартах или технических условиях на конкретные виды материалов и изделий: при температуре 25 °С – для материалов и изделий, применяемых при температуре до 200 °С; 125 °С – для материалов и изделий, применяемых при температуре до 500 °С; 300 °С – для материалов и изделий, применяемых при температуре свыше 500 °С.

1. *Минеральная вата* представляет собой механическую смесь коротких искусственных волокон, получаемых из расплава горных пород (базальт, доломит, мергель) или металлургических шлаков.

Беспорядочное расположение волокон создает высокопористую структуру, а следовательно, малую теплопроводность. Минеральная вата не горит, не гниет, почти не гигроскопична, она морозо- и температуростойка. При смешивании минеральных волокон со связующими получают готовые изделия: маты, плиты, войлок, полуцилиндры и полые цилиндры.

В зависимости от вида, количества связующего вещества и степени прессования выпускают мягкие, полужесткие и жесткие плиты.

Плиты и маты минераловатные на синтетическом связующем применяют для теплоизоляции строительных конструкций, промышленного оборудования и трубопроводов при температурах изолируемых поверхностей от –60...+400 °С. Марки по средней плотности – 75225; теплопроводность – 0,047–0,054 Вт/(м · К).

Плиты минераловатные на битумном связующем имеют марки 75, 100, 150, 200, 250, теплопроводность – 0,044–0,058 Вт/(м · К).

Применяют такие плиты для теплоизоляции строительных конструкций, технологического оборудования и трубопроводов, промышленных холодильников при температуре изолируемых поверхностей –100...+60 °С; допускается применять мягкие минераловатные плиты на битумном связующем при изоляции находящегося вне помещения оборудования и трубопроводов (кроме взрыво- и пожароопасных объектов) при температуре изолируемых поверхностей до +100 °С.

Минераловатные прошивные маты изготавливаются из минеральной ваты с обеспыливающими добавками, с одной стороны имеют обкладку. Применяют для теплоизоляции строительных конструкций, технологического оборудования и трубопроводов при температуре –180...+600 °С.

2. К *теплоизоляционным керамическим материалам* относятся диатомитовые (трепельные), перлитокерамические и другие изделия, а также керамзитовые и аглопоритовые сыпучие материалы.

Диатомитовый (трепелный) кирпич и пенодиатомитовые изделия получают из осадочных горных пород различными способами, позволяющими получить высокопористую структуру (высокое водозатворение, введение в формовочную массу выгорающих добавок и др.). Средняя плотность изделий – $350\text{--}500 \text{ кг/м}^3$, теплопроводность – $0,068\text{--}0,1 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$, применяются для теплоизоляции строительных конструкций, технологического оборудования, трубопроводов, печей при температуре изолируемых поверхностей до 900°C .

3. *Ячеистое стекло* – пористый строительный материал, получаемый путем спекания тонко измельченного стеклянного порошка и газо- или пенообразователя (известняк, кокс, древесный уголь и др.).

Выпускаются следующие виды пеностекла: теплоизоляционное, декоративно-акустическое, облицовочное и гранулированное. Теплоизоляционное стекло разделяют на изоляционно-строительное и изоляционно-монтажное. В основном выпускается изоляционно-строительное стекло плотностью $150\text{--}250 \text{ кг/м}^3$, применяют его в виде плит и блоков для утепления стен, покрытий и других элементов каркаса.

Теплопроводность такого стекла составляет $0,064\text{--}0,083 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$, предел прочности при сжатии – $0,8\text{--}2 \text{ МПа}$. Значительно реже выпускают изоляционно-строительное стекло плотностью $250\text{--}350 \text{ кг/м}^3$, теплопроводностью $0,083\text{--}0,09 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$, предел прочности при сжатии – $2\text{--}4,5 \text{ МПа}$ для самонесущих элементов ограждения; и изоляционно-монтажное стекло плотностью $140\text{--}180 \text{ кг/м}^3$ для изоляции тепловых установок, трубопроводов, емкостей, холодильников. Интервал рабочих температур составляет $-180\text{...}+400^\circ\text{C}$.

Ячеистое стекло можно резать, шлифовать, сверлить. Гранулированное пеностекло изготавливают со средней плотностью $100\text{--}200 \text{ кг/м}^3$ в виде гранул фракций 3–7, 7–15, 15–25 мм и применяют в виде теплоизоляционных засыпок в промежутках между стенами и в полостях панелей. Из гранул и вяжущих можно изготовить элементы разной формы.

Стекловолоконистые утеплители являются хорошим теплоизоляционным материалом благодаря высокой прочности на растяжение, атмосферо- и биостойкости, негорючести. Непрерывное стекловолокно выпускают диаметром от 3 до 100 мкм. Штапельное стекловолокно выпускают от микротонкого (диаметром менее 0,5 мкм) до грубого (диаметром более 20 мкм). Кроме диаметра, свойства штапельного стекловолокна определяются его длиной, формой, составом стекла:

средняя плотность – от 15 до 190 кг/м³, коэффициент теплопроводности – не более 0,047 Вт/(м · К), интервал рабочих температур – –60...+200 °С, материал трудногораемый. Применяют в виде полос, плит, матов и др., для тепловой изоляции ограждающих конструкций и технологического оборудования.

4. *Вспученный перлит* – пористый материал, получаемый термической обработкой из дробленых водосодержащих пород. При быстром нагревании до температур 900–1200 °С происходит резкое испарение воды, что приводит к увеличению объема материала практически в 20 раз. После обжига в зависимости от размера зерен вспученный перлит разделяется на песок и щебень. Вспученный перлитовый песок имеет марки по насыпной плотности 75–500 кг/м³; теплопроводность – 0,043–0,093 Вт/(м · К). Применяют его в качестве заполнителя при изготовлении теплоизоляционных материалов, огнестойких штукатурных растворов, а также для теплоизоляционных засыпок при температуре изолируемых поверхностей от –200 до +875 °С. Вспученный перлитовый щебень разделяют на фракции 5–10 и 10–20 мм и применяют в качестве заполнителя в бетонах различного назначения. Выпускают вспученный перлитовый щебень марок 200, 400, 500 и 700.

Теплоизоляционные изделия из вспученного перлита в зависимости от температуры применения разделяют на группы:

- для низких отрицательных и обычных положительных температур от –200 до +130 °С (вспученный перлитовый порошок (с зернами 0,16–1,25 мм) и пудра (с зернами менее 0,16 мм), перлитобитумные изделия и битумно-перлитовая масса);

- для средних положительных температур до 600 °С (перлитцементные, перлитофосфогелевые изделия, перлитовый обжиговый легковес);

- для высоких положительных температур до 900–1300 °С (перлитокерамические и керамоперлитофосфатные изделия, жароупорный перлитобетон, перлитовые легковесные и ультралегковесные огнеупоры).

Перлитцементные изделия в виде плит, полуцилиндров и сегментов изготавливают путем смешивания перлитового песка, цемента и водной асбестовой пульпы. Марки по средней плотности изделий – 225, 250, 300, 350, теплопроводность – 0,065–0,079 Вт/(м · К), предел прочности при изгибе – соответственно не менее 0,22–0,28 МПа. Применяют перлитцементные изделия для тепловой изоляции промышленного оборудования и трубопроводов.

Перлитоасбестовые жаростойкие плиты имеют марки 300–500, теплопроводность – $0,07\text{--}0,18 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, применяют для тепловой изоляции оборудования до 875°C . Плиты из перлитопластбетона получают вспениванием смеси новолачной фенолформальдегидной смолы и вспученного перлита с добавками отвердителя и газообразователя. Выпускают плиты марок 100, 125, 150 и 175, теплопроводностью $0,039\text{--}0,046 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, прочность при сжатии – $0,12\text{--}0,2 \text{ МПа}$, прочность при изгибе – $0,18\text{--}0,3 \text{ МПа}$. Температура применения $-50\ldots+150^\circ\text{C}$.

Используют плиты из перлитопластбетона для тепловой изоляции строительных конструкций в сельскохозяйственном строительстве.

5. *Асбестовая бумага* – это листовой или рулонный материал, изготовленный из асбеста с небольшой добавкой склеивающих веществ.

В зависимости от степени распушки асбеста и уплотнения массы средняя плотность асбестовой бумаги составляет $450\text{--}950 \text{ кг}/\text{м}^3$, теплопроводность – $0,13\text{--}0,18 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, предельная температура применения – 500°C .

Асбестовый картон изготавливают из асбестовой бумаги или асбестового волокна, смешанного с наполнителем (каолином) и связующим веществом (крахмалом). Ячеистый асбестовый картон состоит из чередующихся слоев гладкой и гофрированной бумаги, склеенных между собой жидким стеклом или клеем.

В зависимости от толщины бумаги и размеров воздушных прослоек средняя плотность асбестового картона составляет $1000\text{--}1400 \text{ кг}/\text{м}^3$, теплопроводность – $0,052\text{--}0,093 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

Картон из асбестового волокна и наполнителя имеет среднюю плотность от 900 до $1000 \text{ кг}/\text{м}^3$, теплопроводность – $0,157 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$. Применяют асбестовый картон для теплоизоляции промышленного оборудования и трубопроводов; он не обугливается и не тлеет.

Совелит – это асбестомагнезиальный материал, изготавливаемый из доломита, подвергаемого сложной переработке, и асбеста. Совелит применяют в виде порошка, плит, полуцилиндров для тепловой изоляции промышленного оборудования при температурах до 500°C . Средняя плотность – $450 \text{ кг}/\text{м}^3$, теплопроводность – до $0,098 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

Известково-кремнеземистые изделия. Для изготовления применяют: асбест хризотилловый, известь строительную воздушную кальциевую негашеную без добавок, диатомит, трепел, кварцевый песок или другие кремнеземистые материалы, содержащие SiO_2 не менее 75 %. Изделия со средней плотностью $200\text{--}225 \text{ кг}/\text{м}^3$, теплопроводностью

0,058–0,065 Вт/(м · К), с прочностью при изгибе не менее 0,35 МПа, применяют для тепловой изоляции до 600 °С.

6. *Древесноволокнистые плиты* получают путем горячего прессования волокнистой массы, состоящей из органических, в основном целлюлозных волокон, воды, наполнителей, синтетических полимеров и специальных добавок. Для теплоизоляции стен, полов, потолков, в ограждающих конструкциях используют мягкие древесноволокнистые плиты средней плотностью 150–350 кг/м³, теплопроводностью 0,055–0,09 Вт/(м · К), с прочностью при изгибе 0,4–2 МПа.

Фибролит – это плитный материал из тонких древесных стружек (древесной шерсти), скрепленных неорганическим вяжущим (портландцементом или магнезиальным).

Фибролит трудносгораемый материал, морозо- и биостоек. Плиты фибролита можно пилить, сверлить, забивать в них гвозди, ввинчивать шурупы; они хорошо оштукатуриваются и окрашиваются, прочно сцепляются с незатвердевшим бетоном. Теплоизоляционный фибролит средней плотностью 250–500 кг/м³, теплопроводностью 0,07–0,1 Вт/(м · К) применяют для утепления тонких кирпичных и бетонных стен в сельскохозяйственном строительстве, ограждающих стеновых конструкциях жилых, общественных и промышленных зданий с сухим режимом эксплуатации. Фибролит марок 400 и 500 можно использовать не только как теплоизоляционный, но и как конструкционный материал для устройства перегородок, покрытий, перекрытий сельскохозяйственных и складских зданий, а также для стен в деревянном стандартном домостроении.

Арболит – легкий бетон и изделия из него, получаемые на минеральном вяжущем и органическом целлюлозном заполнителе растительного происхождения, с введением химических добавок.

В качестве вяжущего чаще всего применяют портландцемент, реже известь, магнезиальные вяжущие или гипс; в качестве заполнителя применяют отходы от обработки древесины, измельченные сучья, ветви, вершины, горбыли и др.

Теплоизоляционный арболит имеет среднюю плотность 400–500 кг/м³, теплопроводность – 0,07–0,095 Вт/(м · К), прочность при сжатии – 0,5–5 МПа, прочность при изгибе – 0,7–1 МПа.

Материал биостойкий, трудносгораемый. Применяют арболит для изготовления панелей наружных и внутренних стен, применяемых во внутренних ненесущих стенах и перегородках жилых, общественных и промышленных зданий, а также для тепловой изоляции ограждающих

конструкций зданий в зданиях и сооружениях с относительной влажностью воздуха помещений не более 60 %.

7. *Теплоизоляционные пластмассы* получают химическими и физическими способами из полимеров различной структуры. По строению различают полимерные материалы с замкнутыми порами (пенопласты), с сообщающимися порами (поропласты) и повторяющимися плоскостями (сотопласты).

Для теплоизоляции применяются в основном пенопласты (пенополистирол, пенополиуретан, пенофенопласт, пенополивинилхлорид и др.), так как они имеют меньшую паро-, водо- и воздухопроницаемость. Свойства пенопластов зависят от вида применяемого полимера и способа производства: средняя плотность – $10\text{--}150 \text{ кг/м}^3$, теплопроводность – $0,033\text{--}0,052 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$, прочность – $0,05\text{--}4 \text{ МПа}$, температура применения составляет $-180\text{...}+150 \text{ }^\circ\text{C}$.

По огнестойкости теплоизоляционные пластмассы относятся к трудносгораемым и сгораемым материалам. Кроме хороших теплоизоляционных свойств, в большинстве случаев пластмассы отличаются достаточными прочностными и деформационными характеристиками, гидрофобностью и химической стойкостью. Применяют пенопласты в виде плит, блоков, полуцилиндров и др., для теплоизоляции кирпичных стен, многослойных стеновых панелей, трубопроводов, промышленного оборудования, холодильных установок.

Пенополиуретаны – продукт взаимодействия диизоцианата, многоатомных спиртов, полиэфиров. Изменяя состав исходных компонентов, можно получать эластичные, полужесткие и жесткие пенополиуретаны.

Средняя плотность – $25\text{--}200 \text{ кг/м}^3$, теплопроводность – $0,033\text{--}0,06 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$, прочность – $0,3\text{--}2,2 \text{ МПа}$, температура применения – $-60\text{...}+70 \text{ }^\circ\text{C}$.

Пеноплэкс – теплоизоляционные плиты, которые изготавливаются из полистирола методом экструзии. Благодаря особой технологии изготовления, плиты пеноплэкс не имеют пустот, способных поглощать воду, что и является основой высоких эксплуатационных характеристик, сочетающихся в одном материале низкие гигроскопичность, низкую теплопроводность и высокую прочность на сжатие.

Средняя плотность – $29,5\text{--}50 \text{ кг/м}^3$, теплопроводность – $0,028\text{--}0,03 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$, прочность – $0,25\text{--}0,5 \text{ МПа}$, водопоглощение за 24 ч – не более $0,1\text{--}0,2 \text{ \%}$.

Применяется пеноплэкс для теплоизоляции стен, кровель, фундаментов, промышленных холодильных камер, изотермических фулько-

нов и рефрижераторов, как теплоизоляция полотна при строительстве автомобильных и железных дорог.

Сотопласты – пластмассы, получаемые горячим прессованием предварительно пропитанных полимерными связующими (фенолформальдегидными, эпоксифенольными и др.) листов бумаги, стеклоткани, древесного шпона, металлической фольги и др.

Сотопласты имеют строение, имитирующее пчелиные соты. Ячейки могут быть в виде шестиугольника, квадрата, круга и др.; пустые или заполненные теплоизоляционными материалами.

Сотопласты при низкой средней плотности (30–140 кг/м³) обладают достаточной прочностью – 1–6 МПа. Применяются они в качестве среднего слоя в трехслойных ограждающих панелях. Огнестойкость сотовых конструкций повышают пропиткой антипиренами.

На основании полученных сведений, пользуясь методическими указаниями и коллекцией, требуется составить сравнительную характеристику основных видов теплоизоляционных материалов в виде табл. 8.1.

Т а б л и ц а 8.1. Сравнительная характеристика основных видов теплоизоляционных материалов

Материал	Сырье	Структура	Основные свойства			Вид, свойства, особенности применения
			Плотность, кг/м ³	Теплопроводность, Вт/(м · К)	Температура эксплуатации, °С	

9. ИСПЫТАНИЕ ВОДЫ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БЕТОННЫХ И РАСТВОРНЫХ СМЕСЕЙ

В природной воде всегда содержатся различные примеси, которые могут быть отнесены к трем группам:

- вещества, которые, растворяясь в воде, образуют истинные растворы (растворимые в воде соли и газы);
- различные гуминовые кислоты, кремнекислоты и другие вещества, образующие коллоидные растворы;
- вещества, находящиеся в форме механических примесей (частицы глины, песка, водорослей, остатки животных организмов и т. д.).

Вода подземных источников – артезианских колодцев, родников характеризуется прозрачностью, бесцветностью, большим содержанием минеральных солей и жесткостью (т. е. присутствием в ней растворенных солей кальция и магния, вызывающих осаждение твердого осадка (накипи) на стенках теплообменных аппаратов).

Речная вода характеризуется значительным содержанием взвешенных веществ, наличием большого количества органических веществ, малой жесткостью.

Для приготовления бетонных и растворных смесей и поливки твердеющего бетона применяют питьевую воду или природную, не содержащую вредных примесей, препятствующих нормальному схватыванию и твердению цемента и способствующих коррозии арматуры.

Для приготовления бетонных и растворных смесей, поливки твердеющего бетона и промывки заполнителей может применяться вода следующих видов:

- питьевая, удовлетворяющая требованиям ГОСТ 2874;
- вода после промывки оборудования по приготовлению и транспортированию бетонных и растворных смесей;
- поверхностная и грунтовая;
- техническая, не содержащая вредных примесей, препятствующих нормальному схватыванию и твердению цемента.

Согласно СТБ 1114-98 «Вода для бетонов и растворов», не допускается к применению вода при наличии на ее поверхности следов нефтепродуктов, масел и жиров. Окраска воды должна находиться в пределах от бесцветной до желтоватой.

Морскую воду разрешается применять, если общее содержание солей в ней не превышает 2 %, а также в случаях, когда на поверхности бетонных изделий и конструкций допускается появление выцветов (высолов).

Морскую воду нельзя применять для конструкций, предназначенных для эксплуатации в жарком климате и подвергающихся периодическому увлажнению и высыханию, а также для внутренних конструкций зданий.

Пригодность воды для затворения бетонных или растворных смесей устанавливают химическим анализом, а также сравнительными испытаниями на прочность бетонных или растворных образцов в 28-суточном возрасте, изготовленных на данной и на чистой питьевой воде.

9.1. Определение водородного показателя (рН) и концентрации ионов водорода

Водородный показатель (рН) – это величина, характеризующая концентрацию (активность) ионов водорода в растворах, численно равная отрицательному десятичному логарифму этой концентрации (активности), выраженной в молях на литр.

Например, при $[H^+] = 10^{-2}$ моль/л $pH = -\lg [H^+] = -\lg 10^{-2} = 2$; при $[H^+] = 10^{-11}$ моль/л $pH = 11$.

Таким образом,

при $pH = 7$ среда – нейтральная;

при $pH < 7$ – кислая;

при $pH > 7$ – щелочная.

Водородный показатель рН в природных водах зависит от:

- соотношения количества ионов угольной кислоты HCO_3^{1-} и CO_3^{2-} ;

- гидролиза солей;

- содержания карбоновых кислот в водах, богатых гуминовыми кислотами, сложной смесью органических веществ разного состава, свойств и строения.

Для большинства природных вод рН колеблется в пределах 6,5–8,5.

Величина рН определяет агрессивные свойства воды по отношению к бетону и стальной арматуре.

Определение приближенного значения рН.

Оборудование и материалы.

1. Универсальный индикатор или индикаторная бумага.

2. Вода в пробирках различных видов:

1) дистиллированная;

2) водопроводная питьевая;

3) сточная;

4) речная;

5) болотная.

Проведение испытаний. Приближенное значение рН может быть определено с помощью универсального индикатора или индикаторной бумаги.

В пробирку наливают 5 мл испытуемой нефилтрованной воды, прибавляют 0,3 мл или 3 капли универсального индикатора; жидкости перемешивают встряхиванием и сравнивают цвет раствора с цветами серии пробирок, содержащих буферные растворы с разным значением рН, или со шкалой.

9.2. Потенциометрический метод определения pH

Оборудование и материалы.

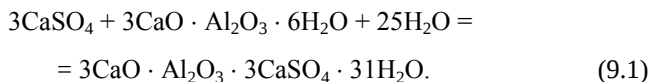
1. Прибор pH-метр.
2. Стеклянные стаканы с пробой воды для испытания и нейтральной водой (дистиллированной).

Проведение испытаний. Иногда красящие органические вещества, встречающиеся в природных водах, не только изменяют тон и интенсивность окраски индикатора и этим уменьшают точность определения, но и поглощают индикатор, делая определение невозможным. В этом случае прибегают к потенциометрическому определению pH, которое выполняется согласно инструкции к pH-метру.

Водородный показатель (pH) определяют с помощью pH-метров любых марок со стеклянными электродами с диапазоном от 0 до 14 pH и погрешностью измерений, не превышающей 0,1 pH. Для определения берут от 10 до 50 мл воды в стеклянном стакане емкостью от 50 до 100 мл.

9.3. Определение содержания сульфатов по ГОСТ 4389

Сульфатно-хлоридные минерализованные воды встречаются весьма часто. В зависимости от наличия в них ионов SO_4^{2-} и Cl^{1-} коррозия бетона протекает по-разному. Его разрушение при сульфатной агрессии связано с образованием из гидратированного трехкальциевого алюмината (С3А) и гипса устойчивого в определенных условиях комплексного соединения – гидросульфоалюмината кальция – по реакции



Это соединение имеет значительно больший объем, чем исходные объемы его компонентов, что приводит к разрушению бетона вследствие возникающих в цементном камне внутренних напряжений. Содержание сульфат-ионов (SO_4^{2-}) в воде, используемой при изготовлении нижеперечисленных конструкций и растворов, не должно превышать 2000 мг/л:

- предварительно-напряженных железобетонных конструкций и нагнетаемых растворов;

- бетонных и железобетонных конструкций с ненапрягаемой арматурой;
- строительных штукатурных растворов и растворов для армированной каменной кладки;
- бетонных неармированных конструкций и строительных растворов для неармированной каменной кладки. Для промывки заполнителей и поливки наружных поверхностей бетонных и железобетонных конструкций содержание ионов SO_4^{2-} не должно превышать 2700 мг/л.

Оборудование и материалы.

1. 10%-ный раствор HCl .
2. 5%-ный раствор BaCl_2 .
3. Электроплитка.
4. Вода в пробирках объемом не менее 500 л:
 - 1) водопроводная;
 - 2) речная;
 - 3) болотная;
 - 4) сточная.

Проведение испытаний. Определение содержания сульфатов основано на осаждении в кислой среде хлористым барием ионов SO_4^{2-} в виде сернокислого бария. К 5 мл исследуемой воды в пробирке прибавляют 1–2 капли 10%-ного раствора HCl , 3–5 капель 5%-ного раствора хлористого бария ($\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) и нагревают. В присутствии сульфат-ионов 2SO_4 выпадает белый мелкокристаллический осадок или появляется муть: $\text{BaCl}_2 + \text{CaSO}_4 \rightarrow \text{BaSO}_4 + \text{CaCl}_2$. Примерное содержание ионов SO_4^{2-} определяется согласно табл. 9.1.

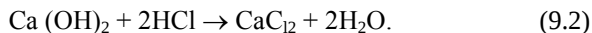
Таблица 9.1. Примерное содержание ионов SO_4^{2-}

Осадок или муть	Содержание SO_4^{2-} , мг/л
Слабая муть, появляющаяся через несколько минут	1,0–10,0
Слабая муть, появляющаяся сразу	10,0–100,00
Сильная муть	100,0–500,0
Большой осадок, быстро оседающий на дно	>500,0

Общекислотная коррозия цементного камня происходит при действии растворов любых кислот, имеющих значение водородного показателя $\text{pH} < 7$. Свободные кислоты встречаются в сточных водах промышленных предприятий, могут проникать в почву и разрушать бетонные фундаменты, коллекторы и другие подземные сооружения.

Кислота образуется также из сернистого газа, выходящего из топок.

В атмосфере промышленных предприятий кроме SO_2 могут содержаться ангидриты других кислот, а также хлор и хлористый водород. При растворении его во влаге, адсорбированной на поверхности железобетонных конструкций, образуется соляная кислота. Кислота вступает в химическое взаимодействие с гидроксидом кальция, при этом образуются растворимые соли (например, CaCl_2):



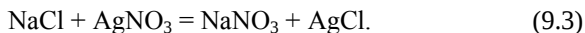
Кроме того, кислоты могут разрушать и силикаты кальция.

Бетон на портландцементе защищают от непосредственного действия кислот с помощью защитных слоев из кислотостойких материалов.

Оборудование и материалы.

1. Колбы конические вместимостью 250 мл.
2. Натрий хлористый (NaCl).
3. Пробирки.
4. Азотная кислота (HNO_3).
5. Вода испытываемая объемом не менее 250 мл.
6. Серебро азотнокислое (AgNO_3).

Проведение испытаний. Испытания проводят согласно ГОСТ 4245. Содержащиеся в воде ионы хлора переводят в хлористое серебро, нерастворимое в нейтральной и слабощелочной среде, а также в азотной кислоте (HNO_3):



Для определения наличия ионов Cl^{1-} к 5 мл исследуемой воды прибавляют 1–2 капли 2%-ного раствора HNO_3 (азотной кислоты) и 3–5 капель 10%-ного раствора азотнокислого серебра. Примерное содержание хлор-ионов определяют по осадку или мути в соответствии с требованиями табл. 9.2.

Т а б л и ц а 9.2. **Характеристика осадка или мути в воде**

№ п/п	Характеристика осадка или мути	Содержание Cl^{1-} , мг/л
1	Опалесценция или слабая муть	1–10
2	Сильная муть	10–50
3	Образуются хлопья, осаждающиеся не сразу	50–100
4	Белый объемистый осадок	>100

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. Лабораторный практикум / Я. Н. Ковалев [и др.]. – Минск: Издательство «Новое знание», 2013.
9. Болтрык, М. Строительные материалы: учеб.-метод. пособие: в 2 т. / М. Болтрык, Г. Ожеповски, В. Марчук. – Брест: Брест. гос. техн. ун-т, 2020.
10. Чубуков, В. Н. Строительные материалы и изделия: практикум / В. Н. Чубуков, В. Н. Основин, Л. В. Шуляков. – Минск: Дизайн ПРО, 2000.
11. Чубуков, В. Н. Строительные материалы и изделия / В. Н. Чубуков, В. Н. Основин, Л. В. Шуляков, Л. Г. Основина. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2003.
12. Широкий, Г. Т. Строительное материаловедение / Г. Т. Широкий, П. И. Юхневский, М. Г. Бортницкая. – Минск: Выш. шк., 2016.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
I. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	
ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ТЕРМИНЫ	4
1. ОСНОВНЫЕ СТРОИТЕЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	4
1.1. Понятие о работе материалов в сооружении	4
1.2. Классификация строительных материалов	5
1.3. Стандартизация материалов	8
1.4. Общие сведения о свойствах строительных материалов	8
1.5. Физические свойства	9
1.6. Механические свойства	11
1.7. Химические свойства	13
1.8. Технологические свойства	14
2. ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ	14
2.1. Общие сведения	14
2.2. Горные породы и их классификация	15
2.3. Свойства и основные виды природных каменных материалов и изделий	16
2.4. Природные каменные материалы и требования к ним	17
2.5. Производство природных каменных материалов	17
2.6. Защита, транспортирование и хранение природных каменных материалов	18
3. ИСКУССТВЕННЫЕ ОБЖИГОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ, СТЕКЛО И ПЛАВЛЕННЫЕ ИЗДЕЛИЯ	19
3.1. Керамические материалы и их классификация	19
3.2. Сырье для получения керамических материалов и изделий	20
3.3. Производство керамических материалов и изделий	21
3.4. Стеновые керамические материалы и изделия	23
3.5. Керамические трубы	24
3.6. Керамические изделия для наружных и внутренних облицовок	24
3.7. Керамические изделия специального назначения	24
3.8. Стекло и плавленные изделия	25
4. НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА	28
4.1. Основные сведения о неорганических вяжущих веществах и их классификация	28
4.2. Воздушная известь	29
4.3. Гипсовые вяжущие вещества	32
4.4. Жидкое стекло и кислотоупорный цемент	34
4.5. Магнезиальные вяжущие	35
4.6. Гидравлическая известь	36
4.7. Портландцемент	37
4.8. Коррозия цементного камня, ее виды и меры защиты от нее	38
4.9. Применение портландцемента	39
4.10. Разновидности портландцемента	39
4.11. Цементы с активными минеральными добавками	39
4.12. Специальные цементы	40
4.13. Транспортировка и хранение цементов	41

5. БЕТОНЫ И СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ НА ОСНОВЕ НЕОРГАНИЧЕСКИХ (ГИДРАТАЦИОННЫХ) ВЯЖУЩИХ	42
5.1. Бетоны на неорганических вяжущих веществах	42
5.1.1. Определение и общая классификация бетонов	42
5.1.2. Материалы для тяжелого (обычного) бетона	45
5.1.3. Технологические свойства бетонной смеси	45
5.1.4. Структура и пористость бетона	46
5.1.5. Прочность бетона и ее законы	46
5.1.6. Деформации бетона	48
5.1.7. Принципы проектирования состава бетона	48
5.1.8. Приготовление, транспортирование и укладка бетонной смеси	49
5.1.9. Твердение бетона	49
5.1.10. Уход за бетоном	49
5.2. Строительные растворы	50
5.2.1. Краткие сведения и классификация растворов	50
5.2.2. Свойства растворных смесей и растворов	51
5.2.3. Пластификаторы для растворов	51
5.2.4. Общие принципы назначения состава растворов	52
5.2.5. Приготовление и транспортирование растворных смесей	52
5.2.6. Виды растворов и область их применения в строительстве	53
6. ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЙ БЕТОН И ДРУГИЕ ВИДЫ БЕТОНОВ	54
6.1. Условия работы бетона в гидротехнических сооружениях	54
6.2. Классификация гидротехнического бетона	55
6.3. Технические требования к гидротехническому бетону	55
6.4. Долговечность гидротехнического бетона	57
6.5. Коррозия бетона	58
6.6. Материалы для гидротехнического бетона	58
6.7. Добавки к гидротехническому бетону	59
6.8. Приготовление водных растворов добавок и бетонной смеси	60
6.9. Проектирование состава гидротехнического бетона	60
6.10. Виды гидротехнического бетона	61
6.11. Специальные бетоны	61
6.12. Легкие бетоны	63
6.13. Шлакощелочной бетон	63
7. БЕТОННЫЕ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ ИЗДЕЛИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ	64
7.1. Общие сведения о железобетоне	64
7.2. Материалы для железобетона	67
7.3. Производство железобетонных изделий	67
7.4. Сборные бетонные и железобетонные конструкции и изделия, используемые в строительстве	67
7.5. Контроль качества железобетонных изделий	70
7.6. Приемка, маркировка, хранение и транспортирование готовых сборных бетонных и железобетонных конструкций и изделий	70
8. ИСКУССТВЕННЫЕ КАМЕННЫЕ НЕОБЖИГОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ	71
8.1. Изделия автоклавного твердения на основе извести и кремнеземистого компонента	72
8.2. Асбестоцементные изделия	74
8.3. Гипсовые и гипсобетонные изделия	74

9. КОАГУЛЯЦИОННЫЕ (ОРГАНИЧЕСКИЕ) ВЯЖУЩИЕ МАТЕРИАЛЫ, РАСТВОРЫ И БЕТОНЫ НА ИХ ОСНОВЕ	75
9.1. Общие сведения.....	75
9.2. Битумные вяжущие	76
9.3. Дегтевые вяжущие.....	76
9.4. Асфальтовые и дегтевые бетоны и растворы	76
9.5. Гидротехнические асфальтобетоны и растворы	77
9.6. Гидроизоляционные и кровельные материалы на основе коагуляционных и полимерных вяжущих веществ	77
9.6.1. Общие сведения	77
9.6.2. Битумные и дегтевые эмульсии и пасты	78
9.6.3. Кровельные и гидроизоляционные мастики	78
9.6.4. Герметизирующие материалы.....	79
9.6.5. Гидроизоляционные материалы.....	79
9.6.6. Рулонные кровельные материалы.....	79
9.6.7. Хранение гидроизоляционных и кровельных материалов.....	80
10. МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ИЗ ПОЛИМЕРОВ И ПЛАСТИЧЕСКИХ МАСС.....	80
10.1. Общие сведения о полимерах, способы их получения и виды	80
10.2. Состав и свойства пластических масс.....	81
10.3. Принципы изготовления изделий из полимеров и пластмасс.....	81
10.4. Конструкционные и отделочные материалы.....	81
10.5. Материалы для полов.....	82
10.6. Трубы, санитарно-технические и погонажные изделия	83
10.7. Применение полимеров в бетонах и растворах.....	83
10.8. Полимерные материалы и изделия в строительстве	84
11. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ	85
11.1. Общий характер строения теплоизоляционных материалов и основные требования к ним.....	85
11.2. Классификация теплоизоляционных материалов	85
11.3. Органические теплоизоляционные материалы	86
11.4. Неорганические теплоизоляционные материалы.....	88
12. ЛЕСНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ	88
12.1. Общие сведения.....	88
12.2. Строение древесины и ее пороки	89
12.3. Породы древесины	90
12.4. Основные физико-механические свойства древесины	90
12.5. Защита древесины от разрушения.....	90
12.6. Виды лесоматериалов и изделий из древесины	92
12.7. Хранение древесины на складе	94
13. ОТДЕЛОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	94
13.1. Общие сведения.....	94
13.2. Основные компоненты окрасочных составов	95
13.3. Вспомогательные материалы.....	96
13.4. Виды окрасочных составов.....	97
13.5. Материалы для гидроизоляции и антикоррозионных покрытий	100
14. МЕТАЛЛЫ И МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ.....	100
14.1. Общие сведения о металлах и их видах.....	100
14.2. Основы технологии производства чугуна и стали	101
14.3. Изделия из чугуна.....	101

14.4. Виды и свойства сталей	102
14.5. Изделия из стали.....	104
14.6. Способы обработки стали.....	106
14.7. Коррозия стали и методы борьбы с ней.....	107
14.8. Цветные металлы и их сплавы.....	108

II. ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ	111
1.1. Оценка качества по форме, размерам, внешнему виду, определение степени обжига (СТБ 1160)	111
1.2. Определение средней плотности (ГОСТ 7025)	114
1.3. Определение марки по прочности (ГОСТ 8462)	115
1.4. Определение известковых включений.....	120
1.5. Определение водопоглощения (ГОСТ 7025).....	121
1.6. Определение морозостойкости (ГОСТ 7025).....	122
1.7. Определение качества дренажных керамических труб (ГОСТ 8411).....	123
1.7.1. Оценка качества по внешнему виду, форме и размерам.....	123
1.7.2. Определение прочности	126
2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА.....	127
2.1. Определение истинной плотности	127
2.2. Определение насыпной плотности.....	129
2.3. Определение тонкости помола (ГОСТ 310.2).....	130
2.4. Определение удельной поверхности цемента.....	132
2.5. Определение нормальной густоты цементного теста (ГОСТ 310.3)	136
2.6. Определение сроков схватывания цементного теста (ГОСТ 310.3).....	139
2.7. Определение сроков схватывания полевым способом	140
2.8. Определение равномерности изменения объема цемента (ГОСТ 310.3)	140
2.9. Определение марки цемента по пределу прочности при изгибе и сжатии (ГОСТ 310.4).....	143
3. ИСПЫТАНИЯ МЕЛКОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ ДЛЯ БЕТОНОВ И РАСТВОРОВ (ГОСТ 8735).....	150
3.1. Определение влажности песка	150
3.2. Определение истинной плотности песка ускоренным методом	151
3.3. Определение насыпной плотности песка	152
3.4. Определение зернового состава и модуля крупности песка	153
3.5. Определение содержания глины в комках, пылевидных и глинистых частицах	157
3.6. Определение содержания органических примесей.....	160
4. ИСПЫТАНИЯ КРУПНОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ ДЛЯ БЕТОНОВ (ГОСТ 8269) ..	161
4.1. Определение влажности щебня (гравия)	162
4.2. Определение истинной плотности зерен щебня (гравия).....	162
4.3. Определение насыпной плотности щебня (гравия)	164
4.4. Определение средней плотности зерен щебня (гравия)	165
4.5. Определение водопоглощения щебня (гравия).....	168
4.6. Определение зернового состава щебня (гравия).....	168
4.6.1. Определение зернового состава щебня (гравия) данной фракции	169

4.6.2. Определение зернового состава щебня смеси фракций 5(10)–40 и 20–70 мм	171
4.6.3. Определение зернового состава нефракционного гравия	172
4.7. Определение прочности щебня (гравия).....	174
4.8. Определение в щебне (гравии) пылевидных, глинистых частиц и глины в комках	178
4.8.1. Определение в щебне (гравии) пылевидных и глинистых частиц	179
4.8.2. Определение в щебне (гравии) глины в комках	180
4.8.3. Определение содержания пластинчатых (лещадных) и игольчатых зерен	181
4.9. Определение морозостойкости щебня (гравия)	183
4.9.1. Определение морозостойкости щебня (гравия) замораживанием.....	183
4.9.2. Определение морозостойкости щебня (гравия) насыщением в растворе сернокислого натрия	185
5. ПОДБОР СОСТАВА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ БЕТОННОЙ СМЕСИ И БЕТОНА	186
5.1. Подбор составов бетона (СТБ 1182)	186
5.1.1. Материалы, рекомендуемые для бетона.....	187
5.1.2. Подбор состава бетона.....	189
5.1.3. Подбор состава бетона с химическими добавками	194
5.2. Испытание бетонной смеси	206
5.2.1. Приготовление опытного замеса	206
5.2.2. Определение средней плотности бетонной смеси (ГОСТ 10181.2)	207
5.2.3. Определение удобоукладываемости бетонной смеси (ГОСТ 10181.1).....	209
5.3. Испытание бетона на плотных и пористых заполнителях	214
5.3.1. Определение прочности бетона (ГОСТ 10180).....	214
5.3.2. Определение морозостойкости бетона (ГОСТ 10060.0).....	225
6. ПОДБОР СОСТАВА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ	227
6.1. Подбор состава смешанного кладочного раствора.....	227
6.2. Испытание растворной смеси (ГОСТ 5802)	233
6.2.1. Приготовление лабораторного замеса.....	233
6.2.2. Определение подвижности растворной смеси.....	234
6.2.3. Определение плотности растворной смеси.....	235
6.2.4. Определение расслаиваемости растворной смеси	236
6.2.5. Определение водоудерживающей способности растворной смеси	238
6.3. Испытание затвердевшего раствора.....	240
6.3.1. Определение прочности раствора на сжатие	240
7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БИТУМОВ	242
7.1. Определение температуры размягчения (ГОСТ 11506)	243
7.2. Определение вязкости (ГОСТ 11501)	246
7.3. Определение растяжимости (ГОСТ 11505)	248
7.4. Определение температуры вспышки (ГОСТ 4333).....	249
8. ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	251
9. ИСПЫТАНИЕ ВОДЫ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БЕТОННЫХ И РАСТВОРНЫХ СМЕСЕЙ	258
9.1. Определение водородного показателя (рН) и концентрации ионов водорода.....	260
9.2. Потенциометрический метод определения рН.....	261
9.3. Определение содержания сульфатов по ГОСТ 4389	261
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	264

Учебное издание

Дубина Алеся Владимировна
Курчевский Сергей Михайлович
Дубяго Дмитрий Святославович и др.

**СТРОИТЕЛЬНОЕ
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

Пособие

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

Подписано в печать 29.08.2025. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.
Ризография. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 15,81. Уч.-изд. л. 13,55.
Тираж 60 экз. Заказ .

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/52 от 09.10.2013.
Ул. Мичурина, 13, 213407, г. Горки.

Отпечатано в Белорусской государственной сельскохозяйственной академии.
Ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки.