

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

**КАЗАХСКАЯ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНАЯ АКАДЕМИЯ
ИМ. Л. Б. ГОНЧАРОВА (КазАДИ)**

**Кафедра «Транспортное строительство и производство строительных
материалов»**

ТУРСУМБЕКОВА Х.С., ЕСПАЕВА Г.А., КАРАШИНА А.Р.

«ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ»

Учебное пособие

ПРЕДНАЗНАЧЕНО ДЛЯ СТУДЕНТОВ СПЕЦИАЛЬНОСТИ

5В074500 «ТРАНСПОРТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО»

АЛМАТЫ, 2018

УДК 691 (075.8)
ББК 39.311 Я73
Е84

Авторы: Турсумбекова Х.С., Еспаева Г.А., Карашина А.Р.

«Дорожно-строительные материалы»

Учебное пособие. – Алматы: КазАДИ им. Л. Б. Гончарова. 2018. – 116с.

ISBN 978-601-80365-1-4

Учебник по дисциплине **ДСМ** предназначен для студентов-бакалавров по специальности 5В074500 - «Транспортное строительство». Читатель включает лекцию на тему « Особенности дорожно-строительных материалов», а также разделы «Строительства автомобильных дорог», а также комплекс практических занятий.

Опубликуется с одобрением Учебно-методического совета КазАДИ им. Л. Б. Гончарова, « ____ » _____ 2018 г. протокол № _____

УДК 691 (075.8)
ББК 39.311 Я73

ISBN 978-601-80365-1-4

© Турсумбекова Х.С., 2018
© Еспаева Г.А., 2018
© Карашина А.Р., 2018

Содержание

Введение	4
Раздел 1. Основные свойства дорожно-строительных материалов.	
1.1. Механические свойства	5
1.2. Физико-химические свойства	10
1.3. Технологические и эксплуатационные свойства	20
Раздел 2. Каменные материалы	
2.1. Природные каменные материалы.....	23
2.2. Каменные материалы, применяемые в естественном виде	23
2.2.1. Классификация горных пород.	25
2.3. Каменные материалы получаемые в результате механической переработки горных пород и других материалов	28
2.3.1. Добыча и переработка горных пород.	31
2.3.2. Приемка каменных материалов, хранение и транспортирование	32
2.4. Искусственные каменные материалы, керамические материалы ...	35
Раздел 3. Органические вяжущие материалы	
3.1. Общие сведения и классификация органических вяжущих материалов	41
3.2. Битумы нефтяные вязкие и жидкие.....	43
3.2.1. Производство нефтяных битумов.....	45
3.2.2. Лабораторные испытания битумов сланцевых.....	46
3.3. Дегти каменноугольные, древесные и торфяные	52
Раздел 4. Асфальтобетонные смеси	
4.1. Минеральный порошок для асфальтобетонных смесей	55
4.2. Асфальтобетонные смеси, их состав и основные свойства	57
4.3. Проектирование и приготовление асфальтобетонной смеси	60
4.3.1. Производство асфальтобетонных смесей	61
4.3.2. Контроль качества производства асфальтобетона.....	64
4.3.3. Особенности теплого асфальтобетона.....	65
4.3.4. Особенности холодного асфальтобетона.....	67
Раздел 5. Минеральные вяжущие материалы	
5.1. Воздушные вяжущие материалы	69
5.2. Цементы. Портландцемент.....	69
5.2.1. Клинкерные материалы и твердение портландцемента	74
5.2.2. Глиноземистый цемент и цементы на его основе	79
5.2.3. Пуццолановые и шлаковые цементы	81
5.2.4. Коррозия (разрушение) цементного камня	84
5.2.5. Определение предела прочности при изгибе и сжатии образцов балочек.....	86
Раздел 6. Цементобетон и цементобетонные материалы	
6.1. Цементобетонные смеси и растворы их состав и основные свойства	89
6.2. Проектирование и приготовление цементобетонных смесей	90

6.2.1.	Приготовления бетонной смеси в бетоносмесителях периодического и непрерывного действия	91
6.2.2.	Способы доставки бетонной смеси к месту укладки.	92
6.2.3.	Определение прочности бетона при сжатии, изгибе, растяжении и раскалывании.....	93
6.2.4.	Методы определения прочности бетона.....	95
Раздел 7. Грунты, укрепленные вяжущими материалами		
7.1	Общие сведения об укрепленных грунтах	101
7.2	Укрепление грунтов минеральными вяжущими материалами.....	103
7.3	Укрепление грунтов органическими вяжущими материалами.....	105
Раздел 8. Местные дорожно-строительные и другие строительные материалы		
8.1	Общие сведения о природных местных каменных материалах	109
8.2	Использование минеральных и органических побочных продуктов различных отраслей промышленности. Различные строительные материалы.	111
Список использованной литературы		116

Введение

Материалы играют важнейшую роль в развитии всех отраслей техники, в том числе и строительстве.

Строительство – одна из наиболее материалоемких отраслей промышленности. Затраты на строительные материалы составляют обычно более половины общей стоимости строительно-монтажных работ.

В техническом понятии материал – это вещество (совокупность веществ), из которого состоит или может быть изготовлено изделие, имеющее определенное функциональное назначение. Если изучают материал как вещество, то исследуют его химические свойства, процессы химических превращений, обычно не учитывая его геометрических свойств. Если же выявляют возможность получения изделия из материала, то обращают внимание на его физические, механические и другие свойства. Поэтому при изучении материалов большую роль играют как методы химии, так и методы физики, механики и других отраслей науки.

Строительные материалы, соответствующие по свойствам, техническим требованиям и условиям их работы в дорожных конструкциях и сооружениях, называют дорожно-строительными (например, дорожные асфальтобетон и цементобетон, щебень и песок, брусчатка, шашка для мощения и др.)

Для строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог и сооружений применяют разнообразные *природные* и *искусственные* материалы. *Природные* строительные материалы добывают в местах их образования, обычно в верхних слоях земной коре. В большинстве случаев они могут быть использованы без сложной дополнительной переработки (например, глина, песок, гравий, природные асфальты, древесина и др.). *Искусственные* строительные материалы изготавливают по специальной технологии из природного сырья или отходов промышленности, из смеси разных материалов, причем свойства исходных составляющих претерпевают физико-химические изменения, в результате чего получается новый материал с новыми свойствами, отличающийся от исходного сырья.

Строительные материалы, которые могут быть получены в районе строительства из местного природного сырья или отходов промышленности с использованием для их добычи и переработки сравнительно несложного оборудования, называют *местными* строительными материалами. К этой группе относят песок, каменные материалы из известняков, песчаников и других пород, металлургические шлаки.

Материалы из сырья, имеющего относительно ограниченное распространения, и для производства которых необходимы заводское оборудование и квалифицированный персонал, называют строительными промышленного (централизованного) производства. К этой группе относят цементы, битумы, металлы, стекло, которые поступают на строительство в готовом виде.

Раздел 1. Основные свойства дорожно-строительных материалов.

Дорожно-строительные материалы в дорожной конструкции подвергаются воздействию механических сил, физических и химических факторов окружающей среды. К *механическим* факторам относят нагрузки транспортных средств, массу конструкции, механическое воздействие воды, льда, ветра, к *физическим* — атмосферные осадки, колебание температуры воздуха, солнечную радиацию, к *химическим* — воздействие агрессивной среды, способность к растворимости, кристаллизации и перекристаллизации, склонность к старению и др.

Чтобы знать, как сопротивляется действию указанных факторов дорожно-строительный материал в конструкции, определяют его свойства.

Свойствами материала называют его объективные особенности (признаки), которые проявляются в условиях производства, применения и работы в конструкции.

Если при применении и работе материала в дорожной конструкции проявляются главным образом механические, физические и химические свойства, то при производстве материалов — технологические свойства (дробимость, вязкость, уплотняемость, нерасслаиваемость, удобоукладываемость, слеживаемость и др.).

Свойства материалов характеризуются *количественными показателями*, которые определяют в процессе лабораторных, полевых и производственных испытаний. Показатели свойств материалов нормированы в государственных стандартах и других нормативно-технических документах.

1.1. Механические свойства.

Механические свойства характеризуют способность материала сопротивляться разрушению и деформированию под действием внешних сил. Наиболее важным механическим свойством материала является прочность.

Прочность – свойства материала воспринимать в определенных пределах действия внешних сил без разрушения.

Напряжение « σ » - величина численно равная силе, приходящейся на единицу площадь сечения; измеряют в единицах силы, отнесенной к единице площади. Паскаль (Па)=давлению, вызываемое силой в 1 Ньютон «Н», равномерно распределяемое по поверхности площадью (S) в 1 м^2 .

Строительные материалы в конструкциях, подвергаясь различным нагрузкам, испытывают напряжения сжатия, растяжения и изгиба. Поэтому прочность материалов характеризуют обычно пределом прочности при сжатии, растяжении и изгибе.

Пределом прочности называют напряжение, соответствующее силе, вызывающей разрушение образца материала.



Рис. 1.1. Общий вид гидравлического пресса

Предел прочности при сжатии определяют на гидравлическом прессе (рис. 1.1). Верхняя и нижняя площадки пресса имеют сменные приспособления для переналадки его на то или другое испытание (сжатие, изгиб). Образцы каменного материала из-за сильного трения между поверхностями образца и указанными плоскостями плит при разрушении сохраняют в основаниях свою форму. Вертикальные поверхности образца вследствие поперечного расширения разрушаются.

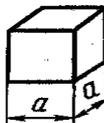
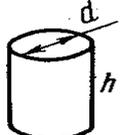
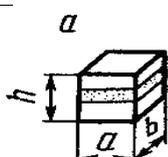
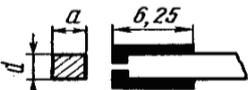
Предел прочности при сжатии равен частному от деления разрушающей силы на первоначальную площадь поперечного сечения образца (куба, цилиндра, призмы):

$$R_{сж} = P/S, \quad (1.1)$$

где, **P**—разрушающая сила;

S – площадь поперечного сечения образца, м².

Таблица 1.1

Образец	Эскиз	Материал	Размер стандартного образца для испытаний, см
Куб		Природный камень Цементобетон Раствор	5x5x5; 10x10x10; 15x15x15; 7,07x7,07x7,07
Цилиндр		Природный камень Асфальтобетон Цементобетон	d=h=5; 7; 10; 15. d=h=5,05; 7,14; 10,1. d=15; h=30.
Призма		Древесина	a=10; 15; 20. h=40; 60; 80. a=2; h=3.
Составной образец		Кирпич	a=12; b=12,3; h=14.
Половина образца призмы из цементно-песчаного раствора		Цемент	a=4; F=25см ²

В табл. 1.1 приведены характерные образцы, используемые для определения предела прочности дорожно-строительных материалов при сжатии.

Предел прочности при изгибе определяют путем испытания образца материала в виде балочки на двух опорах. Нагружение приводят одной или двумя сосредоточенными силами до разрушения (рис. 1.2).



Рис. 1.2. Схемы стандартных испытаний на изгиб

Предел прочности при изгибе балки прямоугольного сечения с одной сосредоточенной посередине силой

$$R_{из} = \frac{3Pl}{2bh^2} \quad (1.2)$$

где,

- p**- сила, действующая на образец, Н;
- l**- расстояние между опорами, м;
- b**- ширина поперечного сечения образца, м;
- h**- высота поперечного сечения образца, м.

При двух одинаковых сосредоточенных силах, приложенных симметрично относительно оси балки,

$$R_{из} = \frac{3P(l-a)}{bh^2}, \quad (1.3)$$

где **a** — расстояние между силами, м.

Обычно при испытании на изгиб цементобетонных балочек, кирпича и других хрупких материалов разрушение начинается в нижней растянутой зоне, так как эти материалы имеют значительно меньшую прочность при растяжении, чем при сжатии.

Каменные материалы, полученные при переработке рыхлых пород (валуны, галька, гравий), металлургических шлаков или других искусственных материалов, испытывают не на отдельных образцах правильной геометрической формы, а в смеси. Это позволяет судить о механических свойствах материала, который непосредственно используют для строительства слоев дорожной конструкции, а также для производства асфальто- и цементобетона. К этим испытаниям относят испытание на дробимость щебня или гравия в цилиндре, испытание на истираемость щебня или гравия в полочном барабане.

Дробимость щебня (гравия) при сжатии в цилиндре — косвенный показатель прочности щебня или гравия, по которому устанавливают их марку.

Для испытания щебень или гравий рассеивают на фракции, отбирают пробу заданной массы и загружают в цилиндр. Затем в цилиндр вставляют плунжер и помещают на нижнюю плиту пресса, подводят верхнюю плиту пресса и включают насос. Доводят нагрузку до заданной и снимают. Из

цилиндра выгружают раздробленный материал, просеивают его через контрольное сито (рис. 1.3). Определяют дробимость:

$$D = \frac{m_1 - m_2}{m_1} 100, \quad (1.4)$$

где,

m_1 — навеска щебня, г;

m_2 — масса остатка на контрольном сите после просеивания раздробленной в цилиндре пробы щебня, г.

Истираемость щебня (гравия) в полочном барабане характеризует способность материала изменять массу под воздействием истирающих усилий. Полочный барабан имеет форму цилиндра (рис. 1.4). Пробу щебня заданной массы загружают в полочный барабан вместе с чугунными или стальными шарами, закрывают барабан, приводят во вращение частотой 30—33 об/мин и дают заданное число оборотов.

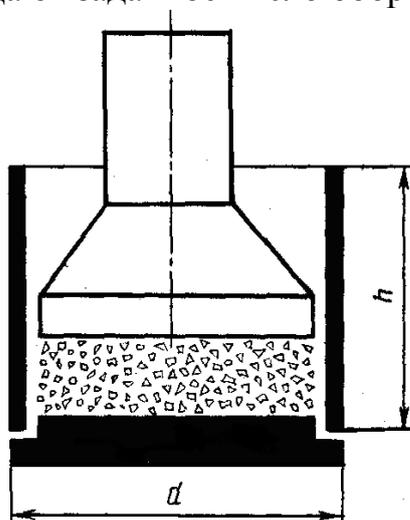


Рис. 1.3. Схема испытания на дробимость щебня (гравия) в цилиндре

После испытания из барабана удаляют материал, просеивают через сито с отверстиями 5 и 1,25 мм. Остатки на ситах взвешивают. Определяют истираемость:

$$H = \frac{m_1 - m_2}{m_1} 100, \quad (1.5)$$

где,

m_1 — масса пробы щебня;

m_2 — суммарная масса остатков на контрольном и предохранительном ситах после обработки полочном барабане.

Упругость — свойство материала самопроизвольно восстанавливать первоначальную форму и размеры после прекращения действия внешних сил. Внешние силы, приложенные к образцу материала, вызывают

изменение размеров деформируемого материала на величину Δl в направлении действия силы (при сжатии — укорочение, при растяжении — удлинение). Показателем деформации является *относительная деформация* ε , которая равна отношению абсолютной деформации к первоначальному линейному размеру образца l :

$$\varepsilon = \Delta l / l. \quad (1.6)$$

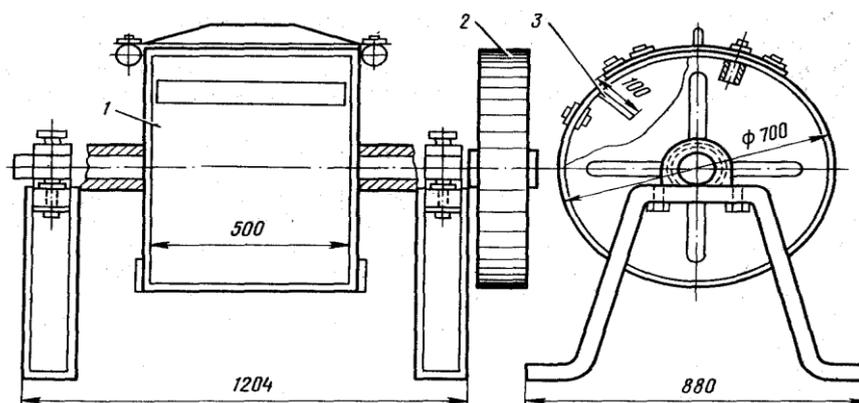


Рис. 1.4. Общий вид полочного барабана для испытаний щебня (гравия)
1 — барабан; 2 — привод; 3 — полочка.

Относительная деформация может быть обратимой и необратимой. Обратимая (упругая) деформация полностью исчезает после снятия нагрузки. Необратимая (остаточная) не исчезает после снятия нагрузки.

Основным показателем, характеризующим упругость материала, его жесткость, является *модуль упругости*. Модуль упругости E характеризует способность материала сопротивляться упругому изменению формы и размеров при приложении внешних сил:

$$E = \sigma / \epsilon, \quad (1.7)$$

где,

σ — напряжение, МПа;

ϵ — относительное удлинение (безразмерная величина).

Модуль упругости E имеет ту же размерность, что и напряжение, и для данного материала величина постоянная.

Хрупкость — способность материала под действием внешних сил разрушаться без остаточных деформаций. Хрупкие материалы практически не деформируются перед разрушением. К ним относятся природные и искусственные каменные материалы, цементобетон, стекло и др.

Пластичность — способность материала под действием внешних сил необратимо деформироваться без разрыва сплошности. Пластичные материалы под действием нагрузки значительно деформируются, заметно изменяя свою форму и объем, и только затем разрушаются.

Хрупкость и пластичность материалов изменяются от температуры и режима нагружения. Например, битум и асфальтобетон хрупки при пониженной температуре и быстро нарастающей нагрузке и пластичны при повышенной температуре и медленно действующей нагрузке. Изделия из глины хрупки в сухом состоянии и пластичны во влажном. Хрупкие материалы плохо сопротивляются растяжению, динамическим и повторным нагрузкам.

Механические свойства хрупких материалов обычно характеризуют пределом прочности при сжатии и пределом прочности при изгибе, а

пластичных этими же показателями и относительной деформацией, соответствующей данному напряжению или величине разрушения.

Внешние нагрузки вызывают либо разрушение, либо деформацию материалов. Сопротивление материалов изменять под нагрузкой форму и размеры характеризуется деформативными свойствами: упругостью, пластичностью, хрупкостью, модулем упругости, ползучестью.

Сопротивление материала механическому разрушению характеризуется их прочностными свойствами: прочностью, твердостью, истираемостью, сопротивлением удару, износом.

1.2. Физико-химические свойства.

Физические свойства.

Строительные материалы обладают комплексом физических свойств, количественные показатели которых определяют в лаборатории с помощью специальных приборов и стандартных методов.

К физическим свойствам относят свойства, выражающие способность материалов реагировать на воздействия физических факторов: гравитации, теплоты, звука, электрического тока, излучения и др. Строительные материалы бывают твердые и жидкие. Каждый материал имеет объем и обладает определенной массой.

а) Параметры состояния

Масса – совокупность материальных частиц (молекул, атомов, ионов), содержащихся в данном теле или веществе.

Масса тела занимает часть пространства, то есть имеет определенный объем; она постоянна для данного вещества и не зависит от ускорения свободного падения, от скорости его движения и положения в пространстве. Различные тела одинакового объема имеют неодинаковую массу, то есть обладают разной плотностью.

Важнейшими параметрами физического состояния материала являются плотность и пористость, а для дисперсных, например, порошкообразных материалов – удельная поверхность. Удельная поверхность – поверхность, отнесенная к единице объема или массы материала. Плотность характеризуется отношением массы материала к его объему, длине, площади.

Плотность. Истинная плотность (ρ) – масса единицы объема однородного материала в абсолютно плотном состоянии, то есть без учета пор и пустот.

$$\rho = \frac{m}{V_a}; \quad (1.8.)$$

где; ρ – истинная плотность (в кг/м³);

m – масса материала (в кг);

V_a – объем материала в абсолютно плотном состоянии (в м³).

Истинная плотность любого вещества – постоянная физическая характеристика, которая не может быть изменена без изменения его химического состава или молекулярной структуры. Плотностью, близкой к теоретической обладают металлы, стекло, полимеры.

Относительная плотность d выражает отношение плотности материала к плотности стандартного вещества ρ_0 при определенных физических условиях (безразмерная величина).

$$d = \frac{\rho(T_1; p_1)}{\rho_0(T_0; p_0)}; \quad (1.9.)$$

где: d – относительная плотность -безразмерная величина;

ρ - плотность материала, кг/м³;

ρ_0 –плотность стандартного вещества, кг/м³.

В качестве стандартного вещества обычно принимают воду при температуре 4⁰С (точнее при температуре 3.98⁰С), имеющую плотность 1000кг/м³.

Средняя плотность ρ_m – масса единицы объема материала в естественном состоянии, то есть с порами и пустотами.

$$\rho_m = \frac{m}{V}; \quad (1.10.)$$

где: ρ_m – средняя плотность, кг/м³;

m – масса абсолютно сухого вещества, кг;

V – объем вещества в естественном состоянии, м³.

Средняя плотность – важная физическая характеристика материала, меняющаяся в зависимости от его структуры и влажности. **Средняя плотность** оказывает существенное влияние на механическую прочность, водопоглощение, теплопроводность и другие свойства материалов. У плотных материалов истинная и средняя плотности имеют одинаковое значение. Другие материалы имеют среднюю плотность меньше истинной. Плотность строительных материалов колеблется в очень широких пределах: от 15 (пористая пластмасса) до 7850 кг/м³ (сталь).

Насыпная плотность ρ_n – масса единицы объема рыхлого сыпучего материала с порами и пустотами. Ее определяют для сыпучих и рыхлых материалов.

$$\rho_n = \frac{m}{V}; \quad (1.11.)$$

где: ρ_n – насыпная плотность, кг/м³;

m - масса рыхлого сыпучего материала, кг;

V - объем рыхлого сыпучего материала, м³.

В большинстве своем материалы содержат поры – малые ячейки, заполненные воздухом или водой. **Пористость** – степень заполнения объема материала порами.

$$\Pi = \frac{\rho - \rho_m}{\rho} 100; \quad (1.12.)$$

где: Π – пористость материала. %;

ρ и ρ_m - соответственно истинная и средняя плотность материала, кг/м³.

Пористость строительных материалов выражают в долях объема материала, принимаемого за единицу, или в % от объема. Пористость строительных материалов колеблется в широких пределах: от 0 (сталь, стекло) до 98% (мипора).

Различают открытую и закрытую пористость.

Открытая пористость Π_0 равна отношению суммарного объема всех пор, насыщающихся водой, к объему материала V_e .

$$\Pi_0 = \frac{m_2 - m_1}{V_e} * \frac{1}{\rho_{H_2O}}; \quad (1.13.)$$

где: Π_0 – открытая пористость, в %;

m_1 и m_2 – масса материала соответственно в сухом и насыщенном водой состоянии.

Открытые поры увеличивают проницаемость и водопоглощение материала и ухудшают его морозостойкость.

Закрытая пористость Π_z равна:

$$\Pi_z = \Pi - \Pi_0 \quad (1.14.)$$

Изменяя соотношение объемов открытых и закрытых пор, их размеров, в технологии материалов достигают получения материалов с заданными свойствами. Например, при уменьшении пористости достигается повышение морозостойкости и прочности материалов.

От пористости материалов зависят их средняя плотность, прочность, водонасыщение, теплопроводность, морозостойкость, звукопоглощение и другие свойства.

Сыпучие и рыхлые материалы кроме пор, имеют пустоты – воздушные полости между отдельными частицами материала.

Пустотность (в %) – отношение суммарного объема пустот в рыхлом материале ко всему объему, занимаемому этим материалом.

$$\Pi_{пуст} = (1 - \frac{\rho_m}{\rho_n}) 100; \quad (1.15.)$$

ρ_m и ρ_n – соответственно средняя и насыпная плотность материала.

Коэффициент плотности $K_{пл}$. – степень заполнения объема материала твердым веществом.

$$K_{пл} = \frac{\rho_m}{\rho}; \quad (1.16.)$$

В сумме $K_{пл} + \Pi = 1$ (или 100%), то есть сухой материал состоит из твердого каркаса и воздушных пор.

В современных поромерах измерение пористости автоматизировано и результат выдается в готовом виде в численной и графической формах.

Удельная поверхность материалов – суммарная поверхность зерен материала, приходящаяся на единицу массы. Удельная поверхность зависит от размера зерен (с уменьшением зерен возрастает), характера поверхности зерен, гранулометрического состава материала.

При транспортировании, хранении и в конструкциях материалы могут подвергаться действию воды. Влажные материалы менее прочны, более тяжелы и теплопроводны, чем сухие.

б) Гидрофические свойства

Гидрофические свойства – свойства материалов, связанные с воздействием на материал воды.

Гигроскопичность – свойство капиллярно-пористого материала поглощать водяной пар из воздуха. Поглощение влаги из воздуха обусловлено полимолекулярной адсорбцией (поглощением вещества из раствора или газа поверхностным слоем твердого вещества или жидкости) водяного пара на внутренней поверхности пор и капиллярной конденсации. Сам физико-химический процесс поглощения влаги из воздуха таким образом называют сорбцией.

Сорбционная влажность характеризуется способностью материала поглощать пары воды из окружающего воздуха. В количественном отношении сорбционная влажность равна влажности материала (по массе или объему) после окончания поглощения им водяного пара. Сорбционная влажность тем выше, чем выше давление водяного пара.

Степень **поглощения** зависит от температуры и относительной влажности воздуха. С увеличением относительной влажности и снижением температуры воздуха гигроскопичность повышается.

Гигроскопичность характеризуется отношением массы поглощенной материалом влаги при относительной влажности воздуха 100% и температуре +20⁰С к массе сухого материала.

Гигроскопичность отрицательно сказывается на качестве строительных материалов. Например, цемент при хранении комкуется и теряет свою прочность, древесина разбухает, коробится, трескается.

С целью уменьшения гигроскопичности деревянные конструкции покрывают лакокрасочными материалами, пропитывают полимерами, а ограждающие конструкции - гидроизоляционной пленкой.

Капиллярное всасывание – свойство капиллярно-пористых материалов поднимать влагу по капиллярам. Капиллярное всасывание характеризуется высотой поднятия уровня воды в капиллярах материала, количеством поглощенной воды и интенсивностью всасывания.

Высоту "**h**" поднятия уровня воды в капилляре определяют по формуле Жюрена:

$$h = 2\sigma\theta(r\rho g); \quad (1.17)$$

где: σ – поверхностное натяжение;

θ – краевой угол смачивания;

r – радиус капилляра;

ρ – плотность жидкости;

g – ускорение свободного падения.

В производстве высоту всасывания воды определяют по методу "меченых атомов" либо по изменению электропроводности материала.

Объем воды, поглощенный материалом путем капиллярного всасывания за время " t ", в начальной стадии подчиняется параболическому закону:

$$V = \sqrt{Kt} \quad (1.18.)$$

где: K – константа (или интенсивность) всасывания. С уменьшением интенсивности всасывания происходит улучшение структуры материала и повышение его морозостойкости.

Водопоглощение – свойство материала при непосредственном соприкосновении с водой впитывать и удерживать ее в своих порах.

Различают водопоглощение по объему (W_0) и водопоглощение по массе (W_m).

В количественном отношении:

$$W_0 = \frac{m_u - m_c}{V} 100; \quad (1.19)$$

где: W_0 – водопоглощение по объему, в %;
 m_u и m_c – масса образца материала соответственно в насыщенном и сухом состояниях, кг;
 V – объем материала в сухом состоянии, кг.

$$W_m = \frac{m_u - m_c}{m_c} 100; \quad (1.20.)$$

где: W_m – водопоглощение по массе, в кг.

Разделив (1.12) на (1.13), получим:

$$W_0 = W_m \rho_m; \quad (1.21)$$

Водопоглощение различных материалов колеблется в широких пределах (5 по массе): гранита 0.02-1; плотного тяжелого бетона 2-5, керамического кирпича 8-25, теплоизоляционных материалов 100 и более.

Водопоглощение по массе у высокопористых материалов может быть больше пористости, но водопоглощение по объему всегда меньше пористости, так как вода не проникает в очень мелкие поры, а в очень крупных порах не удерживается. Водопоглощение плотных материалов (сталь, стекло, битума) равно нулю. Водопоглощение отрицательно сказывается на качестве материалов: понижает прочность и морозостойкость.

Влажность – отношение массы воды, находящейся в данный момент в материале, к массе (реже объему) материала в сухом состоянии. Вычисляется

по тем же формулам, что и водопоглощение. Единственное отличие, массу материала берут в естественно-влажном, а не в насыщенном водой состоянии.

При транспортировании, хранении и применении материалов важную роль играет влажность. Поэтому строительные материалы предохраняют от увлажнения. Влажность меняется от 0% для абсолютно сухих материалов до значения полного водопоглощения. Влажность зависит от пористости, гигроскопичности и других свойств материала, а также от окружающей среды: относительной влажности и температуры воздуха, контакта материала с водой и т.д. Для многих строительных материалов влажность нормирована. Например, влажность молотого мела – 2 %, комового – 12%, стеновых материалов – 5-7, воздушно-сухой древесины – 12-18%.

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

$$K_p = R_v/R_c \quad (1.22)$$

где: R_v – предел прочности при сжатии материала, насыщенного водой, МПа;

R_c - предел прочности при сжатии материала в сухом состоянии, МПа.

Коэффициент размягчения материала меняется от 0 (для глины) до 1 (стекло, металлы). Материалы, у которых K_p больше 0.75, называют водостойкими.

Влагоотдача – свойство материала терять находящуюся в его порах воду. Влагоотдача характеризуется количеством воды (в 5), испарившейся из образца в течение 1 суток при температуре 20⁰С и относительной влажности воздуха 60%. Влагоотдача имеет важное значение при уходе за твердеющим бетоном (замедленная влагоотдача), при сушке оштукатуренных известковым раствором стен и перегородок (быстрая влагоотдача).

Водопроницаемость - свойство материала пропускать через себя воду под давлением. Водопроницаемость характеризуется коэффициентом фильтрации:

$$K_\phi = \frac{V_\phi a}{S(p_1 - p_2)t}; \quad (1.23.)$$

где: K_ϕ – коэффициент фильтрации, м/час

V_ϕ - количество воды, м³, проходящей через стенку площадью $S = 1 \text{ м}^2$;

$a = 1$ м толщина стенки;

$t = 1$ час;

$p_1 - p_2 = 9.81$ Па – разность гидростатического давления на границах стенки.

Чем ниже коэффициент фильтрации, тем выше марка материала по водопроницаемости.

Для гидроизоляционных материалов важна **водонепроницаемость**, которая характеризуется временем, по истечении которого под определенным давлением через образец материала (мастика, гидроизол), появляется

просачивание воды. Также она характеризуется максимальным давлением воды, при котором она еще не проходит через образец материала за время испытания (специальные строительные растворы).

Воздухо-, газо- и паропроницаемость – свойства материала пропускать через свою толщину соответственно воздух, газ и пар. Воздухо- и газопроницаемость характеризуются коэффициентами воздухо- и газопроницаемости, которые равны количеству воздуха (газа) – м³, проходящего через 1 м² материала толщиной в 1 м в течение 1 часа при разности давления на поверхность в 9.81 Па.

Паропроницаемость характеризуется коэффициентом паропроницаемости, который равен количеству водяного пара (в Г), проникающего через 1 м² материала толщиной 1 м при разности давлений пара на поверхностях 133.3 Па.

Морозостойкость – 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 количественном отношении морозостойкость материала оценивается маркой по морозостойкости (Мрз). За марку по морозостойкости принимают наибольшее число циклов попеременного замораживания и оттаивания, которые выдерживают образцы материала без снижения прочности на сжатие более 15%; после испытаний образцы не должны иметь видимых повреждений (трещин, выкрашивания), то есть потеря массы должна быть не более 5%.

По морозостойкости, то есть по числу выдерживаемых циклов замораживания и оттаивания, материалы подразделяют на марки (Мрз 10, 15, 25, 35, 50, 100, 150, 300, 400 и 500. Например, легкие бетоны, кирпич, керамические камни для наружных стен имеют Мрз 15, 25, 35. Бетон, применяемый для строительства мостов и дорог должен иметь Мрз 50, 100, 200, а гидротехнические бетоны – до 500.

Для оценки морозостойкости материала применяют физические методы контроля и прежде всего импульсный ультразвуковой метод. С его помощью можно проследить изменение прочности или модуля упругости бетона в процессе циклического замораживания и определить марку бетона по морозостойкости.

Критерием морозостойкости является коэффициент морозостойкости:

$$K_{\text{мрз}} = R_{\text{мрз}}/R_{\text{нас}} \quad (1.24)$$

где: $R_{\text{мрз}}$ – предел прочности при сжатии материала после испытания;
 $R_{\text{нас}}$ – предел прочности сжатии водонасыщенных образцов, не подвергнутых испытанию в эквивалентном возрасте.

Для морозостойких материалов $K_{\text{мрз}} \geq 0.75$.

в) Теплофизические свойства

Теплофизические свойства – свойства материалов, связанные с изменением температуры. К ним относятся: теплоемкость, теплопроводность, тепловое расширение, огнестойкость, огнеупорность.

Теплоемкость – свойство материала поглощать при нагревании и отдавать при охлаждении определенное количество теплоты. Теплоемкость (кДж/кг⁰С) определяется количеством теплоты, которое необходимо сообщить 1 кг данного материала, чтобы повысить его температуру на 1⁰С. Вода имеет наибольшую теплоемкость – 4.19 кДж/кг⁰С, поэтому с повышением влажности их теплоемкость возрастает. Теплоемкость у органических материалов обычно выше, чем у неорганических материалов.

Теплопроводность – свойство материала передавать теплоту одной поверхности другой. Теплопроводность материала зависит от его строения, химического состава, пористости и характера пор, от влажности и температуры, при которой проходит передача теплоты. **Теплопроводность** (λ), в Вт/м⁰С материала (Вт/м⁰С) характеризуется количеством теплоты, проходящей через 1 м² поверхности при толщине материала 1 м и разности температур на противоположных поверхностях 1⁰С в течение 1 час.

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 1⁰С. Например, для стали ТКЛР – (11-11.9)10⁻⁶, бетона – (10-14)10⁻⁶, древесины – (3-5)10⁻⁶. В конструкциях, объединяющих несколько материалов, необходимо учитывать ТКЛР каждого. Например, в железобетоне хорошо сочетаются сталь и бетон. В результате значительного различия ТКЛР в композиционных материалах возникают напряжения, которые могут привести не только к появлению микротрещин и коробления, но и к разрушению материалов.

Огнестойкость – свойство материала выдерживать без разрушения воздействие высоких температур, пламени и воды в условиях пожара. По огнестойкости строительные материалы бывают:

- негорючие материалы – под действием огня или высокой температуры не горят и не обугливаются (кирпич, бетон и др.).
- трудногорючие материалы – под действием огня или высокой температуры медленно воспламеняются, но после удаления источника огня их горение и тление прекращаются (асфальтобетон, фибролит, пропитанная антипиренами древесина).
- горючие материалы – под действием огня или высокой температуры горят и продолжают гореть после удаления источника огня (древесина, обои, битум, полимеры, бумага и пр.).

Для повышения огнестойкости применяют огнезащитные составы (антипирены) или огнезащитные покрытия, в том числе силикатные краски.

Огнеупорность – свойство материала выдерживать длительное воздействие высокой температуры (от 1580⁰С и выше), не деформируясь и размягчаясь. Тугоплавкие материалы выдерживают без расплавления температуру 1350-1580⁰С, а легкоплавкие материалы – до 1350⁰С. Применение – внутренняя футеровка промышленных печей.

г) Акустические свойства

Звукопроводность – свойство материала проводить через свою толщину звук, зависит от строения и массы материала.

Звукопоглощение – свойство материала поглощать и отражать падающий на него звук. Оно зависит от пористости материала, его толщины, состояния поверхности, а также частоты звукового тона, измеряемого количеством колебаний в секунду. Характеризуется отношением энергии, поглощенной материалом, к общему количеству падающей энергии в единицу времени.

д) Электропроводность и радиационная стойкость

Электропроводность – свойство материала проводить электрический ток. Электропроводными являются металлы, материалы во влажном состоянии – бетон, цементный камень, строительный раствор, древесина.

Радиационная стойкость – свойство материала сохранять свою структуру и физико-механические характеристики после воздействия ионизирующих излучений. Радиационная стойкость характеризуется "**толщиной слоя половинного ослабления**" $T_{1/2}$, равной толщине слоя защитного материала, необходимой для ослабления интенсивности излучения в два раза. Толщина слоя половинного ослабления:

$$T_{1/2} = 0.693\lambda \quad (1.25)$$

где: λ – длина релаксации, см, численно равная толщине слоя данного материала, ослабляющего поток излучения в "e" раз (то есть в **2,718 раза**).

e – основание натурального логарифма.

Для защиты от радиоактивных излучений применяют особо тяжелые бетоны ($\rho_m = 3000 - 5000 \text{ кг/м}^3$) и гидратные бетоны, имеющие повышенное содержание химически связанной воды, создающей хорошую защиту от нейтронного потока.

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.

К важнейшим химическим свойствам строительных материалов относятся коррозионная стойкость, атмосферостойкость, растворимость, твердение, адгезия (прилипаемость).

Коррозионная стойкость – свойство материала не разрушаться в агрессивных средах (щелочная, кислая среда, морская и проточная вода).

Например, растворенные соли в морской воде разрушительно действуют на цементобетонные сооружения. Щелочная среда разрушает битумы. Карбонатные материалы нестойки к действию кислой среды.

Атмосферостойкость – свойство материала не разрушаться под влиянием климатических факторов (температуры воздуха, осадков, солнечной радиации, различных газов, микроорганизмов ит.д.). К атмосферостойкости относят способность древесины сопротивляться гниению, стойкость битумных и дегтевых вяжущих к старению.

Растворимость – свойство материала образовывать растворы при взаимодействии с водой.

Твердение - свойство материала переходить из пластического состояния в твердое. В зависимости от условий твердения и состава исходных материалов образующиеся материалы будут обладать разной прочностью и стойкостью к агрессивной среде.

Адгезия (прилипаемость) – свойство одного материала прилипать к поверхности другого материала, или возникновение связи между поверхностными слоями двух разнородных (твердых или жидких) тел (фаз), приведенных в соприкосновение. Адгезия играет важную роль при приготовлении асфальтобетонных смесей. Чем выше адгезия, тем выше прочность конструкции в целом.

Цементирующая способность – свойство каменного материала в раздробленном и увлажненном состояниях отвердевать и приобретать при высыхании некоторую связность (цементироваться).

Физико-химические свойства

Дисперсность – тонкость помола – характеристика размеров твердых частиц и капель жидкости. Для дисперсных материалов важным параметром состояния является удельная поверхность стройматериалов. Удельная поверхность материалов – поверхность, отнесенная к единице массы ($\text{м}^2/\text{кг}$). С увеличением удельной поверхности материалов возрастают их внутренняя энергия и химическая активность.

Гидрофильность (любовь к воде) – свойство материала хорошо смачиваться водой. Она характерна для неорганических материалов, имеющих полярное строение молекул. Например, бетон, строительный раствор, камни, керамика, древесина, металлы.

Гидрофобность (боязнь воды) – свойство материала не смачиваться водой. Вода на поверхности гидрофобных материалов не растекается, а собирается в виде капель. Она характерна для органических материалов, имеющих неполярное строение молекул. Например, битумы, полимеры, масла, парафин, кремнийорганические вещества.

1.3. Технологические и эксплуатационные свойства.

Технологические свойства характеризуют поведение материала при его производстве и применении (например, дробимость скальных горных пород, уплотняемость, слеживаемость, нерасслаиваемость асфальто- и цементобетонных смесей, вязкость жидкообразных материалов и смесей).

Дробимость — способность природных и искусственных каменных материалов при ударе делиться на части различных размеров и формы. Дробимость оценивают при пробном дроблении в камнедробилках различного типа с различным режимом дробления. При этом испытании определяют энергоемкость процесса дробления, качество получаемого щебня и количество отходов (смятого материала). Дробимость каменных материалов считается хорошей, ли при дроблении на дробилке данного типа выход щебня кубовидной и тетраэдрной форм составляет не менее 75%. Желательно, чтобы при дроблении было минимальное количество зерен лещадной и пальцеобразной форм.

Вязкость — способность жидких или жидкообразных смесей оказывать сопротивление перемещению одних слоев по другим под действием внешней силы. За единицу измерения вязкости принят паскаль-секунда (Па·с). Если напряжение сдвига в 1 Па вызовет в испытуемом материале градиент скорости в $1 \frac{см/с}{см} = 1с^{-1}$, вязкость составит 1 Па·с. Так, например, приготовление асфальтобетонной смеси необходимо вести при температуре, когда вязкость битума не превышает 0,5 Па·с.

При производстве асфальто- и цементобетонных смесей в процессе перемешивания исходных материалов вязкость вяжущих должна быть минимальной для полного обволакивания каменного материала вяжущим. В асфальтобетонных смесях это достигается повышением температуры, в цементобетонных увеличением содержания воды и добавлением пластификаторов. При транспортировании смеси необходимо, чтобы вязкость имела наибольшее значение, тогда в кузове автомобиля смесь не будет расслаиваться. Более вязкие смеси требуют и большей затраты энергии при укладке и уплотнении. Вязкость битума, смолы, клея повышается с понижением температуры.

Уплотняемость — способность асфальто- или цементобетонной смеси приобретать заданную плотность при наименьших энергетических затратах. Уплотняемость смесей в конечном счете определяет плотность монолитных материалов (цементо- или асфальтобетонные покрытия) и влияет на их прочность, водонепроницаемость, стойкость к агрессивным воздействиям внешней среды.

Нерасслаиваемость — способность смеси, состоящей из минеральных зерен различной крупности и вяжущего, сохранять однородность при транспортировании и укладке.

Эксплуатационные свойства характеризуют работу материала в элементах дорожной конструкции (главным образом в покрытии) на протяжении определенного отрезка времени. К этим свойствам относят сопротивление скольжению колес автомобиля по покрытию, сопротивление истираемости, выносливость, светотехнические и против гололедные свойства, степень шума при движении транспортных средств, атмосферостойкость.

Выносливость свойство материала сопротивляться многократному приложению механических воздействий. Показателем выносливости является количество нагружений, которые выдержит материал до разрушения.

Долговечность – свойство изделия сохранять работоспособность до предельного состояния с необходимыми перерывами на ремонт. Предельное состояние определяется степенью разрушения изделия, требованиями безопасности или экономическими соображениями. Долговечность измеряют сроком службы без потери эксплуатационных качеств в конкретных климатических условиях и в режиме эксплуатации.

Светотехнические свойства характеризуют светоотражательную (рефлекторную) способность материала дорожного покрытия. Эти свойства зависят от текстуры поверхности и степени светлости материала. Гладкая поверхность обладает меньшей светоотражательной способностью, чем шероховатая. Светлые материалы покрытия обеспечивают лучшее отражение света фар автомобилей, чем темные.

Противогололедные свойства зависят от текстуры поверхности, степени гидрофобности покрытия и наличия на нем антигололедных реагентов. Адгезия льда к покрытию возрастает с увеличением шероховатости. С увеличением гидрофобности материала адгезия льда к покрытию уменьшается. Антигололедные реагенты снижают адгезию льда к покрытию. Противогололедные свойства определяют по величине силы отрыва льда от поверхности — керна, взятого из покрытия.

Материалы, обладающие высокими эксплуатационными свойствами, обеспечивают наибольшую безопасность движения транспортных средств на автомобильных дорогах, повышенную надежность дорожных сооружений и сокращение транспортных расходов.

Показателем **сопротивления скольжению** является *коэффициент сцепления φ* , который определяют как отношение горизонтальной силы ***H***, необходимой для перемещения колеса по материалу, к вертикальной нагрузке ***P***:

$$\varphi = H/P$$

Минимально допустимое значение коэффициента сцепления, ё точки зрения безопасности движения автомобилей, составляет 0,4.

Сопротивление истираемости характеризует стойкость материала к воздействию движущихся транспортных средств. При трении материал постепенно изменяет размеры по толщине (истирается). Испытание на истирание материала производят на специальных кругах. За показатель

истирания принимают отношение потери массы материала к площади поперечного сечения образца.

В целом эксплуатационные свойства характеризуют **долговечность дорожной конструкции**, т. е. способность сохранять работоспособность до наступления предельного состояния. Показателем долговечности может служить, например, срок службы дорожной конструкции до капитального ремонта без потери основных эксплуатационных качеств.

Раздел 2. Каменные материалы.

2.1. Природные каменные материалы

Природными каменными материалами называют материалы, получаемые из горных пород без обработки или путем только механической обработки с целью придания им необходимых размеров, формы и внешнего вида. Природные каменные материалы получили широкое применение в строительстве в естественном виде (бутовый камень для фундаментов, плиты для облицовки, стеновые камни из туфов и ракушечника, природный шифер) и как сырье для изготовления различных строительных материалов (извести, гипса, цемента и пр.).

Природные каменные материалы изготавливают из скальных и обломочных горных пород. **Скальные горные породы** обладают достаточно высокой прочностью и залегают в земной коре в виде массивов или трещиноватых слоев. **Обломочные горные породы** — рыхлые (сыпучие), состоят из обломков скальных горных пород и залегают в виде скоплений.

Скальные, горные породы в естественном состоянии обладают рядом благоприятных физико-механических и технологических свойств. Стоимость каменных материалов относительно невысокая, вследствие чего их широко применяют для устройства конструктивных слоев дорожных одежд, дренажных и укрепительных устройств.

К природным обломочным горным породам относят валунный камень, гравий и песок, которые в природном виде могут быть использованы в строительстве. В необходимых случаях валунный камень и галечно-гравийный материал подвергают расколу, дроблению и последующему грохочению.

Природные каменные материалы, являясь продуктом механической переработки горных пород, отличаются от последних формой и размерами, а также состоянием поверхности раскола отдельностей. Поэтому их свойства зависят от состава исходной горной породы и ее состояния (трещиноватости, степени выветрелости и др.).

В зависимости от назначения и условий, в которых будет работать материал, применяют дробленые материалы (щебень, высевки), колотые (бутовый камень, шашку для мощения), пиленные (блоки, плиты), штучные разной степени обработки (брусчатку, шашку для мозаичной мостовой, бортовые и облицовочные камни, блоки).

Горные породы — основное сырье для производства керамики, минеральных вяжущих (гипса, извести, цементов), искусственных каменных материалов, стекла, бетонов и т. д.

2.2. Каменные материалы, применяемые в естественном виде.

Гравий — осадочная обломочная рыхлая горная порода, образовавшаяся в результате естественного разрушения горных пород и состоящая из

различных по крупности обломков этих пород и минералов с различной степенью окатанности.

Гравий - материал, получаемый после отсева из природных гравийно-песчаных смесей частиц мельче 5 и крупнее 70мм. Гравий разделяют по крупности аналогично щебню. Применяется также рядовой гравий крупностью от 5 до 40 или от 5 до 70мм. Прочность гравия характеризуют его маркой, определяемой по дробимости при сжатии (раздавливании) в цилиндре (табл. 2.1). Марки гравия по истираемости в полочном барабане устанавливают в соответствии с табл. 2.1 (ГОСТ 8267—93).

Таблица 2.1

Марка гравия по дробимости	Потеря в массе, %	Марка гравия по истираемости	Потеря в массе, %
Др. 8	До 8	И - I	До 20
Др.12	Свыше 8 до 12	И - II	Свыше 20 до 30
Др.16	» 12 » 16	И - III	» 30 » 40
Др.24	» 16 » 24	И - IV	» 40 » 50

Содержание зерен слабых пород, а также пылевидных и глинистых частиц должно быть таким, как и в щебне. По морозостойкости гравий подразделяют на те же марки, что и щебень.

Область применения гравия и щебня практически одинакова, однако вследствие окатанности зерен гравия прочность конструктивных слоев получается ниже, чем с использованием щебня. Гравий применяют для строительства покрытий переходного типа, оснований, дренажных водоотводных сооружений, как крупный заполнитель в цементно- и асфальтобетоне.

Пески – осадочная обломочная рыхлая горная порода (песчаный грунт) с преобладающим содержанием песчаных зерен размером до 5мм, применяемая в качестве материала для строительных работ и как песчаный грунт для возведения земляного полотна или в качестве дренирующего материала. Различают пески: *гравелистый* с содержанием зерен крупнее 2мм в количестве более 25%, но менее 50%; *крупный* с содержанием зерен крупнее 0,5мм в количестве более 50%; *средней крупности* с содержанием зерен крупнее 0,1мм более 75%; *пылеватый* с содержанием зерен крупнее 0,1мм в количестве менее 75%, а крупнее 0,05мм – более 75%.

Качество песка для строительных работ оценивают зерновым и минералогическим составом, содержанием пылевидных, глинистых, илистых частиц и органических примесей, плотностью и пустотностью. В отдельных случаях возникает необходимость в определении дополнительных свойств: износо- и морзостойкости, фильтрационной и потенциально реакционной способности и др.

Песок в соответствии с ГОСТ 8736—93 подразделяют на три вида:

природный, обогащенный и фракционированный дробленый, дробленый обогащенный и дробленый фракционированный дробленый из отсеков.

Зерновой состав песка является основным классификационным признаком по которому определяют его пригодность для строительных целей. Зерновой состав определяют путем отсева на ситах размерами: 5; 2,5; 1,25; 0,63; 0,315 и 0,14 мм.

2.2.1. Классификация горных пород.

По происхождению (генезису) горные породы делят на три группы: магматические (изверженные), осадочные и метаморфические (видоизмененные).

Магматические горные породы подразделяют на глубинные и излившиеся. Они образовались в результате застывания магмы как в слоях земной коры, так и на ее поверхности. Поднимаясь по трещинам в земной коре, магма вследствие снижения температуры и давления постепенно застывала на глубине или значительно быстрее на поверхности, образуя магматические глубинные и излившиеся горные породы.

Осадочные горные породы подразделяют на обломочные, химические и биохимические. Обломочные горные породы представляют собой накопления рыхлых продуктов разрушения прежде существовавших горных пород под воздействием таких геологических факторов, как выветривание, деятельность водных потоков и морей, ледников. Они могут быть в виде рыхлого скопления обломков разной величины и формы (валуны, галька, гравий, пески др.), а в последующем уплотнены и сцементированы природными веществами, например глинистыми, железистыми соединениями, углекислыми солями, в результате чего образуются песчаники, конгломераты и др.

Биохимические осадочные породы являются продуктом отложения остатков различных отмерших организмов последующим уплотнением и цементацией (известняк, мергель, мел, опока и др.).

Химические осадочные породы образовались путем выделения минеральных веществ из водных растворов с последующим их уплотнением и цементацией (некоторые известняки, доломиты, гипс).

Метаморфические горные породы образовались в результате изменения (метаморфизма) магматических (гнейсы) или осадочных (мраморы, кварциты) горных пород под влиянием высокой температуры и давления, а иногда и химических воздействий. Метаморфизация магматических пород ухудшает их строительно-технические свойства, а осадочных пород, наоборот, улучшает.

Основными свойствами природных каменных материалов являются прочность, морозостойкость, истинная, средняя и насыпная плотности, водопоглощение и водонасыщение, зерновой состав и форма зерен,

дополнительными сцепление с битумом, содержание загрязняющих и химически вредных примесей и др.

Отбирают пробу песка массой 2 кг, высушивают и просеивают сквозь сита с отверстиями 5 и 10мм для определения засоренности песка гравием или щебнем:

$$\Gamma p_{10} = \frac{m_{10}}{m} 100; \Gamma p_5 = \frac{m_5}{m} 100 \quad (2.1)$$

где

m_{10} — частный остаток на сите № 10, г;

m_5 — частный остаток на сите № 5, г;

m — масса пробы, г.

Из пробы, прошедшей сквозь сито № 5, отвешивают 1 кг и просеивают сквозь набор сит № 2,5; 1,25; 0,63; 0,315 и 0,14. Если песок содержит глинистые частицы, навеску предварительно промывают с отмучиванием полученной суспензии. Содержание отмучиваемых частиц суммируют с проходящими через сито № 0,14. По результатам просеивания вычисляют частный остаток на каждом сите:

$$a_i = \frac{m_i}{m} 100, \quad (2.2)$$

где

m_i — масса остатка на данном сите, г;

m — масса всей навески, г.

Затем вычисляют полный остаток на каждом сите:

$$A_i = a_{2.5} + a_{1.25} + \dots + a_i, \quad (2.3)$$

где

$a_{2.5} + a_{1.25}$ — сумма частных остатков на всех предыдущих ситах (меньше сита № 5);

a_i — частный остаток на данном сите, %.

Зерновой состав песка характеризуют модулем крупности:

$$M_k = \frac{A_{2.5} + A_{1.25} + A_{0.63} + A_{0.315} + A_{0.14}}{100} \quad (2.4)$$

где

$A_{2.5}$ и др. — полные остатки на ситах, %.

По модулю крупности и полному остатку на сите № 0,63 пески подразделяют на четыре группы (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Группа песка	Модуль крупности	Полный остаток на сите № 0,63, % по массе
Крупный	Свыше 2,5	Свыше 45
Средний	» 2,0 до 2,5	» 30 до 45
Мелкий	» 1,5 » 2,0	» 10 » 30
Очень мелкий	» 1,0 » 1,5	До 10

Для устройства дорожных одежд и в качестве заполнителей для цементобетонов используют крупный, средний и мелкий пески. Если пески не удовлетворяют по зерновому составу указанным требованиям, то применяют обогащенные или фракционированные пески. В качестве укрупняющей добавки к мелким пескам используют крупную фракцию дробленых песков, дробленых песков из отсевов или природного песка.

Содержание зерен, проходящих через сито № 014 в природных и дробленых песках, не должно превышать 0,5%. Наличие зерен крупнее 5мм не должно превышать в песках: природном и дробленном 10% по массе; дробленном из отсевов 15%; обогащенном, дробленном обогащенном и дробленном обогащенном из отсевов 5%; в крупной фракции фракционированного и дробленного фракционированного песков 10% по массе.

Вторым показателем качества песка является содержание в нем пылевидных, глинистых и илистых частиц, определяемых отмучиванием (табл. 2.3).

Таблица 2.3

Песок	Содержание пылевидных, глинистых и илистых частиц, определяемых отмучиванием, % по массе, не более	В том числе содержание глины в комках, % по массе, не более
Природный	3,0	0,50
Обогащенный	2,0	0,25
Фракционированный:		
крупная фракция	0,5	0,10
мелкая »	1,5	0,20
Дробленный	4,0	0,35
Дробленный обогащенный	2,5	0,25
Дробленный фракционированный:		
крупная фракция	1,0	0,10
мелкая »	2,0	0,20
мелкая »	5,0	0,50
Дробленный из отсевов	3,0	0,35
Дробленный обогащенный из отсевов		

Высушенный и просеянный через сито № 5 песок в количестве 1 кг помещают в сосуд, заливают водой так, чтобы ее уровень над песком был 200 мм, перемешивают и выдерживают 2ч. Затем вновь энергично перемешивают и оставляют в покое на 120с, после чего сливают полученную суспензию, оставляя слой ее над песком высотой не менее 30мм. Вместе с водой уходят частицы мельче 0,05мм. Эти операции продолжают до тех пор, пока вода после промывки не будет прозрачной. По окончании отмучивания навеску песка высушивают до постоянной массы и определяют количество пылевидных, глинистых и илистых частиц:

$$P_{\text{отм}} = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100 \quad (2.5)$$

где

- m — масса сухой навески песка до отмучивания, г;
 m_1 — масса высушенной навески песка после отмучивания, г.

При определении насыпной плотности песка необходимо учитывать взаимосвязь этой величины с влажностью (рис. 2.1). Небольшая влажность песка (до 4%) приводит к резкому снижению насыпной плотности. Разрыхление связано с раздвижкой пленкой воды зерен песка. Дальнейшее увеличение влажности песка (более 4%) приводит к росту насыпной плотности за счет заполнения межзерновых пустот водой. Это необходимо учитывать при приемке партии песка, дозировании при производстве цементобетона и др.

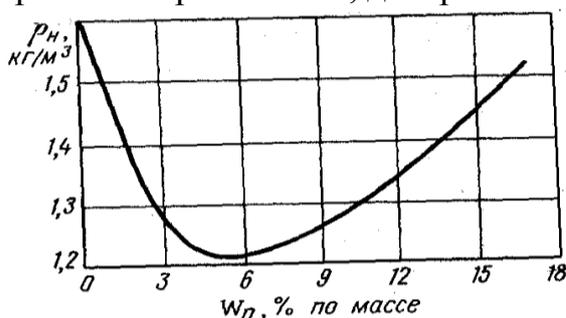


Рис. 2.1. Зависимость насыпной плотности ρ_n песка от влажности W

2.3. Каменные материалы, получаемые в результате механической переработки горных пород и др. материалов.

Щебень — продукт искусственного или естественного дробления скальных горных пород с крупностью зерен от 5 до 70мм. Различают щебень: очень крупный с зернами 70...120 (150)мм (в отдельных случаях применяют), крупный с зернами 70...40мм, средний — 40...20/25мм, мелкий — 20/15...10/15мм, очень мелкий 10/15...5мм. Зерновой состав каждой фракции должен удовлетворять требованиям ГОСТ 8267—93.

Диаметр отверстий контрольных сит, мм.....	d	0,5(d+D)	D	1,25D
Полные остатки на ситах, % по массе.....	от 90 до 100	от 30 до 80	до 10	до 0,5
Здесь d — наименьший и D — наибольший диаметры зерен.				

Из приведенных данных следует, что в данной фракции щебня, например 20—40 мм, поставляемой на строительство, количество зерен размером мельче 20 мм не должно превышать 10%, а зерен крупнее 1,25D (50 мм) — не более 0,5%.

Эти требования необходимы для строгого соблюдения зернового состава отдельных фракций.

В щебне *нормируют содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм*. К зернам пластинчатой и игловатой форм относят такие зерна, толщина или ширина которых менее длины в три раза и более. По форме зерен щебень подразделяют на три группы (содержание зерен пластинчатой и игловатой форм, % по массе):

кубовидная до 15, улучшенная от 15 до 25, обычная от 25 до 35.

Смесь зерен щебня кубовидной формы дает наиболее плотную упаковку. Наличие в щебне зерен пластинчатой и игловатой форм приводит к увеличению межзерновой пустотности в смеси. Кубовидные зерна обладают большей прочностью, чем зерна пластинчатой и игловатой форм.

Прочность щебня характеризуют пределом прочности исходной горной породы при сжатии, дробимостью щебня при сжатии (раздавливании) в цилиндре и износом в полочном барабане. Эти показатели имитируют сопротивление каменного материала при воздействии проходящих по дороге транспортных средств и механические воздействия в процессе строительства дорожных конструкций (укладка и уплотнение катками).

В настоящее время прочность при сжатии исходной горной породы при оценке качества щебня практически не определяют из-за трудоемкости изготовления образцов правильной геометрической формы. Но по показателю раздавливания в цилиндре устанавливают *марку прочности щебня*, которая соответствует пределу прочности при сжатии исходной горной породы (табл. 2.4). Определив дробимость щебня при сжатии в цилиндре по табл. 2.4, определяют марку щебня по прочности. Так как дробимость осадочных и метаморфических пород осадочного происхождения изменяется при насыщении их водой, испытания щебня предусмотрены в сухом и водонасыщенном состоянии. Магматические горные породы, имеющие кристаллическую структуру, при насыщении их водой практически не снижают прочность.

Таблица 2.4

Марка щебня по прочности	Потеря в массе, %, при определении дробимости щебня из пород			
	магматических		осадочных и метаморфических	
	интрузивных (глубинных)	эффузивных (излившихся)	в сухом состоянии	в водонасыщенном состоянии
1400	До 12	До 9	—	—
1200	Свыше 12 до 16	Свыше 9 до 11	До 11	До 11
1000	» 16 » 20	» 11 » 13	Свыше 11 до 13	Свыше 11 до 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

В зависимости от марки щебень делят на группы: очень прочный — 1200—1400, прочный — 1200—800, средней прочности — 800—600, слабый — 600—300, очень слабый — 200.

Марки щебня по износу определяют испытанием подготовленных проб в полочном барабане (см. Л.№1). По полученным данным оценивают количество щебня по ГОСТ 8267—93.

Марка щебня по износу	И - I	И - II	И - III	И - IV
Потеря в массе при испытании щебня, %	до 25	свыше 25 до 35	свыше 35 до 45	свыше 45 до 60

В щебне нормируют содержание зерен слабых пород с пределом прочности исходной породы при сжатии в водонасыщенном состоянии до 20 МПа. По ГОСТ 8267—93 щебень марок по прочности 1400, 1200, 1000 не должен содержать зерна слабых пород в количестве более 5%, щебень марок 800, 600, 400 — более 10%, щебень марок 300 и 200 — более 15% по массе.

В щебне нормируют содержание пылевидных и глинистых частиц (размером менее 0,05 мм). Кроме того, выделяют комки глины с крупностью частиц от 1,25 мм до наибольшего размера зерен щебня данной фракции при смеси фракций. Для всех видов и марок щебня по прочности содержание глины в комках в общем количестве пылевидных и глинистых частиц не должно превышать 0,25% по массе. В щебне из магматических и метаморфических пород содержание пылевидных и глинистых частиц по массе не должно превышать 1 %, в щебне из осадочных пород марок от 600 до 1200—2%, а марок от 200 до 400—3%.

Морозостойкость щебня характеризуют числом циклов замораживания и оттаивания (см. 2.2.1). Разрешается оценивать морозостойкость щебня по числу циклов насыщения в растворе сернокислого натрия и высушивания. По морозостойкости щебень подразделяют на марки (табл. 2.5).

Щебень может быть получен также при дроблении валунов и гравия. Он должен содержать дробленых зерен не менее 80% по массе. К дробленным относят зерна с околотой поверхностью более чем наполовину.

Из всех природных каменных материалов, используемых в дорожном строительстве, щебень является основным. Его используют самостоятельно для строительства щебеночных слоев в смеси с другими материалами, а также как компонент в асфальто- и цементобетонах.

Таблица 2.5

Вид испытания	Марки щебня по морозостойкости						
	Мрз 15	Мрз 25	Мрз 50	Мрз 100	Мрз 150	Мрз 200	Мрз 300
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

При ремонте и содержании автомобильных дорог щебень является основным компонентом защитных слоев и слоев износа, обеспечивающим должную шероховатость поверхности покрытия.

2.3.1. Добыча и переработка горных пород.

Скопления горных пород в земной коре называют **месторождениями**. Разрабатываемые месторождения горных пород называют **карьерами**. Для выяснения пригодности горной породы и экономической целесообразности разработки месторождения производят разведку. Задачи разведки: установить запасы и технические свойства горных пород, а также выяснить рентабельность разработки (толщину верхнего наносного слоя, способ транспортирования).

В зависимости от условий залегания разработка горных пород может вестись открытым способом в карьерах, реже подземным (разработка в подземных галереях ракушечных известняков) или подводным (рыхлые горные породы залегают сравнительно неглубоко от поверхности воды в реке или озере).

При разработке месторождения вначале удаляют верхний растительный наносный слой (вскрышу), а затем снимают верхние выветрившиеся слои горной породы. Работы в карьере обычно ведут уступами (рис. 2.2). Высота уступа колеблется в пределах 2—10 м. По условиям техники безопасности для рыхлых пород принимают меньшую высоту уступа, чем в скальных породах.

Массивные горные породы, как правило, магматические, разрабатывают с применением взрывчатых веществ. Взорванную горную породу обычно грузят экскаватором в транспортные средства и направляют на переработку.

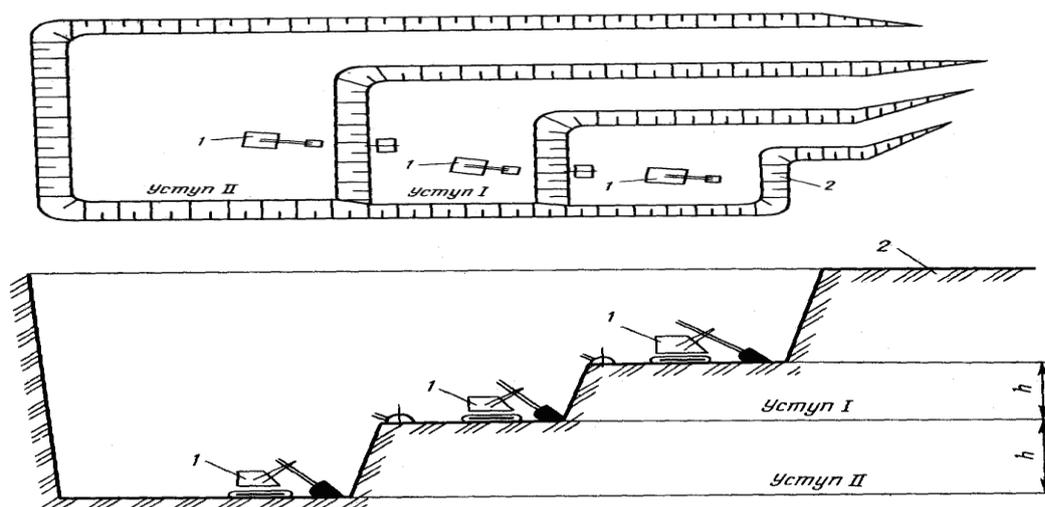


Рис. 2.2. Разработка карьера уступами:
1 — экскаваторы; 2 — вскрышная порода

Рыхлые горные породы (валуны, гравий, песок) добывают открытым способом, как правило, экскаваторами. В большинстве случаев запасы рыхлых горных пород в пределах одного месторождения невелики, поэтому их переработка ведется в передвижных установках.

Технологическая схема разработки рыхлых горных пород включает: вскрышные работы; разработку слоев, содержащих полезную породу; разработку пустых прослоек; транспортирование пород; сортировку гравийно-галечного материала по фракциям с отделением мелких песчаных и пылевато-глинистых фракций (<5 мм); отделение валунов и их дробление на щебень.

2.3.2. Приемка каменных материалов, хранение и транспортирование

Приемку заготовленного каменного материала производят на месте добычи (в карьере), на складах и на месте производства. Пригодность каменных материалов определяют непосредственно в карьере. Предприятие-изготовитель должно гарантировать соответствие качества продукции действующим стандартам.

Поставку и приемку каменных материалов производят партиями. Так, партией щебня, гравия или песка считается количество материала, одновременно отгружаемое одному потребителю в одном железнодорожном составе или в одном судне. При отгрузке автомобильным транспортом партией считают количество материала, отгружаемое одному потребителю в течение суток.

Количество поставляемого каменного материала определяют по объему или массе. Обмер щебня, гравия или песка производят в вагонах, судах и автомобилях. Количество щебня, гравия или песка пересчитывают из массовых единиц в объемные по значениями насыпной плотности, определяемой в состоянии естественной влажности. При определении объема щебня или гравия

в месте доставки после транспортирования объем материала должен быть умножен на коэффициент уплотнения, не превышающий 1,1.

Предприятие (карьер)-изготовитель каждую партию поставляемого материала сопровождает паспортом, в котором указывает:

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - наименование предприятия (карьера)-изготовителя и его адрес; - номер и дату выдачи паспорта; - наименование и адрес потребителя; - номер партии и количество щебня, гравия или песка; - номер вагонов или номер судна и номер накладных; - наименование фракции щебня или гравия; - зерновой состав щебня, гравия или песка; | <ul style="list-style-type: none"> - модуль крупности песка; - содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм в щебне и гравии; - содержание пылевидных и глинистых частиц, в том числе глины в комках; - содержание зерен слабых пород в щебне и гравии; - морозостойкость щебня, гравия; - насыпную плотность щебня, гравия и песка. |
|--|---|

Дробление горной породы на щебень. Породу для переработки на щебень заготавливают преимущественно взрывным способом. Дробят, сортируют и обогащают щебень на комплексных механизированных установках. В зависимости от потребности щебень получают любой крупности.

Технологический процесс производства щебня состоит из следующих последовательно выполняемых операций: подача горной массы в камнедробильные машины, дробление на щебень, подача дробленого материала к грохотам, сортировка по крупности, подача фракционного щебня на склад или на дорогу (рис. 2.3). Для дробления горной массы на щебень применяют щековые и конусные дробилки. Сортируют щебень по фракциям в цилиндрических вращающихся грохотах или на вибрационных (наклонных) ситах. Сортировочный вращающийся грохот может служить и моечным приспособлением. Грохот состоит из секций с разными размерами отверстий. Секции с отверстиями располагают таким образом, что вначале выпадает щебень мелкой фракции, а по мере продвижения к выходному отверстию — более крупный щебень. Отсортированный материал попадает в раздаточные бункеры.

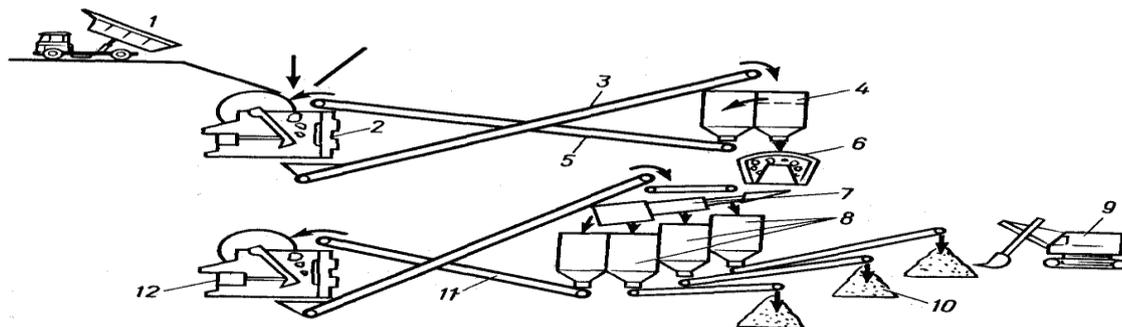


Рис. 2.3. Схема камнедробильного завода для получения щебня: 1 — горная масса; 2— щековая дробилка; 3 — транспортер; 4 - грохот; 5 —

транспортер для обратной подачи крупных кусков; б — конусная дробилка; 7 — сортировочный барабанный грохот; 8 — бункеры для фракционированного щебня; 9 — экскаватор; 10 — склады щебня; 11 — транспортер обратной подачи крупного щебня; 12 — щековая дробилка вторичного дробления

Переработка горной породы на штучные изделия. Из добытого природного камня путем соответствующей обработки изготавливают штучные изделия.

Бутовый камень (бут) получают при разработке карьеров посредством отделения кусков породы взрывом или применения ударных инструментов (перфораторы, кирки, ломы). Наиболее удобны для получения буттового камня плитовидные и слоистые породы.

Бутовый камень имеет неправильную форму и различные размеры, но не более 50 см по наибольшему измерению. По форме буттовый камень бывает постелистый и рваный. Прочность буттового камня выбирается от его назначения, однако не ниже 20 МПа. Бутовый камень применяют для кладки фундаментов, мостовых устоев, укрепления откосов насыпей и берегов рек, кладки подпорных стен.

Шашка каменная для мощения — грубоколотые камни неправильной формы, приближающейся к призме или усеченной пирамиде. Боковые грани не должны иметь резких выступов. Такого вида шашку применяют для обыкновенного мощения. Если шашка правильной формы имеет плоское лицо с параллельными длинными сторонами, она допускается для рядового мощения. По размеру шашку делят на высокую, среднюю и низкую (рис. 2.4)

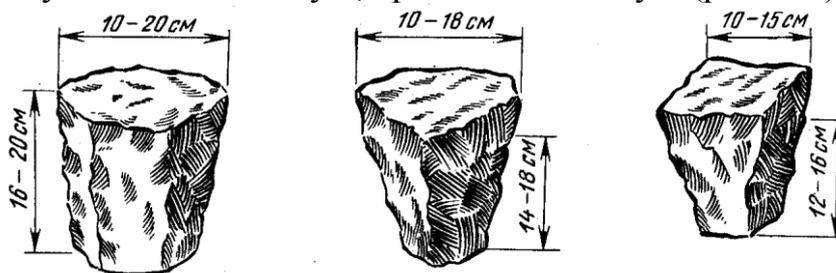


Рис. 2.4. Шашка для мощения

Брусчатка — колотые и тесаные бруски камня, приближающиеся по форме к параллелепипеду, имеющие по лицу фигуру прямоугольника. Верхняя и нижняя плоскости (лицо и постель) брусчатки должны быть параллельны, а боковые грани должны суживаться к низу так, чтобы размер скола у подошвы низкой брусчатки был с каждой стороны не более 5 мм, а у средней и высокой — 10 мм.

Бортовые камни — параллелепипедальные бруски длиной в среднем от 700 до 2000 см с наклонной или вертикальной лицевой гранью. Бортовые камни могут быть прямоугольные и криволинейные, их верхняя часть, выступающая над покрытием, обтесана чисто, а нижняя — грубо (рис. 2.5). Бортовые камни применяют для отделения проезжей дороги от тротуаров, газонов и др.

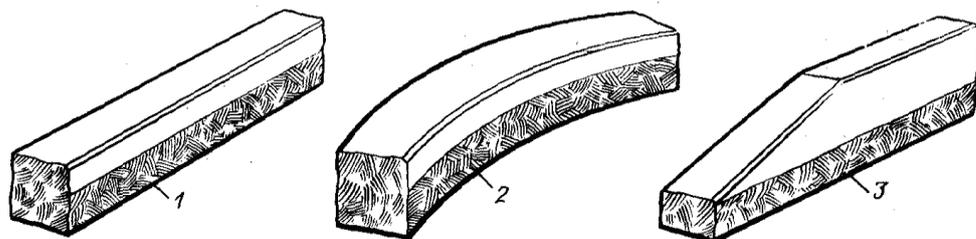


Рис. 2.5. Бортовые камни:
1 — прямоугольный; 2 — криволинейный; 3 — для съездов

Камни для облицовки могут быть плитообразные (толщиной 15—25 см) и утолщенные с пирамидальной хвостовой частью (толщина не менее 30 см).

Плиты парапетные и карнизные для мостов и набережных изготавливают следующих размеров: парапеты длиной 100—200, шириной не менее 90 и толщиной 20—30 см; карнизы длиной 100—200, шириной не менее 50 и толщиной 20—30 см. Блоки и плиты для облицовки набережных, мостовых устоев и быков подвергают тщательной обработке с лицевой стороны.

Плиты тротуарные изготавливают из слоистых и сланцевых горных пород. Они должны иметь форму прямоугольной или квадратной плиты размером от 20 до 80 см с относительно ровной поверхностью лица и постели толщиной не менее 4—5 и не более 12—15 см.

2.4. Искусственные каменные материалы, керамические материалы

Керамические щебень и гравий — материалы, полученные термической обработкой глинистых пород. Их подразделяют на пористые (керамзит, аглопорит) и плотные (керамдор).

Пористые имеют среднюю плотность не более 1000, плотные—не менее 2000 кг/м³.

Керамзит — искусственный пористый материал ячеистого сложения, получаемый из легкоплавных глин или глинистых сланцев, способных вспучиваться, или из слабовспучиваемых глин с добавками при специальном режиме обжига. Применяют в качестве заполнителя в бетонных смесях.

Керамзит — пористый материал, имеющий пемзовидную текстуру, образованную преимущественно замкнутыми порами, и спекшуюся шероховатую, прочную поверхность. Керамзит выпускают в виде гравия и щебня. При дроблении образуется керамзитовый песок.

Керамзитовый гравий представляет собой искусственный пористый материал, полученный вспучиванием при обжиге подготовленных гранул (зерен) из силикатных пород (глин, суглинков, различных сланцев, трепела, диатомита, опок) и промышленных отходов (зол и шлаков тепловых электростанций, отходов углеобогащения).

В соответствии с ГОСТ 9757—90 гравий в зависимости от размеров зерен подразделяют на фракции 5—10, 10—20 и 20—40 мм. Содержание в гравии

расколотых зерен не должно превышать (% по массе): 10 — для гравия высшей категории качества; 15 для гравия первой категории качества. Гравий каждой фракции в зависимости от насыпной плотности подразделяют на марки (табл. 2.6).

Водопоглощение гравия в течение 1 ч не должно превышать (% по массе): 30 — для гравия марок до 400 включительно; 25 — от 450 до 600 включительно; 20 — свыше 600.

Морозостойкость керамзитового гравия должна быть не менее 15 циклов.

Керамзитовый гравий, обладающий высокой прочностью и легкостью, является основным видом пористого заполнителя, применяемого для легкого бетона в мостостроении. Тяжелый и прочный керамзитовый гравий находит применение в дорожных конструкциях.

Керамзитовый песок образуется при дроблении керамзитового гравия и представляет собой смесь угловатых частиц крупностью 2,5—0,16 мм. Минимальное содержание частиц менее 0,16мм должно быть до 5% по объему.

Таблица 2.6

Марка по насыпной плотности	Прочность гравия при сдавливании в цилиндре, МПа, по категории качества		Марка по насыпной плотности	Прочность гравия при сдавливании в цилиндре, МПа, по категории качества	
	высшая	первая		высшая	первая
250	0,8	0,6	450	2,1	1,5
300	1,0	0,8	500	Не аттестуется	1,8
350	1,5	1,0	550	То же	2,1
400	1,8	1,2	600	»	2,5

Допускается выпускать песок, получаемый при производстве керамзита и обогащаемый мелкими фракциями золы при условии, что зерновой состав песка будет удовлетворять требованиям ГОСТ 9757—90.

Керамдор (керамзит дорожный) – разновидность керамзита. Получается при обжиге некоторых глинистых грунтов. Обладает повышенной объемной массой и высокой прочностью. Применяют взамен щебня во всех дорожных конструкциях.

Шлаками называют искусственные материалы, образующиеся при выплавлении черных и цветных металлов из руды и сжигании твердого топлива.

Шлаки черной металлургии разделяют на *доменные* и *сталеплавильные*. Доменные шлаки получают при выплавке чугуна. Сталеплавильные шлаки в зависимости от способа производства стали могут быть мартеновскими, конвертерными, электросталеплавильными и ваграночными.

Шлаки цветной металлургии по видам выплавляемых металлов подразделяют на медеплавильные, никелевые, свинцовые и цинковые.

Фосфорные шлаки получают при производстве фосфорных удобрений.

Топливные (котельные) шлаки — остатки от сжигания в топках твердого минерального топлива (каменного угля, кокса, бурого угля).

Шлаки – камневидные побочные продукты, отходы металлургической или химической промышленности (гранулированные и отвальные) и топливных установок, получающиеся при термической переработке различных минеральных материалов и при сжигании твердого топлива (каменного угля, торфа, горючих сланцев), содержащие в качестве основной составляющей различные силикатные соединения. В зависимости от качества и вида шлаков их применяют как минеральные материалы для строительства и ремонта дорожных одежд.

Щебень шлаковый 1) литой – материал, получаемый при разливе огненно жидких шлаков и их отжиге или при медленном охлаждении водой; 2) отвальный – материал, получаемый при дроблении кислых отвальных шлаков.

Керамическими называют материалы, получаемые обжигом до камневидного состояния различных глиняных масс с добавками.

В зависимости от строения керамические материалы разделяют на *пористые* и *плотные*. Пористые поглощают более 5% воды. Пористую структуру имеют стеновые, кровельные, облицовочные и другие материалы. Плотные керамические материалы поглощают менее 5% воды. Плотную структуру имеют дорожный клинкерный кирпич плитки для пола, стенки канализационных труб и др.

По назначению керамические материалы делят на следующие виды: *стеновые* (кирпич, камни пустотелые и др.), *сыпучие* (щебень, гравий, песок керамзитовый, аглопоритовый и др.), *кровельные* (черепица), *трубы керамические* канализационные и дренажные и др.

Для производства керамических материалов и изделий используют сырьевые смеси, состоящие из пластичного сырья (глины) и добавок (отошающих, порообразующих, плавней).

Глины — обломочные осадочные горные породы, способные с водой образовывать пластичное тесто, при высыхании — сохранять приданную ему форму, а после обжига приобретать свойства камня. Важнейшей составной частью глин является минерал каолинит ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$). В качестве примесей в глине содержатся полевой шпат, слюда, соединения железа, карбонаты кальция и магния и др. Окраска глин может быть разнообразной и зависит от примесей.

В состав глины входят различные по крупности частицы: 5—0,14 мм — песчаные фракции; 0,14—0,005 мм — пылевидные фракции; мельче 0,005 мм — глинистые фракции. Основное влияние на связующую способность глин и их усадку оказывают частицы размером мельче 0,001 мм.

Свойства глин определяются соотношением, видом и дисперсностью глин истых примесей. Наиболее важными свойствами глин являются пластичность, воздушная усадка (дообжиговые свойства), огнеупорность спекание и огневая усадка (обжиговые свойства).

Пластичность глин — способность глиняного теста изменять форму без разрыва и нарушения сплошности под действием внешних усилий и сохранять приданную форму после прекращения их действия. Пластичность может быть повышена путем добавления пластичных глин или отмучивания песчаных частиц. Снижают пластичность путем введения отощающих добавок.

Воздушная усадка — уменьшение объема образца при его сушке. При затворении глин водой происходит набухание. Удаление из глин воды сопровождается воздушной усадкой. Величина относительной воздушной усадки может быть от 2 до 12%. Песок или другие отощающие добавки снижают воздушную усадку. Кроме того, воздушная усадка зависит от начальной влажности, размеров и режима сушки образца. Неравномерная усадка приводит к растрескиванию и искривлению изделий.

Огнеупорностью называют способность глин, не расплавляясь, выдерживать действие высоких температур. По огнеупорности глины делят на три класса: *огнеупорные* — с огнеупорностью выше 1580 °С, *тугоплавкие* — 1580—1350 °С, *легкоплавкие* — ниже 1350°С.. Способность глин при обжиге уплотняться с образованием камнеподобного материала называется *спекаемостью* и характеризуется интервалами спекания и спекшегося состояния. В процессе спекания масса уплотняется, вследствие чего происходит огневая усадка, которая у глин колеблется от 2 до 8%.

Технология керамических материалов, несмотря на их широкий ассортимент, различные физико-химические свойства и виды сырья, имеет общие основные этапы: добыча и транспортирование сырьевых материалов, подготовка формовочной массы, формирование, сушка, обжиг

Глинистое сырье разрабатывают открытым способом экскаваторами или скреперами. Для транспортирования глин используют автомобильный или рельсовый транспорт. Легкоплавкие глины — местное сырье, и карьер входит в состав керамического производства. Огнеупорные и тугоплавкие глины — привозное сырье, которое разрабатывают и поставляют специализированные организации.

К стеновым керамическим материалам относят кирпич глиняный (обыкновенный, пустотелый, легковесный), керамические пустотелые камни, лицевые керамические кирпичи и камни. Требования к основным разновидностям стеновых керамических материалов приведены в табл. 2.6.

В зависимости от предела прочности при сжатии и изгибе обыкновенный глиняный кирпич по ГОСТ 530—95 делят на марки 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300. Кирпич должен обладать теплозащитными свойствами, что в значительной степени зависит от его пористости. Ввиду этого ГОСТом установлено минимально допустимое водопоглощение по массе — не менее 6—8%. Средняя плотность кирпича пластического формования 1600, полусухого 1900 кг/м³. По морозостойкости кирпич может быть четырех марок: Мрз 15, Мрз 25, Мрз 35, Мрз 50.

Для уменьшения расхода сырья и топлива, улучшения теплозащитных свойств и уменьшения массы при производстве кирпича вводят выгорающие добавки, изготавливают пустотелые кирпичи и камни (рис. 2.7).

Пустотелые керамические кирпичи и камни со средней плотностью ниже 1350 кг/м эффективнее, так как при их применении можно уменьшить толщину наружных стен на 1/2 кирпича. Пористые и пустотелые стеновые материалы нельзя использовать для подземных сооружений, подвалов и дымоходов.

Таблица 2.7

Показатели	Кирпич глиняный обыкновенный	Кирпич глиняный пустотелый		Керамические пустотелые камни
		пластического прессования	полусухого прессования	
Основные размеры, мм	250X 120X65	250X120X65	250X 120X65	250X120X65
Предел прочности, МПа при: сжатии изгибе	7,5—30 1,4—4,4	7,5—15 1,4—2	7,5—15 1,4—2	7,5—15 —
Водопоглощение, %, не менее: для марок выше 150 для остальных марок	6 8	6 —	8 —	6 —
Морозостойкость	15—50	15	15	15
Средняя плотность, кг/м ³	1600—1900	Класс А— 1300 Класс Б— 1300— 1450	1500	1400
Масса единицы изделия, кг	3,5—3,6	2—3	1,5—3	до 6

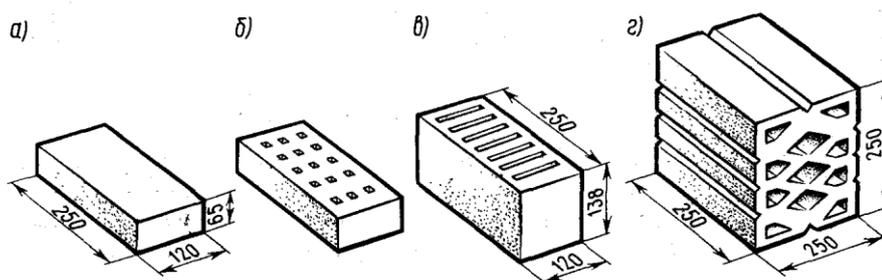


Рис. 2.6. Виды керамических стеновых изделий:

а — обыкновенный кирпич; б — дырчатый кирпич; в — целевой камень;
г — сотовый камень

К изделиям, имеющим плотный, спекшийся черепок, относят дорожный клинкерный кирпич, тротуарные плиты, керамические плитки для полов канализационные трубы. Все эти изделия характеризуются высокой прочностью, плотностью, малой истираемостью, стойкостью в агрессивных средах.

Дорожным клинкерным кирпичом называют каменный материал, полученный из глины путем обжига до полного спекания без оплавления поверхности.

В зависимости от назначения к дорожному клинкерному кирпичу предъявляют требования по свойствам, размерам и форме, (табл. 2.8). Применяют дорожный кирпич для мощения дорог и тротуаров, устройства полов промышленных зданий, кладки канализационных коллекторов и др.

Керамические плитки применяют для настилки полов в промышленных, общественных, жилых зданиях, станциях метро, подземных переходах. Плитки обладают сопротивляемостью истиранию, долговечностью, стойкостью в агрессивных средах, высокими декоративными и гигиеническими свойствами.

Трубы дренажные выпускают гладкие неглазурованные без раструбов и глазурованные с раструбом и перфорацией на стенках. Водопоглощение черепка не более 15%, морозостойкость не ниже 15 циклов. Применяют трубы для устройства дренажей на автомобильных дорогах.

Таблица 2.8

Показатели	Марки дорожного кирпича		
	I	II	III
Водопоглощение, % по массе, не более	2	4	6
Предел прочности при сжатии кубика 5X 5X 5 см, МПа, не менее	100	70	40
Сопротивление истиранию на круге (коэффициент) не менее	18	16	14
Сопротивление удару на копре не менее	15	12	8
Морозостойкость не менее	100	50	30

Трубы канализационные изготавливают цилиндрической формы с раструбом на одном конце диаметром 150—600 при длине 800—1200 мм. Поверхность труб с внутренней и наружной стороны покрыта глазурью. Канализационные трубы должны выдерживать гидравлическое давление не менее 0,2 МПа, их поглощение — не более 9%. Эти трубы применяют для отвода сточных вод.

Раздел 3. Органические вяжущие материалы

3.1. Общие сведения и классификация органических вяжущих материалов

Органические вяжущие материалы состоят из сложной смеси высокомолекулярных органических соединений различного строения. По внешнему виду они представляют собой жидкие или вязкопластичные водонерастворимые вещества.

Органические вяжущие материалы широко используют в различных областях строительства. В дорожном строительстве их применяют в основном для устройства дорожных одежд и гидроизоляции транспортных сооружений.

Смеси каменных материалов с органическими вяжущими удобны в работе, их легко изготавливать, транспортировать с завода к месту строительства, укладывать и уплотнять различными машинами. Из таких смесей можно делать слои дорожных одежд требуемой толщины.

Дорожные покрытия на основе органических вяжущих эластичны, частично поглощают шум от движущихся транспортных средств, не пылят. Такие покрытия можно делать шероховатыми, что способствует безопасности движения по дороге. Шероховатость по мере истираемости легко возобновить. Дорожные одежды из смесей с органическими вяжущими материалами можно усиливать слоями требуемой толщины при ремонте и реконструкции автомобильной дороги и сразу открывать движение.

Вяжущие - строительные материалы, способные в результате физико-химических или химических процессов связывать смешанные с ними минеральные материалы в одно целое (бетон) или соединять отдельные камни, кирпич (раствор).

Органические вяжущие – материал органического происхождения, жидкой, полужидкой или твердой консистенции, черного или темно-коричневого цвета, обладающие вяжущими свойствами. Их получают в результате переработки различных видов нефти, каменного угля, смол, сланцев, битумосодержащих пород, торфа и т.п.

Химическая стойкость битумов и битумных материалов к действию агрессивных веществ, вызывающих коррозию цементных бетонов, металлов и других строительных материалов. Битумные материалы хорошо сопротивляются действию щелочей (с концентрацией до 50 %), соляной (до 25%) и уксусной (до 10%) кислот. Битумы менее стойки в атмосфере, содержащей оксиды азота и при действии концентрированных растворов кислот. Битумы растворяются в органических растворителях.

Состав и строение битумов.

Таблица 3.1.

Элементарный состав битумов, в %:

углерод	водород	сера	кислород	азот
70-80	10-15	2-9	1-5	0-2

Эти элементы находятся в битуме в виде углеводородов и их соединений с серой, кислородом и азотом.

Химический состав битумов весьма сложен: предельные углеводороды от C_9H_{20} до $C_{30}H_{62}$. Химический состав достаточно стабилен для различных битумов, но не дает возможности судить об их свойствах. Поэтому все соединения, образующие битум, свели в три группы.

Таблица 3.2.

Групповой (или компонентный) состав битумов

Группы	Название	Состав, в %
I	Асфальтены (твердая часть)	3-30
II	смолы	15-30
III	Масла (углеводороды)	45-60

Именно от количественных соотношений этих трех основных компонентов зависят свойства битумов.

Битумные материалы. Природные битумы - вязкие жидкости или твердообразные вещества, состоящие из смеси углеводородов и их неметаллических производных. Образование природных битумов большинство исследователей связывают с видоизменениями нефти, т.е. в результате естественного процесса окислительной полимеризации нефти. После постепенного испарения легких фракций и окисления кислородом воздуха остатки нефти превратились в битумы. В природе встречаются в местах нефтяных месторождений, образуя линзы, а иногда и асфальтовые озера. Известны некоторые залежи, состоящие из чистого битума. Природные битуминозные материалы представляют собой чаще осадочные горные породы (известняки, песчаники, доломиты, пески и др.), пропитанные битумом. Содержание битума в них колеблется от 10 до 80 %.

Основные месторождения. Сызранское месторождение битуминозных доломитизированных известняков, расположенное на правом берегу Волги (разрабатывается с 70-х годов позапрошлого столетия). Бахилловское месторождение битуминозных песчаников. Здесь же имеется так называемая *гарь* (песок, сцементированный твердым битумом). Она легко разбивается на куски, благодаря большой хрупкости битума.

В Сибири, на Дальнем Востоке, на Кавказе, в Крыму и у нас, в Казахстане также имеются значительные залежи битуминозных пород.

Встречаются природные асфальты также в Венгрии, Румынии, Югославии, Чехии, ФРГ. Мировой известностью пользуются такие крупные

месторождения, как Тринидатское (озеро Тринидат) и Бермудское (провинция Бермудец в Венесуэле).

Нефтяные (искусственные) битумы получают переработкой нефтяного сырья.

В зависимости от технологии производства различают:

- **окисленные** - получают в результате окисления (продувки воздухом) остаточных продуктов переработки нефти;

- **остаточные** - путем дальнейшего глубокого отбора из него масел;

- **крекинговые** - переработки остатков, образующихся при крекинге нефти;

- **компаундированные** - смешение нефтепродуктов различной вязкости.

Их получение с требуемыми свойствами обеспечивается за счет рационального соотношения компонентов.

Жидкие битумы. Они имеют жидкотекучее состояние при положительных температурах и используются в качестве вяжущего материала в холодных и теплых асфальтобетонных смесях. Жидкие битумы получают в основном, методом компаундирования (смешения) вязкого битума с разжижителем. Их часто называют разжиженными битумами. Иногда жидкие битумы получают в виде остатка от переработки нефти. В зависимости от скорости испарения легких фракций разжижителя и скорости формирования структуры жидкие битумы различают:

- **быстрогустеющие (БГ);**
- **среднегустеющие (СГ);**
- **медленногустеющие (МГ).**

Поверхностно-активные вещества (ПАВ) – химические или полимерные добавки к органическим или неорганическим вяжущим материалам или смесям для повышения активности сцепления битума или другого вяжущего с поверхностью минерального материала. Разделяют ПАВ на анионактивные (для основных пород) и катионактивные (в основном для кислых пород). Они также служат для повышения морозостойкости, подвижности и удобообрабатываемости цементобетонных смесей.

3.2. Битумы нефтяные вязкие и жидкие

Исходным перерабатываемым сырьем являются нефть, битумосодержащие породы и горючие сланцы. На их основе получают битумы. Другим видом сырья являются каменный уголь, древесина и торф. На их основе получают дегти. Таким образом органические вяжущие материалы, применяемые в дорожном строительстве, делят на битумы и дегти.

Битумы, в зависимости от сырья, из которого их получают, бывают *нефтяные, природные и сланцевые*. Их делят на *твердые, вязкие и жидкие*.

Твердые и вязкие битумы по консистенции подразделяют на марки, а жидкие по скорости загустевания и вязкости — на классы и марки.

Вязкие нефтяные битумы состоят из смеси высокомолекулярных углеводородов нефтяного происхождения и их производных, содержащих кислород, серу, азот и комплексные соединения металлов. В дорожном строительстве нефтяные вязкие дорожные битумы используют в качестве вяжущего. Различные смеси битума с каменным материалом, например асфальтобетонные, используют для устройства покрытий и слоев оснований дорожных одежд.

Жидкие нефтяные битумы по составу близки к вязким, но отличаются от них меньшим количеством асфальтенов и смол и большим — масел.

Жидкие битумы используют в дорожном строительстве в качестве вяжущего материала. Они имеют невысокую вязкость при температурах 20—60°С, что позволяет перемешивать их с каменными материалами или грунтом в холодном состоянии на месте производства работ. Асфальтобетонные смеси с жидким битумом можно приготавливать на асфальтобетонных заводах, перевозить при необходимости на значительные расстояния и использовать в холодном виде для строительства дорожных покрытий.

Жидкие битумы состоят из вязкого дорожного битума или тяжелого нефтяного остатка и низкокипящих фракций нефти, играющих роль разжижителя. С течением времени из пленки жидкого битума на поверхности частиц каменного материала испаряются низкокипящие фракции, а оставшаяся вязкая часть битума склеивает эти частицы в монолит.

В зависимости от скорости испарения разжижителя жидкие битумы подразделяют на два класса — *густеющие со средней скоростью* (СГ) и *медленногустеющие* (МГ и МГО). МГО означает медленногустеющий остаточный битум, названный так по технологии его получения.

При изготовлении смесей битума с каменным материалом он должен обладать невысокой вязкостью, хорошо смачивать каменный материал, обволакивать и прочно прилипать к нему. При соблюдении этих требований частицы каменного материала будут равномерно покрыты пленкой битума, а смесь получится однородной.

При распределении смеси по нижележащему слою и ее уплотнении вязкость битума должна быть в требуемых пределах. Если вязкость битума больше допустимой, то такую смесь трудно уплотнить катками. Если вязкость меньше допустимой, то несущая способность неуплотненной смеси мала, каток может в нее проваливаться и смесь трудно уплотнить.

Прилипание битума к поверхности каменного материала зависит от состава битума, а также вида каменного материала, на котором находится пленка битума.

Старение пленки битума зависит главным образом от состава битума, воздействия на нее кислорода воздуха и солнечной радиации. В покрытии битум стареет быстрее, чем в основании, так как слой основания защищен от

непосредственного воздействия солнечной радиации и кислорода воздуха слоем покрытия.

По *строению* битум – коллоидная система, в которой диспергированы асфальтены, а дисперсионной средой являются смолы и масла. Асфальтены битума, диспергированные в виде частиц размером 18-20 мкм, являются ядрами, каждое из них окружено оболочкой убывающей плотности от тяжелых смол к маслам.

Благодаря своему составу битумы получили широкое практическое применение. При нагревании битумов до 140-170⁰С размягчаются смолы, тем самым увеличивается их растворимость в маслах. Растворение битума в органическом растворителе (зеленое нефтяное масло, лакойль и др.) придает рабочую консистенцию без нагрева, используют для приготовления холодных мастик и т.п. Эмульгирование используется в производстве битумных эмульсий и паст.

3.2.1. Производство нефтяных битумов

Исходным сырьем для производства вязких дорожных битумов служат различные остатки от переработки нефти.

По химическому составу нефть — сложная смесь асфальтенов, смол, ароматических, нафтеновых и парафиновых углеводородов. По внешнему виду нефть — маслянистая жидкость с характерным запахом. В природе имеются различные нефти — от легких, почти прозрачных, до тяжелых смолистых нефтей черного цвета. Вид и свойства нефти зависят от ее состава.

Нефть залегает в толще земной коры на различной глубине в основном в порах и пустотах осадочных пород песков, известняков, песчаников. Около 80% нефти добывают из песчаных пластов.

После добычи нефть по нефтепроводам поступает на нефтеперерабатывающие заводы, где производят ее перегонку. Сущность перегонки заключается в разделении нефти на различные фракции, из которых затем получают необходимые народному хозяйству продукты — топливо, масло, битум и др.

Принцип разделения нефти на фракции основан на том, что различные компоненты нефти кипят при разной температуре. Разделение нефти на фракции путем ступенчатого испарения и конденсации ее компонентов называют фракционной разгонкой. Такое разделение производят прямой перегонкой нефти. Процесс называется так потому, что при прямой перегонке выделение фракций, содержащихся в нефти, идет без изменения их химического состава.

Нефтяные вязкие битумы по способу производства бывают окисленные, компаундированные и остаточные, а нефтяные жидкие битумы — разжиженные и остаточные. По назначению различают битумы дорожные, изоляционные, строительные кровельные и специальные.

Стандартизированные требования к битумам. В настоящее время действуют стандарты на вязкие дорожные битумы ГОСТ 22245 – 90; жидкие битумы ГОСТ 11955 – 90.

Основанием маркировки вязких битумов являются следующие три основных показателя: глубина проникания иглы пенетрометра (при 25⁰С и 0⁰С), температура размягчения и растяжимость. Рациональный выбор битумов для различных асфальтобетонов применительно к разнообразным условиям их эксплуатации отражен в ГОСТе 9128-2013.

Для надежной работы дорожной одежды битум должен соответствовать определенным требованиям.

1. В летний период пленка битума в слое покрытия или основания дорожной одежды должна быть достаточно прочной и обладать невысокой деформативностью. Если это условие не будет выполнено, то в слое появятся деформации в виде волн.

2. Зимой пленка битума в слоях дорожной одежды должна обладать достаточной деформативностью, что особенно важно при резком перепаде отрицательных температур. В противном случае в слоях покрытия и основания могут появиться трещины.

3. В осенний и весенний периоды пленка битума должна обладать достаточной прочностью и деформативностью. Особенно это важно в весенний период, когда несущая способность переувлажненных грунтов под дорожной одеждой снижается. Если это условие не будет выполнено, то в дорожной одежде могут возникнуть трещины.

4. Пленка битума должна быть водостойкой и не отслаиваться водой с поверхности частиц каменного материала, иначе дорожная одежда может разрушиться.

5. Битум должен обладать устойчивостью к старению, а его свойства не должны изменяться в слоях дорожной одежды. Старение битума приводит к разрушению одежды с течением времени.

3.2.2. Лабораторные испытания битумов сланцевых

Сланцевые битумы представляют собой органический вяжущий материал, получаемый из остатков от переработки горючих сланцев. **Горючие сланцы** — это осадочная органогенная горная порода, содержащая кероген. **Кероген** — органическое вещество, сходно по своему элементному составу с нефтью. Он состоит из 65+80% углерода, 8—11% водорода, 5—12% кислорода и других элементов.

Основную часть добываемых сланцев используют как топливо для электростанций, а остальную часть перерабатывают, получают газ и сланцевую смолу. Переработку горючих сланцев производят в основном в газогенераторах и значительно реже — в камерных печах.

Газогенераторы (рис. 3.1) представляют собой вертикальные печи, в верхней части которых при 500—550°C происходит сушка и полукоксование горючего сланца. При полукоксовании выделяется парогазовая смесь. Она поступает в конденсационную систему, где ее охлаждают и разделяют на смолу, газ и воду.

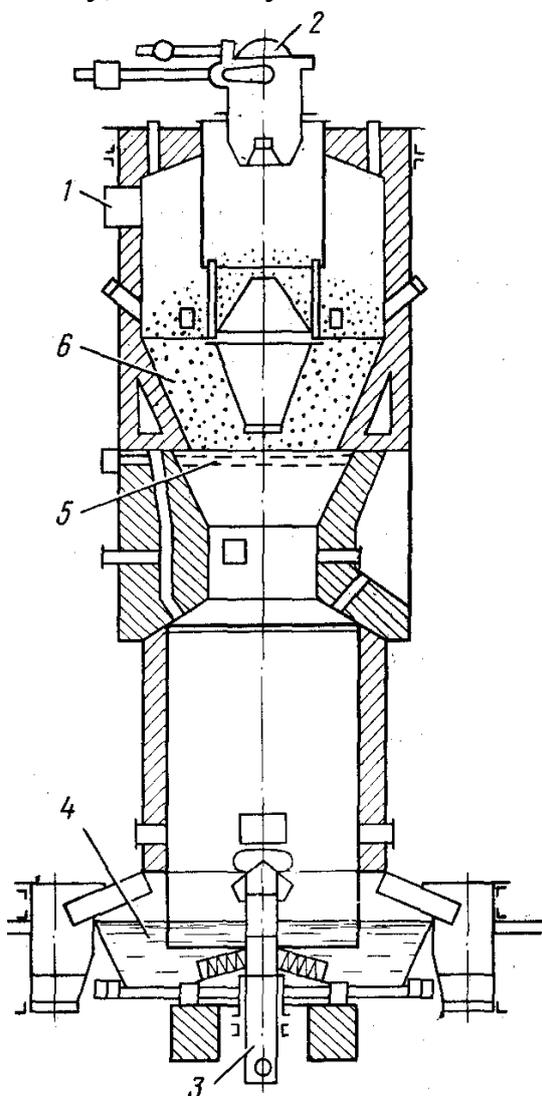


Рис. 3.1. Схема газогенератора:

1 — отвод парогазовой смеси; 2 — загрузочное устройство; 3 — труба для подачи воздуха; 4 — чаша мокрого золоудаления; 5 — дутьевые окна; 6 — шахта полукоксования

В покрытии битум стареет быстрее, чем в основании, так как слой основания защищен от непосредственного воздействия солнечной радиации и кислорода воздуха слоем покрытия.

Для определения ряда свойств битума прочности, деформативности и др. — нужна сложная аппаратура. Поэтому в настоящее время в строительных лабораториях проводят не прямые определения параметров этих свойств, а делают условные испытания, показатели которых позволяют косвенно судить о свойствах битума. Прочность пленки битума при 25°C связана с вязкостью — глубиной проникания иглы в битум, которую определяют **пенетрометром** (рис.

В нижней части газогенератора при 1000°C происходит сгорание полукокса, образуется газ, зола и шлак. Сланцевую золу и шлак удаляют через разгрузочное устройство.

Получаемая в газогенераторе смола составляет около 20 от массы горючего сланца. Смолу подвергают дальнейшей переработке, в результате которой отгоняют топливные и масляные дистилляты, а в остатке получают тяжелую фракцию смолы. Плотность составляет 0,98—1,10 г/см³, условная вязкость по стандартному вискозиметру не менее 6 с, температура вспышки не ниже 120°C. Остаточная фракция составляет около 60% от массы перерабатываемой сланцевой смолы.

Прилипание битума к поверхности каменного материала зависит от состава битума, а также вида каменного материала, на котором находится пленка битума.

Старение пленки битума зависит главным образом от состава битума, воздействия на нее кислорода воздуха и солнечной радиации.

3.2) в соответствии с требованиями ГОСТ 22245 – 90. Чем меньше глубина проникания, тем больше прочность. О прочности пленки битума при повышенных летних температурах можно судить по температуре размягчения битума, которую определяют с помощью прибора, «кольцо и шар» (рис. 3.3) по методике, приведенной в ГОСТ 22245 – 90. Чем выше температура размягчения, тем больше прочность пленки битума.

Деформативность пленки битума при пониженных отрицательных температурах связана с температурой хрупкости битума. Ее определяют на приборе Фрааса (рис. 3.4) по ГОСТ 22245 – 90. Чем ниже температура хрупкости битума, тем более деформативен он в зимнее время. О деформативности битума при 0°C можно судить по глубине проникания битума при этой температуре. Чем больше глубина проникания битума при 0°C, тем более деформативна пленка битума при температурах, близких к 0°C.

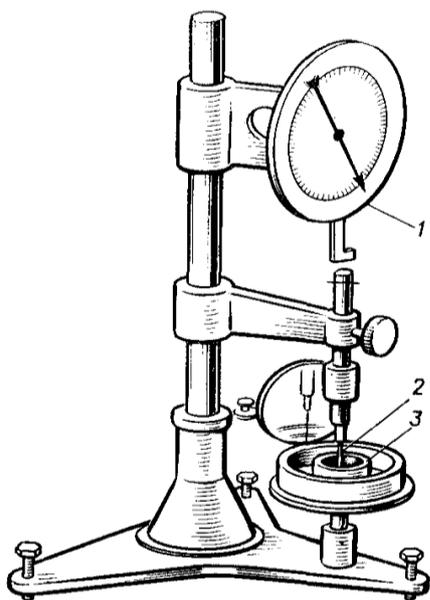


Рис. 3.2. Пенетромтр для определения глубины проникания битума: 1 — лимб со стрелкой; 2 — игла; 3 — чашка с битумом.

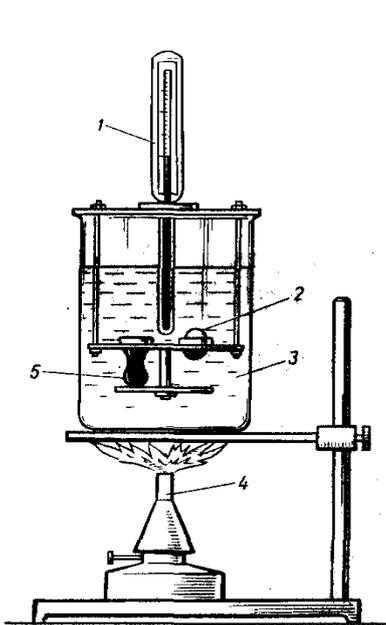


Рис. 3.3. Прибор для определения температуры размягчения битума; 1 — термометр; 2 — шарик; 3 — стакан с водой; 4 — горелка; 5 — шар с битумом

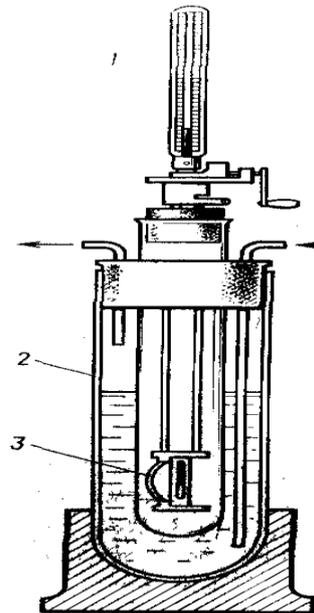


Рис. 3.4. Прибор для определения температуры хрупкости битума: 1 — термометр; 2 — сосуд Дюара; 3 — пластинка с битумом

Адгезионные свойства битума связаны со сцеплением его пленки с поверхностью основных и кислых пород — песком и мрамором. Сцепление определяют в соответствии с ГОСТ 1 1508.

Требуемые показатели свойств битума зависят от климатических условий района строительства дороги, состава и интенсивности движения по ней, положения слоя из битума с каменным материалом в дорожной одежде. Требования к вязкому дорожному битуму приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3.

Показатели	Нормы по маркам								
	БНД 200/30 0	БНД 130/20 0	БНД 90/13 0	БНД 60/90	БНД 40/60	БН 200/30 0	БН 130/20 0	БН 90/13 0	БН 60/90
Глубина проникания иглы: при 25°С » 0 °С не менее	201 – 300 45	131- 200 35	91- 130 28	61- 90 20	40- 60 13	201 – 300 -	131- 200 -	91- 130 -	60-90 -
Температура размягчения по кольцу и шару, °С не ниже	35	39	43	47	51	33	37	40	45
Растяжимость, см, не менее: при 25 °С »0°С	- 20	65 6	60 4,2	50 3,5	40 -	- -	70 -	60 -	50 -
Температура хрупкости, °С, не выше	-20	-18	-17	-15	-10	-	-	-	-
Температура вспышки, °С, не ниже	200	220	220	220	220	220	220	220	220
Сцепление с мрамором или песком	Выдерживается по контрольному образцу №2					-	-	-	-
Изменение температуры размягчения после прогрева, °С, не более	8	7	6	6	6	8	7	6	6
Индекс пенетрации	Плюс 1 – минус 1					Плюс 1 – минус 1,5			
Содержание водораствори-мых соединений, %, не более	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	-	-	-	-
Примечание. БНД — битум нефтяной дорожный, БН — битум нефтяной.									

Прочность пленки битума при 25°С и повышенных температурах увеличивается от марки БНД 200/300 к марке БНД 40/60. Такая же закономерность и у битумов марок БН. Деформативность при положительных температурах уменьшается от менее вязкого битума к более вязкому.

Деформативность при 0°С и более низких температурах уменьшается от битума марки БНД 200/300 к марке БНД 40/60. Сцепление битума любой марки с каменным материалом должно быть достаточным и соответствовать сцеплению по контрольному образцу. Водостойкость пленки битума связана с

содержанием в нем водорастворимых соединений. Методика определения количества водорастворимых соединений в битуме приведена в ГОСТ 22245 – 90. В процессе эксплуатации дорожной одежды эти соединения могут вымываться водой, а пленка битума будет отклеиваться от поверхности каменного материала, поэтому желательно, чтобы битум не содержал водорастворимые соединения, или они были бы в минимально допустимом количестве.

О старении битума можно косвенно судить по изменению его температуры размягчения. Битум, устойчивый к старению, не меняет показателя температуры размягчения. Считают, что битум устойчив к старению, если при прогреве его температура размягчения увеличивается не более чем на 6—8°C.

Температура вспышки является технологическим показателем и свидетельствует о температуре, при которой битум может вспыхнуть. Поэтому его нельзя нагревать до температуры вспышки. Температуру вспышки определяют по ГОСТ 4333.

В битумах марок БН не нормируют показатели глубины проникания при 0°C, температуры хрупкости, сцепления с каменным материалом и содержание водорастворимых соединений. Поэтому битумы марок БН являются менее качественными по сравнению с битумами марок БНД. Целесообразно использовать битумы марок БНД для устройства дорожных покрытий, а марок БН для устройства оснований, так как условия работы оснований более благоприятны, чем условия работы покрытий. В южных районах используют битум более вязких марок по сравнению с северными районами.

Битумы состоят из асфальтенов и мальтенов. Асфальтены представляют собой сложную по составу и структуре смесь высокомолекулярных соединений, имеющих гроздевидную форму молекул. Эти соединения содержат в своем составе 80—89% углерода, 7—8,5% водорода, 1—8,5% серы, 3—5% кислорода, 1—3% азота и другие элементы. Молекулярная масса асфальтенов достигает 6000. В асфальтенах есть свободные радикалы, что делает их полярными. Молекулы асфальтенов в битуме объединяются между собой в асфальтеновые комплексы, свойства которых в большой степени влияют на свойства битумов: прочность, деформативность, прилипание к поверхности каменных материалов.

В зависимости от скорости испарения разжижителя жидкие битумы подразделяют на два класса — *густеющие со средней скоростью* (СГ) и *медленногустеющие* (МГ и МГО). МГО означает медленногустеющий остаточный битум, названный так по технологии его получения.

Скорость загустевания зависит от температуры кипения фракций разжижителя. На рис. 3.5 показано влияние времени на скорость формирования пленки двух классов битума при температуре 25°C.

Битумы каждого класса состоят из трех марок: СГ 40/70, СГ 70/130, СГ 130/200; МГ 40/70, МГ 70/130, МГ 130/200; МГО 40/70, МГО 70/130, МГО

130/200. Требования к нефтяным жидким дорожным битумам изложены в ГОСТ 11955—90 и приведены в табл. 3.4.

Условную вязкость жидкого битума определяют с помощью вискозиметра (рис. 3.6) в соответствии с ГОСТ 1 1503—74. Количество испарившегося разжижителя (ГОСТ 11504—73) связано со скоростью формирования пленки битума.

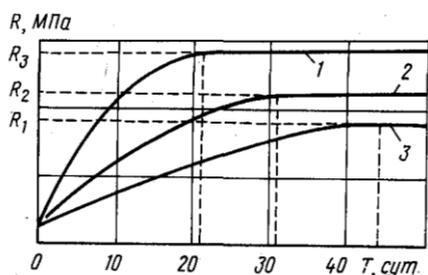


Рис. 3.5. Влияние времени на скорость формирования пленки жидкого битума:

1 — класса СГ; 2 — класса МГ; 3 — класса МГО

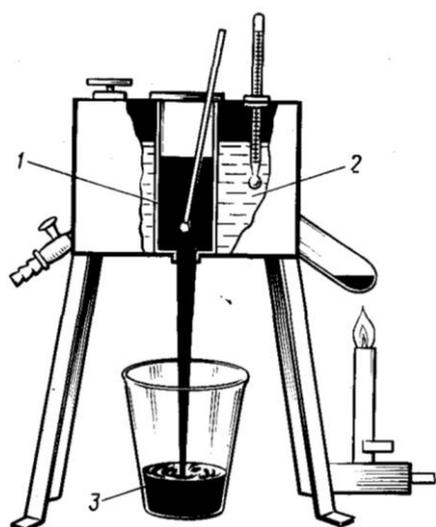


Рис. 3.6. Вискозиметр для определения вязкости жидкого битума:

1 — цилиндр с битумом; 2 — водяная баня; 3 — мерная емкость

Таблица 3.4

Показатели	Нормы для марок								
	СГ 40/7 0	СГ 70/1 30	СГ 130/ 200	МГ 40/7 0	МГ 70/1 30	МГ 130/20 0	МГ О 40/7 0	МГ О 70/1 30	МГО 130/20 0
Условная вязкость по вискозиметру с отверстием 5 мм при 60°С	40- 70	71- 130	131- 200	40- 70	71- 130	131- 200	40- 70	71- 130	131- 200
Количество испарившегося разжижителя, %, не менее	10	8	7	8	7	5	-	-	-
Температура размягчения остатка после определения количества испарившегося разжижителя, °С, не ниже	37	39	39	28	29	30	-	-	-
Температура вспышки, определяемая в открытом тигле, °С, не ниже	45	50	60	100	110	110	120	160	180

Испытание на сцепление с мрамором или песком	Выдерживают в соответствии с контрольным образцом №2
--	--

Температура размягчения остатка после испарения разжижителя свидетельствует о прочности пленки битума при повышенных температурах. Испытание проводят в соответствии с ГОСТ 11506—73. Температура вспышки жидкого битума связана с пожарной безопасностью при его нагреве. Ее определяют по ГОСТ 20287-91.

Испытание на сцепление с мрамором или песком дает возможность оценить адгезионные свойства битума. Испытание на сцепление проводят по ГОСТ 22245-90 и п. 5 ГОСТ 11955-90.

Битумы марок МГО загустевают медленнее битумов марок МГ, поэтому их целесообразно использовать для строительства слоев дорожных одежд в IV—V дорожно-климатических зонах в условиях повышенных летних температур.

3.3. Дегти каменноугольные, древесные и торфяные

Дегти (смолы) – жидкие продукты деструктивного разложения органических веществ, главным образом твердых видов топлива, при высокой температуре без доступа воздуха. В зависимости от исходного сырья различают: каменноугольные, торфяные, древесные и сланцевые сырые дегти. Применяют в дорожном строительстве и при ремонте дорог в качестве вяжущих и гидроизоляционных материалов.

Дегти, в зависимости от исходного сырья, бывают *каменноугольные, древесные и торфяные*. По вязкости дегти делят на марки. Каменноугольные дегти по способу производства бывают *составленные, отогнанные и окисленные*.

Дегти дорожные – отогнанные или составленные каменноугольные дегти, отвечающие требованиям государственного стандарта.

Дегти каменноугольные – дегти, получаемые при деструктивным разложением каменного угля. В зависимости от исходного сырья разделяются на *коксовые*, получаемые в результате коксования исходного сырья, и *газовые сырые* – получаемые при газификации топлива и производстве светильного газа.

Каменноугольный деготь состоит из твердых и вязкопластичных смол и жидких дегтевых масел. Твердых смол в дегте содержится 5—10%, вязкопластичных — 10—15%, а масел — 60%. Кроме того, в состав дегтя входят неплавкие твердые вещества, называемые свободный углерод, фенолы, нафталин, антрацен, фенантрен и др. Свободного углерода в составе дегтя до 20%, фенолов 3—5%, нафталина 4—7%, антрацена 3—4%.

В соответствии с ГОСТ 4641—80 дегти каменноугольные для дорожного строительства подразделяют на шесть марок: Д-1, Д-2, Д-3, Д-4, Д-5 и Д-6. В зависимости от марки дегти должны удовлетворять требованиям, приведенным в табл. 3.5.

Таблица 3.5

Показатели	Нормы по маркам					
	Д-1	Д-2	Д-3	Д-4	Д-5	Д-6
Вязкость, с, в пределах:						
C_{30}^{5*}	50-70	-	-	-	-	-
C_{30}^{10}	-	5-20	20-50	50-	120-	-
C_{50}^{10}	-	-	-	120	200	10-80
				-	-	
Содержание воды, % по массе, не более	3	1	1	1	1	1
Содержание веществ, не растворимых в толуоле, % по массе, не более	18	20	20	20	20	20
Перегоняемый фракционный состав, % по массе, не более, при температурах:						
до 170°C	3	2	1,5	1,5	1,5	1,5
» 270 °C	20	20	15	15	15	15
» 300°C	35	30	25	25	25	20
Температура размягчения остатка после отбора фракций до 300°C, °C, не более	45	65	65	65	65	70
Содержание фенолов, % по массе, не более	5	3	2	2	2	2
Содержание нафталина, % по массе, не более	5	4	3	3	3	3

Древесный деготь как вяжущий материал обладает малой прочностью пленки, имеет низкую деформативность при отрицательных температурах. Он хорошо прилипает к поверхности каменных материалов, но быстро стареет при воздействии тепла и кислорода воздуха. Древесный деготь получают из древесной смолы. Эта смола является побочным продуктом сухой перегонки древесины при температуре около 300°C с целью получения из нее кузнечного древесного угля, генераторного газа и других веществ.

Древесный деготь может быть использован в качестве вяжущего материала при строительстве местных дорог вне населенных пунктов, так как он имеет резкий запах. Деготь можно добавлять в нефтяной битум в количестве 10—15% для улучшения его прилипания к поверхности каменных материалов.

Торфяной деготь обладает примерно такими же свойствами, как и древесный. Его получают из торфяной смолы, являющейся побочным продуктом сухой перегонки торфа в интервале температур 250—330°C. Торфяной деготь используют как вяжущий материал при строительстве местных дорог и как добавку в битум для улучшения его адгезионных свойств.

Дегти торфяные отогнанные – дегти, получаемые при отгоне масел из сырых торфяных дегтей (смола).

Дегти торфяные составленные – дегти, получаемые из торфяного пека, разжиженного тяжелым торфяным или каменноугольным маслом, сырым каменноугольным жидким дегтем, нефтяными крекинг - остатками и т.п. Применяют для строительства оснований и дорожных одежд на дорогах IV и V категорий.

Дегти сланцевые (сланцевые битумы) – вязкие и жидкие вяжущие, полученные окислением остатков после отгона легких фракций из жидких продуктов коксования сырых горючих сланцевых дегтей (смола). Применяют при строительстве дорожных одежд.

Для улучшения качества дегтей в них добавляют 10—15% дорожного битума вязких марок, 2—3% синтетического бутадиенстирольного каучука, поливинилхлорида или полистирола или побочные продукты их производства — пек, полистирольную пыль. В деготь можно добавлять до 5% серы или побочный продукт производства серной кислоты — серный шлам.

Раздел 4. Асфальтобетонные смеси

4.1. Минеральный порошок для асфальтобетонных смесей

Асфальтобетоном называют материал, получающийся в результате уплотнения специально приготовленной смеси, состоящей из щебня (или гравия), минерального порошка и битума в рационально подобранных соотношениях.

Минеральный порошок - механически тонкоизмельченный минеральный материал, состоящий в значительной мере (не менее 75%) из частиц размером меньше 0,071мм, вводимой в состав асфальто- и дегтебетонной смеси в целях повышения тепло- и водоустойчивости битума, увеличения плотности минерального скелета и повышения механической прочности и температурной устойчивости асфальто- и дегтебетона.

Минеральный порошок активированный – материал, получаемый при дроблении известняков и доломитов и обрабатываемый при их помоле. С целью гидрофобизации поверхности его частиц вводят активирующую смесь (в качестве от 1,5 до 2,5% к массе минерального порошка), состоящую из малого количества битума марок БНД 200/300, БНД 130/200, БНД 90/130, БНД 60/90 или БНД 40/60 и поверхностно-активного вещества при соотношении ПАВ и битума 1:1.

Минеральный порошок представляет собой полидисперсный материал и является структурообразующим компонентом асфальтобетона. На его долю приходится до 90-95% суммарной поверхности минеральных зерен, входящих в состав асфальтобетона.

Основное назначение минерального порошка, как наполнителя битума, состоит в том, чтобы переводить битум в пленочное состояние, то есть повышается вязкость и прочность битума. Битум+минпорошок и есть вяжущий материал в асфальтобетоне.

Под структурой минерального остова следует понимать характер и взаимное расположение минеральных частиц, входящих в состав асфальтобетона. От прочности минерального остова, величины внутреннего трения, которое обусловлено формой, размерами и характером поверхности минеральных частиц, зависит прочность асфальтобетона.

Согласно представлениям о пространственных структурах по Ребиндеру П.А. дисперсную систему «битум-минеральный порошок» следует отнести к коагуляционным структурам. Сцепление структурных элементов (частиц твердой фазы) осуществляется через тонкие прослойки жидкой среды.

Другое назначение минерального порошка – это заполнение мелких пор между более крупными частицами, то есть повышается плотность минерального остова, и, следовательно, и плотность асфальтобетона.

Основные характеристики минерального порошка:

-способность к прочному сцеплению с битумом;

- удельная поверхность;
- степень набухания в воде смеси минпорошка с битумом.

На прочность сцепления с битумом оказывают влияние химический и минералогический составы минпорошка, а также и свойства битума. Лучшее сцепление с битумом дают карбонатные и основные горные породы. В качестве исходных горных пород для приготовления минерального порошка используют известняки, доломиты и др.

Что касается удельной поверхности, то она у обычных минеральных порошков составляет от 2500 до 5000 см²/г. Следует отметить, что очень высокая дисперсность неактивированных минеральных порошков не всегда полностью реализуется из-за агрегирования наиболее мелких частиц. Оптимальной удельной поверхностью минеральных порошков можно считать 4000-5000 см²/г.

Вместо удельной поверхности часто определяют грансостав минерального порошка. Согласно ГОСТ 16557- 2005, в минеральном порошке зерен мельче 0.071 мм должно быть не менее 70% в неактивированном и не менее 80% в активированном. При этом все остальные зерна минерального порошка должны быть мельче 1.25 мм.

Пористость минерального порошка оказывает большое влияние на пористость всей минеральной части асфальтобетона, а следовательно, и на его битумоемкость. Согласно ГОСТу, пористость неактивированного минпорошка должна быть не более 35%, а активированного – не более 30%.

Для приготовления минеральных порошков обычно применяют известняки средней прочности до 50-60 МПа, так как прочные известняки трудно размалывать. Основными нормируемым показателем карбонатных горных пород, предназначенных для производства минеральных порошков, является содержание в них глинистых примесей (не более 5%, или не более 1.7% полуторных окислов Fe₂O₃+Al₂O₃).

Чтобы наиболее качественно связать поверхность зерен минпорошка с битумом, рекомендуется в процессе приготовления минпорошка вводить в мельницу битум марок МГ-70/130, МГ- 130/200, БНД- 200/300, БНД-130/200 и БНД-90/130 с поверхностно-активными веществами (ПАВ) типа высокомолекулярных органических кислот от 1 до 2.5% (соотношение битума и ПАВ - 1:1). Подобная активация минпорошков позволяет еще предохранить минпорошок от распыления при перевозках, комкования и намокания при хранении на открытых складах. Кроме того, снижается расход битума, при приготовлении асфальтобетонов можно использовать менее вязкий битум, наблюдается резкое снижение коэффициента температурного расширения и значительное повышение механической прочности песчаных асфальтобетонов.

Для изготовления цветных смесей в минеральный порошок вводят железный и свинцовый сурик, редоксайд, окись хрома, ультрамарин, синтетические полимеры и др. цветные пигменты.

4.2. Асфальтобетонные смеси их состав и основные свойства

Смесь асфальтобетонная – рационально подобранная по принципу наибольшей плотности, удовлетворяющая требованиям государственного стандарта смесь минеральных материалов с битумом, взятых в определенных соотношениях и перемешанных в нагретом состоянии. В зависимости от наибольшей крупности минерального материала различают смеси *песчаные* (до 5мм), *мелкозернистые* (до 20мм), и *крупнозернистые* (до 40мм), по структуре – *пористые* и *плотные*. Приготавливают в специальных установках. В зависимости от способа приготовления и состояния при укладке различают смеси *горячие*, *теплые* и *холодные*.

Асфальтобетоном называют материал, получающийся в результате уплотнения специально приготовленной смеси, состоящей из щебня (или гравия), минерального порошка и битума в рационально подобранных соотношениях.

Асфальтобетон - один из наиболее распространенных материалов, используемых в покрытиях в дорожном и аэродромном строительстве. Его также применяют при строительстве мостов в покрытиях проезжей части в качестве гидроизоляционного материала.

Размер щебня выбирается в зависимости от типа асфальтобетона, но не крупнее 0.6 толщины верхнего слоя и 0.7 толщины нижнего слоя дорожной одежды. Щебень изготавливают с максимальными размерами зерен: 40, 20, 10 или 15 мм. Содержание в щебне зерен пластинчатой (лещадной) или игловатой формы должно быть не более 20-35% от общего количества щебня в асфальтобетоне. В многощебенистом асфальтобетоне содержание зерен неправильной формы не должно превышать 20%.

В асфальтобетоне могут применяться различные пески. Фракционированные пески в производстве асфальтобетонов применяются мало или вовсе не применяются.

Для приготовления асфальтобетонных смесей применяют крупные пески с модулем крупности более 2.5 и содержанием в них зерен крупнее 0.63 более 50%. Также применяют средние пески с модулем крупности 2.5-2.0 и содержанием в них зерен более 2.5 в пределах 35-50%.

Природные битумы - вязкие жидкости или твердообразные вещества, состоящие из смеси углеводородов и их неметаллических производных.

Минеральный порошок представляет собой полидисперсный материал и является структурообразующим компонентом асфальтобетона. На его долю приходится до 90-95% суммарной поверхности минеральных зерен, входящих в состав асфальтобетона.

Плотность асфальтобетона. Необходимая плотность асфальтобетона обеспечивается подбором грансостава минеральной смеси, оптимальным содержанием битума и надлежащим уплотнением асфальтобетонной смеси. Влияние грансостава минеральной смеси на прочность асфальтобетона может

рассматриваться в трех аспектах: **пористость** (или плотность) минеральной смеси, **внутреннее трение** асфальтобетона и **сцепление поверхности покрытия** с автомобильными шинами.

Стремление к облегчению технологии приготовления, укладки и укатки асфальтобетонных смесей привело к применению маловязких вяжущих материалов. С понижением вязкости битума возникла возможность снижения рабочих температур - горячий технологический процесс перешел в теплый, частично или даже полностью в холодный.

Наиболее резко отличаются от асфальтобетона по составу, структуре и свойствам асфальтовая мастика и щебеночная смесь, обработанная битумом (черная щебеночная смесь).

Асфальтовая мастика – это смесь высоковязкого битума и минерального порошка, в которой «плавают» зерна песка (рис. 4.1). Смесь не содержит воздушных пор. К асфальтовой мастике по составу и структуре близок литой асфальт.

Литой асфальт отличается от мастики некоторым содержанием щебня фракции 10—15 мм. Смесь без воздушных пор не нуждается в уплотнении. В последнее время получил распространение литой асфальт с повышенным содержанием щебня, который легко уплотняется легкими катками.

Черная щебеночная смесь содержит большое количество зерен размером от 5 до 20 (40) мм, малое количество песка и совсем малое количество минерального порошка. Такие смеси готовят на маловязких битумах. Они содержат наименьшее количество битума и наибольшее количество пор (рис. 4.2). Эти смеси наиболее трудноуплотняемы.



Рис. 4.1. Структура асфальтовой мастики:

1 — асфальтовяжущее; 2 — песок

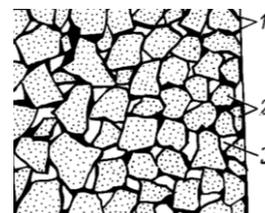


Рис. 4.2. Структура уплотненной черной щебеночной смеси:

1 — асфальтовый раствор; 2 — щебень; 3 — поры

Тип смеси выбирают после всестороннего анализа воздействующих факторов на покрытие автомобильной дороги и назначают тот, который дает наиболее высокий технико-экономический эффект.

По ГОСТ 9 128 асфальтобетонные смеси в зависимости от вязкости битума и условий применения подразделяют на виды:

Горячие –готавливаемые с использованием вязких битумов и применяемые непосредственно после приготовления с температурой не ниже 120°C;

Теплые –готавливаемые с использованием как вязких, так и жидких битумов и применяемые непосредственно после приготовления с температурой не ниже 70°C;

Холодные—приготавливаемые с использованием жидких битумов, допускаемые к длительному хранению и применяемые с температурой не ниже 5°С.

Асфальтобетонные смеси подразделяют на *щебеночны*, *гравийные* и *песчаные*. В зависимости от размера зерен минеральных материалов асфальтобетонные смеси подразделяют на: *крупнозернистые* с зернами размером до 40 мм, *мелкозернистые* – до 20 мм, *песчаные*—до 5 мм.

Асфальтобетоны из горячих и теплых смесей в зависимости от значения остаточной пористости подразделяют на плотные с остаточной пористостью от 2 до 7%, пористые с остаточной пористостью свыше 7 до 12%, высокопористые с остаточной пористостью свыше 12 до 18%.

Щебеночные и гравийные асфальтобетонные смеси в зависимости от содержания в них щебня или гравия и песчаные смеси в зависимости от вида песка подразделяют на типы, указанные в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Типы смесей		Количество щебня (гравия),% по массе	Песок
Горячие и теплые для плотного асфальтобетона	Холодные		
А	—	Свыше 50 до 65	—
Б	Бх	включительно	—
В	Вх	» 35 » 50 »	—
Г	Гх	» 20 » 35 »	Дробленный или отсе́вы дробления
Д	Дх	—	
		—	Природный

Вид асфальтобетонных смесей принимают в зависимости от характера движения автомобилей, конструкции дорожной одежды, наличия строительных материалов, климатических условий района строительства и условий производства работ.

Структура асфальтобетона определяется количеством и качеством составляющих, их сочетанием и размещением. Структура асфальтобетона определяет главные физико-химические и физико-механические свойства асфальтобетона: плотность и прочность, водостойкость и деформативность, старение и долговечность. Структура асфальтобетона может быть каркасная, бескаркасная, а также промежуточных форм. *Текстура* асфальтобетона определяется размером и характером размещения структурных элементов в поверхностном слое материала. Текстура определяет эксплуатационные свойства асфальтобетонного покрытия: износостойкость, шероховатость, шумность, светоотражательные свойства. Текстура может быть гладкая и микрошероховатая, средне- и грубошероховатая.

Важнейшим свойством асфальтобетона, предопределяющим его долговечность, является устойчивость его структуры в условиях

изменяющегося влажностного и температурного режимов. Асфальтобетон особенно интенсивно разрушается от атмосферной коррозии в период длительного увлажнения, во время оттепелей.

Другим свойством асфальтобетона является водонепроницаемость. От способности асфальтобетонного покрытия фильтровать воду в большей степени зависят условия работы самого покрытия и его долговечность, а также условия работы нижележащих слоев дорожной одежды.

4.3. Проектирование и приготовление асфальтобетонной смеси

Проектирование асфальтобетона — это комплексный процесс, позволяющий правильно назначать его состав с учетом работы под воздействием транспортных средств и окружающей среды. Проектирование асфальтобетона включает:

- анализ условий работы проектируемого асфальтобетона в конструкции;
- выбор способа производства работ в зависимости от погодноклиматических условий района строительства;
- выбор исходных материалов с учетом их стоимости и дефицитности;
- расчет состава асфальтобетона, который включает расчет состава минеральной части, расчет оптимального количества битума, приготовление и испытание контрольной смеси;
- составление технической документации на запроектированный асфальтобетон и выдача на производство.

Анализ условий работы асфальтобетона в конструкции включает ознакомление с транспортными нагрузками, интенсивностью движения, максимальными уклонами на трассе, экспозицией отдельных участков, геологоклиматическими условиями на трассе и др. для выбора способа производства работ необходимо знать, в какой период года будут выполнять работы на тех или иных участках трассы, и иметь сведения о средствах механизации по производству, укладке и уплотнению асфальтобетона.

Сбор данных и их анализ заканчиваются выдачей технического задания на расчет состава асфальтобетона с максимальным использованием местных материалов и экономией битума.

Выбор материалов начинают с изучения местных материалов и отходов промышленности и соответствия их требованиям, предъявляемым к материалам для данного вида и типа асфальтобетона. В случае их несоответствия требованиям выбирают наиболее дешевые привозные материалы.

В результате выполненного анализа составляют техническое задание, в котором указывают вид и тип асфальтобетона, назначение и условия применения, характеристику минеральных и вяжущих материалов. На основе этих данных определяют технические требования, предъявляемые к асфальтобетонной смеси и асфальтобетону в соответствии с ГОСТ 9128—2013.

4.3.1. Производство асфальтобетонных смесей

Асфальтобетонные смеси (горячие, теплые и холодные) изготавливают на стационарных или передвижных асфальтобетонных заводах (АБЗ). Первые строятся там, где имеется постоянная потребность в асфальтобетонных смесях — в городах, у крупных транспортных узлов. Передвижные (временные) АБЗ создают при строительстве или реконструкции магистральных автомобильных дорог.

Удаленность завода от места укладки горячей или теплой смеси определяют продолжительностью ее транспортирования, которая не должна превышать 1,5 ч. Целесообразный радиус обслуживания строящихся автомобильных дорог с одного АБЗ 60—80 км. Расстояние транспортирования холодной асфальтобетонной смеси не имеет ограничения и определяется технико-экономическими расчетами.

Выбор площадки для АБЗ определяют из условий наименьшего расстояния транспортирования готовой смеси и исходных материалов, наличия железнодорожных и водных путей, энерго-водо-канализационного хозяйства и других местных условий. Наилучшее место для размещения АБЗ выбирают на основе технико-экономических изысканий. Современный уровень развития техники позволяет полностью механизировать и автоматизировать производство асфальтобетонных смесей на АБЗ.

В состав АБЗ входят: смесительный цех, состоящий из машин и агрегатов, предназначенных для приготовления асфальтобетонной смеси из подготовленных соответствующим образом материалов; битумное хозяйство, включающее битумохранилище, битумоплавильные котлы, насосные станции, битумопроводы; помольная установка, передрабывающая минеральные материалы (известняк, доломит, доменные шлаки) в минеральный порошок; склады щебня, песка и минерального порошка; лаборатория, контролирующая качество материалов, технологию производства и качество выпускаемой продукции; энергосиловое и паросиловое хозяйства; средства для внутризаводского транспортирования материалов и др.

Технологический процесс получения асфальтобетонной смеси включает следующие основные операции (рис. 4.3):

- подготовку минеральных материалов (подача и предварительное дозирование, высушивание и нагрев до требуемой температуры, дозирование);
- подготовку битума (подача из хранилища в битумоплавильную, удаление содержащейся влаги и нагрев до рабочей температуры, а в необходимых случаях введение поверхностно-активных добавок или разжижителя, дозирование перед подачей в мешалку смесителя);
- перемешивание минеральных материалов с битумом и выгрузку готовой асфальтобетонной смеси в накопительные бункеры или автомобили-самосвалы.

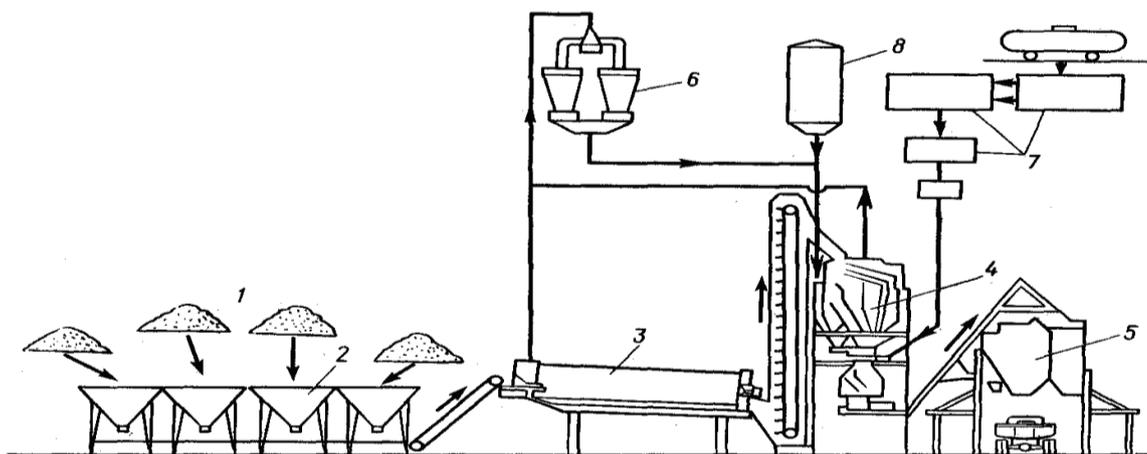


Рис. 4.3 . Схема производства горячей и теплой асфальтобетонной смеси:
 1 — склад каменных материалов; 2 — бункер-питатель; 3 — сушильный агрегат; 4 — смесительный агрегат; 5 — бункер-накопитель;
 6 — пылеулавливатель; 7 — битумохранилище; 8 — склад порошка

Основным агрегатом на асфальтобетонном заводе является асфальтосмеситель. В настоящее время асфальтосмесительное оборудование представляет собой комплект, включающий агрегат питания, сушильный и смесительный агрегаты, накопительный бункер, емкости для битума, минерального порошка и мазута, кабину управления и все необходимые средства вертикального и горизонтального транспорта компонентов смесей. Производительность асфальтосмесителей составляет 25—50 или 100—200 т/ч. Они могут работать в автоматическом и дистанционном режимах управления.

Асфальтосмесительные установки принудительного перемешивания периодического действия предназначены для выпуска всех типов и видов смесей.

Технологическая схема такой установки приведена на рис. 4.4. Предварительно дозированные щебень и песок попадают через питатель 1 на холодный ковшовый элеватор 2. Просушенные и нагретые в сушильном барабане 3 до 200—220°С песок и щебень горячим элеватором 4 подаются на грохот 5, которым рассортировываются по соответствующим отсекам горячего бункера 6. Минеральный порошок в холодном виде отдельным элеватором 7 подается непосредственно в отсек бункера (благодаря наличию в соседнем отсеке горячего щебня минеральный порошок немного нагревается).

Из бункера минеральные материалы через затворы попадают в весовой ковш 8, где поочередно (суммированием навесок) взвешиваются в требуемой пропорции на один замес, сыпаются в лопастную мешалку 9, и после перемешивания сухой минеральной смеси в течение 10—20 с туда же вводят битум. Перемешивание всех компонентов одного замеса массой 600 кг обычно продолжается 60—80 с. Производительность таких смесителей составляет 25—40 т/ч.

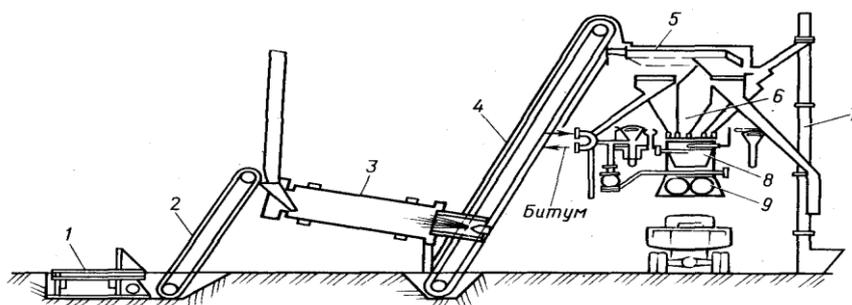


Рис. 4.4. Схема асфальтосмесителя принудительного перемешивания периодического действия

Укладка и уплотнение асфальтобетонной смеси в дорожной конструкции. Перед укладкой асфальтобетонной смеси основание должно быть тщательно подготовлено. Подготовка включает: проверку качества основания и устранение дефектов, очистку поверхности от пыли и грязи, обработку основания вяжущим в целях обеспечения надлежащего сцепления с покрытием. Наибольший размер неровностей основания при проверке трехметровой рейкой не должен превышать 6—8 мм. Хорошее сцепление покрытия с основанием, а также между слоями покрытия обеспечивается за счет обработки основания или нижнего слоя покрытия битумом или битумными эмульсиями.

Для получения хорошего покрытия и обеспечения высокопроизводительной работы организуется непрерывное и равномерное поступление асфальтобетонной смеси. Доставленная к месту укладки смесь должна иметь температуру не ниже указанной в табл. 4.2. При температуре воздуха 10°С скорость охлаждения асфальтобетонной смеси, уложенной при 160°С, зависит от толщины укладываемого слоя (Рис.4.5).

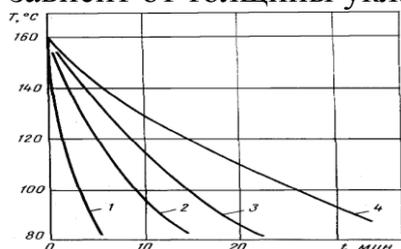


Рис. 4.5. Зависимость скорости охлаждения асфальтобетонной смеси от толщины слоя: 1—2 см; 2—4 см; 3—6 см; 4—8 см.

Покрытие строит механизированное звено в составе: самоходный сфальтоукладчик (или два), один легкий и два тяжелых катка на каждый укладчик. Асфальтоукладчик (например, Д-150Б) состоит из приемного бункера; шнека, распределяющего смесь по ширине укладываемой полосы; трамбуемого бруса; выглаживающей плиты; ходовой части; двигателя. Самоходные асфальтоукладчики одновременно с укладкой предварительно уплотняют смесь. Поверхность слоя после прохода укладчика перед уплотнением должна быть ровной, однородной, без разрывов и раковин. Асфальтобетонную смесь уплотняют: гладковальцовыми катками массой 6—8, 10—13 и 11—18 т, катками на пневматических шинах массой 16 т и вибрационными катками массой 6—8 т.

Таблица 4.2

Вид смеси	Марка битума	Температура смеси, °С	
		при выпуске из смесителя	асфальтоукладчике при укладке в конструктивный слой не ниже
Горячая	БНД 40/60	140 – 160	120
	БНД 60/90		
	БНД 90/130		
	БН 60/90 БН 90/130		
Теплая	БНД 130/200	120 – 140	100
	БНД 200/300		
	БН 130/200 БН 200/300		
	СГ 130/200	90 – 110	70
	МГ 130/200 МГО 130/200	100 – 120	
Холодная	СГ 70/130	80 – 100	5
	МГ 70/130	90 – 100	
	МГО 70/130		

Гладковальцовым катком массой 6—8 т покрытие уплотняют непосредственно после укладки смеси 2—3 проходами, затем катком на пневматических шинах массой 16 т (6—10 проходов) и заканчивают уплотнение гладковальцовым катком массой 11—18 т (4—8 проходов).

Количество проходов катка (энергоёмкость уплотнения), необходимое для уплотнения асфальтобетонной смеси, взаимосвязано с составом следующим образом: удваивается при замене в смеси природного песка на дробленый, возрастает на 50% при переходе от малощебенистых (20—35% щебня) к многощебенистым смесям (50—65%), возрастает на 30—40% при применении высокопористых асфальтобетонных смесей с пониженным количеством битума.

4.3.2. Контроль качества производства асфальтобетона

Контроль качества производства асфальтобетона. При приготовлении асфальтобетонной смеси контролируют: качество исходных материалов, точность дозирования минеральных материалов и битума, продолжительность перемешивания минеральных материалов с битумом, температуру смеси на выходе, соответствие смеси заданному составу.

Для контрольных испытаний по ГОСТ 9 128—2013 отбирают три пробы от каждой партии (партией считают количество смеси одного состава, выпускаемой на одной установке в течение смены, но не более 400 т) непосредственно из кузовов автомобилей. Определяют следующие показатели:

- температуру готовой смеси, зерновой состав и содержание битума, пористость минерального остова и остаточную пористость, водонасыщение,

предел прочности при сжатии при температурах 50, 20 и 0°С, набухание, коэффициент водостойкости.

В процессе строительства асфальтобетонных покрытий систематически контролируют температуру и однородность смеси, укладываемой в покрытие, проектную толщину и профиль покрытия, качество уплотнения.

Наиболее важная часть контроля — проверка степени уплотнения покрытия. Для этой цели берут пробы из покрытия вырубкой или высверливанием и определяют среднюю плотность и водонасыщение образцов. Из части взятой пробы изготавливают образцы так же, как и при испытании асфальтобетонных смесей. По отклонению средней плотности образцов с ненарушенной структурой от средней плотности образцов, стандартно уплотненных, и их водонасыщению судят о качестве уплотнения дорожных покрытий.

Вырубки или керны отбирают в слоях из горячих и теплых асфальтобетонов через 1—3 сут после их уплотнения, а из холодного через 15—30 сут на расстоянии не менее 1 м от края покрытия.

Коэффициент уплотнения $K_{упл} = P_{покр}/P_{обр}$ конструктивного слоя дорожной одежды должен быть не ниже:

0,99 для плотного асфальтобетона из горячих и теплых смесей типов А и Б;

0,98 для плотного асфальтобетона из горячих и теплых смесей типов В, Г и Д, пористого и высокопористого асфальтобетонов;

0,96 для асфальтобетона из холодных смесей.

Отбор проб производится из расчета не менее трех на 7000 м² покрытия.

Инструментальная проверка качества асфальтобетона в покрытии заключается в определении коэффициента сцепления шины автомобиля с увлажненной поверхностью покрытия лабораторной установкой ПКР-2, по длине тормозного пути или по значению замедления автомобиля, а также прибором маятникового типа МП-3.

4.3.3. Особенности теплого асфальтобетона

В теплом асфальтобетоне применяют битумы с меньшей вязкостью, чем в горячих асфальтобетонных смесях. Если теплый асфальтобетон готовят на битумах БНД 130/200, БНД 200/300, БНД 40/60 и БНД 60/90, смешанных с тяжелыми разжижителями нефтяного или каменноугольного происхождения, формирование структуры происходит при уплотнении и охлаждении материала в покрытии. Асфальтобетон после уплотнения и охлаждения обладает проектной плотностью и прочностью. Если же теплый асфальтобетон готовят на битумах СГ 130/200, БНД 40/60 и БНД 60/90, смешанных с легкими разжижителями (начало кипения 160-180°С, конец кипения 260-300°С) до глубины проникания иглы при 25°С 300-400, происходит относительно длительное формирование структуры асфальтобетона. Асфальтобетон после

уплотнения и охлаждения смеси набирает до 80% проектной плотности и прочности. Испарение легких фракций с одновременным доуплотнением транспортными средствами приводит к окончательному формированию покрытия.

Применение в теплом асфальтобетоне битумов с меньшей вязкостью определяет способность смесей приобретать плотность в покрытии при более низких температурах воздуха по сравнению с горячими смесями. Теплый асфальтобетон обладает большей трещиностойкостью при низких отрицательных температурах.

В обычных условиях при температуре воздуха выше 10°C структура горячего асфальтобетона в покрытии формируется относительно быстро. При температуре воздуха ниже 10°C расчетная плотность горячего асфальтобетона, как правило, не достигается, поэтому применяют теплый асфальтобетон.

Температура смеси в момент доставки ее на место укладки должна быть на 20-30°C выше приведенной в табл. 4.3. Ориентировочное время, в течение которого смесь сохраняет удобоукладываемость при различных температурах воздуха, приведено в табл. 4.4. Укладку асфальтобетонной смеси производят только укладчиками. Уплотнение должно быть закончено до того момента, когда будет достигнута критическая температура. При температуре воздуха от 0 до 10°C уплотнение начинают 5-7 проходами по одному следу гладковальцовым катком массой 6-8т и заканчивают 15-20 проходами того же катка массой 11-18т. При температуре воздуха от 0 до -15°C смесь уплотняют только гладковальцовыми катками массой 11-18т (20-25 проходов по одному следу), а число катков увеличивают в 1,5 раза по сравнению с обычными условиями. Весьма эффективно включать в звено каток на пневматических шинах.

Таблица 4.3

Температура воздуха, °С	БНД 130/200			БНД 200/300			СГ 130/200		
	Температура начала уплотнения смеси, °С, в зависимости от скорости ветра, м/с								
	0	3	5	0	3	5	0	3	5
10	60	65	80	45	50	65	30	35	47
5	65	70	85	50	55	70	32	37	50
0	70	75	90	55	60	75	35	40	55
-5	75	80	95	60	65	80	40	45	60
-10	80	85	-	65	70	85	45	50	65
-15	85	90	-	75	80	-	50	55	70

Таблица 4.4

Марка битума	Температура смеси в начале укладки, °С	Время сохранения удобоукладываемости асфальтобетонной смеси, мин, в зависимости от температуры воздуха, °С			
		0	-5	-10	-15
БНД 130/200	100	30	25	20	15
БНД 200/300	90	35	30	25	20
СГ 130/200	80	120	90	50	30

4.3.4. Особенности холодного асфальтобетона

Характерной чертой холодного асфальтобетона, отличающей его от горячего и теплого, является способность оставаться длительное время после приготовления в рыхлом состоянии. Это объясняется наличием тонкой битумной пленки на минеральных зернах. Смеси в течение длительного времени (до 12 мес) остаются в рыхлом состоянии. Их сравнительно легко можно перегружать в транспортные средства и распределять тонким слоем при устройстве дорожных покрытий.

Свойства холодного асфальтобетона. В дорожных покрытиях заметно изменяются свойства жидких битумов под воздействием атмосферных факторов. Для оценки качественных изменений холодного асфальтобетона пользуются показателями предела прочности при сжатии в сухом и водонасыщенном состоянии, набухания образцов, изготовленных из смеси, прогретой при 90°C. Длительность прогрева смеси устанавливают в зависимости от скорости загустевания битума.

ГОСТ 9 128-2013 холодные асфальтобетоны подразделяет на типы Бх, Вх, Гх, Дх. Этот же ГОСТ предусматривает две марки холодных асфальтобетонных смесей. Асфальтобетонные смеси I марки, приготовленные на жидких битумах класса СГ, обеспечивают более быстрое формирование дорожного покрытия по сравнению со смесями II марки, содержащими медленногустеющие битумы МГ (табл. 4.5).

Таблица 4.5

Показатели	Нормы для асфальтобетонов из смесей марок		Показатели	Нормы для асфальтобетонов из смесей марок	
	I	II		I	II
Предел прочности при сжатии при температуре 20°C, МПа не менее: а) до прогрева для асфальтобетонов типов: Бх, Вх Гх Дх	1,5	1,0	Коэффициент водостойкости не менее: до прогрева после прогрева	0,75	0,60
	1,7	—		0,9	0,80
	—	1,2	Коэффициент водостойкости, при длительном водонасыщении не менее: до прогрева после прогрева	0,5	0,4
	—	—		0,75	0,65
б) после прогрева для асфальтобетонов типов: Бх, Вх Гх Дх	1,8	1,3	Набухание, % по объему, не более	1,2	2,0
	2,0	—			
	—	1,5			

Пористость минерального остова асфальтобетонов из холодных смесей типа Бх не должна быть более 18% по объему, типа Вх – более 20%, типов Гх, и Дх — более 21% по объему. Остаточная пористость асфальтобетонов из

холодных смесей должна быть 6—10% по объему, водонасыщение — 5—9% по объему, слеживаемость — не более 10 (число ударов).

Гранулометрические составы холодных асфальтобетонных смесей отличаются от составов горячих и теплых смесей в сторону повышенного содержания минерального порошка (до 20%) — частиц мельче 0,071 мм и пониженного содержания щебня (до 50%). Наибольший размер зерен в холодном асфальтобетоне составляет 10 и 15 мм. Более крупный щебень ухудшает условия формирования покрытия.

Раздел 5. Минеральные вяжущие материалы.

5.1. Воздушные вяжущие материалы.

Минеральными вяжущими называются порошкообразные материалы, образующие при смешивании с водой или с водными растворами некоторых солей пластичную тестообразную массу, которая со временем затвердевает.

Образование вяжущего материала из порошка и искусственного камня на его основе происходит в результате протекания химических и физико-химических процессов. В зависимости от способности твердеть и сохранять прочность, долговечность и другие свойства на воздухе или в воде минеральные вяжущие материалы подразделяются на две группы:

воздушные вяжущие — твердеют, повышают прочность и сохраняют свойства только в воздушно-сухой среде;

гидравлические вяжущие — твердеют и в течение длительного времени повышают прочность не только на воздухе, но и в воде (они лучше твердеют и сохраняют свойства в воде или в воздушно-влажных условиях).

Воздушные вяжущие материалы применяют только в сооружениях, не подвергающихся воздействию воды. К этой группе вяжущих относятся: воздушная известь; гипсовые вяжущие вещества; магнезиальные вяжущие вещества, которые затворяют водными растворами солей магния и других солей и кислот; растворимое стекло.

Воздушная известь – воздушный материал, получаемый путем равномерного обжига до возможного полного разложения чистых или доломитовых известняков или мела, т.е. до диссциации углекислого кальция ниже температуры спекания кальциево-магниевого карбонатных горных пород, содержащих не более 8% глинистого вещества.

Гидравлические вяжущие материалы применяют в наземных, подземных и подводных сооружениях. К этой группе вяжущих относятся: гидравлическая известь и романцемент; портландцемент и его разновидности, отличающиеся специальными свойствами (быстротвердеющий, особо быстротвердеющий, пластифицированный, гидрофобный, сульфатостойкий, дорожный, белый и цветной); пуццолановый портландцемент и его разновидности; глиноземистый цемент и цементы, изготавливаемые на его основе.

Романцемент – гидравлическое вяжущие, полученное путем измельчения в тонкий порошок обожженных известковых или магнезиальных мергелей или же искусственных смесей известняка и глин при температуре, не доводящей обжигаемый материал до спекания.

5.2. Цементы. Портландцемент.

Портландцемент — это гидравлический вяжущий материал, твердеющий как в воде, так и на воздухе и получающийся в результате тонкого

измельчения клинкера совместно с определенным количеством гипсового камня.

Клинкер получают в результате обжига до спекания мергеля или искусственной сырьевой смеси известняка и глины. Клинкер состоит преимущественно из силикатов кальция (70—80%). Гипс добавляют в цемент для регулирования сроков его схватывания и ряда других свойств в количестве не менее 1% и не более 4% от массы цемента в пересчете на ангидрит серной кислоты SO_3 .

При помоле клинкера в состав цемента можно вводить активные минеральные добавки в количестве до 20% от массы цемента.

Химический состав портландцементного клинкера характеризуется определенным содержанием окислов: 64—76% CaO , 20—25% SiO_2 , 4—8% Al_2O_3 , 2—5% Fe_2O_3 , в небольших количествах P_2O_5 и др.

Технология производства портландцемента. К основным технологическим операциям при производстве портландцемента относятся: добыча сырья и приготовление сырьевой смеси, обжиг сырьевой смеси и получение цементного клинкера, помол цементного клинкера с различными добавками.

Для приготовления цементного клинкера используют известняки или мел, глину, соотношение между которыми устанавливается расчетом по их химическому составу. Сырьевая смесь обычно состоит из 75—78% CaCO_3 и 22—25% глины.

Природным сырьем такого состава являются известняковые мергели, месторождения которых имеются в ряде районов Новороссийска и Донбасса. В состав сырьевой смеси можно вводить корректирующие добавки (для увеличения содержания Fe_2O_3 — пиритные огарки, SiO_2 — песок, Al_2O_3 — бокситы).

В зависимости от вида подготовки сырьевой смеси для ее обжига существуют два способа производства портландцементного клинкера: мокрый и сухой.

Выбор способа определяется главным образом качеством сырья. Если сырье неоднородно по химическому составу, имеет повышенную влажность, крупные включения, то целесообразен мокрый способ производства клинкера. При использовании сырья с малой влажностью (8—10%), однородного по составу, с высокой твердостью применяют сухой способ.

Для производства портландцемента по мокрому способу (рис. 5.1) известняк подвергают дроблению в щековых дробилках. Глину предварительно измельчают в валковых дробилках, а затем в водной суспензии в болтушках (рис. 5.2). Если вместо известняка используют мел, то его измельчают в мельницах или с водой в болтушках. Глиняный или меловой шлам и раздробленный известняк в соотношении, соответствующем требуемому химическому составу клинкера, транспортируют в сырьевую мельницу для совместного помола. Полученный сырьевой шлам с влажностью 32—45% перекачивают насосами в вертикальные резервуары (шлам бассейны), где он

корректируется для достижения заданного химического состава. Далее шлам из вертикальных шламбассейнов поступает в горизонтальные шламбассейны, где и хранится до подачи в печь для обжига. Полученный клинкер охлаждают в холодильниках, дробят совместно с гипсом и добавками, а затем направляют для помола в цементные мельницы или для хранения на склад. Из мельницы цемент транспортируют в силосные склады, а затем отгружают потребителям.

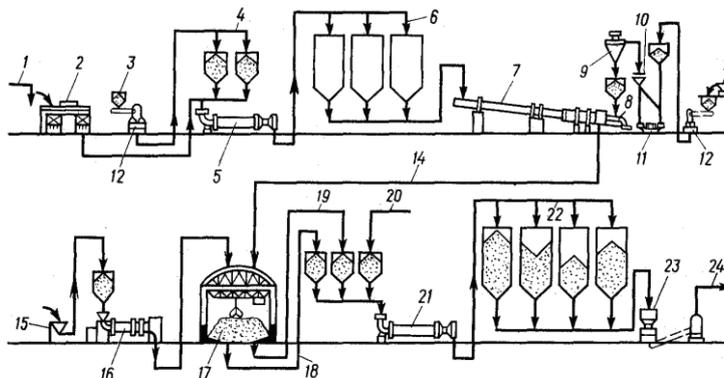


Рис. 5.1. Схема производства цемента по мокрому способу с обжигом во вращающихся печах:

1— глина; 2— глиноболтушка; 3— известняк; 4— дробленый известняк; 5— мельница; 6— шламбассейны; 7— вращающаяся печь; 8— вентилятор; 9— циклон; 10— сепаратор; 11— угольная мельница; 12— дробилка; 13— уголь; 14— клинкер; 15— добавка; 16— сушильный барабан; 17— склад клинкера; 18— клинкер; 19— добавки; 20— гипс; 21— мельница; 22— цементные силосы; 23— упаковка; 24— отправка

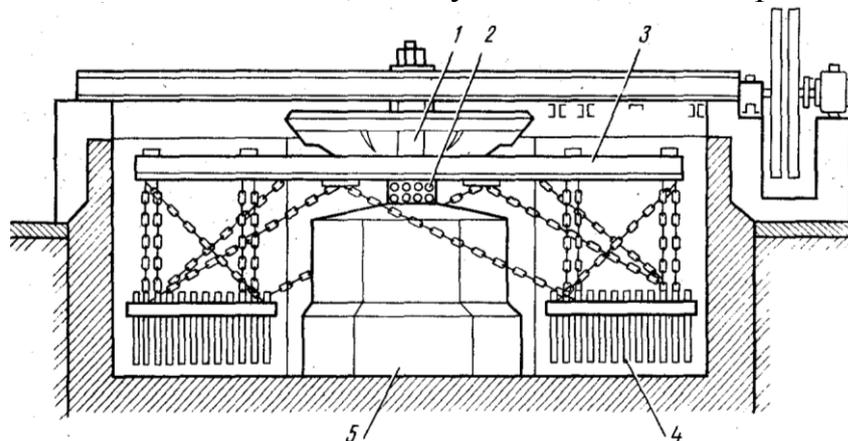


Рис. 5.2. Болтушка для перемешивания глины и мела:

1 — вал; 2— подшипник; 3— крестовина; 4 — бороны; 5 — фундамент

При производстве цемента сухим способом (рис. 5.3) известняк и глину после предварительного дробления и сушки загружают в сырьевую мельницу для одновременного помола и сушки, в результате чего получают сухую сырьевую муку с влажностью 1—2%. для сухого помола на цементных заводах применяют мельницы «Аэрофол», в которых совмещены процессы мелкого дробления, сушки и помола. Сырьевая мука подается в смесительные силосы, в которых производится ее усреднение и корректирование состава, а также создаются запасы муки, необходимые для бесперебойной работы печей.

Сырьевая мука поступает в циклонные теплообменники. Там она высушивается, дегидратируется и частично декарбонизируется во взвешенном состоянии. Из циклонов мука подается на обжиг во вращающуюся печь, готовый клинкер пересыпается в холодильник и после охлаждения поступает на склад. Последующие технологические операции аналогичны соответствующим операциям мокрого способа.

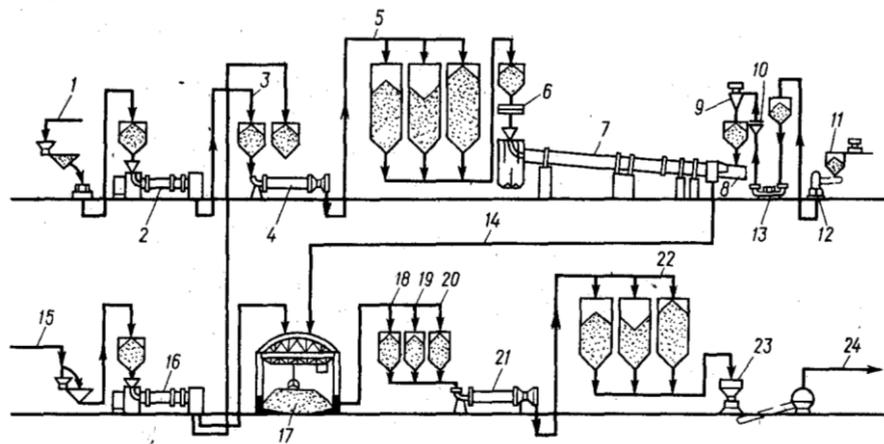


Рис. 5.3. Схема производства цемента по сухому способу с обжигом во вращающихся печах:

- 1 — известняк; 2 — сушильный барабан; 3 — глина; 4 — мельница;
 5 — силосы для сырьевой муки; 6 — смеситель; 7 — вращающаяся печь;
 8 — вентилятор; 9 — циклон; 10 — сепаратор; 11 — уголь; 12 — дробилка для угля; 13 — мельница; 14 — клинкер; 15 — добавки; 16 — сушильный барабан; 17 — склад клинкера; 18 — клинкер; 19 — гипс; 20 — добавки;
 21 — мельница; 22 — цементные силосы; 23 — упаковка; 24 — отправка

Современные цементные заводы оснащены высокопроизводительным технологическим оборудованием, обеспечивающим автоматизацию отдельных производственных процессов.

Обжиг сырьевой смеси производится во вращающихся печах (рис. 5.4). Печи изготавливают в виде цилиндров диаметром до 5 м и длиной до 200 м, изнутри они выложены огнеупорным материалом (футеровка). Для продвижения обжигаемого сырьевого материала вдоль печи она устанавливается наклонно, под углом 2—5°. С помощью электродвигателей печь вращается с частотой 1—2 оборота в минуту.

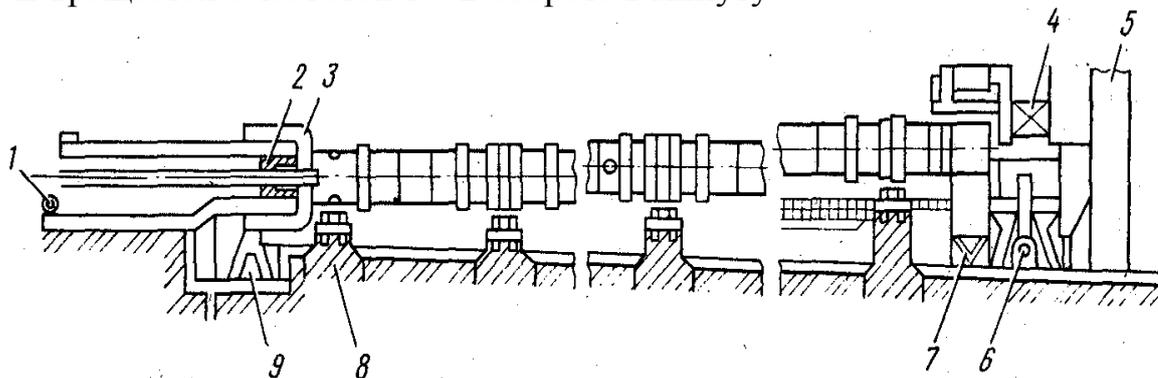


Рис. 5.4. Вращающаяся печь обжига:

- 1 — дутьевой вентилятор; 2 — форсунка; 3 — регулятор для охлаждения клинкера; 4 — питатель шлама; 5 — дымовая труба; 6 — дымосос; 7 — холодильная камера; 8 — опора; 9 — транспортеры для клинкера

Со стороны нижнего (горячего) конца навстречу движущемуся материалу через форсунку в печь поступают горячие газы. Для их образования топливо может быть жидким (нефть, мазут), газообразным (природный газ) и твердым (каменный уголь). Таким образом, сырьевая смесь проходит по длине печи несколько температурных зон с возрастающей температурой, постепенно спекается, превращаясь в гранулы размером от 5 до 40 мм — клинкер. По выходе из печи клинкер охлаждается до 100–200 °С с помощью холодильных устройств.

На различных участках печи по ее длине сырьевой материал, обжигаясь, претерпевает физико-химические изменения. Процесс обжига можно разделить на следующие этапы:

1) в зоне сушки при 100—150 °С сырьевая смесь теряет свободную и гигроскопическую воду, а при 400—580 °С происходит обезвоживание каолинита — основного минерала глины ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$);

2) при 600—750 °С происходит выгорание органических примесей и создаются условия для образования минералов $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ и $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$,

3) при 900 °С происходит процесс начала образования минерала $2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$;

4) при 1000—1100 °С (эта зона печи называется зоной кальцинирования) происходит разложение углекислого кальция, а выделяющаяся при этом свободная известь (CaO) начинает взаимодействовать с SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 . Весь глинозем входит в соединение $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$

5) при 1200—1300 °С образуются минералы $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ и заканчивается образование $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$

6) при 1300—1450 °С (зона печи, в которой поддерживается такая температура, называется зоной спекания) происходит насыщение известью $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ до $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$;

7) далее осуществляется постепенное снижение температуры примерно до 1000 °С. В этой зоне печи окончательно формируются сложные соединения — клинкерные минералы.

После охлаждения в холодильниках клинкер хранится на складе, где происходит гашение свободной извести под влиянием влаги воздуха и поливки клинкера водой. Это необходимо для того, чтобы исключить неравномерность изменения объема цемента, появление трещин при его твердении из-за гашения свободной извести в затвердевшем цементе.

В зависимости от конструкций печей их производительность составляет 1000—3000 т клинкера в сутки.

После хранения на складе клинкер предварительно дробят, а затем измельчают в шаровых (трубных) мельницах (рис. 5.5). Трубная мельница разделена дырчатыми перегородками на несколько отсеков-камер. В качестве

мельющих тел используют стальные шары различного диаметра (для грубого помола) и цилиндры, производящие истирание (для окончательного тонкого помола).

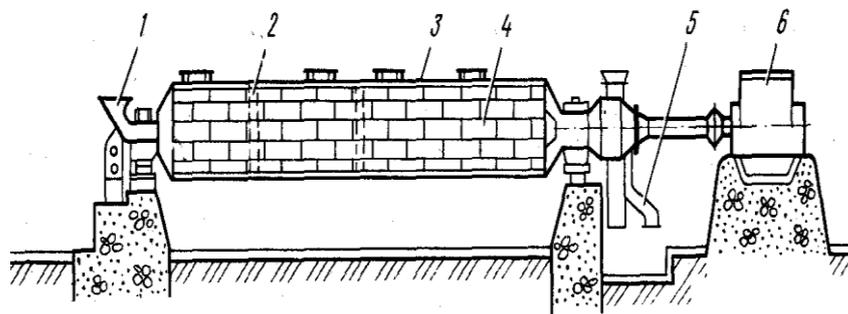


Рис. 5.5. Многокамерная мельница для помола клинкера:

1 — загрузочное устройство; 2 — перегородка с решетками; 3 — стальной цилиндр; 4 — стальные плитки; 5 — выгрузочное устройство; 6 — двухступенчатый редуктор

В процессе помола клинкера в мельницу вводят необходимые добавки для регулирования свойств цемента, а для ускорения помола — различные ускорители (триэтанолламин, сдб и др.).

Свойства будущего цемента во многом зависят от тонкости помола. Наибольшее влияние на прочность цемента оказывает фракция 5—30 мкм. В высокопрочных и быстротвердеющих цементах ее количество должно находиться в пределах 45—70%. Зерна цемента размером менее 5 мкм оказывают решающее влияние на его прочность в первые сутки твердения. Фракция 5—10 мкм влияет на прочность цемента в возрасте 3 и 7 сут, а фракция 10—30 мкм в возрасте 1 мес и более. Зерна цемента размером крупнее 60 мкм не твердеют и являются микробетоном Юнга.

После помола цемент направляется для хранения в силосы, где он окончательно должен охладиться (из мельницы цемент выгружается, имея температуру 80—120°C), а оставшаяся свободная известь — погаситься.

Из силосов цемент с помощью специальных автоматических устройств упаковывается в мешки из многослойной крафт-бумаги массой по 50 кг или грузится без затаривания и доставляется потребителю в специальных железнодорожных вагонах, автомобилях-цементовозах, баржах.

5.2.1. Клинкерные материалы и твердение портландцемента

Клинкерные минералы и твердение портландцемента. Портландцементный клинкер имеет сложный минералогический состав, который определяет во многом свойства цемента. Главные окислы (CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3) образуют минералы цементного клинкера. В табл. 5.1 приведены важнейшие минералы портландцементного клинкера и их примерное количество.

Таблица 5.1

Минерал	Формула	Сокращенное обозначение	Примерное содержание в клинкере, %
Трехкальциевый силикат (алит)	$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	C_3S	42—65
Двухкальциевый силикат (белит)	$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	C_2S	15—45
Трехкальциевый алюминат	$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	3—15
Четырехкальциевый алюмоферрит (целит)	$4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	10—25

Клинкерные минералы при взаимодействии с водой могут присоединять воду без разложения (реакции гидратации) и с разложением (реакции гидролиза).

Согласно теории, разработанной акад. А. А. Байковътм, установлено, что процесс твердения портландцемента подразделяется на три периода:

Первый период – **подготовительный**;

Второй период – **коллоидационный**;

Третий период – **кристаллизационный**.

Минералогический состав клинкера определяют с помощью физико-химических методов анализа.

Силикатные минералы (C_3S и C_2S) являются основными и составляют обычно 75—85%. Алит определяет высокую прочность, ее быстрое нарастание, высокую гидравлическую активность и другие важные свойства портландцемента. Белит твердеет очень медленно в начальный период, а затем в дальние сроки (1—2 года) активизируется.

Трехкальциевый алюминат при затворении водой сразу схватывается, выделяя значительное количество тепла, твердеет только на воздухе четырехкальциевый алюмоферрит быстро схватывается, твердеет медленно, приобретая прочность в дальние сроки твердения. Некоторые свойства минералов клинкера представлены в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Минерал	Полная гидратация, % в возрасте, сут				Глубина гидратации, мкм, в возрасте, сут				Теплота гидратации, Дж/г, в возрасте, сут			
	3	7	28	180	3	7	28	180	3	7	28	180
C_3S	61	69	73	84	3,5	4,7	7,9	15,0	407	462	487	567
C_2S	18	30	48	66	0,6	0,9	1,0	2,7	63	105	168	231
C_3A	56	62	82	96	10,7	10,4	11,2	14,5	592	664	878	1029
C_4AF	31	44	66	91	7,7	8,0	8,4	13,2	176	252	378	-

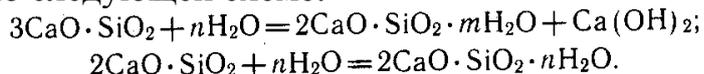
При затворении цемента водой проходят сложные физико-химические процессы взаимодействия минералов цемента и воды с образованием новых соединений. Цемент, смешанный с водой, сначала образует пластичную массу — цементное тесто, которое постепенно загустевает, в дальнейшем превращаясь в камень. Загустевание цементного теста и переход в твердое тело характеризуются соответственно началом и концом схватывания.

Клинкерные минералы при взаимодействии с водой могут присоединять воду без разложения (реакции гидратации) и с разложением (реакции гидролиза).

Согласно теории, разработанной акад. А. А. Байковъм, установлено, что процесс твердения портландцемента подразделяется на три периода.

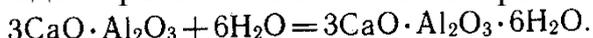
Первый период назван **подготовительным**, или периодом растворения. Минералы, находящиеся на поверхности зерен цемента, сразу же после его затворения водой вступают с ней в химические реакции.

Не все минералы одинаково реагируют с водой. Скорость их взаимодействия с водой различна. Однако реакции гидролиза и гидратации идут одновременно по следующей схеме:



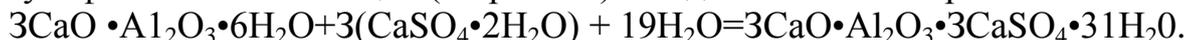
Таким образом, при взаимодействии с водой минералы силикатной группы образуют гидросиликаты кальция. Кроме того, минерал C_3S при гидролизе выделяет гидрат окиси кальция.

Гидратация C_3A с водой протекает с большой скоростью:



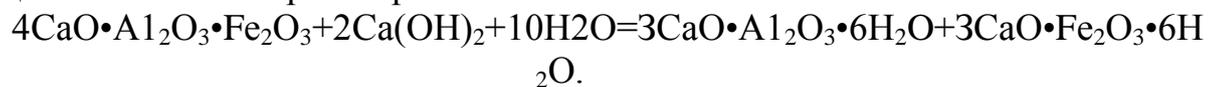
Если в цемент не добавляют гипс, то он обладает короткими сроками схватывания. Это объясняется тем, что шестиводный гидроалюминат кальция ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) способствует образованию коагуляционных структур в цементном тесте (укрупнение частиц, находящихся в коллоидном состоянии), а следовательно, быстрому загустеванию.

Гипс, введенный в цемент при помоле клинкера, реагирует с гидроалюминатом. При этом образуется труднорастворимая соль — гидросульфалюминат кальция (эттрингит) в виде игольчатых кристаллов:



В этом случае коагуляция гидратных новообразований протекает медленнее, что удлиняет сроки схватывания цементного теста. По мере растворения продуктов реакций обнажаются новые поверхности зерен цемента, и минералы, располагаемые в более глубоких слоях, взаимодействуют с водой.

Четырехкальциевый алюмоферрит взаимодействует с водой в насыщенном известью растворе:



Таким образом, в результате этой реакции химически связывается некоторое количество $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Гидратные соединения, обладая сравнительно плохой растворимостью, быстро насыщают раствор вокруг зерен цемента.

Второй период назван периодом **коллоидации** и характеризуется образованием коагуляционных структур. Дальнейшая гидратация вызывает пересыщение раствора. Пересыщенные растворы в обычных условиях существовать не могут, из них начинает выпадать растворенное вещество в виде мельчайших (коллоидных) частиц — гидратов клинкерных минералов. Коллоидные частицы обладают клеящей способностью, которой начинает

характеризоваться цементное тесто. Такое состояние теста обеспечивает хорошее его прилипание к каменным материалам их склеивание.

Вследствие дальнейшего поглощения воды минералами ее содержание в свободном виде уменьшается. При этом цементное тесто теряет пластичность что соответствует началу схватывания.

Третий период назван периодом **кристаллизации**. Наименее устойчивые в коллоидном состоянии гидрат окиси кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и гидроалюминат переходят в более устойчивое кристаллическое состояние. Одновременно происходит уплотнение гидросиликатов кальция находящихся в студнеобразном состоянии. Гидросилика ты кальция кристаллизуются медленно. Формирование прочности цементного камня вызывается кристаллизацией продуктов гидролиза и гидратации. Образующиеся кристаллы создают кристаллический сросток, который пронизывает цементный камень в различных направлениях, обеспечивая высокую прочность.

Скорость твердения цемента зависит от скорости взаимодействия клинкерных минералов с водой, т. е. от минералогического состава цемента, тонкости помола, условий твердения и других факторов.

Деление процесса твердения цемента на три последовательных периода весьма условно, так как они практически протекают одновременно. Цементный камень не является абсолютно плотным телом; в нем имеются поры различных размеров, заполненные воздухом или водой. Количество пор тем меньше, чем меньше было начальное водоцементное отношение (В/Ц) и чем лучше были условия прохождения процессов гидролиза и гидратации (температурно-влажностный режим).

Оптимальные условия твердения различны в зависимости от видов цемента.

Свойства и применение портландцемента. Технические требования на портландцемент изложены в ГОСТ 10178—2017, а методы определения стандартных показателей в лабораториях — в ГОСТ 310.1—2017; 310.3—2017, ГОСТ 310.4—2017, ГОСТ 310.5—2017.

В соответствии с требованиями стандарта цементная промышленность выпускает бездобавочный портландцемент (чистоклинкерный) и портландцемент с минеральными добавками. Если в качестве добавок в этом цементе используются доменные гранулированные или электротермофосфорные шлаки, их можно вводить в портландцемент в количестве не более 20%. Если в качестве активных минеральных добавок используют горные породы осадочного происхождения (трепел, опока), допускается их вводить в количестве не более 10%.

В соответствии с требованиями ГОСТ 10178—2017 нормируются следующие показатели портландцемента: тонкость помола, сроки схватывания, равномерность изменения объема, прочность (марка).

Истинная плотность портландцемента колеблется в пределах 3000—3200 кг/м³, **насыпная плотность** массы составляет 900—1300 кг/м³, а в **уплотненном состоянии** 1500—2000 кг/м³.

Тонкость помола. В соответствии с требованиями ГОСТ 310.2— 2017 тонкость помола цемента характеризуется массой порошка, прошедшей через сито с сеткой № 008 (размер отверстий в свету 0,08 мм). Через это сито должно проходить не менее 85% массы просеиваемой пробы. Более точной характеристикой тонкости помола цемента является удельная площадь поверхности — суммарная площадь поверхности частиц цемента в единице массы. Удельная площадь поверхности обычных портландцементов составляет 2000— 3000 см²/г. Чем выше удельная площадь поверхности, тем большая площадь поверхности зерен цемента будет взаимодействовать с водой затворения. Цементы с высокой тонкостью помола отличаются ускоренным твердением и повышенной прочностью. Увеличение удельной площади поверхности свыше 5000 см²/г приводит к снижению прочности цемента вследствие повышения его водопотребности.

Нормальная густота и сроки схватывания. Цемент, затворенный водой, называется цементным тестом. Ряд стандартных показателей цемента определяют на цементном тесте нормальной густоты, т. е. стандартной консистенции или пластичности. Нормальная густота цементного теста характеризуется количеством воды затворения в процент от массы цемента и составляет для портландцемента примерно 23— 29%. В соответствии с требованиями ГОСТ 310.3—2017 нормальная густота цемента определяется на приборе **Вика** (рис. 5.6). Нормальной густотой цементного теста считают такую его консистенцию, при которой пестик прибора Вика, погруженный в кольцо, заполненное тестом, не доходит на 5—7 мм до пластинки, на которой установлено кольцо. Количество воды, необходимое для получения цементного теста нормальной густоты, зависит от химико-минералогического состава цемента, их количества. Большое практическое значение имеют сроки схватывания цементов, так как в зависимости от этого показателя устанавливается время транспортирования и укладки растворных и бетонных смесей до их схватывания. Сроки схватывания характеризуются началом и

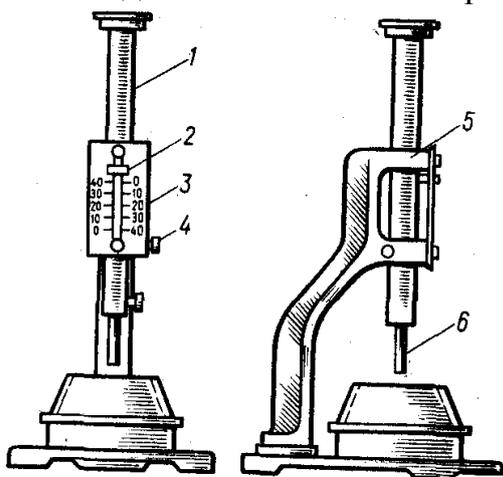


Рис. 5.6. Прибор Вика:

1 — цилиндрический стержень; 2 — указатель для отсчета перемещения стержня; 3 — шкала; 4 — зажимной

концом схватывания цементного теста нормальной густоты и определяются на приборе Вика при температуре 20°С. При определении этих показателей вместо пестика используют иглу. Началом схватывания цементного теста по ГОСТ 310.3 – 2017 считают время, прошедшее от начала затворения цемента водой до того момента, когда игла не доходит до дна кольца на 1—2 мм. Конец схватывания — время от начала затворения до момента, когда игла погружается в тесто не более чем на 1—2 мм. Если в

винт; 5 — обойма станины; 6 — пестик (измеритель густоты) — цементе нет гипса, то он отличается короткими сроками схватывания и его использовать практически нельзя.

В соответствии с требованием ГОСТ 10178—2017 начало схватывания цемента должно наступать не ранее 45 мин, а конец — не позднее 10 ч от начала затворения. В действительности начало схватывания цемента наступает через 2—3 ч, а конец — через 5—8 ч. По согласованию с потребителем допускаются другие сроки схватывания, которые можно регулировать с помощью различных химических добавок.

Равномерность изменения объема. Цементы в процессе твердения должны равномерно изменять объем. Одной из причин неравномерного изменения объема твердеющего цементного камня и, как следствие этого, возникновения внутренних напряжений, вызывающих появление трещин, деформаций и разрушений, является присутствие в цементе свободных СаО и MgO, которые гидратируются (гасятся) с увеличением объема в уже затвердевшем цементном камне. Стандартом предусмотрен ускоренный метод определения равномерности изменения объема цемента. По ГОСТ 310.3—2017 образцы-лепешки из цементного теста нормальной густоты через сутки после их изготовления и хранения при повышенной влажности в ванне с гидравлическим затвором подвергают кипячению в воде. После охлаждения лепешки не должны иметь искривлений, а также радиальных, доходящих до краев трещин или сетки мелких трещин. На рис. 5.7 показаны образцы лепешек, выдержавшие и не выдержавшие испытания на равномерность изменения объема.

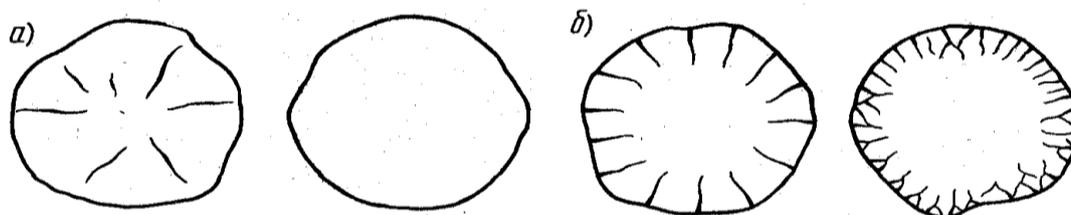


Рис. 5.7. Лепешки из цементного теста:

а — выдержавшие испытание на равномерность изменения объема;
б — не выдержавшие испытания

5.2.2. Глиноземистый цемент и цементы на его основе

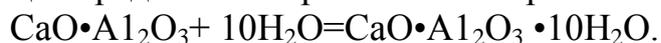
Глиноземистый цемент — быстротвердеющее вяжущее вещество, твердеющее в воде и на воздухе, получаемое тонким измельчением клинкера, изготавливаемого путем обжига до спекания или расплавления сырьевой смеси, состоящий из бокситов и известняков. **Бокситы** — редко встречающиеся горные породы. Они могут содержать в своем составе до 75% глинозема и поэтому используются главным образом для получения алюминия.

В известняках, применяемых для производства глиноземистого цемента, ограничивается до 2—3% содержание кремнезема и окиси магния.

Глиноземистый цемент чаще всего получают плавлением сырьевой смеси в электропечах, вагранках, конверторах при температуре более 1500°C. При этом образуется расплав. Можно получать глиноземистый клинкер во вращающихся печах обжигом до спекания при температуре 1250—1350°C.

В отличие от портландцементного клинкера, состоящего в основном из силикатов кальция, расплав или клинкер глиноземистого цемента состоит преимущественно из низкоосновных алюминатов кальция. Важнейшим минералом является моноалюминат кальция — $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3(\text{CA})$, а также $12\text{CaO}\cdot7\text{Al}_2\text{O}_3(\text{C}_{12}\text{A}_7)$, $\text{CaO}\cdot2\text{Al}_2\text{O}_3(\text{CA}_2)$. Суммарное содержание алюминатов кальция в глиноземистом цементе составляет 80—85%, в небольших количествах имеются силикаты, алюмосиликаты, ферриты и алюмоферриты кальция.

Гидратация моноалюмината кальция в глиноземистом цементе до температуры окружающей среды 20 °C протекает быстро по схеме:



Далее протекает реакция перекристаллизации при более высокой температуре:



Глиноземистый цемент отличается исключительно быстрым твердением. Значительная роль в этом принадлежит гидроокиси алюминия, которая создает прочные коллоиднокристаллизационные системы. Так, примерно через 6ч после затворения водой прочность глиноземистого цемента может достигать более 30% от марочной, через 24 ч твердения—80—90%, а в возрасте 3 сут — марочную прочность.

Глиноземистый цемент характеризуется нормальными сроками схватывания: начало схватывания не ранее 30 мин и конец схватывания не позднее 12 ч. Нормальная густота составляет 23—28%.

Глиноземистый цемент равномерно изменяется в объеме, так как не содержит свободной окиси кальция. При его твердении выделяется большое количество тепла (320—400 Дж/г). Глиноземистый цемент выпускают марок 400, 500 и 600. Марка определяется через 3 сут.

Для глиноземистого цемента наиболее благоприятными являются нормальные условия твердения (температура не выше 20°C и высокая влажность). При повышении температуры твердения свыше 20°C вследствие выделения тепла при бетонировании массивных сооружений, при пропаривании или обогреве прочность глиноземистого цемента значительно снижается (до 50—60%).

При температуре до 5—10 °C бетон на глиноземистом цементе твердеет медленно и прочность уменьшается примерно до 20% по сравнению с прочностью при нормальной температуре твердения. Так как глиноземистый цемент выделяет при твердении значительное количество тепла, его целесообразно применять для зимнего бетонирования.

В теплое время года при бетонировании конструкций и сооружений на глиноземистом цементе смесь затворяют холодной водой, бетон защищают от воздействия солнечных лучей, ветра и др.

Цементный камень из глиноземистого цемента отличается достаточно высокой водонепроницаемостью и морозостойкостью вследствие небольшой пористости. Глиноземистый цемент химически стойкое вяжущее в условиях воздействия на бетон пресных, минерализованных и сульфатных вод. Это определяется отсутствием в продуктах гидратации глиноземистого цемента трехкальциевого гидроалюмината и извести.

При складировании нельзя смешивать глиноземистый цемент с портландцементом, известью и другими вяжущими, так как резко сократятся сроки схватывания и понизится прочность.

Глиноземистый цемент рекомендуется применять для изготовления быстротвердеющих бетонов, при производстве аварийно-ремонтных работ, для зимнего бетонирования и возведения сооружений, подвергающихся воздействию сернистых газов и минерализованных вод.

Глиноземистый цемент применяется в качестве составляющего компонента для изготовления расширяющихся цементов различного вида и назначения.

В настоящее время известно много способов получения расширяющихся цементов и их разновидностей.

Расширяющиеся цементы — быстротвердеющие и гидравлические вяжущие вещества, которые в процессе твердения в раннем возрасте обеспечивают расширение образующегося цементного камня. Расширение происходит в результате образования при твердении цемента значительного количества трехсульфатного гидросульфата алюмината кальция:



Расширяющиеся цементы изготавливают в основном путем тонкого помола глиноземистого и портландцементного клинкера, различных специальных добавок. В строительстве эти цементы используют для получения водонепроницаемых бетонов и растворов, для заделки стыков сборных бетонных и железобетонных конструкций, при производстве гидроизоляционных работ.

5.2.3. Пуццолановые и шлаковые цементы

Цементы с различными свойствами можно получать путем введения в цементный клинкер при его помоле активных минеральных добавок.

Активные минеральные добавки — это природные или искусственные материалы, обладающие гидравлическими свойствами. При смещении с гидратной известью тонкомолотые активные минеральные добавки при затворении водой твердеют сначала на воздухе, а затем в воде. Активной

частью минеральных добавок являются аморфный кремнезем, алюмосиликаты, низкоосновные силикаты и алюминаты кальция.

Активные минеральные добавки подразделяются на *природные* и *искусственные*. К природным активным минеральным добавкам относится ряд горных пород осадочного и вулканического происхождения. Добавки осадочного происхождения состоят в основном (до 90%) из аморфного кремнезема. К ним относятся диатомит, трепел, опока, глиежи (горные породы, образовавшиеся в результате природного обжига глины вследствие подземного горения угольных пластов). Добавки вулканического происхождения состоят в основном из кремнезема и глинозема (в сумме до 90%). К ним относятся пеплы, туфы, пемзы и трассы.

К искусственным активным минеральным добавкам относятся различные шлаки (металлургические, доменные, мартеновские, топливные), золы, кремнеземистые отходы, получаемые при производстве серноокислого алюминия, умеренно обожженные при температуре 600—800°С глины — глины, белитовой (нефелиновый) шлак-отход глиноземного производства.

Тонкомолотые доменные гранулированные шлаки, затворенные водой, проявляют свойства гидравлического вяжущего материала. Вяжущие свойства доменного гранулированного шлака значительно повышаются при его смешивании с добавками-активизаторами твердения (известь, гипс и др.).

Пуццолановый портландцемент — это гидравлическое вяжущее, получаемое путем совместного тонкого измельчения клинкера, необходимого количества гипса и активной минеральной добавки, либо тщательным смешиванием тех же материалов, измельченных отдельно. Содержание активных минеральных добавок в пуццолановом портландцементе в соответствии с требованиями ГОСТ 22266—94 должно составлять: осадочного происхождения (кроме глиежа) не менее 20% и не более 30% от массы цемента; вулканического происхождения, глиежа, топливной золы не менее 25% и не более 40% от массы цемента.

Шлакопортландцемент — гидравлическое вяжущее, получаемое путем совместного тонкого измельчения клинкера, гипса и доменного гранулированного шлака или тщательного смешения тех же материалов, измельченных отдельно. Содержание доменного гранулированного шлака в этом цементе в соответствии с требованиями ГОСТ 10178—2017 должно составлять не менее 20% и не более 80% от массы цемента. В шлакопортландцементе марки 300 допускается содержание доменного гранулированного шлака свыше 60%, но не более 80% от массы цемента. Разновидностями шлакопортландцемента являются быстротвердеющий и сульфатостойкий шлакопортландцементы.

Свойства доменного гранулированного шлака как компонента шлакопортландцемента характеризуются коэффициентом качества

$$K = \frac{\%CaO + \%Al_2O_3 + \%MgO}{\%SiO_2 + \%TiO_2} \quad (\text{при содержании } MgO < 10\%);$$

$$K = \frac{\%CaO + \%Al_2O_3 + 10}{\%SiO_2 + \%TiO_2 + \% (MgO - 10)} \quad (\text{при содержании } MgO > 10\%).$$

В зависимости от коэффициента качества и химического состава доменные гранулированные шлаки согласно ГОСТ 3476—2017 подразделяются на три сорта (табл. 5.3).

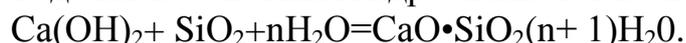
Таблица 5.3

Показатели	Сорта		
	1-й	2-й	3-й
Коэффициент качества не менее	1,65	1,45	1,20
Содержание оксида алюминия (Al ₂ O ₃), %, не менее	8,0	7,5	Не нормируется
Содержание оксида магния (MgO), %, не менее	15	15	15
Содержание диоксида титана (TiO ₂), %, не более	4	4	4
Содержание оксида марганца (MnO), %, не более	2	3	4

Для производства шлакопортландцемента использует также электротермофосфорные шлаки, получаемые при переработке фосфорных руд.

Активность минеральных добавок, кроме доменных гранулированных шлаков, оценивается по их способности взаимодействовать с гидроксидом кальция в нормальных условиях. Например, поглощение 1 г добавки извести из известкового раствора в течение 30 сут должно быть не менее: для трепела, опоки и диатомита 150 мг CaO; для глиежа 30 мг CaO; для туфа, пемзы 50 мг CaO; трасса 60 мг CaO; кремнеземистых отходов 200 мг CaO; обожженных глин, топливных зол и шлаков 50 мг CaO.

При твердении пуццолановых портландцементов кремнезем активной минеральной добавки взаимодействует с Ca(OH)₂ с образованием труднорастворимых в воде низкоосновных гидросиликатов кальция:



Эта реакция протекает медленно и только при твердении цемента в водных условиях.

Пуццолановый цемент твердеет медленнее обычного портландцемента. Сроки схватывания такие же, как и у обычного портландцемента. Наличие активных минеральных добавок в составе пуццоланового портландцемента увеличивает нормальную густоту цементного теста до 35%. Водопотребность бетонных смесей на пуццолановых портландцементах выше, чем на обычных портландцементах. При твердении в воде прочность пуццоланового портландцемента во времени повышается и превышает прочность исходного портландцемента. Повышенная усадка и пониженная воздухоустойчивость объясняются большой водопотребностью и интенсивным испарением воды при твердении на воздухе. В результате образования низкоосновных гидросиликатов кальция последние, набухая, заполняют микропоры в растворах и бетонах, уплотняют структуру цементного камня в них и

повышают водонепроницаемость. Растворы и бетоны на пуццолановых цементах неморозостойки.

Пуццолановые портландцементы применяются в подводных и подземных бетонных сооружениях (гидротехническое строительство, тоннели, шахтное строительство и т. д.). Они отличаются повышенной сульфатостойкостью и выпускаются марок 300 и 400.

Использование шлакопортландцемента не вызывает повышения водопотребности растворов и бетонных смесей. Этот цемент характеризуется несколько замедленным ростом прочности в первый период твердения.

При твердении шлакопортландцемента происходит химическое связывание шлаком извести с образованием гидросиликатов кальция, а с сульфатами — гидросульфоалюминатов кальция. Усадка шлакопортландцемента в 1,5—2 раза меньше, чем пуццоланового портландцемента. Растворы и бетоны на шлакопортландцементе проявляют стойкость при воздействии пресной воды (коррозия выщелачивания), так как содержат незначительное количество извести. Морозостойкость растворов и бетонов нормального твердения на шлакопортландцементах невысока. Водонепроницаемость бетонов повышается с увеличением тонкости помола шлакопортландцемента. Воздухостойкость этих цементах выше, чем пуццолановых портландцементов. Шлакопортландцемент обладает повышенной стойкостью против действия минерализованных вод, не оказывает корродирующего действия на арматуру в железобетоне.

Бетоны на шлакопортландцементе лучше, чем бетоны на портландцементе, сопротивляются действию высоких температур.

Шлакопортландцемент выпускается марок 300, 400 и 500. Быстротвердеющий шлакопортландцемент (шлака от 30 до 50%) имеет тонкость помола 3500—4500 см²/г, в клинкере содержится минералов С₃S около 60% и С₃A 8—10%, прочность через 3 сут на изгиб не менее 3,5 МПа и на сжатие не менее 20 МПа; марка быстротвердеющего шлакопортландцемента 400.

Сульфатостойкий шлакопортландцемент изготавливают на основе клинкера нормированного минералогического состава и выпускают марок 300 и 400. Шлакопортландцементы применяют для бетонных и железобетонных конструкций, наземных, подземных и подводных сооружений.

5.2.4. Коррозия (разрушение) цементного камня

Коррозия (разрушение) – самопроизвольное разрушение твердого тела (материала, камня, бетона, железобетона), вызванное химическими или электрохимическими процессами, развивающимися на его поверхности при взаимодействии с внешней средой.

Цементный камень в бетонах или растворах может разрушаться под действием агрессивной среды, создаваемой различными жидкостями и газами.

Такое явление называется **коррозией цементного камня** или **коррозией бетона**. Несмотря на многообразие происходящих в бетоне физико-химических процессов коррозии ее подразделяют на три вида.

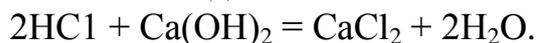
Коррозия I вида возникает в бетоне при действии на него пресных вод. Выделяющаяся при твердении цемента известь имеет весьма незначительную растворимость в воде (при температуре 15°C в 1 л воды растворяется 1,3г СаО). При воздействии пресной воды на бетон гидрат окиси кальция растворяется и уносится водой. Поэтому такой вид коррозии называют *коррозией выщелачивания*. Это в свою очередь вызывает разложение других гидратов, нарушая связь между составляющими бетон материалами. Выщелачивание СаО из цементного раствора в количестве 15—30% (от всего содержания в цементе) приводит к уменьшению прочности более чем на 40—50%. Белые налеты, пятна и подтеки на поверхности бетонных конструкций и сооружений, как правило, свидетельствуют о наличии коррозии выщелачивания.

Коррозия II вида возникает в бетоне в результате обменных реакций между веществами, содержащимися в воде, и продуктами гидролиза и гидратации минералов цемента. При этом образуются новые химические соединения, не обладающие вяжущими свойствами, а также легкорастворимые соединения, которые вымываются водой.

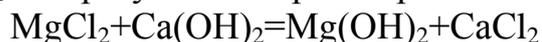
Особенно часто наблюдается коррозия бетона под действием природных вод, содержащих углекислоту. Агрессивная углекислота (СО₂), реагируя с углекислым кальцием (СаСО₃), который образует карбонизированный слой при твердении бетона на его поверхности, переводит СаСО₃ в бикарбонат кальция:



Бикарбонат кальция хорошо растворяется в воде, вымывается, и бетон разрушается. Наличие соляной кислоты в сточных водах промышленных предприятий оказывает вредное влияние на бетон. Эта кислота, взаимодействуя с известью, выделяющейся при твердении цемента, образует хлористый кальций, который легко вымывается водой:



В грунтовых водах часто содержится соль магния (MgCl₂). Эта соль в значительных количествах имеется в морской воде. Наличие в воде катионов Mg²⁺ свыше 5000 мг/л делает воду агрессивной по отношению к бетонам на портландцементе. Соли магния, проникая в поры бетона, вступают во взаимодействие с Са(ОН)₂ и образуют легкорастворимый хлористый кальций:

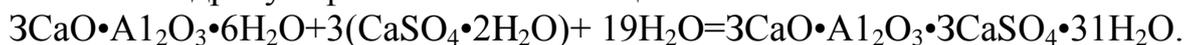


Разрушающее влияние на бетон оказывают растворы щелочей высокой концентрации.

Коррозия III вида возникает в бетоне в результате воздействия на него водных растворов солей, способных образовывать с соединениями цементного камня малорастворимые новые соединения, кристаллизация которых и вызывает разрушение бетона. К этому виду коррозии относятся разрушения, вызываемые действием сульфатных вод, которые могут содержать растворенные соли сульфатов. Так, например, при содержании в воде гипса он

выделяется из раствора и накапливается в порах бетона (цементного камня). Гипс может образовываться, если в воде имеются другие соли сульфатов при их взаимодействии с $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Накопление и кристаллизация гипса сопровождаются увеличением в объеме, что вызывает значительные растягивающие усилия и возникновение трещин в бетоне. Этот вид разрушения называется гипсовой коррозией.

Наиболее опасно взаимодействие сульфатов (например, гипса) с трехкальциевым гидроалюминатом с образованием труднорастворимого соединения — гидросульфатоалюмината кальция:



Образование этого соединения сопровождается увеличением его объема в 2,5 раза. Этот вид разрушения называется сульфатной коррозией.

Кристаллы гидросульфатоалюмината кальция имеют иглообразный вид и напоминают бациллы (отсюда название этого соединения «цементная бацилла»).

Под действием различных неорганических и органических кислот, вступающих в химическое взаимодействие с $\text{Ca}(\text{OH})_2$, происходит также разрушение бетона. Нефть и нефтепродукты (бензин, керосин, мазут), минеральные масла не опасны для бетона.

При взаимодействии щелочей, содержащихся в цементе Na_2O и K_2O даже в незначительном количестве (менее 0,6%), с реакционно способным аморфным кремнеземом ($\text{SiO}_2\cdot n\text{H}_2\text{O}$) (опал, халцедон) в заполнителях для бетона необходимо учитывать возможность возникновения щелочной коррозии.

Мероприятия по защите бетона от коррозии должны предусматривать: создание плотных (водонепроницаемых) бетонов; применение специальных цементов в зависимости от вида коррозии; устройство защитных гидроизоляционных пленок, окрасок, облицовок, экранов на поверхности бетона.

5.2.5. Определение предела прочности при изгибе и сжатии образцов балочек

Активность и марка портландцемента. Одной из важнейших характеристик цемента является его *прочность* — **марка**. От марки цемента зависит прочность бетона и расход цемента. Прочность цемента определяют, испытывая образцы-балочки размером 40X40X160 мм, приготовленные из цементопесчаной растворной смеси состава 1:3 по массе. Образцы-балочки испытывают на 28 сут твердения в нормальных условиях (первые сутки образцы твердеют в формах во влажном воздухе, а затем 27 сут — в воде при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$).

В соответствии с требованиями ГОСТ 310.4—81 растворная смесь должна иметь расплыв конуса после 30 встряхиваний на встряхивающем столике в пределах 106—115 мм при В/Ц-0,40. Если расплыв менее 106 мм, то

В/Ц увеличивают для получения расплыва конуса 106—108 мм. Если расплыв более 115 мм, В/Ц уменьшают для получения расплыва конуса 113—115 мм. Для того чтобы исключить влияние вида песка на прочность цемента, применяют только нормальный вольский песок, удовлетворяющий требованиям **ГОСТ 6139—78**.

Предел прочности при изгибе определяют на рычажном приборе Михаэлиса или на приборе МИИ-100. Схема расположения образца-балочки при испытании на изгиб на опорных частях приборов показана на рис. 5.8.

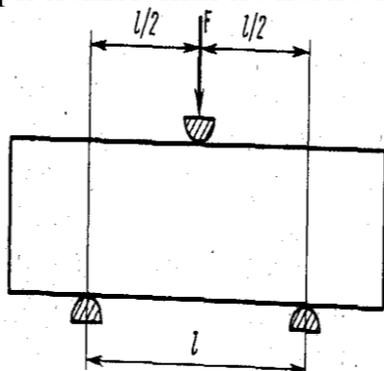


Рис.5.8. Схема испытания образцов балочек на изгиб

Предел прочности при изгибе ($R_{изг}$) вычисляют как среднее арифметическое значение двух наибольших результатов испытания трех образцов:

$$R_{изг} = \frac{3Fl}{2bh^2}$$

где F — разрушающая нагрузка, Н;
 l — расстояние между центрами опор, м;
 b и h — ширина и высота сечения, образца, м.

Предел прочности при сжатии определяют, испытывая половинки балочек на гидравлическом прессе между нажимными пластинками.

Предел прочности при сжатии вычисляют как среднее арифметическое значение четырех наибольших результатов испытания шести образцов:

$$R_{сж} = F/S$$

где F — разрушающая нагрузка, Н;
 S — площадь сечения образца под нажимными пластинами, равная $0,0025 \text{ м}^2$

Фактический показатель прочности половинок образцов-балочек при сжатии характеризует активность цемента. Округленное значение активности — марка цемента. Например, при испытании образцов получена средняя прочность 43,5 МПа — это активность цемента, а марка его 400. При расчете состава бетона следует пользоваться значениями активности цементов, так как это позволяет экономить цементы.

В соответствии с требованиями ГОСТ 10178—2017 предел прочности при изгибе и сжатии портландцементов и шлакопортландцементов должен быть не менее значений, указанных в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Цемент	Гарантированная марка цемента	Предел прочности при изгибе, МПа (кгс/см ²), в возрасте, сут		Предел прочности при сжатии, МПа (кгс/см ²) в возрасте, сут	
		3	28	3	28
Портландцемент и портландцемент с минеральными добавками	400	—	5,4 (55)	—	39,2 (400)
	500	—	5,9 (60)	—	49,0 (500)
	550	—	6,1 (62)	—	53,9 (550)
	600	—	6,4 (65)	—	58,8 (600)
Быстротвердеющий портландцемент	400	3,9 (40)	5,4 (55)	24,5 (250)	39,2 (400)
	500	4,4 (45)	5,9 (60)	27,5 (280)	48,0 (500)
Шлакопортландцемент	300	—	4,4 (45)	—	29,4 (300)
	400	—	5,4 (55)	—	39,2 (400)
	500	—	5,9 (60)	—	49,0 (500)
Быстротвердеющий шлакопортландцемент	400	3,4 (35)	5,4 (55)	19,6 (200)	39,2 (400)

Портландцемент практически применяется во всех областях строительства. Его используют для изготовления бетонных и железобетонных конструкций и сооружений, эксплуатируемых в подземных, подводных и наземных условиях, а также для строительных растворов. Его нельзя применять для возведения сооружений, подвергающихся действию морской, минерализованной и пресной воды. На основе портландцемента освоено изготовление специальных видов цементов. Одной из важнейших задач при производстве бетонных работ является экономное расходование цемента.

Раздел 6. Цементобетон и цементобетонные материалы

6.1. Цементобетонные смеси и растворы, их состав и основные свойства

Бетоном называется искусственный камневидный строительный материал, представляющий собой затвердевшую смесь вяжущих, заполнителей, воды и необходимых добавок. До затвердения указанная смесь материалов называется **бетонной смесью**.

Строительный материал, в котором бетон и стальная арматура, соединенные взаимным сцеплением и работающие под нагрузкой как единое монолитное тело, называется **железобетоном**.

Бетон и железобетон — основные материалы для строительства промышленных, гражданских, гидротехнических, сельскохозяйственных сооружений. Эти материалы широко применяются для строительства дорожных и аэродромных покрытий, искусственных сооружений (мостов, тоннелей, труб и других целей). Из бетона и железобетона изготавливают монолитные конструкции, сооружаемые на месте строительства, и сборные, изготавливаемые на заводах и полигонах сборного бетона и железобетона (ЖБК).

Классификация бетонов и общие технические требования, предъявляемые к ним, изложены в ГОСТ 6139-91. Бетоны классифицируют по средней плотности, виду заполнителей, виду вяжущего, основному назначению. По средней плотности различают бетоны:

особо тяжелые — более 2500 кг/м^3 , **тяжелые** $1800\text{—}2500 \text{ кг/м}^3$, **легкие** $500\text{—}1800 \text{ кг/м}^3$, **особо легкие** — менее 500 кг/м^3 . В строительстве наиболее широко применяют тяжелый бетон со средней плотностью $2100\text{—}2500 \text{ кг/м}^3$ на плотных заполнителях из горных пород или металлургических шлаков. Легкие цементобетоны получают с использованием природных или искусственных пористых заполнителей. Особо легкие бетоны — это ячеистые бетоны, получаемые путем вспучивания смеси вяжущего, тонкомолотой добавки и воды с помощью газо- или пенообразователей. Особо легкие бетоны изготавливают без заполнителей.

Около 70% от общего объема занимают бетоны, изготавливаемые на портландцементе и его разновидностях, около 25—30% — бетоны на шлакопортландцементе и пуццолановом цементе.

В зависимости от основного назначения бетоны подразделяют на **конструкционные** и **специальные**. К *конструкционным* относят бетоны, которые применяют в промышленном, гражданском, сельскохозяйственном, гидротехническом, транспортном и других видах строительства. К *специальным* относят теплоизоляционные, жаростойкие, химически стойкие, напрягающие, декоративные, бетонополимеры, полимербетоны и радиационно-защитные бетоны.

В соответствии с требованиями ГОСТ 26633—91 по прочности образцов кубов на сжатие тяжелые бетоны подразделяют на классы:

B3,5; B5; B7,5; B10; B12,5; B15; B20; B25; B30; B35; B40; 845; B50; B55; B60. Класс бетона устанавливает гарантированное значение показателя его прочности:

$$B = \bar{R}(1 - tv)$$

где B — класс бетона по прочности, МПа;
 \bar{R} — средняя прочность бетона, МПа, которая должна быть при производстве конструкций обеспечена коэффициентом t (1,64), характеризующим принятую при проектировании обеспеченность класса бетона;
 v — коэффициент вариации прочности бетона (13,5%)

В зависимости от назначения и области применения бетоны должны удовлетворять определенным требованиям (морозостойкости, истираемости, водонепроницаемости, химической стойкости, пониженной экзотермии и другим требованиям).

6.2. Проектирование и приготовление цементобетонных смесей

Проектирование бетона состоит в выборе материалов для его приготовления с учетом условий производства бетонных работ и особенностей эксплуатации сооружения (климата, воздействий нагрузок и других особенностей). Расчет состава бетона заключается в установлении правильного соотношения между материалами. Все это позволяет получить бетон с требуемыми свойствами. В задании для расчета состава бетона указывают требуемую подвижность или жесткость бетонной смеси, марку (прочность) бетона и, если в этом есть необходимость, другие показатели свойств, которые должны учитываться особо.

Качество бетонных смесей и бетонов во многом определяется особенностями перемешивания бетонных смесей в бетоносмесительных агрегатах различного типа.

Различают два типа бетоносмесителей: **периодического** и **непрерывного** действия. В бетоносмесителях периодического действия рабочие циклы протекают с перерывами, т. е. в них периодически загружают отвешенные порции материалов, перемешивают и выгружают бетонную смесь. В бетоносмесителях непрерывного действия все три операции производят непрерывно.

Методы круглогодичного строительства позволило получать бетоны высокого качества в холодное время года. При температуре ниже 5 °С требуется ряд мероприятий, обеспечивающих твердение бетона, так как значительно замедляется гидратация цемента и прочность нарастает крайне медленно. При температуре $-3 \div -5^{\circ}\text{C}$ вода в бетоне переходит в лед и процессы твердения практически прекращаются.

Однако после оттаивания льда бетон снова начинает набирать прочность. Если бетон замерзает в раннем возрасте, то после оттаивания и дальнейшего

твердения имеет низкую прочность и морозостойкость. Это объясняется тем, что замерзшая вода, расширяясь при замерзании, разрушает цементный камень и нарушает его сцепление с заполнителем. В связи с этим к моменту замораживания бетон марок 200—300 должен приобрести не менее 40%, а бетон марок 400—500 — не менее 30% проектной прочности. Зимнему бетону нужно создавать благоприятные условия твердения в первые 2—3 сут после укладки.

6.2.1. Приготовление бетонной смеси в бетоносмесителях периодического и непрерывного действия

Качество бетонных смесей и бетонов во многом определяется особенностями перемешивания бетонных смесей в бетоносмесительных агрегатах различного типа.

Различают два типа бетоносмесителей: **периодического** и **непрерывного** действия. В бетоносмесителях периодического действия рабочие циклы протекают с перерывами, т. е. в них периодически загружают отвшенные порции материалов, перемешивают и выгружают бетонную смесь. В бетоносмесителях непрерывного действия все три операции производят непрерывно.

По способу перемешивания бетоносмесители бывают с принудительным перемешиванием материалов и с перемешиванием при свободном падении материала под действием сил гравитации.

В бетоносмесителях со свободным перемешиванием перемешивание производится путем вращения барабана, на внутренней поверхности которого имеются лопасти. При вращении барабана лопасти захватывают бетонную смесь, поднимают ее на некоторую высоту и сбрасывают, чем обеспечивается интенсивное перемешивание.

Бетоносмесители, в которых перемешивание происходит при свободном падении материала, выпускаются вместимостью смесительного барабана 100, 250, 500, 750, 1200, 1500, 2400 и 4500 л и с принудительным перемешиванием — 375, 750 и 1500 л. Вместимость бетономешалки определяется не выходом готового бетона, а суммой объемов загружаемых материалов.

В бетоносмесителях принудительного перемешивания материалы перемешиваются в неподвижном смесительном барабане при помощи вращающихся лопастей, насаженных на вал.

Для приготовления жестких бетонных смесей применяют бетоносмесители с принудительным перемешиванием при встречном вращении барабана и лопастей.

Продолжительность перемешивания имеет большое значение для получения однородной смеси. Наименьшая продолжительность перемешивания бетонных смесей на плотных заполнителях приведена в табл.6.1.

При приготовлении легких бетонов время перемешивания смесей увеличивают в 2,5—3 раза. Дозирование заполнителей производят, как правило, по массе, а жидкие составляющие (вода, водные растворы добавок) могут дозироваться по объему. Погрешность дозирования исходных материалов не должна превышать для цемента, воды, добавок $\pm 2\%$, для заполнителей $\pm 2,5\%$

Бетонные смеси могут поставляться в виде сухой смеси цемента с заполнителями и затворяться водой в автобетоносмесителях в пути их следования или непосредственно на месте укладки.

Для доставки бетонной смеси от бетоносмесителя до места укладки применяют различные транспортные средства: вагонетки с опрокидывающимися кузовами, транспортеры, бетононасосы, специальный автотранспорт. Способ доставки бетонной смеси к месту укладки должен обеспечивать сохранение ее однородности и удобоукладываемости. Время транспортирования бетонной смеси ограничивается.

При перевозке автотранспортом бетонная смесь должна быть жесткой или малоподвижной, так как подвижные смеси при перевозках в автомобилях-самосвалах легко расслаиваются. Пластичную бетонную смесь удобнее всего доставлять в автобетономешалках.

Завод-изготовитель на каждую партию бетонной смеси выдает паспорт с указанием:

- наименования и адреса завода-изготовителя;
- номера и даты выдачи паспорта; количества смеси (м³);
- вида, марки и расхода цемента на 1 м³ бетонной смеси;
- крупности щебня или гравия;
- подвижности или жесткости бетонной смеси;
- марки бетона, а также результатов испытания контрольных образцов на прочность.

Таблица 6.1

Объем готового замеса бетонной смеси, л	Продолжительность перемешивания в смесителях, с		принудительного действия
	при свободном падении материала с ОК, см		
	3 – 8	более 8	
500 и менее	75	60	50
Более 500	120	90	50

6.2.2. Способы доставки бетонной смеси к месту укладки.

Потеря подвижности бетонной смеси при транспортировании не должна превышать 50% при подвижности смеси не более 8см, 30% при подвижности свыше 8см. Показатели подвижности или жесткости назначаются и определяются на месте укладки. Требования к бетонным смесям изложены в ГОСТ 7473—94.

Наиболее трудоемкими операциями являются укладка бетонной смеси, ее распределение и уплотнение. Эти операции в настоящее время механизированы и выполняются бетоноукладчиками. Их применение позволяет механизировать не только укладку, но и процесс распределения бетонной смеси в форме.

Качество укладки бетонной смеси является важным звеном в получении бетонного или железобетонного сооружения с требуемыми свойствами.

Бетонную смесь следует укладывать в форму так, чтобы в ней не оставались воздушные пузырьки.

Наиболее распространенным способом уплотнения бетонной смеси является вибрирование. При вибрации (частота колебаний 1500—3000 в минуту и амплитуда 0,1—0,6 мм) бетонная смесь становится текучей.

Разжиженная смесь легко заполняет форму, крупный и мелкий заполнители располагаются плотно. При этом вытесняются крупные воздушные пузырьки.

Для виброуплотнения применяют вибраторы различных типов (рис. 6.1). Для укладки и уплотнения полов, плитных конструкций, дорог используются поверхностные вибраторы, передающие колебания через площадку, на которой закреплен вибратор. Глубина проработки составляет до 25 см.

Глубинные внутренне вибраторы применяют для укладки и уплотнения бетонных смесей в массивных армированных и неармированных конструкциях, фундаментах, балках, ригелях, колоннах. Рабочие органы этих вибромеханизмов полностью погружаются в бетонную смесь.

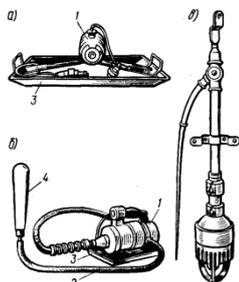


Рис. 6.1. Вибраторы:

- а — поверхностный; б и в — глубинные;
1 — двигатель 2 — гибкий вал; 3 — металлическая
площадка; 4 — вибрирующий наконечник

Эффективность виброуплотнения оценивается коэффициентом уплотнения — это отношение фактической средней плотности уплотненной смеси к ее теоретической средней плотности. Коэффициент уплотнения равен 0,95—0,98.

6.2.3. Определение прочности бетона при сжатии, изгибе, растяжении и раскалывании.

В соответствии с требованиями ГОСТ 310.4—2017 растворная смесь должна иметь расплыв конуса после 30 встряхиваний на встряхивающем столике в пределах 106—115 мм при В/Ц-0,40. Если расплыв менее 106 мм, то В/Ц увеличивают для получения расплыва конуса 106—108 мм. Если расплыв более 115 мм, В/Ц уменьшают для получения расплыва конуса 113—115 мм. Для того чтобы исключить влияние вида песка на прочность цемента, применяют только нормальный вольский песок, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 6139—91.

Предел прочности при изгибе определяют на рычажном приборе Михаэлиса или на приборе МИИ-100. Схема расположения образца-балочки при испытании на изгиб на опорных частях приборов показана на рис. 6.2.

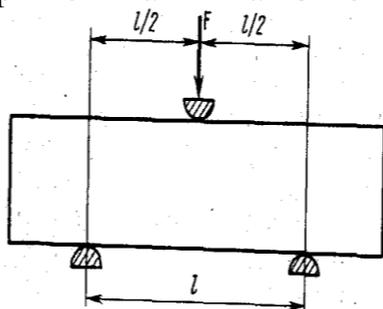


Рис.6.2. Схема испытания образцов балочек на изгиб

Предел прочности при изгибе ($R_{изг}$) вычисляют как среднее арифметическое значение двух наибольших результатов испытания трех образцов:

$$R_{изг} = \frac{3Fl}{2bh^2}$$

где F — разрушающая нагрузка, Н;
 l — расстояние между центрами опор, м;
 b и h — ширина и высота сечения, образца, м.

Предел прочности при сжатии определяют, испытывая половинки балочек на гидравлическом прессе между нажимными пластинками.

Предел прочности при сжатии вычисляют как среднее арифметическое значение четырех наибольших результатов испытания шести образцов:

$$R_{сж} = F/S$$

где F — разрушающая нагрузка, Н;
 S — площадь сечения образца под нажимными пластинами, равная $0,0025 \text{ м}^2$

Фактический показатель прочности половинок образцов-балочек при сжатии характеризует активность цемента. Округленное значение активности — марка цемента. Например, при испытании образцов получена средняя прочность $43,5 \text{ МПа}$ — это активность цемента, а марка его 400. При расчете состава бетона следует пользоваться значениями активности цементов, так как это позволяет экономить цементы.

В соответствии с требованиями ГОСТ 10178—2017 предел прочности при изгибе и сжатии портландцементов и шлакопортландцементов должен быть не менее значений, указанных в табл. 6.2.

Таблица 6.2

Цемент	Гарантированная марка цемента	Предел прочности при изгибе, МПа (кгс/см^2), в возрасте, сут		Предел прочности при сжатии, МПа (кгс/см^2) в возрасте, сут	
		3	28	3	28
Портландцемент и портландцемент с минеральными добавками	400	—	5,4 (55)	—	39,2 (400)
	500	—	5,9 (60)	—	49,0 (500)
	550	—	6,1 (62)	—	53,9 (550)
	600	—	6,4 (65)	—	58,8 (600)

Быстротвердеющий портландцемент	400	3,9 (40)	5,4 (55)	24,5 (250)	39,2 (400)
	500	4,4 (45)	5,9 (60)	27,5 (280)	48,0 (500)
Шлакопортландцемент	300	—	4,4 (45)	—	29,4 (300)
	400	—	5,4 (55)	—	39,2 (400)
	500	—	5,9 (60)	—	49,0 (500)
Быстротвердеющий шлакопортландцемент	400	3,4 (35)	5,4 (55)	19,6 (200)	39,2 (400)

Портландцемент практически применяется во всех областях строительства. Его используют для изготовления бетонных и железобетонных конструкций и сооружений, эксплуатируемых в подземных, подводных и наземных условиях, а также для строительных растворов. Его нельзя применять для возведения сооружений, подвергающихся действию морской, минерализованной и пресной воды. На основе портландцемента освоено изготовление специальных видов цементов. Одной из важнейших задач при производстве бетонных работ является экономное расходование цемента.

6.2.4. Методы определения прочности бетона

Существует несколько методов расчета состава бетона. Наиболее распространенным является метод абсолютных объемов, по которому соотношение материалов рассчитывается по их абсолютным объемам с последующим изготовлением пробных лабораторных замесов.

Абсолютным объемом считается теоретический объем материала без межзерновых пустот. Такой объем (л) получают при делении массы материала (кг) на плотность или объемную массу (кг/л).

При исходных материалах наибольшая плотность обеспечивается в том случае, если сумма абсолютных объемов исходных материалов, взятых для приготовления 1 м^3 бетонной уплотненной смеси, соответствует 1000 л. Исходя из этого составляют основное уравнение абсолютных объемов исходных материалов, количество которых необходимо на 1 м^3 абсолютно плотной бетонной смеси:

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{В}{\rho_{в}} + \frac{П}{\rho_{п}} + \frac{Щ}{\rho_{щ}} = 1000 \quad (6.1)$$

и второе уравнение исходя из условия что цементнопесчаный раствор должен заполнить все пустоты между щебнем с некоторой раздвижкой его зерен, что необходимо для получения удобоукладываемой бетонной смеси и связывания зерен заполнителя:

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{В}{\rho_{в}} + \frac{П}{\rho_{п}} = d_{щ} K_{изб} \frac{Щ}{\rho_{о.щ}} \quad (6.2)$$

- где Ц, В, П; Ш — расходы цемента, воды, песка и щебня, кг/м³;
 $\rho_{ц}, \rho_{п}, \rho_{ш}, \rho_{в}$ — истинная плотность цемента, песка, щебня, воды, кг/л;
 $\rho_{о.ш}$ — средняя плотность щебня, кг/л;
 $K_{изб}$ — коэффициент раздвижки зерен щебня раствором;
 $d_{ш}$ — пустотность щебня в относительных единицах.

Совместным решением уравнений (6.1) и (6.2) получим формулы:

$$\text{Ш} = \frac{1000}{d_{ш} \frac{K_{изб}}{\rho_{о.ш}} + \frac{1}{\rho_{ш}}} \quad (6.3)$$

$$\text{П} = \left[1000 - \left(\frac{\text{Ц}}{\rho_{ц}} + \frac{\text{В}}{\rho_{в}} + \frac{\text{Ш}}{\rho_{ш}} \right) \right] \rho_{п} \quad (6.4)$$

Далее составы бетона подбирают в следующем порядке:

1. Определяют водоцементное отношение по формуле

$$R_6 = A \cdot R_{ц} \left(\frac{\text{Ц}}{\text{В}} - C \right)$$

отсюда

$$\frac{\text{В}}{\text{Ц}} = \frac{A \cdot R_{ц}}{R_6 + C \cdot R_{ц} \cdot A}$$

2. Определяют ориентировочный расход воды на 1 м³ бетонной смеси.

Количество воды затворения (л/м³) должно обеспечить сданную удобоукладываемость смеси. Оно назначается приближенно по табл. 6.3 или графику (рис. 6.3) с учетом заданного показателя подвижности или жесткости и качества исходных материалов.

Таблица 6.3

Характеристика бетонной смеси		Наибольшая крупность зерен, мм					
		гравия			щебня		
Осадка конуса, см	Жесткость, с	10	20	40	10	20	40
—	150 – 200	145	130	120	155	145	130
—	90 – 120	150	135	125	160	150	135
—	60 – 80	160	145	130	170	160	145
—	30 – 50	165	150	135	175	165	150
—	20 – 30	175	160	145	185	175	160
—	15 – 20	185	170	155	195	185	170
1	—	190	175	160	200	190	175
2 – 2,5	—	195	180	165	205	195	180
3 – 4	—	200	185	170	210	200	185
5	—	205	190	175	215	205	190
7	—	210	195	180	220	210	195
8	—	215	200	190	225	215	200
10 – 12	—						

- Примечания. 1. Таблица составлена для средnezернистых песков с водопотребностью 7%. При водопотребности менее или более 7% расход воды соответственно уменьшается или увеличивается на 5 л/м³ на каждый процент изменения водопотребности.
2. При водонасыщении гравия или щебня более 1,5% расход воды должен быть соответственно увеличен.
3. При применении пуццоланового цемента расход воды увеличивается на 10—15 л/м³.

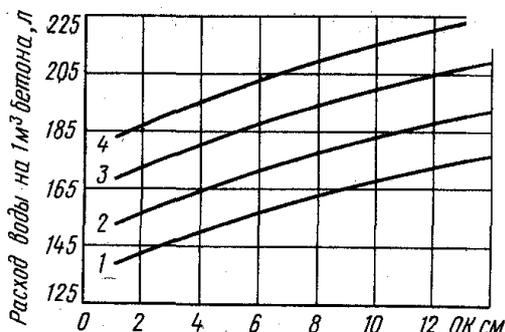


Рис. 6.3. Зависимость водопотребности бетонной смеси от подвижности (осадки конуса):

- 1 — для гравия крупностью до 80 мм;
 2 — для гравия крупностью до 40 мм;
 3 — для гравия крупностью до 20 мм;
 4 — для гравия крупностью до 10 мм

3. Определяют расход цемента.

После назначения количества воды и зная В/Ц, определяют количество цемента:

$$Ц = В : В/Ц$$

4. Определяют расход песка и щебня.

Для определения расхода щебня и песка пользуются уравнениями (3) и (4). Рекомендуемые значения коэффициента избытка $K_{изб}$ в бетонных смесях при использовании средnezернистого песка приведены в табл. 6.4.

Таблица 6.4

Расход цемента, кг/м ³	$K_{изб}$ при водоцементном отношении			
	0,40	0,50	0,60	0,70
250	—	—	1,26	1,32
300	—	1,30	1,36	1,42
350	1,32	1,38	1,44	—
400	1,40	1,46	—	—

Примечание. При применении мелкого песка с водопотребностью больше 7% или крупного песка с водопотребностью меньше 7% коэффициент $K_{изб}$ соответственно уменьшается или увеличивается на 0,03 на каждый процент изменения водопотребности песка.

5. Проверяют удобоукладываемость бетонной смеси.

После произведенного предварительного расчета состава бетона делать пробный замес бетонной смеси объемом 10 л, определяют осадку конуса или жесткость. Если бетонная смесь получилась недостаточно подвижной, увеличивают количество воды и цемента без изменения водоцементного отношения не добавляя заполнителя. Если же подвижность будет больше требуемой, добавляют песок и крупный заполнитель. Таким путем добиваются заданной подвижности и удобоукладываемости. После доведения удобоукладываемости до заданных пределов пересчитывают расход материалов с учетом добавок $\Delta В$ и цемента $\Delta Ц$ (или песка и щебня). Сначала

подсчитывают абсолютный объем сделанных добавок ΔV , а затем рассчитывают уточненный состав материалов (кг/м³):

$$Ц' = \frac{Ц + \Delta Ц}{10 + \Delta V} = 1000; \quad П' = \frac{П}{10 + \Delta V} 1000;$$

$$В' = \frac{В + \Delta В}{10 + \Delta V} 1000; \quad Ш' = \frac{Ш}{10 + \Delta V} 1000.$$

6. Проверяют прочность бетона.

Проверка прочности подобранного состава бетона производится на образцах-кубах и балках, изготовленных из подобранной смеси и уплотненных вибрированием. Ко времени испытания образцы выдерживают во влажной среде при температуре 17—20 °С. Первые сутки образцы хранят в формах, а затем — без форм. Образцы без форм хранят в течение 27 сут во влажных условиях.

Испытание кубов и балок производится в возрасте 28 сут. При применении ускорителей твердения к портландцементу или быстро твердеющему цементу испытание образцов можно проводить в возрасте 3 или 7 сут.

7. Рассчитывают номинальный (лабораторный) состав бетона.

Зная расход материалов на 1 м³ бетона, можно подсчитать его номинальный состав без учета влажности песка и щебня.

Номинальный состав бетона по массе будет:

$$\frac{Ц}{Ц} : \frac{П}{П} : \frac{Ш}{Ш} = 1 : \frac{П}{П} : \frac{Ш}{Ш}, \text{ а по объему } \frac{V_{п}}{V_{п}} : \frac{V_{ш}}{V_{ш}} = 1 : \frac{V_{п}}{V_{п}} : \frac{V_{ш}}{V_{ш}}.$$

Номинальный состав бетонной смеси пересчитывают на полевой на основании установленной влажности песка и щебня, которая в значительной степени влияет на изменение В/Ц и снижает прочность бетона. Поэтому необходимо 2—3 раза в сутки контролировать влажность заполнителей и вносить корректировку в состав бетона. Количество воды затворения уменьшается на величину, равную количеству воды в заполнителях. Состав бетона с такими поправками называется полевым. Количество влажных заполнителей увеличивается настолько, чтобы содержание в них сухого материала равнялось расчетному. Полевой состав будет:

$$Ц_{к} = Ц;$$

$$В_{к} = В' - П' \frac{а}{100} - Ш' \frac{б}{100};$$

$$П_{к} = П' + П' \frac{а}{100};$$

$$Ш_{к} = Ш' + Ш' \frac{б}{100};$$

где $Ц_{к}$, $В_{к}$, $П_{к}$, $Ш_{к}$, — откорректированные значения составляющих материалов на 1 м³ бетона, кг;

а, б — фактическая влажность песка и щебня, %.

8. Определяют коэффициент выхода бетона.

Материалы (цемент, песок и щебень) предназначенные для изготовления бетона ($V_{ц}$, $V_{п}$, $V_{щ}$), до перемешивания занимают объем, равный сумме их объемов в отдельности.

При совместном перемешивании материалов произойдет уплотнение бетонной смеси, так как пустоты в щебне будут заполняться песком, а пустоты в песке — цементным тестом. Полученный объем бетонной смеси $V_б$ будет всегда меньше, чем сумма объемов составляющих его материалов, что можно выразить неравенством

$$V_б < (V_{ц} + V_{п} + V_{щ}).$$

Это неравенство можно заменить равенством путем введения коэффициента выхода бетона:

$$V_б = \beta (V_{ц} + V_{п} + V_{щ}).$$

где β — коэффициент выхода бетона, который всегда бывает меньше единицы и колеблется в пределах от 0,5 до 0,7 в зависимости от объема пустот в заполнителях.

Зная расход материалов по объему на 1 м^3 бетона, можно определить коэффициент выхода бетона:

$$\beta = \frac{1000}{V_{ц} + V_{п} + V_{щ}}$$

где $V_{ц}, V_{п}, V_{щ}$ — насыпной объем цемента, песка и щебня, л.

Коэффициент выхода бетона является важной характеристикой, позволяющей определять не только объем бетонной смеси из имеющихся материалов, но и вести расчет материалов на заданную вместимость бетономешалки.

9. Определяют расход материалов на замес бетономешалки.

Дозировку составных частей бетона на производстве на замес бетономешалки определенной вместимости с учетом найденного коэффициента выхода бетона производят по следующим формулам:

$$Ц_V = \frac{\beta V}{1000} Ц; \quad В_V = \frac{\beta V}{1000} В;$$

$$П_V = \frac{\beta V}{1000} П; \quad Щ_V = \frac{\beta V}{1000} Щ,$$

где $Ц_V, В_V, П_V, Щ_V$ — количество соответственно цемента, воды, песка, щебня, требуемое на замес бетономешалки объемом V ;

β — коэффициент выхода бетона;

$Ц, В, П, Щ$ — расход соответственно цемента, воды, песка и щебня на 1 м^3 бетонной смеси, кг.

Количество вовлеченного воздуха в бетоне можно определять косвенным методом в процентах от объема бетонной смеси:

$$V_{в} = \frac{\rho_{т.б} - \rho_{т.в}}{\rho_{т.б}} 100$$

где $\rho_{т.б}$ — теоретическая средняя плотность бетонной смеси без воздуха;

$\rho_{т.в}$ — средняя плотность бетонной смеси с вовлеченным воздухом в уплотненном состоянии.

Пример расчета состава дорожного цементобетона. Подобрать состав бетона для однослойного цементобетонного покрытия с прочностью при изгибе М40 и прочностью при сжатии М300, с морозостойкостью 200. Бетонная смесь укладывается с помощью бетоноукладочного комплекта ДС-100. Характеристика исходных материалов: портландцемент М400 с прочностью при изгибе 6 МПа, крупный заполнитель — щебень гранитный — с наибольшей крупностью 40 мм и содержанием фракций 5—20 мм — 60%, 20—40 мм — 40%; средняя плотность щебня 1,48 кг/л, истинная плотность 2,5 кг/л; мелкий заполнитель — песок среднезернистый с $M_{кр} = 2,3$ и истинной плотностью 2,6 кг/л; поверхностно-активные добавки ЛСТ и СНВ.

1. Определяем В/Ц:

$$\text{по прочности при изгибе } \frac{В}{Ц} = \frac{0,36 \cdot 60}{40 + 0,36 \cdot 0,2 \cdot 60} = 0,49;$$

$$\text{по прочности при сжатии } \frac{В}{Ц} = \frac{0,6 \cdot 400}{300 + 0,5 \cdot 0,6 \cdot 400} = 0,57$$

$$\text{СНВ} = 0,0002 \cdot 306 = 0,061 \text{ кг.}$$

В соответствии с требованиями ГОСТ 26633—85 принимаем В/Ц=0,50. Для дальнейшего расчета принимаем В/Ц=0,49 < 0,57 < 0,50, так как при других не будет обеспечен весь комплекс требуемых свойств.

2. Расход воды В=160—10=150 л (по таблице).

3. Расход цемента Ц=150:0,49=306 кг.

4. Расход добавки ЛСТ=0,002·306=0,61 кг.

$$\text{СНВ} = 0,0002 \cdot 306 = 0,061 \text{ кг.}$$

$$5. \text{ Расход щебня } Ш = \frac{1000}{\frac{1,3 \cdot 0,41}{1,48} + \frac{1}{2,5}} = 1300 \text{ кг;}$$

$$\text{пустотность щебня } П_{щ} = (2,5 - 1,48) : 2,5 = 0,41;$$

$$\text{коэффициент раздвижки } K_{изб} = 1,3.$$

$$6. \text{ Расход песка } П = [1000 - (\frac{306}{3,1} + 150 + 40 + \frac{1300}{2,5})] 2,6 = 507 \text{ кг,}$$

где 40 — ориентировочный объем вовлеченного воздуха, л.

$$\text{Средняя плотность бетона: } 306 + 150 + 507 + 1300 = 2260 \text{ кг/м}^3$$

Затем состав проверяют в лаборатории, уточняя его путем, приготовления пробных замесов. При необходимости в состав бетонной смеси вносят поправки способом последовательных приближений.

Раздел 7. Грунты, укрепленные вяжущими материалами

7.1. Общие сведения об укрепленных грунтах

В районах дорожного строительства, где нет каменных материалов, возникает необходимость в перевозках их за сотни километров, что увеличивает первоначальную стоимость этих материалов примерно в 4—6 раз и является причиной удорожания строительства. Поэтому весьма актуальна разработка методов укрепления грунтов вяжущими.

Укрепление грунтов — это совокупность строительных операций по внесению вяжущих и других веществ, обеспечивающих существенное изменение свойств грунтов с приданием им требуемой прочности, деформативности, водо- и морозостойкости.

По ГОСТ 25 100—2011 грунт — это любая горная порода или почва (а также твердые отходы производственной и хозяйственной деятельности человека), представляющая собой многокомпонентную систему, изменяющуюся во времени, и используемая как основание, среда или материал для возведения зданий и инженерных сооружений.

Грунты по характеру структурных связей в соответствии с ГОСТом подразделяют на: класс грунтов с **жесткими** (кристаллизационными или цементационными) **структурными связями** (класс скальных грунтов), к которым относят магматические, метаморфические и осадочные сцементированные горные породы; класс грунтов **без жестких связей** (класс нескальных пород) между отдельными частицами, к которым относят осадочные несцементированные грунты (валунный, галечниковый, гравийный, песчаный грунты, супеси, суглинки, глины). К этому же классу относят отходы производства (шлаки, золы, формовочная земля и др.).

Основным исходным материалом, подвергаемым укреплению при строительстве автомобильных дорог путем смешения с различными вяжущими, являются грунты без жестких связей между частицами: крупнообломочные (содержащие частицы размером крупнее 2 мм более 60% по массе); песчаные, сыпучие в сухом состоянии (содержащие частицы крупнее 2 мм менее 50% по массе); глинистые, характеризующиеся связностью в сухом и пластичностью во влажном состоянии и числом пластичности более 1.

Крупнообломочные грунты, гравелистые, крупные и средние пески используют не только для укрепления, но и в качестве скелетных гранулометрических добавок в глинистых грунтах. Максимальный размер частиц крупнообломочных грунтов должен быть не более 25 мм.

Подробная характеристика глинистых грунтов с данными их пригодности к укреплению вяжущими материалами приведена в табл. 7.1.

Проф. В. М. Безрук установил, что укрепление грунтов добавками вяжущих материалов и других веществ дает положительный результат лишь при выполнении следующих требований: размельчение (в случае обработки супесей, суглинков или глин); равномерное распределение вяжущего материала

в грунте с точным соблюдением установленной добавки цемента, битума, синтетических смол и других веществ; равномерное увлажнение грунта до необходимой (оптимальной) влажности и уплотнение обработанного грунта до наибольшей плотности.

При укреплении грунтов вяжущими материалами происходят физико-механические, химические и физико-химические процессы взаимодействия грунта с этими материалами, в результате чего коренным образом изменяются и улучшаются его физико-механические свойства.

Таблица 7.1

Виды глинистых грунтов	Число пластичности	Содержание песчаных частиц, % от массы сухого грунта	Разновидности глинистых грунтов	Пригодность грунтов при укреплении их вяжущими материалами
Супесь	1—7	>50	Супесь легкая, крупная	Весьма пригодна при добавке: портландцемента или шлакопортландцемента, портландцемента + известь или CaCl ₂ , молотых доменных или топливных шлаков+ CaCl ₂ или NaCl, портландцемента+битумная эмульсия или жидкий битум, активных зол уноса, жидких битумов или каменноугольных дегтей с добавкой или без добавки цемента или извести
	1—7	> 50	Супесь легкая	То же
	1—7	20—50	Супесь пылеватая	Пригодна при добавке тех же вяжущих веществ, как и при укреплении легких супесей, но с увеличенным расходом вяжущих материалов и добавок других веществ
	1—7	<20	Супесь тяжелая, пылеватая	Пригодна при добавке тех же вяжущих и других веществ как при укреплении пылеватых супесей, но получаемая степень укрепления несколько ниже
Суглинок	7—12	>40	Суглинок легкий	Весьма пригоден при добавке: портландцемента и шлакопортландцемента, жидких битумов или каменноугольных дегтей с добавкой или без добавки извести или цемента, цемента +золы уноса, извести
	7—12	<40	Суглинок пылеватый	Пригоден при добавке: портландцемента или шлакопортландцемента, извести или известково-шлакового цемента, портландцемента с добавкой золы уноса, жидких битумов или дегтей с добавкой или без добавки цемента или извести
	12—	<40	Суглинок	Пригоден при добавке: извести

	17		тяжелый	молотой негашеной или гашеной, известково-шлакоаого цемента с увеличенным содержанием извести, портландцемента + известь, жидкого битума или камен-ноугольного дегтя + цемент или известь, или ПАВ
	12 – 17	<40	Суглинок пылеватый	Пригоден при добавке: извести молотой негашеной или гашеной; известково-шлакового цемента с увеличенным содержанием извести; портландцемента + известь или CaCl ₂ , NaCl либо другие соли или ПАВ; жидкого битума или каменноугольного дегтя + цемент или известь, либо ПАВ
Глина	17 – 27	>40	Глина песчанистая	Пригодна, но при увеличенных добавках: извести молотой негашеной или гашеной, известково-шлакового цемента с увеличенным содержанием извести, портландцемента+известь+ПАВ или другие добавки
	17 – 27	<40	Глина пылеватая	То же
	>27	Не нормируется	Глина жирная	Непригодна для укрепления любыми вяжущими материалами вследствие большой технологической трудности обработки и ввиду очень больших добавок вяжущих веществ

7.2. Укрепление грунтов минеральными вяжущими материалами

Для укрепления грунтов широко используют цементы, известь, активные тонкодисперсные золы уноса, молотые гранулированные шлаки.

Грунт, укрепленный цементом, принято называть **цементогрунт**. Цемент в цементогрунте представляет собой главный компонент, обеспечивающий при соблюдении определенных условий существенное изменение природных свойств обрабатываемого грунта. Именно в цементе заложены те потенциальные свойства, при максимальной реализации которых обеспечивается изменение первоначальных свойств, присущих грунту, с приданием ему высокой и необратимой прочности, связности (монолитности), морозостойкости и др.

Особенно большой эффект дает укрепление грунтов портландцементом. Основную часть портландцемента составляют силикаты кальция ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ и $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ до 75%), которые при взаимодействии с водой превращаются в новые соединения, обладающие большой цементирующей способностью. Эти соединения скрепляют в монолитную, прочную и водостойкую массу песчаные и пылеватые частицы. В результате сложных химических и физико-химических

процессов наиболее мелкие глинистые частицы грунта под действием цемента утрачивают отрицательные свойства: способность к набуханию и размоканию в воде, пластичность и липкость.

Вяжущие свойства цемента объясняются его способностью образовывать с водой цементный клей, который со временем загустевает и твердеет за счет формирования прочных водонерастворимых соединений — гидросиликатов и гидроалюминатов, образующих кристаллические связи между частицами цемента и грунта. В грунтах, укрепляемых цементом, химические реакции будут ускоряться или, наоборот, замедляться в зависимости от химико-минералогического состава цемента, природы грунта.

При укреплении цементом подзолистых почв процессы твердения цемента под действием кислой среды будут замедляться, ввиду чего прочность цементогрунта будет весьма незначительна. При укреплении карбонатных грунтов благодаря наличию в растворе ионов кальция и щелочной среды процессы твердения цемента происходят более интенсивно, прочность цементогрунта будет более высокой. Наличие в грунтах легкорастворимых солей (Na_2SO_4 или MgSO_4 в количестве более 3%) вредно сказывается на прочности цементогрунта.

При укреплении грунтов неорганическими вяжущими материалами необходимо руководствоваться показателями физико-механических свойств, приведенными в табл. 7.2. Показатели свойств при укреплении грунтов портландцементом или шлакопортландцементом даны для образцов, твердевших 28 сут. Для грунтов, укрепленных золой уноса, золой уноса с добавками цемента или извести, известково-зольным или известково-шлаковым цементом или известью, показатели физико-механических свойств даны для образцов, твердевших 90 сут.

Из табл. 7.2 видно, что грунты при укреплении их неорганическими вяжущими по сравнению с необработанными грунтами обладают высокой прочностью после водонасыщения или многократного замораживания и оттаивания.

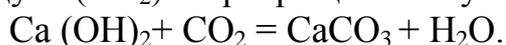
Таблица 7.2

Показатели	Классы прочности		
	I	II	III
Расчетные значения модулей упругости, МПа	800 – 500	500 – 250	250 – 80
Предел прочности при сжатии водонасыщенных образцов, МПа	6 – 4	4 – 2	2 – 1
Предел прочности при растяжении при изгибе водонасыщенных образцов, МПа, не менее	1,0	0,6	0,2
Коэффициент морозостойкости (отношение предела прочности при сжатии после замораживания и оттаивания к пределу прочности при сжатии водонасыщенных образцов) не менее	0,75 2 сверх	0,7 4 сверх	0,6 4 сверх
Влажность образцов после испытания на замораживание-оттаивание % по массе, не более	оптимальной влажности уплотнения	оптимальной влажности уплотнения	оптимальной влажности уплотнения

Наряду с цементами для укрепления грунта применяют известь-пушонку или молотую негашеную известь. При обработке глинистых грунтов известь вступает в химическое и физико-химическое взаимодействие с тонкодисперсной частью грунта и под их воздействием самопроизвольно превращается в гидравлическое вяжущее.

Наличие гумусовых веществ, а также кислая среда в подзолистых грунтах резко снижают прочность укрепленного известью грунта так же, как и грунта, укрепленного цементом. С уменьшением содержания в грунте глинистых частиц уменьшается эффективность воздействия добавок извести.

Процесс твердения извести начинается с испарения воды, кристаллизации гидрата оксида кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$. В результате сращивания кристаллов $\text{Ca}(\text{OH})_2$ образуется пространственно разветвленный каркас, окружающий и цементирующий частицы грунта. Часть гидрата оксида кальция подвергается действию углекислоты воздуха (CO_2) и превращается в углекислый кальций:



Наличие в супесях, суглинках и глинах тонкодисперсных частиц алюмосиликатного состава, а также активного кварца, в условиях щелочной среды, вызванной наличием гидрата оксида кальция, приводит к образованию гидросиликатов. Эти соединения обладают более высокими цементирующими свойствами, чем $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Грунт обрабатывают известью в такой последовательности. Вначале его размельчают в порошкообразную массу дорожными фрезами за несколько проходов. Затем специальными машинами-дозаторами распределяют и дозируют известь. После этого известь за 2—3 прохода фрезы перемешивают с грунтами, полученную смесь увлажняют поливочными машинами до оптимальной влажности и максимально уплотняют. При обработке грунта негашеной известью оптимальная влажность смеси бывает на 4—5% выше оптимальной влажности грунта.

Известью можно укреплять песчаные и гравийные грунты при условии внесения в них добавок суглинка, глины, золы (15—20%), играющих роль активных гидравлических добавок.

7.3. Укрепление грунтов органическими вяжущими материалами

Для укрепления грунтов широко применяют вязкие битумы в эмульгированном состоянии (битумные эмульсии), жидкие медленно- или среднегустеющие битумы, жидкие каменноугольные дегти. Однако грунты, укрепленные жидкими медленногустеющими битумами, характеризуются длительным формированием структуры и относительно низкими показателями прочности, водо- и морозостойкости, а также сдвиго- и теплостойкости, большой зависимостью свойств от погодных условий и влажности грунтов. Это предопределило область их применения.

В соответствии с Инструкцией СН 25-74 по применению грунтов, укрепленных вяжущими материалами, для устройства оснований и покрытий автомобильных дорог и аэродромов битумогрунты рекомендуют в качестве: нижних слоев оснований на дорогах III и IV категорий в III и IV дорожно-климатических зонах, оснований на дорогах IV и V категорий и покрытий на дорогах V категории во II—V дорожно-климатических зонах.

В целях получения укрепленного грунта, обладающего более высокими показателями свойств, чем грунты, укрепленные жидкими битумами или дегтями, целесообразно применять битумные эмульсии (табл. 7.3). Применение битумных эмульсий для укрепления грунтов позволяет использовать вязкие битумы, обрабатывать эмульсией влажные грунты без подогрева при температуре воздуха до 5⁰С создавать прочные водо- и теплостойкие дорожные покрытия (в условиях IV и V дорожно-климатических зон) из грунтов на автомобильных дорогах с интенсивностью движения до 1000 авт/сут.

Таблица 7.3

Показатели	Расчетные значения модулей упругости, МПа			
	800 – 500	500 – 300	300 – 200	200 – 80
	при укреплении битум-ными эмульсиями или жидкими битумами совместно с цементом или битумными эмульсиями и карбамид-ными смолами		при укреплении битумными эмульсиями с добавками и извести	при укреплении жидкими битумами с добавкой или без добавки активных или поверхностно-активных веществ
	Классы прочности			
I	II			
Предел прочности при сжатии водонасыщенных образцов при температуре 20 °С, МПа, не менее	4,0 – 2,5	2,5 – 1,5	0,7	0,6
Предел прочности при сжатии сухих образцов при температуре 20 °С, МПа, не менее	–	–	1,5	1,2
Предел прочности при сжатии при температуре 50 °С, МПа, не менее	2,0	1,2	0,9	0,7
Предел прочности при растяжении при изгибе водонасыщенных образцов при температуре 20 °С, МПа, не менее	1,0	0,6	–	–
Коэффициент морозостойкости (отношение предела прочности при сжатии после замораживания-оттаивания к пределу прочности при сжатии водонасыщенных образцов) не менее	0,85	0,80	0,70	0,60
	3	5	–	–
	–	–	4	5
Водонасыщение, % по объему, не более				
Набухание, % по объему, не более				

Примечание. При укреплении грунтов-битумными эмульсиями или испытании любых образцов на замораживание-оттаивание образцы должны твердеть 28 сут, при применении жидких битумов —7 сут.

По данным КаздорНИИ, для укрепления грунтов пригодны прямые медленнораспадающиеся эмульсии трех видов: **анионные, катионные и пасты.**

Требования к дорожным эмульсиям и их составы приведены в Технических указаниях по устройству покрытий и оснований из грунтов, укрепленных битумными эмульсиями, ГОСТ 22245-90.и Технических указаниях по приготовлению и применению дорожных эмульсий ГОСТ 11955-90.

При укреплении грунтов битумом на границе раздела твердой и жидкой фаз протекают сложные процессы, зависящие от состава и свойств грунта и от битума. Это адсорбция высокомолекулярных компонентов органического вяжущего поверхностью тонкодисперсионных частиц, фильтрация низкомолекулярных компонентов вяжущего в глубь тонкопористых частиц грунта, склеивание отдельных частиц и агрегатов грунта вяжущим, заполнение пустот между частицами объемным (свободным) вяжущим.

Работами М. М. Филатова, А. К. Бирули, В. М. Безрука установлено, что грунты, обработанные битумом или дегтем, имеют агрегатно-пористое строение, образующееся вследствие неравномерного распределения вяжущего в массе грунта, а также наличия замкнутых макропор, наполненных воздухом. Прочный и необратимый гидрофобный слой на поверхности частиц грунта образуется только при химическом взаимодействии их с асфальтоеновыми и нафтеновыми кислотами, входящими в состав битума. Эта химическая связь крайне необходима при укреплении глинистых разновидностей грунтов: супесей и особенно суглинков и глин.

Обеспечение максимальной прочности и водостойкости грунта достигается при оптимальном количестве органического вяжущего (битума, дегтя) и воды. С увеличением дозировки вяжущего и воды сверх оптимального количества происходит резкое уменьшение прочности и теплостойкости битумо- или дегтегрунта. Меньшая часть битума или дегтя адсорбируется на поверхности частиц грунта, а основная часть вяжущего заполняет поры грунта.

Заполнение пор вяжущим обеспечивает водонепроницаемость, уменьшает набухание, повышает водостойкость и прочность укрепленного грунта.

Для придания укрепленному грунту необходимых свойств требуется, например, при обработке суглинистого грунта 7—12% жидкого битума или дегтя.

А. К. Бируля установил, что в укрепленном грунте воды должно быть несколько больше, чем вяжущего материала, а именно:

воды в пределах 0,3—0,4 от влажности границы текучести грунта, принимаемой за единицу;

вяжущего (битума или дегтя) в пределах 0,3—0,2 от влажности границы текучести грунта.

Положительное влияние воды в оптимальном ее количестве на прочность и водостойкость битумо- или дегтегрунта особенно сильно проявляется при укреплении суглинков и глин.

Раздел 8. Местные дорожно-строительные и другие строительные материалы.

8.1. Общие сведения о природных местных каменных материалах.

Местными называют материалы, которые получают в районе строительства из местного природного сырья или побочных продуктов промышленности с использованием для их добычи и переработки несложного оборудования. Как правило, на местные материалы нет общих стандартов, а имеются республиканские или ведомственные технические условия. Их перевозка осуществляется автомобилями на относительно небольшие и экономически целесообразные расстояния.

Применение местных материалов значительно снижает строительную стоимость дорожной одежды. Однако вопросы экономичности применения местных материалов недопустимо рассматривать, основываясь лишь на снижении стоимости строительства. Необходимо учитывать и качество получаемых конструктивных слоев, надежность их работы в дорожной одежде в различных климатических условиях с учетом роста интенсивности движения и транспортных нагрузок.

Местные дорожно-строительные материалы **классифицируют** на следующие группы:

- природные малопрочные каменные материалы и битуминозные породы (слабые известняки и песчаники, мел, опока, валунногравийные, гравийные и песчано-гравийные смеси, дресва, битуминозные горные породы и др.);

- минеральные побочные продукты промышленности (шлаки, золы ТЭЦ, формовочные пески, горелые породы, бокситовые шламы, побочные продукты асбестовой промышленности, фосфогипсы и др.);

- органические побочные продукты промышленности (кислый гудрон, мазутные очистки, кислая смола, кубовые остатки ректификации стирола, талловый пек, гидролизный лигнин и др.);

- вторичное сырье (изношенная резина, старый асфальтобетон, бракованные бетонные и железобетонные изделия, старый цементобетон, морально устаревшие бетонные и железобетонные конструкции, битый кирпич и др.).

Основными характеристиками природных каменных материалов и кусковых побочных продуктов промышленности являются прочность, пористость, водо- и морозостойкость. Для порошкообразных минеральных отходов промышленности важнейшими характеристиками являются зерновой состав, способность твердеть, содержание водорастворимых соединений.

Характеристиками органических побочных продуктов промышленности являются вязкость, пластичность, хрупкость; устойчивость к нагреву, склонность к старению.

Природные каменные материалы, получаемые при переработке скальных или обломочных пород, в большинстве являются местными. Если исходная горная порода прочная, а запасы большие, то создаются промышленные карьеры, и продукция к строительным объектам транспортируется как на малые расстояния автомобилями, так и на большие железнодорожным транспортом и водными путями. Естественно, что целесообразная дальность возки материала определяется технико-экономическими расчетами; Если, например, работает карьер с производительностью 500 тыс.м³ в год гранитного щебня марки 1200, то свою продукцию он поставляет строительным организациям, расположенным за 1—1,5 тыс. км. Продукция этого района имеет общее значение и не может быть названа местной. Вся продукция предприятия направляется на строительные объекты только по разрядам центральных планирующих органов. Не исключено, что и местные строительные организации получают фонды на продукцию.

Если карьер создан на небольшом месторождении или на месторождении мало- или разнопрочных горных пород, его продукция может быть названа местной. Поэтому при изучении местных природных каменных материалов надо обращать внимание на описание состава и свойств горных пород как сырья для производства каменных материалов (см. гл. 2).

С точки зрения прочности щебень марок 1200, 1000, 800 и, возможно, 600 относят к снабжаемому централизованно, а марок 400, 300 и 200 к местному.

С технико-экономической точки зрения гравий марок Др.16, Др.24 (ГОСТ 8267—93) относят к местным материалам.

Особое внимание необходимо уделять обогащению мало- и разнопрочных каменных материалов. **Обогащением** называют комплекс производственных операций, состоящих из отделения частиц, которые ухудшают физико-механические свойства каменного материала, или разделения каменного материала на несколько сортов в зависимости от свойств.

Обогащение каменных материалов по прочности производят двумя способами:

- при добыче горной массы послойной разработкой месторождения, грохочением горной массы с целью удаления мелких, низко-прочных частей;
- в процессе переработки горной массы избирательным дроблением грохочением.

Обогащение при добыче горной массы во многом определяет качество получаемых материалов. Геологический материал позволяет выбрать участки с залеганием наиболее прочной горной породы слоями, позволяющими производить добычу горной массы с максимальным содержанием прочных разностей.

Послойная разработка горной породы ведется в том случае, когда она залегает слоями большой мощности. Чтобы устранить смешение пород двух слоев на границе их залегания при взрыве, глубину скважин принимают меньше толщины разрабатываемого слоя. При большой трещиноватости горной породы рыхление производят тракторными рыхлителями. Послойная

разработка возможна при толщине слоев не менее 1 м. Разработку производят обычно автомобильными погрузчиками совместно с бульдозером.

Грохочение горной массы применяют в случаях многократного чередования в полезной толще слоев небольшой мощности. Сущность этого способа сводится к тому, что в процессе взрывных работ степень измельчения горной породы оказывается обратно пропорциональной ее прочности. Поэтому слабые разности и грунтовые загрязняющие примеси в основном будут сконцентрированы в мелких фракциях горной массы.

8.2. Использование минеральных и органических побочных продуктов различных отраслей промышленности.

Повторное использование изношенной резины. При движении транспортных средств по автомобильной дороге происходит износ как покрышек, так и покрытия автомобильной дороги. Наступает момент, когда покрышка колеса автомобиля не удовлетворяет требованиям безопасности движения и ее заменяют. В стране за год накапливаются сотни тысяч покрышек. Существуют различные способы повторного их использования, но наиболее рациональным является термомеханический, основанный на тонком измельчении покрышек. Продукт измельчения—резиновую крошку — для приготовления резинобитумного вяжущего и как порошкообразный наполнитель.

В первом случае процесс основан на физико-химическом взаимодействии резины с битумом. При введении резиновой крошки горячий битум происходит ее набухание в маслах с ослаблением межмолекулярных связей, обусловленное диффузией низкомолекулярных компонентов битума внутрь резины. Полученное вяжущее принято называть **резинобитумным вяжущим (РБВ)**. Технологический процесс получения **РБВ** следующий: перемешивание резиновой крошки с битумом при температуре 180—200°С в лопастном смесителе, термопластификация резины путем перекачки вяжущего шестеренчатым насосом при температуре 200—230°С (при этом происходит деструкция набухшего каучука и переход его в раствор). Асфальтобетон, приготовленный на основе РБВ, обладает пониженной жесткостью при отрицательных температурах, повышенной износо- и теплостойкостью, стабильностью при старении. Количество вводимой в этом случае резины составляет 5—7% от массы битума.

Другим способом применения резиновой крошки является непосредственный ввод ее в смеситель при приготовлении асфальтобетонной смеси. Равномерно распределенные по объему асфальтобетона частицы резины создают в нем развитую систему «центров эластичности». Такие центры будут воспринимать часть внутренних напряжений асфальтобетона, особенно при отрицательных температурах. Кроме того, благодаря высокой удельной поверхности резиновых частиц они хорошо структурируют битум, переводя его

в ориентированное состояние в большей степени, чем минеральный порошок. Это обуславливает повышение сдвигоустойчивости асфальтобетона. Учитывая такое свойство резиновой крошки, рекомендуется вводить ее в состав смеси как заменитель части минерального порошка.

Свежеприготовленная смесь обладает значительной упругостью, плохо поддается уплотнению ввиду наличия крупных частиц резины, химически не связанных с битумом. Для улучшения характеристик смеси необходима ее выдержка в накопительных бункерах при температуре 140—160°С в течение 2—3 ч. При этом происходит образование РБВ в пограничном слое резина—битум, что приводит к уменьшению размера частиц и улучшению свойств вяжущего. Полученный асфальтобетон будет обладать повышенной эластичностью в широком интервале температур, улучшенным коэффициентом сцепления колес автомобиля с покрытием, пониженным шумом от движущихся автомобилей. Исходя из этого эффективно применять такой асфальтобетон в верхних слоях покрытия, а также при строительстве слоев износа. Количество вводимой резины составляет 1,5—3% от массы смеси.

Повторное использование асфальтобетона. Количество старого асфальтобетона для повторного использования растет из года в год. Вызвано это большими работами по реконструкции автомобильных дорог, строительством магистральных дорог в городах и др. Расчеты показывают, что в год накапливается до 15—20 млн. т 1 старого асфальтобетона, пригодного для переработки.

Раньше по мере разрушения асфальтобетонного покрытия заменяли изношенный слой на новый или укладывали сверху еще слой асфальтобетона. Материал покрытий повторно не использовали. Старый асфальтобетон вывозили на свалку. Однако известно, что асфальтобетон, а главное битум в нем, возобновляем. Отработанный положенный срок материал можно специальными способами регенерировать и повторно использовать.

В настоящее время в зависимости от вида повреждений назначают различные способы регенерации асфальтобетона:

- 1) выравнивание при нагреве асфальтобетонного покрытия со срезкой неровностей, засыпкой выбоин смесью, планировкой и уплотнением взрыхленного слоя катками;
- 2) выравнивание при нагреве асфальтобетонного покрытия с добавкой новой смеси.

Повторное использование цементобетона. На заводах сборного железобетона всегда имеются бракованные или некондиционные изделия. Их количество достигает 20 млн. м³ в год. На сооружениях, отслуживших свой срок, также скапливается большое количество поломанных, морально устаревших и разбитых железобетонных и бетонных конструкций. Расчеты показывают, что ежегодно можно получить цементобетонного щебня 10—12 млн. м³ и сотни тысяч тонн стали из старой арматуры.

Технология переработки железобетонных изделий такова (рис. 8.1): пресс разбивает железобетонное изделие, отделенную арматуру кран переносит к

складу металлоломов, бетонные куски попадают через колосниковый грохот и транспортер к щековой дробилке.

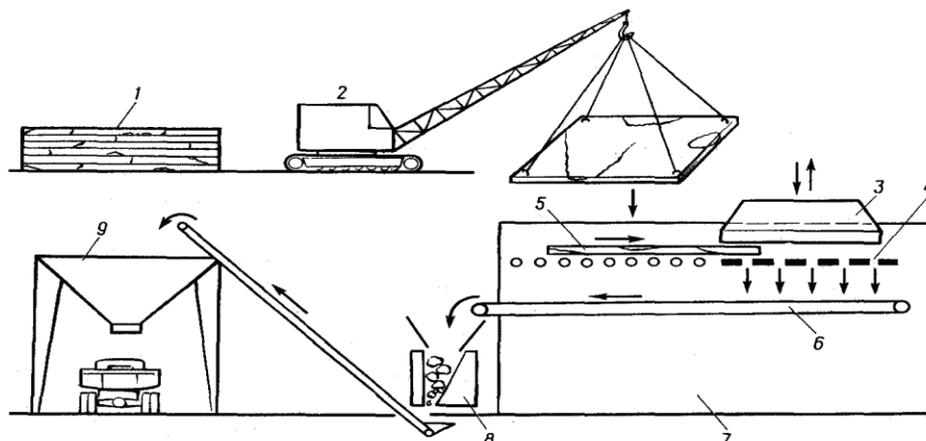


Рис. 8.1. Схема установки по переработке бракованных железобетонных изделий:

- 1 — штабель бракованных изделий; 2 — кран; 3 — гидравлический пресс;
4 — колосниковая решетка; 5 — бракованное изделие; 6 — транспортер;
7 — стенка установки; 8 — щековая дробилка;
9 — раздаточный бункер с цементобетонным щебнем

Из нее дробленый цементобетон крупностью менее 120 мм поступает на грохот, где рассеивается на фракции 120—70, 70—40, 40—20, 20—10, 10—5 и мельче 5 мм.

Марка цементобетонного щебня зависит от прочности исходного цементобетона и его состава. доброкачественный щебень, пригодный для повторного использования в cemento- и асфальтобетоне, может быть получен из цементобетонов марок 600—200. Наилучшим является цементобетонный щебень, полученный при дроблении песчаного цементобетона.

Битый кирпич. Он образуется при разрушении или реконструкции старых зданий и как брак на кирпичных заводах. Битый кирпич из зданий, как правило, обладает большей прочностью и однородностью, чем кирпичный бой с завода. Недообожженный кирпичный бой (сырец) применять в дорожном строительстве не следует, так как он размокает при увлажнении. Марка щебня из битого кирпича 400, 300 и 200, водопоглощение 6—13%, морозостойкость от Мрз 15 до Мрз 50.

Кирпичный щебень размером менее 120 мм применяют для устройства оснований на дорогах не выше III категории. Уложенный и спланированный щебень прикатывают легким катком, добавляя щебень, и окончательно укатывают средним катком.

Различные строительные материалы.

Металлическими называют строительные материалы, изготовленные из металлов и их сплавов. В зависимости от состава и свойств металлы разделяют на: **черные** — железо и его сплавы, которые в зависимости от вида и

количества примесей (углерода, марганца, никеля, хрома, титана и др.) составляют 85—90% всего металла, применяемого в народном хозяйстве;

цветные — алюминий, медь, магний, олово, цинк и их сплавы.

В строительстве главным образом используют черные металлы, но в последнее время все большее распространение находит и алюминий.

Для получения металлов используют руды, т.е. горные породы, содержащие оксиды, гидраты оксидов и карбонаты металлов.

Основными характеристиками металла, оказывающими определяющее влияние на эксплуатационные свойства, являются прочность, пластичность, ударная вязкость, усталостная прочность, температура перехода в хрупкое состояние $T_{хр}$. Характеристики прочности и пластичности определяют на стандартных образцах при испытании на разрыв: временное сопротивление σ_B , условный предел текучести $\sigma_{0,2}$, условный предел упругости $\sigma_{0,05}$, относительное удлинение и относительное поперечное сужение.

Стали. **Сталями** называются сплавы на основе железа, содержащие менее 2,14% углерода. Обычно в них наряду с основными элементами присутствуют сера, фосфор, кремний, марганец, газы. Сера и фосфор являются вредными и трудно удаляемыми примесями, охрупчивающими сталь.

На свойства стали очень большое влияние оказывает углерод. С увеличением его содержания все прочностные показатели растут, а пластичность и ударная вязкость снижаются. Стали с большим содержанием углерода по своему назначению являются инструментальными.

Арматурные стали. Для армирования железобетонных конструкций со сварными каркасами и с предварительно напряженной арматурой применяют горячекатаную сталь круглого и периодического профилей. По механическим свойствам **арматурную сталь** делят на восемь **классов** (табл. 12.2). Стержни арматурной стали А-I выпускают круглыми и гладкими, а остальных классов— периодического профиля.

Арматурную сталь А-I, А-II и А-III применяют для ненапряженных конструкций, а сталь остальных классов—для предварительно напряженных. Кроме стержней, железобетонные конструкции армируют еще и проволокой из углеродистой и легированной стали с 0,6—0,8% углерода.

Алюминий и его сплавы. В связи с открытием нового способа выплавки алюминия непосредственно из руды значительно снизилась стоимость производства алюминиевых сплавов и изделий из него. Алюминиевые сплавы рекомендуются для:

несущих конструкций зданий и сооружений (оболочки, рамы, фермы и т. д.), конструкций для химических предприятий с агрессивной средой (кроме воздействия влажной и щелочной среды, растворов серной кислоты и ее солей), опор линий электропередачи; ограждающих конструкций, кровельных панелей, подвесных потолков, витрин, переплетов и т. д.

Элементы конструкций из алюминиевых сплавов можно соединять на заклепках, болтах или сваркой.

Защита металла от коррозии. **Коррозией** называют процесс разрушения металла вследствие физико-химического влияния на него внешней среды.

Покрытие металлических изделий слоем лака или краски имеет целью изолировать основной металл от окружающей его влажной среды. Этот метод, самый простой и распространенный, широко применяется для защиты всех строительных конструкций и деталей (ферм, колонн, листов и т. д.).

В строительстве применяют следующие виды лесных материалов:

круглый лес, пиломатериалы, строганные пиломатериалы и изделия: Круглые лесоматериалы представляют собой очищенные от сучков и коры отрезки древесных стволов длиной более 4 м. В зависимости от диаметра ствола в верхнем отрубе различают: бревна (диаметр более 12 см), подтоварник (диаметр 8—11 см) и жерди (диаметр 3—7 см). По назначению бревна подразделяют на строительные и пиловочные.

Строительные бревна получают из хвойных пород и используют для изготовления различных строительных конструкций.

Пиловочные бревна получают из стволов хвойных и лиственных пород и используют для получения различных пиломатериалов. Короткие и толстые части древесного ствола (кряжи) применяют для получения фанеры.

Пиломатериалы получают из хвойных и лиственных пород путем их продольной распиловки. По геометрической форме поперечного сечения пиломатериалы делят на пластины, четвертины, доски, бруски, брусья двухкантные, горбыли, шпалы.

Список использованной литературы

1. И.В. Королев, В.Н. Финашин, Л.А. Фендер. Дорожно-строительные материалы. М., Транспорт, 2008.
2. И.М. Грушко, В.А. Золоторев, Н.Ф. Глущенко и др. Испытание дорожно-строительных материалов. М., Транспорт, 2005.
3. И.И. Леонович, К.Ф. Шумчик. Дорожно-строительные материалы. М., Высшая школа., 2008.
4. И.М. Грушко, И.В. Королев, И.М. Борщ, Г.М. Мищенко. Дорожно-строительные материалы. М., Транспорт., 2008.
5. Г.И. Горчаков. Строительные материалы. М., Высшая школа., 2006.
6. Л.Н. Попов. Строительные материалы. М., Строиздат., 2005.

ГОСТы

ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия.

ГОСТ 8736-93 Песок для строительных работ. Технические условия.

ГОСТ 9757-90. Гравий, щебень и песок искусственные пористые. Технические условия.

ГОСТ 530-95 Кирпич и камни керамические. Технические условия.

ГОСТ 22245-90. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия.

ГОСТ 11955-90 Битумы нефтяные дорожные жидкие. Технические условия.

ГОСТ 9128-2013 Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия.

ГОСТ 20287-91 Нефтепродукты. Методы определения температур текучести и застывания. Технические условия.

ГОСТ 16557-2005 Порошок минеральный для асфальтобетонных смесей. Технические условия.

ГОСТ 10178—2017 Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия.

ГОСТ 22266—94 Цементы сульфатостойкие. Технические условия.

ГОСТ 310.3—2017 Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема. Технические условия.

ГОСТ 3476—2017 Шлаки доменные и электротермофосфорные гранулированные для производства цементов. Технические условия.

ГОСТ 6139-91 Песок стандартный для испытаний цемента. Технические условия.

ГОСТ 26633—91 Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия

ГОСТ 7473-94. Смеси бетонные. Технические условия.

ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация.