



Уральский  
федеральный  
университет

имени первого Президента  
России Б.Н.Ельцина

**Институт новых материалов  
и технологий**

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Учебное пособие



Министерство образования и науки Российской Федерации

Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

---

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Учебное пособие

*Под общей редакцией доцента,  
кандидата технических наук И. К. Доманской*

Рекомендовано методическим советом  
Уральского федерального университета  
для студентов вуза, обучающихся по направлению  
подготовки 08.03.01, 08.04.01 — Строительство

Екатеринбург  
Издательство Уральского университета  
2018

УДК 691(075.8)  
ББК 38.3я73  
С86

Авторы: В. С. Руднов, Е. В. Владимирова, И. К. Доманская,  
Е. С. Герасимова

Рецензенты:

директор ООО «Институт проектирования, архитектуры и дизайна» канд. техн. наук *В. Б. Сальников*,  
кафедра «Транспорт и дорожное строительство» Института лесопромышленного и дорожного строительства УГЛТУ (завкафедрой канд. техн. наук *А. А. Чижев*)

**Строительные материалы и изделия** : учеб. пособие /  
С86 В. С. Руднов [и др.] ; под общ. ред. доц., канд. техн.  
наук И. К. Доманской. — Екатеринбург : Изд-во Урал.  
ун-та, 2018. — 203, [1] с.  
ISBN 978-5-7996-2352-4

Представлены сведения о классификации строительных материалов и изделий о взаимосвязи их состава и строения со свойствами, основные положения стандартизации в строительстве. Описаны основные классы природных (каменные, древесные) и искусственных (минеральные, органические, металлические) строительных материалов; особое внимание уделяется вяжущим веществам, а также бетонам и растворам на их основе.

Пособие предназначено для студентов всех форм обучения по направлению «Строительство» (08.03.01, 08.04.01) и «Строительство уникальных зданий и сооружений» (08.05.01), а также специалистов строительной отрасли.

Библиогр.: 10 назв. Табл. 19. Рис. 9.

УДК 691(075.8)  
ББК 38.3я73

ISBN 978-5-7996-2352-4

© Уральский федеральный  
университет, 2018

---

## ВВЕДЕНИЕ

Строительные материалы и изделия являются неотъемлемой и очень весомой составляющей любого строительства. Если заглянуть в далекое прошлое и попытаться представить из каких материалов мог построить себе жилище древний человек, то окажется, что выбор его очень скромнен: камни, глина, дерево, шкуры убитых животных. Сегодня эти материалы тоже не потеряли своей актуальности; их называют природные минеральные (камни, глина) и природные органические (древесина, шкуры) строительные материалы. Однако возможности современного строителя несоизмеримо выше: ассортимент материалов и изделий, предназначенных для строительства, насчитывает десятки и сотни тысяч наименований. Они могут служить для различных целей, другими словами, иметь разное назначение, например: для возведения несущих и ограждающих конструкций (конструкционные материалы и изделия), для повышения эксплуатационных, эстетических и специальных свойств зданий и сооружений (отделочные, тепло- и гидроизоляционные, кровельные, радиационно-защитные и другие).

Чтобы не растеряться в этом изобилии и сделать грамотный выбор, обеспечивающий оптимальную технико-экономическую и социальную эффективность проектируемого строительного объекта, необходимо очень хорошо «разбираться в материалах»: представлять их происхождение, а значит, и реальную

стоимость; понимать взаимосвязь между составом, строением и свойствами, т. е. уметь прогнозировать долговечность и безопасность строений.

Данное учебное пособие знакомит обучающихся с классификацией строительных материалов и их основными характеристиками. Оно разработано в соответствии с основными положениями и требованиями Федерального государственного образовательного стандарта по направлениям подготовки «Строительство» и «Строительство уникальных зданий и сооружений» и предназначено для студентов всех форм обучения, включая индивидуальные траектории (направления подготовки: 08.03.01, 08.04.01, 08.05.01), а также специалистов строительной отрасли.

---

# 1. КЛАССИФИКАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Строительные материалы и изделия** — это материалы и изделия, которые используют при возведении, ремонте и реконструкции зданий (жилых, общественных, промышленных), сооружений (линейных или площадных объектов), а также их частей. В современном мире производят огромное количество различных и разнообразных стройматериалов, различающихся своими техническими характеристиками, особенностями применения и эксплуатации, что не позволяет однозначно и кратко их классифицировать. Однако, есть ряд наиболее распространенных видов классификации по основным признакам: степени готовности, происхождению, составу, исходному сырью и назначению. Соответственно, каждый материал можно отнести к той или иной группе по всем признакам классификации [1].

**По составу** строительные материалы, как и любые вещества, разделяют на минеральные, органические и комбинированные (органоминеральные).

**Происхождение** строительных материалов подразумевает глубину переработки сырья для их изготовления: *природные* получают механической обработкой материалов, встречающихся в окружающей среде (древесина, камень, песок, глина и т. п.),

а *искусственные* — при высокотемпературной обработке природного сырья, изменяющей его химический и минеральный состав (портландцемент, стекло, кирпич и другие).

**По степени готовности** различают:

— строительные материалы (древесина, металлы, цемент, бетон, кирпич, песок, строительные растворы для каменных кладок и различных штукатурок, лакокрасочные материалы и природные камни), которые подвергают перед применением той или иной обработке: смешиванию с водой, уплотнению или механической обработке;

— строительные изделия — это готовые детали и элементы, монтируемые и закрепляемые на объекте (сборные железобетонные панели и конструкции, оконные и дверные блоки, санитарно—технические изделия и кабины и другие).

**Вид исходного сырья** для получения строительных материалов в большинстве случаев определяет их основные характеристики, условия применения и эксплуатации:

— материалы и изделия из древесины (круглый лес, пиломатериалы, столярные и строганные изделия, фанера и клееные конструкции и другие) получают путем механической обработки древесины;

— природные каменные материалы (стенные блоки/камни, облицовочные плиты, детали архитектурного назначения, заполнители для различных видов бетонов и растворов, для устройства оснований дорог и другие) получают из различных горных пород также с помощью механической обработки;

— керамические материалы и изделия (кирпичи, блоки, черепица, плитки облицовочные, керамзит, фаянсовые и фарфоровые сантехнические изделия и другие) получают высокотемпературной обработкой глины с различными добавками, которой предшествуют операции формования, сушки и обжига;

— материалы из силикатных расплавов, к которым относят различные виды стекол, а также стеклоблоки, плитку и другие



изделия, получаемые формованием резко охлажденного расплава смеси силикатов (соли кремниевой кислоты) с другими химическими компонентами;

— металлические материалы и изделия изготавливают из расплавов особого класса химических элементов—металлов;

— полимерные материалы и изделия (стеклопластики, пенопласты, линолеум и другие) изготавливают на основе синтетических (искусственных) полимеров;

— органические вяжущие вещества — это битумные и дегтевые материалы, с использованием которых получают асфальтовые бетоны и растворы, а также некоторые кровельные и гидроизоляционные материалы;

— минеральные вяжущие вещества (портландцемент, гипс, известь и другие) — это порошкообразные неорганические вещества, которые при смешивании с водой образуют пластичное тесто, со временем затвердевающее в результате сложных физико-химических процессов;

— композиционные материалы объединяют в себе свойства нескольких компонентов, а получают их при отвердевании органических (полимерных) или минеральных вяжущих веществ в присутствии различных армирующих элементов (волокна, металлическая арматура, песок, щебень и другие). Композиционные материалы на основе неорганических вяжущих веществ и мелких и/или крупных заполнителей часто называют искусственными безобжиговыми каменными материалами (силикатные кирпич и бетоны, гипсовые и гипсобетонные изделия, асбестоцементные изделия и другие).

Дополнительно, в достаточной мере условно, искусственные строительные материалы и изделия разделяют по **условиям получения (отвердевания)**:

— материалы, отвердевающие при нормальных сравнительно невысоких температурах путем кристаллизации новообразований из растворов;

— материалы, отвердевание которых происходит только в условиях автоклавов (при повышенной температуре и давлении водяного пара) с образованием цементирующих и кристаллизирующихся соединений;

— материалы, отвердевающие при остывании огненно-жидких расплавов, выполняющих функцию вяжущего вещества.

**По назначению** строительные материалы и изделия принято делить на две группы:

— общего назначения, которые применяют при возведении или изготовлении разнообразных строительных конструкций (древесина, металлы, цемент, бетон, природные и искусственные камни), а в зависимости от области применения в конкретном здании подразделяют на конструкционные (воспринимают и передают нагрузки), ограждающие (разделяют части здания или отделяют помещения от окружающей среды) и отделочные (защищают элементы здания и придают декоративность);

— специального назначения, которые предназначены для улучшения эксплуатационных свойств строительных объектов или защищают здания и сооружения от какого-либо одного вида вредного воздействия окружающей природной или эксплуатационной среды (огнеупорные, химически стойкие, акустические, тепло — и гидроизоляционные материалы и изделия).

Теплоизоляционные материалы уменьшают перенос тепла через строительную конструкцию и обеспечивают необходимый тепловой режим в помещении при минимальных затратах энергии.

Акустические материалы (звукопоглощающие и звукоизоляционные) снижают уровень «шумового загрязнения» помещения.

Гидроизоляционные и кровельные материалы создают водонепроницаемые слои на кровлях, подземных частях соору-

жений и конструкциях, которые необходимо защищать от воздействия воды или водяных паров.

Герметизирующими материалами заполняют стыки в сборных конструкциях.

Сложность классификации современных строительных материалов заключается в том, что один и тот же материал, в зависимости от его строительных характеристик, может быть отнесен к разным группам. Особенно это касается композиционных материалов. Например, бетон, в большинстве случаев, применяют в качестве конструкционного материала, но некоторые его виды имеют иное назначение: теплоизоляционное (легкие и особо легкие бетоны), декоративное (бетоны на цветном портландцементе), специальное (особо тяжелые виды бетонов служат для защиты от радиоактивного излучения).

---

## 2. СОСТАВ И СТРУКТУРА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Состав** — это качественная и количественная характеристика любого вещества, в том числе сырья, готового материала и изделия. Составы бывают нескольких видов: химический, минералогический, фазовый, гранулометрический, вещественный [2].

**Химический состав** материалов выражают в зависимости от их природы: в случае неорганических минеральных материалов (цемент, известь, глина или стекло) — процентным содержанием оксидов элементов; а органических — процентным содержанием химических элементов, так же как и в случае металлов и сплавов.

Зная химический состав, можно предсказать характерные для данного материала свойства. Например, высокое содержание кремнезема ( $\text{SiO}_2$ ) в совокупности с низким содержанием оксидов кальция ( $\text{CaO}$ ) и алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) показывает относительно низкую температуру плавления глин. В зависимости от соотношения содержания основных и кислых оксидов различают кислый или основной характер материала (см. табл. 1).

Потери при прокаливании ( $\Delta\text{Мпрк}$ ) — это показатель химического состава материала, указывающий суммарное содержание соединений, улетучивающихся в процессе его нагревания ( $\text{CO}_2$ , химически связанная вода, выделяющаяся в процессе дегидратации гидратных форм соединений).

**Минералогический состав** — это процентное содержание природных или искусственных соединений (минералов), что более полно характеризует материал и позволяет предопределить не только его физические и химические свойства, но и более специфические характеристики и технологические свойства [3].

**Минералы** — это природные или искусственные химические соединения, отличающиеся однородным составом и свойствами [3].

Например, горная порода гранит имеет наиболее благоприятный для строительного камня минеральный состав с высоким содержанием кварца (25–30 %), полевых шпатов (55–65 %) и небольшим количеством слюды (5–10 %).

Таблица 1

**Химический состав некоторых строительных материалов  
и определяемые им характеристики**

Материал	Химический состав, %							Характеристика
	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (+FeO)	MgO	прочие	ΔМпрк	
Глина	53–81	0,5–15	7–23	3–6	0,5–3	1–5	<15	легкоплавкие
	50–70	<2	18–30	3–3,5	<1,5	<5	<4,4	тугоплавкие
	43–48	0,1–1,5	31–39	0,15–0,7	0,03–0,6	0,65–21	6–13	огнеупорные
Шлак доменный	35–40	45–50	8–10	0,3–1	–	4–7	–	основной
	45–55	25–30	14–20	2–3	–	5,4–5,5	–	кислый
Портландцемент	21–24	63–66	4–8	2–4	–	3–5	–	нормально твердеющий
Глиноземистый цемент	5–10	35–43	39–47	2–15	–	1,5–2,5	–	быстро твердеющий

Минеральный состав искусственных материалов более сложен, например портландцемент, преимущественно, состоит из клинкерных минералов. Алит  $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  содержится в количестве 45–60 %, определяет скорость твердения и прочность затвердевшего портландцементного камня. Содержание белита  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  составляет 20–30 %, он медленно твердеет, но достигает высокой прочности при длительном твердении. Трехкальциевый алюминат  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$  является самым активным минералом с содержанием 4–12 %, быстро взаимодействует с водой, но является причиной коррозии бетона. Четырехкальциевый алюмоферрит  $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$  с содержанием до 10 % характеризуется умеренным тепловыделением, а по скорости твердения занимает промежуточное положение между  $\text{C}_3\text{S}$  и  $\text{C}_2\text{S}$ . Изменяя соотношения минералов, можно варьировать в определенных пределах строительные характеристики портландцемента, проявляющиеся как в процессе смешивания с водой, так и после затвердевания [5].

**Фазовый состав** — это характеристика строительного материала или сырья, определяемая совокупностью гомогенных (однородных) частей системы с одинаковыми свойствами и физическим строением, имеющих между собой границы раздела.

На микроуровне шлаков, керамики и других материалов, полученных высокотемпературной обработкой, можно различить разнородные группы кристаллов и стеклообразных соединений, разделенные границами раздела, которые характеризуются площадью контакта и определяют физико-химические свойства веществ.

На макроуровне рассматривают три основные фазы: твердую, жидкую и газообразную.

Фазовый состав материала и фазовые переходы воды в его порах оказывают влияние на все свойства и поведение материала при эксплуатации. В материале выделяют твердые вещества

стенок пор материала (каркас) и поры, заполненные воздухом и водой. При замерзании в порах воды наблюдается увеличение объема образовавшегося льда, что приводит к появлению внутренних напряжений, способных разрушить со временем материал, и изменению механических и теплофизических свойства материала.

**Гранулометрический (зерновой) состав** — процентное содержание в сыпучей смеси зерен либо гранул различных размеров и формы. Гранулометрия рассматривает как свойства отдельных зерен, так и характеристики смеси в целом. Каждое зерно можно охарактеризовать размером, формой, плотностью, химическим и минералогическим составом. В любой смеси имеются максимально крупные и минимально мелкие зерна, их содержание определяется ситовым анализом.

В зависимости от средней величины зерен сыпучие строительные смеси разделяют на несколько видов:

- мука — специально изготовленный продукт путем тонкого помола, например, известняковая мука из карбонатно-кальциевых горных пород;
- пыль — вещества размером менее 0,16 мм, выделяемые при расसेве дробленых горных пород, песков или других сыпучих материалов;
- порошок — специально подготовленная сыпучая смесь определенного гранулометрического состава;
- песок — мелкозернистая сыпучая смесь зерен с размерами 0,16–5 мм;
- гравий — неорганический зернистый сыпучий материал с зернами округлой формы крупностью 5–120 мм;
- щебень — неорганический зернистый сыпучий материал с зернами неправильной формы и шероховатой поверхностью крупностью 5–140 мм;
- гравийно-песчаная смесь — сыпучая смесь, состоящая из песка и гравия;

— зерно — отдельная частица материала определенных формы и размеров;

— гранула — искусственно полученное зерно округлой формы.

Сыпучую смесь характеризуют зерновым или фракционным составом, удельной поверхностью, сыпучестью, насыпной плотностью и пустотностью.

**Зерновой состав** — это процентное содержание зерен практически любых размеров, а также описание формы зерен.

Для удобства описания и унификации зерна по размерам подразделяют на группы (фракции).

**Фракционный состав** — это процентное содержание в сыпучем материале стандартных для него фракций. Фракционный состав характеризуется граничными размерами фракций и их содержанием. Например, фракционный состав щебня: фракция 5–10 мм — 20 %, 10–20 мм — 40 %; 20–40 мм — 40 %.

Помимо состава материала важной его характеристикой является строение или структура.

**Структура** — это взаимное расположение, форма и размеры однородных компонентов и фаз, из которых состоит материал, а также наличие пор, их размер и характер. Структуру материалов изучают на трех уровнях: макроструктура, микроструктура и внутреннее строение вещества.

**Макроструктура** — это наблюдаемая невооруженным глазом или под небольшим увеличением структура материала, которая обусловлена взаимным расположением разнородных компонентов материала, их соотношением, размером элементов и характером макропор или макродефектов.

В строительных материалах всегда имеются неоднородности и дефекты структуры (поры, трещины), в значительной степени ухудшающие свойства материалов. В целом структура материала всегда обуславливает его свойства. Большинство свойств материалов определяют количество, размер и характер



пор: пористое стекло (пеностекло), в отличие от обычного, непрозрачное и очень легкое. При увеличении пористости материала плотность и прочностные характеристики снижаются, а теплоизоляционные свойства в сухом состоянии улучшаются. Во влажном состоянии вода в порах замерзает с образованием льда и вызывает в нем большие внутренние напряжения вследствие увеличения объема, что приводит к изменению теплотехнических, механических свойства материала и долговечности.

Форма и размер частиц твердого вещества также влияют на свойства материала.

Существует несколько принципиально отличающихся видов макроструктуры твердых строительных материалов [10].

1. Конгломератную структуру имеют материалы, в которых зерна прочно скреплены прослойками вяжущего вещества и при этом отличаются внешним видом, цветом и техническими свойствами. Примером природного материала конгломератного строения может служить гранит, состоящий из зерен прочно сросшихся друг с другом различных минералов, а искусственного материала — бетон, состоящий из зерен песка и щебня, прочно соединенных в монолит затвердевшим вяжущим. Структура строительного конгломерата составляет цельную неделимую систему, без разрушения которой невозможно выделить какие-либо структурные элементы.

2. В ячеистой (мелкопористой) структуре присутствует большое количество макро- и микропор, свойственных ячеистым бетонам, пеностеклу, пластмассам, некоторым керамическим и другим теплоизоляционным материалам. В материале с ячеистой структурой наиболее сильно различаются свойства структурных элементов, например, твердый материал стенок от заполненных воздухом или водой пор.

3. Волокнистую структуру имеют материалы, обладающие анизотропией свойств (различными вдоль и поперек) за счет

волокон, расположенных параллельно друг другу. Волокнистая структура присуща древесине, изделиям из минеральной ваты.

4. Материалы со слоистой структурой также обладают анизотропией, но за счет расположенных параллельно друг другу слоев материала (в отличие от слоистых веществ). К ним относятся рулонные, листовые, плитные материалы со слоистым наполнителем (бумопласт, текстолит).

5. Материалы рыхлозернистой структуры состоят из отдельных, не связанных друг с другом зерен (песок, щебень, цемент).

Кроме этого, применительно ко всем видам макроструктур различают неоптимальные, оптимальные и рациональные структуры.

**Оптимальную** структуру характеризуют равномерным распределением частиц компонентов материала по объему при отсутствии (или малом объеме) дефектов, выступающих концентраторами напряжений и аккумуляторами агрессивной среды.

Для композитных матричных материалов характерна непрерывная пространственная сетка вяжущего вещества. Для этой разновидности структуры характерны улучшенные показатели качества материала, обусловленные оптимальной (повышенной/пониженной) плотностью, варьируемой объемом пор, и минимальным содержанием жидкой фазы при повышенной концентрации твердой (кристаллической или аморфной). Достоинством оптимальных структур является их сходство, следовательно, закономерности взаимосвязи характеристик материала, выявленные в одном случае, могут быть применены на других таких же материалах.

**Неоптимальную** структуру характеризует отсутствие как минимум одного из условий оптимальной структуры.

К **рациональным** относятся оптимальные структуры, в полной мере соответствующие заданным показателям качества в реальных условиях промышленного серийного производст-

ва. При этом важным экономическим фактором являются условия получения рациональной структуры.

**Микроструктура** — это наблюдаемая под большим увеличением (оптический или электронный микроскоп) структура, обусловленная характером исходных минералов с присущими им микропорами и микродефектами, образованными в момент структурообразования (получения данного материала). Микроструктура определяет строение материалов (кристаллическое или аморфное) и их химическую активность.

**Аморфные вещества** характеризуются изотропностью (равномерность свойств во всех направлениях) и большей химической активностью. Они при нагревании размягчаются, постепенно переходя в жидкое состояние без четко выраженной температуры плавления.

**Кристаллические вещества** анизотропны, имеют определенную геометрическую форму и повышенную прочность, а при нагревании определенную температуру плавления (при постоянном давлении). Поэтому для получения повышенной прочности материалов проводят их частичную или полную кристаллизацию.

**Внутреннее строение вещества** изучают на молекулярно-ионном уровне с использованием современных физико-химических методов анализа: рентгеноструктурного (РСА), рентгенофазового (РФА), дифференциально-термического (ДТА) анализов, электронной микроскопии. Внутреннее строение вещества определяет его механические свойства, прочность, тугоплавкость, обусловленные взаимным расположением и расстоянием атомов, молекул, ионов, характером связи (ковалентная, ионная, Ван-дер-Ваальсовая, межмолекулярные), сил сцепления и структурой кристаллической решетки.

---

## 3. СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Качество** — это совокупность свойств строительного материала, определяющая его способность удовлетворять требованиям потребителя в соответствии с его назначением.

**Свойство** — это способность строительного материала каким-либо определенным образом реагировать на воздействие различных факторов и измеряемое в числовых значениях принятых физических единиц. Все свойства строительных материалов и изделий подразделяют на несколько групп.

**Физические свойства** подразделяют на структурные характеристики (средняя, насыпная и истинная плотности, пористость), гидрофизические, проявляющиеся при взаимодействии с водой (влажность, водопоглощение, водо- и паропроницаемость), и теплофизические свойства, выявляемые при воздействии различных видов передачи тепловой энергии (теплопроводность и огнеупорность).

К **химическим свойствам** относят способность материалов сопротивляться воздействию химически агрессивной среды, вызывающему в них реакции, способствующие разрушению материала или изменению его строительно-технических характеристик. К химическим свойствам обычно относят коррозионную, биологическую, радиационную стойкости.

**Механические свойства** дополнительно разделяют на деформативные, определяемые по изменению формы и размеров под воздействием приложенной внешней нагрузки (например, упругость, пластичность), и прочностные — представляющие способность сопротивляться нагрузке без разрушения структуры (пределы прочности при сжатии, растяжении, изгибе, скалывании и истираемость).

**Технологические свойства** характеризуют удобство и возможности применения материала в строительстве: удобоукладываемость бетонной смеси, коэффициент конструктивного качества (ККК), температуры плавления, размягчения, скорость схватывания и твердения.

**Эксплуатационные свойства** определяют возможность и затраты на восстановление элементов конструкций, сооружений из применяемого материала в процессе ремонтов.

### 3.1. Физические свойства материалов

**Истинная плотность** — масса единицы объема абсолютно сухого материала в максимально плотном состоянии, рассчитываемая по формуле [6]:

$$\rho_{\text{и}} = \frac{m_{\text{см}}}{V_{\text{плот}}}, \quad (1)$$

где  $m_{\text{см}}$  — масса сухого материала, кг;

$V_{\text{плот}}$  — объем, занимаемый материалом в максимально плотном состоянии, м<sup>3</sup>.

**Средняя плотность** — масса единицы объема абсолютно сухого материала в естественном состоянии (без удаления из него пор или пустот), рассчитываемая по формуле [7]:

$$\rho = \frac{m_{\text{см}}}{V_{\text{ес}}}, \quad (2)$$

где  $m_{\text{см}}$  — масса сухого материала, кг;

$V_{\text{ес}}$  — объем материала в естественном состоянии,  $\text{м}^3$ .

**Насыпная плотность** — масса единицы объема просушенного сыпучего материала, которую определяют при заполнении мерного сосуда (с известным объемом) и рассчитывают по формуле [7]:

$$\gamma = \frac{(m_2 - m_1)}{V}, \quad (3)$$

где  $m_1$  — масса пустого мерного сосуда, кг;

$m_2$  — масса мерного сосуда вместе с сыпучим материалом, кг;

$V$  — объем мерного сосуда,  $\text{м}^3$ .

**Пористость** — степень заполнения объема твердого материала порами, пустотами, газовоздушными включениями, рассчитываемая по формуле:

$$\Pi = \left( \frac{\rho_{\text{и}} - \rho}{\rho_{\text{и}}} \right) \cdot 100\%. \quad (4)$$

**Пустотность** — степень заполнения единицы объема пустотами для сыпучего сухого материала в свободно насыпанном (иногда в уплотненном) состоянии, рассчитываемая по формуле:

$$\Pi_{\text{см}} = \left( \frac{\rho - \gamma}{\rho} \right) \cdot 100\%. \quad (5)$$

**Сыпучесть** — способность сыпучего материала растекаться по плотному основанию в свободно насыпанном состоянии, которую характеризуют углом естественного откоса, завися-

щего от размеров и формы зерен, характера их поверхности, насыпной плотности и влажности материала.

**Удельная поверхность** — суммарная поверхность всех зерен единицы массы сыпучего материала. При определении этого параметра у пористого материала в площадь поверхности включается поровое пространство. Определяют инструментальными методами.

**Влажность** — это отношение массы воды в материале к его массе в абсолютно сухом состоянии, рассчитываемое по формуле:

$$W = \left( \frac{m_{\text{вл}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} \right) \cdot 100 \%, \quad (6)$$

где  $m_{\text{сух}}$  — масса сухого материала, кг;

$m_{\text{вл}}$  — масса влажного материала, кг.

**Водопоглощение материала** характеризует его способность при соприкосновении с водой впитывать и удерживать ее в своей массе. Оценивают водопоглощение по массе и объему [5].

**Водопоглощение по массе** — отношение массы поглощенной сухим материалом воды до полного водонасыщения к массе материала в абсолютно сухом состоянии, рассчитываемое по формуле:

$$\text{ВП}_m = \frac{m_{\text{в}}}{m_{\text{сух}}} \cdot 100 \%, \quad (7)$$

где  $m_{\text{в}}$  — масса поглощенной воды, кг;

$m_{\text{сух}}$  — масса сухого материала, кг.

**Водопоглощение по объему** — отношение объема поглощенной материалом воды до полного водонасыщения к его объему в водонасыщенном состоянии, рассчитываемое по формуле:

$$\text{ВП}_o = \frac{V_{\text{в}}}{V_{\text{в.м}}} \cdot 100 \% = \frac{m_{\text{в}}}{V_{\text{в.м}} \cdot \rho_{\text{в}}} \cdot 100 \%, \quad (8)$$

где  $V_B$  — объем поглощенной воды, л;

$V_{B.M}$  — объем материала в водонасыщенном состоянии, кг;

$m_B$  — масса поглощенной воды, кг;

$\rho_B$  — плотность воды, кг/м<sup>3</sup>.

**Гигроскопичность** — свойство капиллярно-пористого материала поглощать водяной пар из влажного воздуха путем адсорбции водяного пара на внутренней поверхности пор с последующей капиллярной конденсацией [8]. Волокнистые материалы со значительной пористостью (теплоизоляционные и стеновые) обладают развитой внутренней поверхностью пор, что определяет их высокую гигроскопичность.

**Влагоотдача** характеризует обратное свойство материала — отдавать влагу, т. к. материалы при нахождении на воздухе сохраняют свою влажность только при условии одинаковой с материалом относительной влажности воздуха (равновесной). При более низкой влажности воздуха влага из материала переходит в окружающую среду (материал сохнет), а при большой влажности — поглощает влагу. Скорость влагоотдачи зависит от разности влажностей материала и среды, температуры материала и воздуха, характеристик поверхности материала, его пористости и природы вещества: с крупными порами и гидрофобные легче отдают воду, чем мелкопористые и гидрофильные, при более высокой температуре и сухом воздухе.

**Водопроницаемость** — способность материала пропускать воду через свою структуру под давлением, характеризуемая коэффициентом фильтрации, рассчитываемым по формуле:

$$K_{\Phi} = \frac{V_B \cdot a}{S \cdot (P_2 - P_1) \cdot t}, \quad (9)$$

где  $V_B$  — объем прошедшей через материал воды, л;

$a$  — толщина материала, м;

$S$  — площадь поперечного сечения материала, м<sup>2</sup>;



$P_2 - P_1$  — разность гидростатического давления на противоположных поверхностях материала, м вод. ст.;

$t$  — время эксперимента, ч.

Обратной характеристикой водопроницаемости является водонепроницаемость — это способность материала не пропускать воду под давлением.

**Паропроницаемость** — способность материалов пропускать водяной пар через свою структуру, характеризуемая коэффициентом паропроницаемости, рассчитываемым по формуле [2]:

$$\mu = \frac{V_n \cdot a}{S \cdot (P_2 - P_1) \cdot t}, \quad (10)$$

где  $V_n$  — объем прошедшего через материал пара, л;

$S$  — площадь поперечного сечения материала, м<sup>2</sup>;

$P_2 - P_1$  — разница парциальных давлений пара над поверхностью образца, стандартное при испытании  $P_2 - P_1 = 133,3$  Па;

$a$  — толщина материала, м;

$t$  — время эксперимента, ч.

**Морозостойкость** — способность материала в насыщенном водой состоянии выдерживать многократные попеременные замораживания и оттаивания без признаков разрушения структуры и значительного снижения прочности для конструктивных материалов [9]. Многолетний опыт строительства и исследований объясняет разрушение строительных материалов в условиях попеременного насыщения водой и замораживании за счет увеличения в объеме примерно до 9% (разница между плотностью воды и льда) воды, находящейся в порах. Наибольшее расширение наблюдается при переходе в лед при температуре  $-4$  °С, а дальнейшее понижение температуры происходит без увеличения объема льдом. При этом стенки капилляров испытывают значительные напряжения и разрушаются.

**Теплопроводность** — это способность материалов пропускать через свою толщу тепло путем теплопередачи в результа-

те перепада температур между поверхностями материала [10]. Оценивают теплопроводность по коэффициенту теплопроводности в абсолютно сухом состоянии (чем он ниже, тем более низкая теплопроводность и более теплосберегающий материал), рассчитываемому по формуле:

$$\lambda = \frac{Q \cdot a}{S \cdot (t_2 - t_1) \cdot T}, \quad (11)$$

где  $Q$  — количество тепла, прошедшее через материал, Дж;

$a$  — толщина материала, м;

$S$  — площадь поперечного сечения материала, м<sup>2</sup>;

$t_1, t_2$  — температура на внутренней (1) и внешней (2) поверхности испытуемого образца материала, °С;

$T$  — время эксперимента, ч.

Однако, коэффициент теплопроводности можно ориентировочно определить расчетным путем по формуле:

$$\lambda = 1,163 \sqrt{0,0196 + 0,22 \cdot \rho^2} - 0,14, \quad (12)$$

где  $\rho$  — средняя плотность материала, кг/м<sup>3</sup>.

В процессе эксплуатации при увлажнении материала значительно возрастает коэффициент теплопроводности материалов с увлажнением, т. к. при этом поры заполняет вода, имеющая коэффициент теплопроводности 0,58 Вт/(м·°С) выше в 25 раз, чем у воздуха — 0,023 Вт/(м·°С).

**Теплоемкость** — способность материалов поглощать тепло при нагревании, которую оценивают по удельной теплоемкости, рассчитываемой по формуле:

$$c = \frac{Q}{m \cdot (t_k - t_n)}, \quad (13)$$

где  $Q$  — количество тепла, прошедшее через материал, Дж;

$m$  — масса материала, кг;

$t_n, t_k$  — начальная и конечная температуры материала, °С.

**Огнеупорность** — способность материала противостоять длительному воздействию высоких температур без деформаций и не изменяя агрегатного состояния (не переходя в расплав). По степени огнеупорности все материалы разделяют на огнеупорные, выдерживающие температуру выше 1580 °С, тугоплавкие — от 1360 до 1580 °С и легкоплавкие ниже 1350 °С.

**Термическая стойкость** материала характеризует его способность выдерживать определенное количество циклов резких тепловых изменений без разрушения структуры, что зависит от степени однородности материала, температурного коэффициента расширения его компонентов (уменьшение коэффициента повышает термическую стойкость материала).

**Огнестойкость** — способность материала выдерживать без разрушений действие открытого огня. Пределом огнестойкости конструкции называется время в часах от начала огневого испытания до появления одного из следующих признаков: сквозных трещин, обрушения, повышения температуры на необогреваемой поверхности. По огнестойкости строительные материалы делятся на три группы: негорючие, трудногорючие и горючие. Негорючие материалы под действием высокой температуры или огня не тлеют и не обугливаются. Некоторые материалы под воздействием высокой температуры не растрескиваются и не деформируются (керамический кирпич), а другие подвержены значительным деформациям (стальные изделия) и не могут быть отнесены к негорючим. Трудногорючие материалы под воздействием огня или высоких температур обугливаются, тлеют или с трудом воспламеняются, но продолжают гореть или тлеть только при наличии огня (древесина, пропитанная огнезащитными составами). Горючие материалы горят и тлеют под воздействием огня или высоких температур и продолжают гореть после устранения огня (все органические материалы, не подвергнутые пропитке огнезащитными составами).

### 3.2. Химические свойства

**Коррозионная стойкость** — способность материала противостоять физико-химическому взаимодействию с агрессивной средой, приводящему к разрушению структуры материала с образованием новых химических соединений. В большинстве случаев ее определяют у металлов, окисляющихся на воздухе, по различным методикам.

**Биостойкость материалов** — устойчивость материала перед воздействием биологических объектов окружающей среды (плесень, насекомые, грызуны), которая зависит от химического состава строительного материала, влажности и условий эксплуатации. В большинстве случаев ее определяют у природных органических материалов, например стойкость древесины к действию разрушающих микроорганизмов и насекомых при эксплуатации в воздушно-сухом состоянии. Недостаточная биостойкость органических материалов определяется природой компонентов, которые выступают источниками питания для микроорганизмов, в процессе своей жизнедеятельности выделяющих гидролитические ферменты, расщепляющие компоненты строительных материалов растительного происхождения (целлюлозу, лигнин, гемицеллюлозу).

**Радиационная стойкость** — свойство материала сохранять свой химический состав, структуру и физико-механические характеристики после воздействия ионизирующих излучений. Развитие атомной энергетики и широкое использование источников ионизирующих излучений в различных отраслях народного хозяйства вызывают необходимость оценки радиационной стойкости и защитных свойств материалов.

### 3.3. Механические свойства строительных материалов

**Прочность** — способность материалов сопротивляться разрушению и деформациям от внутренних напряжений в результате приложения внешних воздействий, возникающих при эксплуатации (неравномерная осадка или нагревание отдельных элементов зданий). Оценивают все виды прочностей по пределам — максимальным внешним усилиям до разрушения материала. Различают пределы прочности материалов при сжатии, растяжении, изгибе (основные) или срезе и кручении [10].

**Теоретическая прочность** — критическое напряжение, которое необходимо квазистатически (медленно) приложить к идеальному телу, чтобы вызвать его необратимую диссоциацию. Прочность идеального бездефектного твердого тела определяется силами связи между правильно расположенными атомами. Точные расчеты теоретической прочности требуют знания структуры тела и потенциала межатомного взаимодействия. Для таких сложных материалов, как силикатное стекло, определить эти параметры на современном уровне развития науки не представляется возможным.

Хрупкое разрушение характеризуется тем, что оно не сопряжено с заметной пластической макродеформацией и наблюдается при воздействии средних напряжений, не превышающих предел текучести. Траектория разрушения близка к прямолинейной, излом нормален к поверхности и имеет кристаллический характер. Хрупкое разрушение, как правило, является внутрикристаллическим.

Разрушение в большинстве случаев происходит под воздействием нормальных напряжений и распространяется вдоль наименее упакованной кристаллографической плоскости, называемой плоскостью скола (отрыва). Но при некоторых условиях эксплуатации (водородное насыщение, коррозия) хрупкое разрушение может быть межкристаллитным (меж-

зерновым). Хрупкое разрушение часто происходит внезапно и распространяется с большой скоростью при малых затратах энергии. В ряде случаев оно приводит к катастрофическим разрушениям сварных конструкций в процессе эксплуатации.

**Предел прочности при сжатии** характеризует максимальное сжимающее усилие, которое может выдержать конструкционный материал до разрушения; его рассчитывают по формуле [7]:

$$R_{\text{сж}} = P/S, \quad (14)$$

где  $P$  — разрушающая нагрузка, Н;

$S$  — площадь сечения материала, перпендикулярного прилагаемой нагрузке,  $\text{м}^2$ .

Прочность некоторых наиболее распространенных строительных материалов приведена в табл. 2.

**Предел прочности при изгибе** определяют при односточечном сосредоточенном нагружении образца — параллелепипеда прямоугольного сечения и рассчитывают по формуле:

$$R_{\text{изг}} = \frac{3Pl}{2bh^2}, \quad (15)$$

где  $P$  — разрушающая нагрузка, Н;

$l$  — расстояние между осями опор, мм;

$b$  — ширина образца, мм;

$h$  — высота образца, мм.

Таблица 2

### Прочность некоторых строительных материалов

Материал	Предел прочности при сжатии, МПа
Гранит	150–250
Тяжелый бетон	10–50
Керамический кирпич	7,5–30,0
Сталь	210–600
Древесина (вдоль волокон)	30–65
Стеклопластик	90–150

**Коэффициент конструктивного качества** является важной характеристикой эффективности материалов — это условная величина, учитывающая прочность на сжатие и среднюю плотность материала, рассчитываемая по формуле:

$$\text{ККК} = R_{\text{сж}} / \rho. \quad (16)$$

**Твердость** — способность материала оказывать сопротивление проникновению в него более твердого материала, не всегда соответствующая прочности: древесина имеет прочность, близкую к бетонам, но значительно меньшую твердость. Для разных материалов твердость определяют разными методиками. Например, при определении твердости природных каменных материалов используют шкалу Мооса из 10 минералов с условным показателем твердости от 1 до 0, составленную при условии, что более твердый материал с более высоким порядковым номером царапает материал с более низким номером. Твердость металлов, бетона, древесины, пластмасс оценивают вдавливанием в них стального шарика, конуса или пирамиды.

**Истираемость** — способность материалов разрушаться под действием истирающих усилий, определяемая при испытании образцов на круге истирания или в полочном барабане и рассчитываемая по формуле:

$$И = (m_1 - m_2) / F, \quad (17)$$

где  $m_1, m_2$  — масса образца материала до и после испытания соответственно, кг;

$F$  — площадь поверхности истирания, м<sup>2</sup>.

**Износ** — свойство материала сопротивляться одновременному воздействию истирания и ударов; зависит от структуры, состава, твердости, прочности, истираемости материала [2].

**Хрупкость** — свойство материала внезапно разрушаться под воздействием нагрузки, без предварительного заметного изменения формы и размеров. Хрупкому материалу, в отличие от пластичного, нельзя придать при прессовании желаемую

форму, так как он под нагрузкой дробится на части и рассыпается.

В группу деформативных объединяют свойства материалов, проявляющиеся при воздействии на них механических и температурных нагрузок, в результате которых в материале возникают различного рода деформации, напряженное состояние и наступает разрушение.

**Деформация** — нарушение взаимного расположения множества частиц материальной среды, которое приводит к изменению формы и размеров тела и вызывает изменение сил взаимодействия между частицами, т. е. возникновение напряжений. Простейшим элементом деформации являются относительное удлинение и сдвиг.

**Разрушение** — ослабление взаимосвязи между частицами при нарушении сплошности структуры. Различают хрупкое, т. е. мгновенное (без деформации) и пластическое (с деформацией) разрушение твердого тела.

**Пластичность** — свойство деформируемого твердого тела сохранять остаточные деформации после снятия приложенной к нему нагрузки.

**Упругость** — свойство твердого тела изменять форму и размеры под действием нагрузок и самопроизвольно восстанавливать исходную конфигурацию при прекращении внешних воздействий. Упругость тел обусловлена силами взаимодействия атомов, из которых они построены. В твердых телах при температуре абсолютного нуля и отсутствии внешних воздействий атомы занимают равновесное положение, в котором сумма всех сил, действующих на каждый атом со стороны остальных, равна нулю, а потенциальная энергия атома минимальна.

В большинстве природных и искусственных материалов (например, в горных породах, древесине, керамике, бетоне, металлах) при малых деформациях зависимости между напряжениями и деформациями можно считать линейными (график



А на рис. 1) и описывать обобщенным законом Гука. **Модуль Юнга**, или модуль упругости — это основная характеристика прочности материала, показывающая критическое напряжение, которое может выдержать структура материала при максимальной ее деформации до разрушения, рассчитываемая по формуле:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon, \quad (18)$$

где  $\sigma$  — критическое напряжение, возникающее в материале, МПа;

$E$  — модуль упругости (модуль Юнга);

$\varepsilon$  — относительная деформация материала, дол. ед.

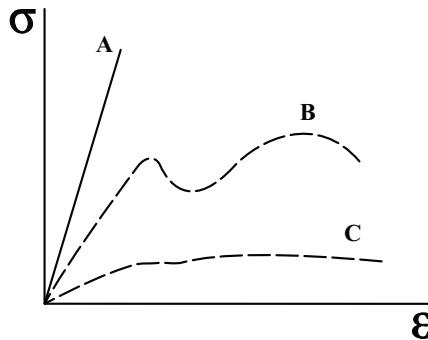


Рис. 1. Зависимость напряжений и деформаций для разных материалов:

А — каменные материалы, керамика; В — металлы; С — полимеры

Все реальные твердые тела даже при малых деформациях в большей или меньшей степени обладают пластическими свойствами, т. е. наряду с упругими деформациями также имеют место пластические. Соотношения между двумя противоположными видами деформации для различных материалов неодинаковы (см. табл. 3 и 4). В полимерах преобладают пла-

стические деформации (график С на рис. 1), а в металлах — промежуточные: до площадки текучести упругие, после — пластические (график В на рис. 1).

Таблица 3

**Значения начального модуля упругости при сжатии и растяжении бетона, МПа·10<sup>-3</sup>, согласно СП 52– 101-20-03**

B10	B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60
19,0	24,0	27,5	30,0	32,5	34,5	36,0	37,0	38,0	39,0	39,5

Таблица 4

**Модули упругости для основных строительных материалов [2]**

Материал	Модуль упругости, МПа
Чугун белый, серый	$(1,15–,60) \cdot 10^5$
Сталь углеродистая	$(2,0–,1) \cdot 10^5$
Медь прокатная	$1,1 \cdot 10^5$
Алюминий	$0,69 \cdot 10^5$
Лед	$0,1 \cdot 10^5$
Стекло	$0,56 \cdot 10^5$
Гранит	$0,49 \cdot 10^5$
Песчаник	$0,18 \cdot 10^5$
Каменная кладка из гранита	$(0,09–0,1) \cdot 10^5$
Каменная кладка из кирпича	$(0,027–0,030) \cdot 10^5$
Древесина вдоль волокон	$(0,1–0,12) \cdot 10^5$
Древесина поперек волокон	$(0,005–0,01) \cdot 10^5$
Каучук	$0,00008 \cdot 10^5$

**Коэффициент Пуассона** (коэффициент поперечной деформации) показывает зависимость между продольными и поперечными деформациями элемента, характеризует упругие свойства материала и является безразмерной величиной, которую определяют отношением относительных поперечных

и продольных деформаций элемента и рассчитывают по формуле:

$$\mu_{\text{П}} = \left| \frac{\varepsilon_{\text{поп}}}{\varepsilon_{\text{прод}}} \right|, \quad (19)$$

где  $\varepsilon_{\text{поп}}$  и  $\varepsilon_{\text{прод}}$  — относительные поперечные и продольные деформации элемента, дол. ед.

Отношение абсолютных деформаций к соответствующим начальным размерам покажет относительные деформации, а их отношение в свою очередь определяет коэффициент Пуассона материала (табл. 5). Значение коэффициента принимают по модулю, т. к. продольная и поперечная деформации всегда имеют противоположные знаки (удлинение образца приводит к его сужению и наоборот). Для всех существующих материалов значение коэффициента Пуассона варьируется в пределах от 0 до 0,5: минимальное значение для хрупких материалов, максимальное — для эластичных. В зависимости от марки стали коэффициент Пуассона варьируется от 0,27 до 0,32.

Таблица 5

### Значения коэффициента Пуассона для строительных материалов

Материал	Коэффициент Пуассона
Сталь	0,30
Чугун	0,25
Медь	0,32
Титан	0,30
Алюминий	0,30
Бетон	0,16

**Ползучесть материалов** — непрерывная пластическая деформация материалов под воздействием постоянной механической нагрузки или напряжений. Ползучести подвержены все кристаллические и аморфные твердые тела при всех видах ме-

ханических нагрузок. Ползучесть материалов наблюдают как при температурах, близких к температуре жидкого гелия, так и при близких к температуре плавления. Однако с увеличением температуры скорость ползучести материалов растет, что ограничивает долговечность конструкций, работающих при постоянных нагрузках и повышенных температурах. Малая скорость ползучести материала — главное требование, предъявляемое к жаропрочным материалам. Существенное техническое значение имеет ползучесть металлических материалов и керамики при повышенных температурах и давлениях.

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

**Текучесть** — свойство пластичных металлов и тел при постепенном увеличении давления уступать действию сдвигающих сил и течь подобно вязким жидкостям. Величина текучности обратна величине вязкости.

### 3.4. Технологические свойства строительных материалов

**Технологические свойства** в большинстве случаев аддитивны, т. е. свойство смеси подобных материалов можно определить, зная массовую долю каждого составляющего и присущее ему свойство, а рассчитать по формуле:

$$A_{\text{см}} = \sum X_i \cdot A_i, \quad (20)$$

где  $X_i$  — массовая доля компонента в смеси, дол. ед.;

$A_i$  — свойство отдельного компонента смеси.

По приведенной формуле можно определить различные технологические свойства, например, температуру размягчения битумных материалов, плотность известкового молока (суспензии гидратной извести и воды), температуру отвердевания и другие.

**Температура размягчения** — характеристика органических (аморфных) материалов, т. е. температура, при которой материал приобретает возможность размягчаться, т. е. переходит из твердого агрегатного состояния в пластичное, а затем в жидкое.

### 3.5. Эксплуатационные свойства

Строительное изделие, деталь или конструкция должны удовлетворять требованиям эксплуатации, т. е. обладать надежностью и долговечностью, которые характеризуют продолжительность выполнения изделием своих функций в течение заданного срока службы или до наступления предельного состояния. Строительные изделия подразделяют на восстанавливаемые (можно отремонтировать или заменить) и невосстанавливаемые (закладные детали, связи стеновых панелей).

**Исправность объекта** — техническое состояние, при котором объект полностью соответствует всем требованиям научной и технической документации.

**Работоспособность объекта** — техническое состояние, при котором обеспечивается нормальное выполнение объектом основных функций, при этом исправность обязательно включает в себя работоспособность.

**Предельное состояние** — состояние, при котором дальней-

шая эксплуатация объекта недопустима из-за его физического износа или нецелесообразна из-за морального износа. Переход конструкций из исправного состояния в неисправное происходит в результате накопления дефектов, т. е. отдельных несоответствий продукции установленным требованиям. Для правильной оценки состояния проводят разделение дефектов.

**Неустранимый дефект** — дефект, ликвидация которого технически невозможна или экономически нецелесообразна, при этом по мере усовершенствования технологии неустранимые дефекты могут стать устранимыми.

**Повреждение** — событие, нарушающее исправное состояние объекта, но его работоспособное состояние при этом сохраняется.

**Надежность** — это сложное свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения его параметров; складывается из частных свойств: безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость.

**Безотказность** — свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени (для материалов и изделий) или некоторой наработки (для оборудования):

— **наработка до отказа**, соответствует времени от начала эксплуатации до первого отказа. Данное понятие применительно только для единичного изделия;

— **средняя наработка до отказа** — математическое ожидание (среднее значение) наработки до первого отказа;

— **вероятность безотказной работы** означает, что в пределах заданной наработки отказа объекта не возникнет;

— **интенсивность отказов** — вероятность безотказной работы в конкретный момент времени;

— **отказ** — событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния.

**Внезапный отказ** — отказ, произошедший в результате резкого скачкообразного изменения параметров (поломка, отслаивание).

**Постепенный отказ** — отказ, произошедший вследствие медленного изменения параметров (износ, деформация материалов).

**Долговечность (работоспособное состояние, работоспособность)** — состояние объекта, при котором его параметры находятся в установленных допусках. Долговечность заключается в способности объекта не достигать предельного состояния в течение некоторого времени или наработки при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Показатели долговечности:

— **технический ресурс**, отражающий наработку единичного объекта от начала эксплуатации до перехода в критическое состояние (применение невозможно);

— **средний ресурс** — математическое ожидание технического ресурса;

— **срок эксплуатации** — срок до перехода изделия в предельное состояние, при котором применение недопустимо;

— **средний срок службы** — математическое ожидание срока эксплуатации.

**Ремонтопригодность** — свойство объекта, заключающееся в приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния в результате предупреждения, выявления и устранения отказов. Только для восстанавливаемых изделий выделяют:

— среднее время восстановления работоспособного состояния;

— вероятность восстановления, т. е. вероятность того, что время восстановления работоспособности не превышает заданного.

**Сохраняемость** — свойство объекта сохранять работоспособность (безотказность, долговечность и ремонтпригодность) при хранении и транспортировании или в перерывах между использованием по назначению:

— время хранения до возникновения неисправности (время сохранения гидрофобности для гидрофобного цемента);

— время транспортировки до возникновения неисправности (время сохранения удобоукладываемости для бетонной смеси).



---

## 4. СТАНДАРТИЗАЦИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

**Стандартизация** — деятельность по установлению правил и характеристик в целях их добровольного многократного использования, направленная на достижение упорядоченности в сферах производства и обращения продукции и повышение конкурентоспособности продукции, работ или услуг. Эта деятельность проявляется в разработке, опубликовании и применении стандартов.

**Государственная система стандартизации (ГСС) Российской Федерации** — это совокупность организационно-технических мер, осуществляемых под управлением федерального органа исполнительной власти по стандартизации и направленных на разработку и применение нормативных документов в области стандартизации с целью защиты потребителей и государства.

Система стандартизации в нашей стране претерпела существенные преобразования в последние десятилетия.

С принятием Федерального закона от 27.12.2002 № 184—ФЗ «О техническом регулировании» началось реформирование ГСС, в котором можно выделить три этапа:

— начальный (2002 г.) — состояние Государственной системы стандартизации, функционирующей с 1992 г., к моменту принятия названного закона;

— переходный (2003–2010 гг.) — преобразование Государственной системы стандартизации (ГСС) в национальную систему стандартизации (НСС) с изменением правового статуса системы с государственного на добровольный. Двойное название отражает факт сосуществования государственной и национальной систем стандартизации;

— окончание формирования национальной системы стандартизации — системы, возглавляемой Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии — Росстандарт (до 15 июня 2010 — Ростехрегулирование).

**Начальный этап.** ГСС РФ начала формироваться в 1992 г. в связи со становлением государственной самостоятельности России. Основой ГСС является фонд законов, подзаконных актов, нормативных документов по стандартизации. Указанный фонд представлял четырехуровневую систему, включающую:

- а) техническое законодательство;
- б) государственные стандарты, общероссийские классификаторы технико-экономической и социальной информации;
- в) стандарты отрасли и стандарты общественных организаций;
- г) стандарты предприятий и технические условия.

Техническое законодательство, являясь правовой основой ГСС, по существу представляло собой совокупность регламентов 1-го уровня. Ядром технического законодательства был Закон РФ «О стандартизации», который утратил силу со дня вступления в силу ФЗ «О техническом регулировании».

Нормативные документы 2-го уровня были представлены:

— государственными стандартами Российской Федерации (ГОСТ Р);

— межгосударственными стандартами (ГОСТами), введенными в действие постановлением Госстандарта России (Госстроя России) в качестве государственных стандартов Российской Федерации;

- государственными стандартами бывшего СССР (ГОСТ);
- правилами, нормами и рекомендациями по стандартизации;
- общероссийскими классификаторами технико-экономической и социальной информации.

По состоянию на 1 января 2003 г. федеральный фонд составил более 23 тыс. государственных стандартов (ГОСТ, ГОСТ Р).

Регламентами 2-го уровня являлись: государственные и межгосударственные стандарты (далее — государственные стандарты), содержащие обязательные требования; правила по стандартизации, метрологии, сертификации, общероссийские классификаторы.

Нормативные документы 3-го уровня были представлены стандартами, сфера применения которых ограничена определенной отраслью народного хозяйства — стандартами научно-технических и инженерных обществ (СТО).

Нормативные документы 4-го уровня были представлены НД, сфера действия которых ограничена рамками организации (предприятия) — стандартами предприятий (СТП) и техническими условиями (ТУ).

ТУ выступают в роли технических и нормативных документов. К НД относятся те ТУ, на которые делаются ссылки в договорах на поставляемую продукцию (оказываемые услуги).

Примечания. Двойкий статус ТУ явился причиной, по которой они не были включены Законом РФ «О стандартизации» в перечень нормативных документов. К технической документации относится совокупность документов, необходимых и достаточных для непосредственного использования на отдельных стадиях жизненного цикла продукции — проектирования, изготовления, обращения, эксплуатации. На стадии проектирования используется конструкторская и технологическая документация, на стадиях обращения и эксплуатации — эксплуатационная и ремонтная документация. ТУ как документ по качеству готовой продукции входит наряду с эксплу-

атационной документацией (инструкции, паспорта) в комплект товаросопроводительных документов.

**Переходный этап.** В соответствии с постановлением Правительства РФ Госстандарт России, получив функции национального органа по стандартизации, принял 27.07.03 г. Постановление № 63 «О национальных стандартах Российской Федерации», в соответствии с которым:

— с 1 июля — дня вступления в силу ФЗ «О техническом регулировании» признаны национальными действующие государственные и межгосударственные стандарты, введенные в действие до 1 июля 2003 г. для применения в РФ;

— впредь до вступления в силу соответствующих технических регламентов действующие государственные и межгосударственные стандарты рекомендованы применять в добровольном порядке за исключением обязательных требований, обеспечивающих достижение целей законодательства РФ о техническом регулировании.

Указанный акт не следует рассматривать как формальное переименование государственных стандартов в национальные. Действующие ГОСТы в соответствии со ст. 46 гл. 10 ФЗ имеют сокращенный набор обязательных требований.

С принятием технических регламентов перейдут в разряд добровольных документов нормы и правила федеральных органов исполнительной власти, в компетенцию которых в соответствии с законодательством входило установление обязательных требований. Речь идет, например, о СанПиНах Минздрава России, СНиПах Госстроя России и т. д.

В новом Федеральном законе не предусмотрена такая категория, как стандарты отрасли. Это связано с двумя причинами: ликвидацией большинства отраслевых министерств и отсутствием этой категории документа в зарубежной практике. ОСТы будут трансформированы в национальные стандарты, а также стандарты ассоциаций, союзов и объединений предприни-

мателей, общественных организаций. Учитывая численность фонда ОСТ, указанное преобразование займет продолжительный период времени и на 2-м этапе эта категория не потеряет практического значения.

**Заключительный этап.** С 2010 года руководство Российской национальной стандартизацией осуществляет национальный орган по стандартизации — Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии — Росстандарт. Он как орган по стандартизации, принятый на национальном уровне, имеет право представлять интересы страны в области стандартизации в соответствующей международной или региональной организации по стандартизации.

Установление двух категорий стандартов — национальных стандартов и стандартов организаций — определяет существование двух систем исходя из сферы деятельности:

- национальной системы, действующей в общероссийском масштабе;
- локальной, действующей в рамках организации.

Национальная система стандартизации включает:

- национальные стандарты;
- правила стандартизации, нормы и рекомендации в области стандартизации;
- общероссийские классификаторы технико-экономической и социальной информации.

Локальная система стандартизации базируется на стандартах организаций, которые по существу заменили стандарты предприятий (СТП), научно-технических, инженерных обществ и других общественных объединений, установленные Законом РФ «О стандартизации».

В соответствии с Федеральным законом «О техническом регулировании» стандартизация осуществляется в целях:

- повышения уровня безопасности жизни или здоровья граждан, имущества физических или юридических лиц, госу-

дарственного или муниципального имущества, экологической безопасности, безопасности жизни или здоровья животных и растений и содействия соблюдению требований технических регламентов;

- повышения уровня безопасности объектов с учетом риска возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера;

- обеспечения научно-технического прогресса;

- повышения конкурентоспособности продукции, работ, услуг;

- рационального использования ресурсов;

- технической и информационной совместимости;

- сопоставимости результатов исследований (испытаний) и измерений, технических и экономико-статистических данных;

- взаимозаменяемости продукции.

Принципы стандартизации отражают основные закономерности процесса разработки стандартов, обосновывают ее необходимость в управлении народным хозяйством, определяют условия эффективной реализации и тенденции развития. В соответствии с ФЗ «О техническом регулировании» стандартизация базируется на следующих основных принципах:

- 1) добровольного применения стандартов;

- 2) максимального учета при разработке стандартов законных интересов заинтересованных лиц, что означает максимальную сбалансированность интересов сторон, разрабатывающих и изготавливающих продукцию или оказывающих услугу;

- 3) применения международного стандарта как основы разработки национального стандарта, за исключением случаев, если такое применение признано невозможным вследствие несоответствия требований международных стандартов климатическим и географическим особенностям Российской Федерации, техническим и (или) технологическим особенностям

или по иным основаниям либо Российская Федерация в соответствии с установленными процедурами выступала против принятия международного стандарта или отдельного его положения;

4) недопустимости создания препятствий производству и обращению продукции, выполнению работ и оказания услуг в большей степени, чем это минимально необходимо для выполнения целей стандартизации;

5) недопустимости установления таких стандартов, которые противоречат техническим регламентам:

6) обеспечения условий для единообразного применения стандартов;

7) системности стандартизации — рассмотрение каждого объекта как части более сложной системы и совместимость всех элементов сложной системы. Например, бутылка как потребительская тара входит частью в транспортную тару — ящик, последний укладывается в контейнер, а контейнер помещается в транспортное средство;

8) динамичности и опережающем развитии стандартизации. Динамичность обеспечивается периодической проверкой стандартов, внесением в них изменений, отменой НД. Опережающее развитие обеспечивается внесением в стандарт перспективных требований к номенклатуре продукции, показателям качества, методам испытаний и т. д., а также учет на этапе разработки международных и прогрессивных стандартов других стран.

9) эффективности стандартизации — заключается в получении экономического и социального эффекта;

10) гармонизации стандартов, разработке гармонизированных стандартов и недопустимости разработки таких стандартов, которые противоречили бы техническим регламентам;

11) комплексности стандартизации взаимосвязанных объектов. Комплексность стандартизации предусматривает увязку

стандартов на готовые изделия со стандартами на сборочные единицы, детали, полуфабрикаты, материалы, сырье, а также технические средства, методы организации производства и способы контроля;

12) объективности проверки требований, т.е. стандарты должны устанавливать требования к основным свойствам объекта стандартизации, которые могут быть **объективно проверены**. В качестве объективного доказательства используются сертификаты соответствия, заключения надзорных органов.

В основном приведенные принципы отражают сложившуюся международную практику и адаптированы к основополагающим принципам реформирования российской экономики. **Ключевым** из этих принципов является **принцип добровольности** применения стандартов. Именно он фундаментально отличает новую национальную систему стандартизации от старой — государственной. Фактически он создает условия для сокращения вмешательства государства в бизнес. Его реализация на практике будет способствовать дальнейшей либерализации российской экономики. Как известно, ФЗ определил в качестве основного инструмента регулирования **технический регламент**.

Для достижения социальных и технико-экономических целей стандартизация выполняет **определенные функции**:

1. Функция упорядочения — преодоление неразумного многообразия объектов (раздутая номенклатура продукции, ненужное многообразие документов). Она сводится к упрощению и ограничению.

2. Охранная (социальная) функция — обеспечение безопасности потребителей продукции (услуг), изготовителей и государства, объединение усилий человечества по защите природы от техногенного воздействия цивилизации. Реализация этой функции позволит повысить уровень безопасности жизни и здоровья граждан, государственного и муниципального имущества, уровень экологической безопасности, безопасности



жизни и здоровья животных, растений, повысит уровень безопасности объектов с учетом риска техногенного характера.

3. Ресурсосберегающая функция обусловлена ограниченностью материальных, энергетических, трудовых и природных ресурсов и заключается в установлении в НД обоснованных ограничений на расходование ресурсов.

4. Коммуникативная функция направлена на преодоление барьеров в торговле и на содействие научно-техническому и экономическому сотрудничеству.

5. Цивилизующая функция направлена на повышение качества продукции и услуг как составляющей качества жизни. Реализация этой функции позволяет достичь целей научно-технического прогресса, повышения конкурентоспособности продукции, работ и услуг.

6. Информационная функция. Стандартизация обеспечивает материальное производство, науку и технику и другие сферы нормативными документами, эталонами мер, образцами — эталонами продукции как носителями ценной технической и управленческой информации.

7. Функция нормотворчества проявляется в задании норм и требований (правил, значений параметров, условий для выполнения) применительно к объекту стандартизации.

8. Доказательная функция проявляется в том, что гармонизированные с конкретным ТР стандарты раскрывают существенные требования регламентов.

В соответствии с ФЗ «О техническом регулировании» для реализации поставленных целей предусмотрено решение следующих основных задач:

— обеспечение взаимопонимания между разработчиками, изготовителями, продавцами и потребителями (заказчиками) продукции и услуг;

— установление оптимальных требований к номенклатуре и качеству продукции и услуг в интересах потребителя и го-

сударства, в том числе обеспечивающих ее безопасность для окружающей среды, жизни, здоровья и имущества;

— установление требований по совместимости (конструктивной, электрической, электромагнитной, информационной, программной и др.), а также взаимозаменяемости продукции;

— согласование и увязка показателей и характеристик продукции, ее элементов, комплектующих изделий, сырья и материалов;

— унификация на основе установления и применения параметрических и типоразмерных рядов, базовых конструкций, конструктивно-унифицированных блочно-модульных составных частей изделий;

— установление метрологических норм, правил, положений и требований;

— нормативно-техническое обеспечение контроля (испытаний, анализа, измерений), сертификации и оценки качества продукции;

— установление требований к технологическим процессам, в том числе в целях снижения материалоемкости, энергоемкости и трудоемкости, обеспечения применения малоотходных технологий;

— создание и введение систем классификации и кодирования технико-экономической информации;

— нормативное обеспечение межгосударственных и государственных социально-экономических и научно-технических программ (проектов) и инфраструктурных комплексов (транспорт, связь, оборона, охрана окружающей среды, контроль среды обитания, безопасность населения и т.д.);

— создание системы каталогизации для обеспечения потребителей информацией о номенклатуре и основных показателях продукции;

— содействие реализации законодательства Российской Федерации методами и средствами стандартизации.

В зависимости от объекта стандартизации и уровня утверждения или принятия стандарта различают по категориям.

1. Международный региональный или национальный стандарт РФ.

2. Межгосударственный стандарт (в рамках стран СНГ).

3. Стандарт отрасли (ОСТ).

4. Стандарты научно-технических и инженерных обществ (СТО).

5. Стандарты предприятий (СТП).

6. Республиканские стандарты (РСТ).

В соответствии с законом «О техническом регулировании»: стандарт — документ, в котором в целях многократного добровольного использования устанавливаются характеристики продукции, правила осуществления и характеристики процессов проектирования (в т.ч. изысканий), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, а также выполнения работ и оказания услуг. Может также содержать правила и методы исследований, правила отбора проб, требования к терминологии, символике, упаковке, маркировке или этикеткам и правилам их нанесения.

**Международный стандарт** — стандарт, принятый международной организацией по стандартизации ISO; статус стандартов — добровольный, рекомендательный.

**Региональный стандарт** — принятый международной межправительственной организацией (CEN — европейский комитет по стандартизации).

**Рекомендация** — нормативный документ, содержащий добровольные для применения организационно-технические или общетехнические положения, правила или методы выполнения работ.

**Технические условия (ТУ)** — документ, разрабатываемый предприятиями и организациями в том случае, когда издавать стандарт нецелесообразно.

**Объекты ТУ** — пробная продукция, разовых поставок (ТУ на подключение к инженерным сетям).

По назначению, содержанию и специфике объектов стандартизации выделяют 6 видов стандартов:

- 1) основополагающие;
- 2) на продукцию;
- 3) на процессы или работы (производство, эксплуатация, хранение, перевозки);
- 4) на методы контроля измерений, испытаний;
- 5) на услуги;
- 6) на термины и определения.

**Основополагающие** — устанавливают общие принципы, требования, правила и нормы, содействуют решению общих целей для науки и производства (организационно-технические, общетехнические требования для определенной области деятельности), могут быть терминологии, общие требования и нормы по техническому обеспечению процессов. ГОСТ Р 1.0—2005. ГСС «Основные положения».

Стандарты на продукцию бывают двух видов:

а) стандарты общетехнических условий (к группам однородной продукции), включающие следующие разделы:

- классификация видов продукции;
- основные параметры или размеры;
- общие требования к показателям качества, упаковке, маркировке и т. д.;
- требования безопасности;
- охрана окружающей среды;
- правила приемки продукции;
- методы контроля;
- правила перевозки, хранения, эксплуатации;

б) стандарты технических условий.

Стандарты на процессы и работы — основные требования к организации производства и оборота, методы выполнения работ, требования безопасности, охрана окружающей среды при проведении технологических операций.

Стандарты на методы контроля и испытаний — для обеспечения проверки обязательных требований к качеству продукции (средства контроля, порядок выполнения, отбора проб, допустимая погрешность).

Существуют обязательные и добровольные требования к нормативным документам. Обязательные — те, которые касаются работ и услуг в области безопасности, защиты жизни и здоровья. За несоблюдение обязательных требований организации несут административную, уголовную, гражданско-правовую ответственность. Соблюдение требований и нарушение их выявляются организациями государственного контроля и надзора.

Объекты стандартизации и нормирования в строительстве включают:

- организационно-методические и общетехнические правила и нормы, необходимые для разработки, производства и применения в строительной продукции;

- объекты градостроительной деятельности и строительную продукцию;

- промышленную продукцию, применяемую в строительстве (стройматериалы и изделия, инженерное обеспечение, средства оснащения строительных предприятий, организаций стройиндустрии);

- экономические инвестиции, необходимые для разработки эффективности, расчета материальных и трудовых затрат.

Нормативные системы разделяются на 3 уровня:

- федеральные документы;

- документы субъектов РФ;

— производственные документы субъектов хозяйственной деятельности.

Федеральные документы: СНиП, ГОСТ и ГОСТ Р (в области строительства); СП; РДС (руководящие документы системы).

Документы субъектов РФ: ТСН; региональные нормативы градостроительного проектирования; ТГН (территориальные градостроительные нормы); РНГП (региональные нормы градостроительного проектирования).

Производственно-отраслевые нормы: СТП (стандарты предприятий); Закон о СРО; Стандарты организации.

СНиПы устанавливают обязательные требования, которыми руководствуются при создании строительной продукции. СП устанавливают рекомендуемые положения в развитии и обеспечении обязательных требований СНиП и общетехнических стандартов. Сегодня нормы СНиП упраздняются, им на смену приходят рекомендуемые СП и обязательные требования технических регламентов.

РДС устанавливают обязательные и рекомендуемые организационно-методические процедуры по осуществлению деятельности в области разработки и применения нормативных документов в строительстве, архитектуре, градостроительстве, проектировании и изысканиях.

ТСН разрабатываются для применения в соответствующих регионах с обязательными требованиями.

СТП предназначены для применения на предприятиях при организации технологии производства; обеспечения качества продукции. На продукцию или изделие СТП не разрабатывается.

Общие стандарты в градостроительной деятельности:

— ГОСТ Р 21.1101–2009 «Система проектной документации для строительства. Основные требования к проектной и рабочей документации»;

- ГОСТ Р 21.1001–2009 «Система проектной документации для строительства. Общие положения»;
- Градостроительный кодекс РФ от 2004 г. с изменениями;
- Водный кодекс РФ от 2006 г.;
- Постановление от 16 февраля 2008 г. № 87 «О составе разделов проектной документации и требования к их содержанию»;
- Приказ от 13.04.2006 г. № 40 «Об утверждении инструкции о порядке заполнения формы градостроительного плана земельного участка».

---

## 5. ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ СЫРЬЯ

Основным сырьем для производства искусственных строительных материалов являются горные породы, которые используют для изготовления керамики, стекла, металлов и неорганических вяжущих веществ, а также миллионы кубометров песка, гравия и щебня применяют ежегодно в качестве природных заполнителей для бетонов и растворов.

**Горные породы** — значительные по объему скопления в земной коре одного или нескольких минералов, образовавшихся в результате физико-химических процессов и характеризующиеся постоянным составом, строением и свойствами.

**Минералы** природные — вещества, являющиеся продуктами физико-химических процессов в земной коре и обладающие определенным химическим составом, однородным строением и характерными физико-механическими свойствами.

По условиям образования горные породы разделяют на три основные группы.

Магматические (первичные) горные породы образовались при охлаждении и отвердевании магмы. Магма — высокотемпературный силикатный расплав, в зависимости от режима охлаждения может образовывать плотные кристаллические породы (глубинные) и пористые (излившиеся). Глубинные — граниты, сиениты, габбро, диориты. Характеризуются кристал-



лической структурой, отсутствием пор, высокой прочностью, твердостью, морозостойкостью. Излившиеся — вулканические туфы — породы, образовавшиеся из вулканических пеплов в результате спекания или природной цементации. Пористые, морозостойкие породы, за счет закрытых пор, используются для облицовки.

Осадочные (вторичные) горные породы образовались в результате естественного процесса разрушения других пород под влиянием механического, физического и химического воздействия внешней среды (песчаники, известняки, мел, доломит, магнезит, гипс, ангидрит).

Метаморфические (видоизмененные) горные породы (мраморы, кварциты, глинистые сланцы) образовались в результате последующего изменения первичных и вторичных пород, связанного со сложными физико—химическими процессами в земной коре (давлением, температурой и т. п.).

Основные источники сырья для производства органических строительных материалов — древесина, природные смолы, битумы, нефть, природный и попутный газ (сырье для получения полимеров).

Не менее важным сырьевым источником являются отходы промышленности (техногенные вторичные ресурсы). Пока они используются недостаточно, но по мере истощения природных ресурсов, повышения требований к охране окружающей среды и разработке новых эффективных технологий техногенное сырье будет применяться значительно шире.

Человеческая деятельность сопровождается образованием колоссального количества отходов. Основными источниками многотоннажных отходов являются: горно-обогатительная, металлургическая, химическая, лесная и деревообрабатывающая, текстильная отрасли промышленности; энергетический комплекс; промышленность строительных материалов; агропромышленный комплекс; бытовая деятельность человека.

Из всех отраслей производства в наибольшем объеме техногенные отходы применимы в промышленности строительных материалов в качестве вторичных материальных ресурсов, т. к. по своему составу и свойствам близки к природному сырью. Рациональное использование промышленных отходов в идеале позволит сократить до 40 % сырьевых ресурсов строительства и на 30 % снизить себестоимость. Кроме того, использование отходов даст возможность уменьшить загрязнение окружающей среды.

Все техногенные отходы можно разделить на две большие группы: минеральные (неорганические) и органические.

Наибольшее значение для производства строительных материалов имеют минеральные отходы.

В зависимости от преобладающих химических соединений минеральные отходы делят на силикатные, карбонатные, известковые, гипсовые, железистые, цинксодержащие, щелоче-содержащие.

Наибольшую практическую применимость имеет классификация отходов по отраслям промышленности их образующим и классификации для отдельных видов отходов.

**Шлаки черной металлургии** — побочный продукт при выплавке чугуна из железных руд (доменные, мартеновские, ферромарганцевые). Выход шлаков составляет от 0,4 до 0,65 т на 1 т чугуна. В их состав входит до 30 различных химических элементов, главным образом в виде оксидов. В основном это оксиды:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ . В меньших количествах присутствуют  $\text{FeO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$  и др. Состав шлака зависит от состава кокса, пустой породы и определяет особенности применения шлака.

В производстве строительных материалов используется 75 % общего количества доменных шлаков. Основным потребителем является цементная промышленность. Ежегодно она потребляет миллионы тонн гранулированного доменного шлака.

Сталеплавильные (мартеновские) шлаки применяются в меньшей степени из-за неоднородности их химико-минералогического состава и физико-механических свойств.

Шлаки цветной металлургии чрезвычайно разнообразны по составу. Наиболее перспективное направление их использования — комплексная переработка, включающая предварительное извлечение цветных, редких металлов и железа. Оставшийся силикатный продукт используется для производства строительных материалов.

При получении цветных металлов с помощью так называемых «мокрых» технологий образуются не шлаки, а шламы. Шламы представляют из себя осадки и суспензии, получаемые в металлургических и химических производствах в результате процессов, осуществляемых гидрохимическим способом. Например, при производстве алюминия образуется бокситовый шлам — рыхлый сыпучий материал красного цвета. Побочным продуктом при получении глинозема из нефелинового сырья является нефелиновый (или беллитовый) шлам, состоящий из мелких кристаллов минерала белита. Основное применение все эти шламы находят в цементном производстве.

**Зола и шлаки тепловых электростанций (ТЭС)** — минеральный остаток от сжигания твердого топлива. По химическому составу топливные золы и шлаки состоят из  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  и др., а также содержат несгоревшее топливо.

Использование зол ТЭС в строительстве и других отраслях сдерживается, в частности, тем, что на многих ТЭС используется гидроудаление золы и получаемые золошлаковые отходы (ЗШО) неоднородны и имеют нестабильные физико-химические характеристики. В связи с этим топливные золы и шлаки используются всего на 3–4 % от их ежегодного выхода.

Зола уноса — это отходы, образующиеся в результате сжигания углей в пылевидном состоянии и улавливаемые электрофильтрами или другими устройствами. Обычно представ-

ляют собой рыхлые дисперсные материалы с частицами менее 0,3 мм. Зола уноса используют в дорожном строительстве: при укреплении грунтов в качестве малоактивного вяжущего материала, в бетонах для экономии цемента и заполнителей, улучшения технологических свойств бетонной и растворной смесей, а также показателей качества бетонов и растворов; в качестве минерального порошка.

Зола и шлаки ТЭС возможно использовать при производстве практически всех строительных материалов и изделий. Например, введение 100–200 кг активной золы (уноса) на 1 м<sup>3</sup> бетона дает возможность экономить до 100 кг цемента. Шлаковый щебень используется в качестве крупного заполнителя, а шлаковый песок пригоден для замены природного песка.

**Отходы горно-добывающей промышленности**, отходы добычи разнообразных полезных ископаемых называют вскрышными породами. Особенно большое количество этих отходов образуется при добыче открытым способом. Однако в настоящее время их используют лишь на 6–7%. Вскрышные и пустые породы применяют в зависимости от их минерального состава (карбонатные, глинистые, мергелистые, песчаные).

Большое количество пустой породы поднимается на поверхность земли, измельчается и направляется в отвалы в виде хвостов обогащения. Горно-обогащительные комбинаты сбрасывают в отвалы большое количество флотационных хвостов, образующихся при переработке руд цветных металлов. Отходы угледобычи и углеобогащения образуются на углеобогащительных фабриках. Для отходов угледобычи характерно постоянство состава, что выгодно отличает их от других видов минеральных отходов.

По минеральному составу, структуре и текстуре попутно добываемые породы и отходы промышленной переработки рудных полезных ископаемых отличаются от традиционно применяемых при производстве строительных материалов. Это

объясняется существенным отличием глубин карьеров по добыче сырья для стройиндустрии (20–50 м) и современной разработкой рудных месторождений (350–500 м).

Среди **отходов химической промышленности** отдельно выделяют гипсовые отходы. Это продукты, содержащие сульфат кальция в той или иной форме. Научные исследования показали, что отходы химической промышленности могут полноценно заменять традиционное гипсовое сырье. Гипсовые отходы образуются в основном при производстве различных кислот. К ним относятся: фосфогипс, фторгипс (фторангидрит), титаногипс, борогипс, сульфогипс.

**Электротермофосфорные шлаки** — это отходы производства фосфорной кислоты, получаемой электротермической переработкой фосфатного минерального сырья. В гранулированном виде содержат 95–98 % стекла. Основные оксиды, входящие в их состав,  $\text{SiO}_2$  и  $\text{CaO}$ . Являются ценным сырьем в производстве шлаковых цементов (шлакопортландцемента).

**Отходы деревообработки и лесохимии** могут стать основой для производства строительных материалов, однако на сегодняшний день используется не более 50 % отходов. Кусковые отходы от лесопиления и деревообработки, стружка, опилки, кора, а также некоторые виды отходов лесохимической промышленности используют в промышленности строительных материалов для изготовления различных конструкционно-теплоизоляционных, отделочных, строительных материалов, стандартного домостроения, дверей, окон и других потребностей. Опилки, стружка, древесная пыль, кора пока не нашли еще столь широкого и полного применения как кусковые отходы, хотя имеют перспективные направления использования.

К примерам **отходов промышленности строительных материалов** можно отнести:

— пыль, получаемую при производстве цементного клинкера, которая может возвращаться в производство, а также ис-

пользоваться для раскисления почв и в производстве других вяжущих веществ;

— кирпичный бой, старый и бракованный бетон, которые могут использоваться в качестве искусственного щебня и мелкого заполнителя.

Бетонный лом — отход предприятий сборного железобетона и сноса строительных объектов. Разработаны различные технологии разрушения строительных конструкций, а также специальное оборудование для переработки некондиционного бетона и железобетона.

К прочим отходам и вторичным ресурсам относят отходы и бой стекла, макулатуру, тряпье, резиновую крошку, отходы и попутные продукты производства полимерных материалов, попутные продукты нефтехимической промышленности и другие.

---

## 6. ДРЕВЕСНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

**Древесина** — освобожденная от коры внутренняя часть дерева, состоящая из клеток разного вида. Строительные материалы получают из ствола дерева, который распиливается на изделия разной формы и размеров.

Древесина давно нашла широкое применение в строительстве за счет сочетания хороших строительных свойств: относительно низкой средней плотности (до  $180 \text{ кг/м}^3$ ); прочности, достаточной для возведения высоких и массивных конструкций, малого коэффициента теплопроводности; при правильной эксплуатации, достаточной долговечности в совокупности с легкой обрабатываемостью инструментом. При этом для древесины характерны недостатки, присущие природному материалу: неоднородность строения, низкая био- и огнестойкость, как высокопористый материал способна поглощать и отдавать влагу с изменением своих размеров, формы и прочности.

Наиболее пригодны для строительства хвойные породы, к которым относят сосну, ель, лиственницу и кедр.

Древесина сосны мягкая, прочная, относительно легкая (плотность  $470\text{--}540 \text{ кг/м}^3$ ) и хорошо поддается инструментальной обработке.

Ель имеет схожую структуру, но более низкое качество по сравнению с сосной: меньше смолы и ниже гнилостой-

кость, незначительно ниже средняя плотность (440–500 кг/м<sup>3</sup>), а из-за большого количества твердых сучков сложность в обработке.

Древесина лиственницы самая плотная, тяжелая (плотность 630–790 кг/м<sup>3</sup>), твердая и прочная, под воздействием воды не разбухает и не деформируется, поэтому ее часто применяют в гидротехническом строительстве и мостостроении, при изготовлении шпал. Старейшее сооружение Екатеринбурга — заводская плотина — первоначально была построена из особого сорта лиственницы, которая каменеет в воде.

Кедр имеет мягкую и легкую древесину с более низкой по сравнению с сосной прочностью, поэтому его используют в строительстве с декоративной целью: для изготовления пиломатериалов, столярных изделий и отделки мебели.

Лиственные породы (дуб, ясень, береза, бук и осина) не имеют в своем составе смолы, что снижает их долговечность.

Дуб имеет плотную, тяжелую структуру (плотность 720 кг/м<sup>3</sup>), очень прочную и твердую древесину, поэтому ее применяют в ответственных конструкциях, в гидротехнических сооружениях и мостостроении. Также высоко ценят мореный дуб черного или темно-серого цвета — его используют в качестве декоративного материала для изготовления паркета, мебели, столярных изделий, фанеры для столярно-отделочных работ.

Ясень имеет древесину тяжелую (плотность 660–740 кг/м<sup>3</sup>), гибкую и вязкую, но менее прочную, а за счет красивой текстуры высоко ценится в мебельном производстве [1].

Береза — порода деревьев, широко распространенная в наших лесах с тяжелой (плотность 650 кг/м<sup>3</sup>) древесиной, легко гнивающей в сырых и плохо проветриваемых помещениях. Березу используют для изготовления фанеры и столярных изделий, особенно ценится для отделочных работ карельская береза со своеобразной извилистой и узловатой текстурой.



Бук — лиственная порода с твердой, легко загнивающей тяжелой древесиной (плотность  $650 \text{ кг/м}^3$ ); применяется для производства паркета, мебели, фанеры.

Осина также широко распространена в лесах РФ, имеет зеленый оттенок, низкую плотность ( $420\text{--}500 \text{ кг/м}^3$ ), склонность к загниванию, поэтому служит сырьем для изготовления фанеры и древесных плит.

Истинная плотность древесины определяется совокупностью веществ оболочек клеток и для всех пород колеблется в пределах  $1490\text{--}1560 \text{ кг/м}^3$ , потому что клетки имеют схожее строение.

Влажность древесины существенно влияет на ее физико-механические свойства и в ряде случаев определяет пригодность. Вода в древесине находится в трех видах [7]:

- вода в свободном состоянии или капиллярная, заполняет полости клеток и сосудов и межклеточное пространство;
- гигроскопическая вода находится в стенках клеток;
- химически связанная, входит в химический состав органических веществ.

По степени влажности древесину подразделяют на мокрую (от 65 до 100 % и более), свежесрубленную (35–60 %), воздушно-сухую (15–20 %), комнатно-сухую (8–12 %) и абсолютно сухую (0 %). Наибольшая влажность свойственна хвойным породам (50–60 %), наименьшая — твердым лиственным породам (35–40 %). При этом стандартная влажность, обеспечивающая максимальную прочность, равна 12 %. Средняя плотность древесины зависит от влажности и пористости породы, определяют ее при стандартной влажности.

Строительные свойства древесины варьируются в широких пределах и зависят от возраста, условий роста, породы и влажности дерева. Высыхая от самого влажного состояния до точки насыщения волокон (влажность 35 %), древесина не меняет своих размеров, а при дальнейшем высушивании линейные

размеры уменьшаются по-разному вдоль и поперек волокон, что приводит к образованию щелей и трещин в древесине. Трещины усушки возникают от периферии к центру вдоль волокон при быстрой сушке древесины на воздухе, встречаются очень часто и характерны для всех пород. Поэтому деревянные конструкции необходимо изготавливать с влажностью, равной эксплуатационной.

Пороки древесины — это дефекты, образовавшиеся во время роста дерева, разделяют на несколько групп:

— пороки формы ствола (сбежистость, закомелистость, кривизна ствола);

— пороки строения древесины (косослой, крень, свилеватость);

— сучки;

— трещины (могут возникать как в результате усушки, так и при жизни дерева);

— химические окраски и грибковые поражения. Неестественные окраски возникают в срубленном дереве в результате химических и биохимических процессов, вызывающих окисление дубильных веществ. Они не влияют на физико-механические свойства, но ухудшают внешний вид облицовочных материалов.

По стойкости древесины против гниения ее подразделяют на четыре класса в зависимости от породы:

— I — стойкие: сосна, ясень, дуб и лиственница;

— II — среднестойкие: ель, пихта, кедр и бук;

— III — малостойкие: береза, граб, дуб, клен;

— IV — нестойкие: ольха, осина, липа.

Из древесины хвойных и лиственных пород в промышленных объемах изготавливают самую разнообразную номенклатуру изделий, а основными являются строганные погонажные изделия, элементы паркетных полов и фанера.

После заготовки из леса привозят круглый лес (бревна) — это длинные отрезки стволов деревьев, очищенных от сучьев, разных размеров:

- кругляк (подтоварник) — бревна длиной 3—9 м;
- кряжи — это более короткие отрезки ствола длиной 1,3—2,6 м;
- бревна для свай гидротехнических сооружений длиной 6,5—8,5 м.

Затем на предприятии из круглого леса изготавливают заготовки — пиломатериалы:

- пластины — это бревна, продольно распиленные на две симметричные части;
- брусья — это прямоугольные призмы толщиной и шириной не более 100 мм;
- горбыль представляет собой отпиленную наружную часть бревна с одной необработанной стороной.

Из пиломатериала изготавливают путем обработки строганные длинномерные изделия: доски для полов, шпунтованные доски (на одной кромке паз, на другой гребень для обеспечения плотного соединения досок при устройстве полов), доски для обшивки стен и потолков, плинтусы, поручни для перил, наличники для оконных и дверных коробок.

Фанеру изготавливают непрерывным снятием стружки (шпона) по всей длине распаренного в кипятке бревна березы, сосны, дуба, липы длиной 1,5 м на специальном станке, а затем склеивания его листов между собой. Фанера бывает обычной, облицованной строганым шпоном, декоративной или ламинированной. Толщина обычной фанеры из 3 и более слоев составляет от 1,5 до 18 мм. Ее применяют для облицовки стен и потолков, устройства опалубки, изготовления несущих конструкций и устройства внутренних перегородок. Облицованная строганым шпоном ценных пород (дуб, орех и др.) фанера с пленочным покрытием является декоративным материалом для внутренней отделки помещений и производства мебели.

Столярные изделия из хвойных и лиственных пород изготавливают на специализированных заводах или в цехах: различ-

ной формы оконные и дверные блоки, полотна, подоконные доски, перегородки и панели. Клееные конструкции (балки, рамы, арки) получают склеиванием досок прямоугольного, таврового или двутаврового сечения, длиной до 16 м, применяют при устройстве покрытий жилых и производственных зданий.

Кровельные и отделочные материалы из древесины — это кровельные плитки (клинообразные дощечки длиной 400–600 мм, шириной менее 70 мм из древесины сосны, ели, пихты, кедра), гонт (клинообразные дощечки с пазом по длине вдоль толстой кромки длиной 500–700 мм, шириной от 70–120 мм), кровельная или штукатурная (для подготовки деревянных поверхностей под штукатурку) дрань.

---

## 7. ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Природные каменные материалы и изделия получают путем механической обработки горных пород.

Подразделяют их по способу получения на добытый способом взрыва рваный камень (бут), полученный раскалыванием без обработки (грубоколотый камень), изготовленный дроблением (дробленый камень, щебень, искусственный песок) или сортированные камни (бульжник, гравий).

По форме каменные материалы делят на неправильной формы (щебень, гравий) и штучные изделия правильной формы (плиты, блоки).

**Щебень** — сыпучий материал, состоящий из остроугольных кусков горных пород размером 5–140 мм, получаемый механическим или природным дроблением бута или гравия. Основная область применения — в качестве крупного заполнителя при изготовлении бетонных смесей и для устройства оснований дорог.

**Гравий** — представляет собой сыпучий материал из окатанных кусков горных пород размером 5–120 мм, применяемый, как и щебень, а также для приготовления искусственных песчано-гравийных и гравийно-щебеночных смесей.

**Песок** — рыхлый сыпучий материал, смесь зерен горных пород размером 0,14–5,00 мм, получаемый в естественных условиях в результате выветривания горных пород, или искусственным путем в качестве отхода при дроблении гравия, щебня и кусков горных пород.

---

## 8. ИСКУССТВЕННЫЕ ОБЖИГОВЫЕ (КЕРАМИЧЕСКИЕ) МАТЕРИАЛЫ

Искусственные обжиговые материалы и изделия (керамику) получают путем обжига при 900–1300 °С предварительно отформованной и высушенной глиняной массы. В результате обжига глиняная масса превращается в искусственный камень, обладающий хорошей прочностью, высокой плотностью, водостойкостью, морозостойкостью и долговечностью. Сырьем для получения керамики служит глина с вводимыми в нее добавками. В качестве добавок часто используют песок, измельченный керамический бой, шлаки, золы, уголь, опилки. Добавки уменьшают усадку изделий при сушке и обжиге, увеличивают пористость, уменьшают среднюю плотность и теплопроводность материала.

Керамические строительные материалы подразделяют на пористые и плотные. Пористые материалы имеют водопоглощение не более 5%; их предел прочности при сжатии не превышает 35 МПа (кирпич, дренажные трубы). Плотные материалы имеют пористость не более 1,5%, водопоглощение не более 5%, предел прочности при сжатии до 100 МПа и обладают износостойкостью (плитки для полов).

### 8.1. Керамические материалы и изделия из легкоплавких глин

**Кирпич керамический обыкновенный** изготавливают из смеси глины с добавками или без них, из которой в процессе производства формуют изделия, а затем обжигают. При этом кирпич может быть выполнен сплошным (полнотелым) или пустотелым с технологическими пустотами (см. табл. 6) [2].

Разные стороны кирпича имеют определенные названия (рис. 2). Кирпич при возведении каменных конструкций укладывают рабочей гранью (постелью) на выравнивающий слой раствора.

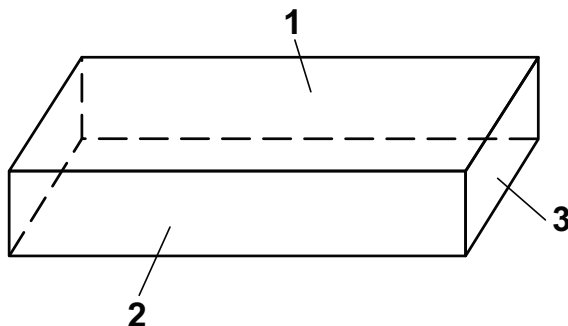


Рис. 2. Поверхности кирпича:

1 — постель; 2 — ложок; 3 — тычок

Наиболее распространены два способа формования глиняного кирпича: пластический и полусухой. При пластическом способе в горизонтальном направлении методом непрерывной экструзии из ленточного пресса выдавливают глиняную массу, которую разрезают на отдельные кирпичи перпендикулярно направлению движения.

Таблица 6

**Номинальные размеры изделий**

Вид изделия	Обозначение вида	Номинальные размеры, мм			Обозначение размера
		длина	ширина	толщина	
Кирпич нормального формата (одинарный)	КО	250	120	65	1 НФ
Кирпич «Евро»	КЕ	250	85	65	0,7 НФ
Кирпич утолщенный	КУ	250	120	88	1,4 НФ
Кирпич модульный одинарный	КМ	288	138	65	1,3 НФ
Кирпич утолщенный с горизонтальными пустотами	КУГ	250	120	88	1,4 НФ
Камень	К	250	120	140	2,1 НФ
		288	288	88	3,7 НФ
		288	138	140	2,9 НФ
		288	138	88	1,8 НФ
		250	250	140	4,5 НФ
		250	180	140	3,2 НФ
Камень крупноформатный	КК	510	250	219	14,3 НФ
		398	250	219	11,2 НФ
		380	250	219	10,7 НФ
		380	255	188	9,3 НФ
		380	250	140	6,8 НФ
		380	180	140	4,9 НФ
		250	250	188	6,0 НФ
Камень с горизонтальными пустотами	КГ	250	200	70	1,8 НФ

При этом размеры кирпича определяются по постели поперечным сечением выдавливаемого бруса, а толщину будущего



кирпича задает шаг резательного устройства (туго натянутой проволоки). Признаком пластического способа формования кирпича является наличие двух шероховатых поверхностей разреза кирпича (постели), на которой песчинки, при разрезании цепляющиеся за проволоку, оставляют на поверхностях разреза царапины.

При полусухом способе производства кирпичи прессуют поштучно на прессах при давлении 15–20 МПа, поэтому все грани готового кирпича гладкие, а на постелях иногда можно заметить следы от болтов штампа или штамп в виде товарного знака завода-изготовителя. По этим внешним приметам узнаются кирпичи полусухого прессования.

Способ формования может быть определен и по виду технологических пустот в кирпиче: сквозные пустоты получают при пластическом формовании, а несквозные пустоты — только прессованием.

Кирпич строительный легковесный изготавливают такими же способами производства из легких пористых пород: диатомитов, трепелов и глин с выгорающими в процессе обжига органическими добавками. Легковесный кирпич отличается от глиняного светлым цветом черепка (от светло-серого до желтого), меньшей средней плотностью (не более 1450 кг/м<sup>3</sup>), высоким водопоглощением (более 30 %) и за счет этого большей энергоэффективностью (табл. 7, 8 и 9). Способы формования и обжига легковесного кирпича такие же, как и кирпича глиняного обыкновенного.

Таблица 7

### Классы средней плотности изделий

Классы средней плотности изделий	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>
0,8	До 800
1,0	801–1000

Окончание табл. 7

Классы средней плотности изделий	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>
1,2	1001–1200
1,4	1201–1400
2,0	Св. 1400

Кирпич силикатный изготавливают из смеси извести и мелко-го кремнеземистого компонента (чистого речного песка) методом прессования с последующим твердением в условиях автоклава в среде насыщенного пара при повышенных давлении и температуре. От глиняных кирпичей силикатный кирпич внешне отличается гладкими поверхностями и светло-серым цветом, а качественные характеристики должны соответствовать требованиям ГОСТ 379–95 «Кирпич и камни силикатные. Технические условия».

Кирпич глиняный обыкновенный применяют при кладке внутренних и наружных стен, столбов и других частей зданий и сооружений.

Таблица 8

### Группы изделий по теплотехническим характеристикам

Группы изделий по теплотехническим характеристикам	Коэффициент теплопроводности кладки в сухом состоянии, $\lambda$ , Вт/(м·град)
Высокой эффективности	до 0,2
Повышенной эффективности	от 0,2 до 0,24
Эффективные	от 0,24 до 0,36
Условно–эффективные	от 0,36 до 0,48
Малоэффективные (обыкновенные)	св. 0,48

Таблица 9

## Пределы прочности изделий при сжатии и изгибе

Марка изделий	Пределы прочности, МПа											
	при сжатии				при изгибе							
	одинарных и утолщенных кирпичной камерной		крупноформатных камерной		полнотелого кирпича пластического формования		кирпича полусухого прессования и пустотелого кирпича		утолщенного кирпича		наименьший для отдельного образца	
M300	30,0	25,0	30,0	250	4,4	2,2	3,4	1,7	2,9	2,9	1,5	1,5
M250	25,0	20,0	25,0	20,0	3,9	2,0	2,9	1,5	2,5	2,5	1,3	1,3
M200	20,0	17,5	20,0	17,5	3,4	1,7	2,5	1,3	2,3	2,3	1,1	1,1
M175	17,5	15,0	17,5	15,0	3,1	1,5	2,3	1,1	2,1	2,1	1,0	1,0
M150	15,0	12,5	15,0	12,5	2,8	1,4	2,1	1,0	1,8	1,8	0,9	0,9
M125	12,5	10,0	12,5	10,0	2,5	1,2	1,9	0,9	1,6	1,6	0,8	0,8
M100	10,0	7,5	10,0	7,5	2,2	1,1	1,6	0,8	1,4	1,4	0,7	0,7
M75	—	—	7,5	5,0	—	—	—	—	—	—	—	—
M50	—	—	5,0	3,5	—	—	—	—	—	—	—	—
M35	—	—	3,5	2,5	—	—	—	—	—	—	—	—

Окончание табл. 9

Марка изделий		Пределы прочности, МПа										
		при сжатии					при изгибе					
		одинарных и утолщенных кирпичей		крупноформатных камней		полнотелого кирпича	пластического формования		полусухого прессования		утолщенного кирпича	
	средний для образцов	наименьший для образцов	средний для образцов	наименьший для образцов	1,5	средний для образцов	наименьший для образцов	средний для образцов	наименьший для образцов	5 образцов	средний для образцов	наименьший для образцов
M25	—	—	2,5	1,5	—	—	—	—	—	—	—	—
Для кирпичей и камней с горизонтальным расположением пустот												
M100	10,0	7,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
M75	7,5	5,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
M50	5,0	3,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
M35	3,5	2,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
M25	2,5	1,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Кирпич (камень) керамический пустотелый пластического прессования выпускают для кладки несущих стен одноэтажных и многоэтажных зданий, внутренних помещений, стен и перегородок, облицовки кирпичных стен.

Черепицу изготавливают из жирной глины путем обжига при 1000–1100 °С. Качественная черепица при легком ударе молотком издает чистый, не дребезжащий звук. Она прочна, очень долговечна и огнестойка. Недостатки — большая средняя плотность, утяжеляющая несущую конструкцию крыши, хрупкость, необходимость устраивать крыши с большим уклоном для обеспечения быстрого стока воды.

Дренажные керамические трубы изготавливают по ГОСТ 8411–74 «Трубы дренажные керамические. Технические условия» из глин с отошающими добавками (рис. 3). Дренажные керамические трубы применяют при строительстве осушительно-увлажнительных и оросительных систем, коллекторно-дренажных водоводов.

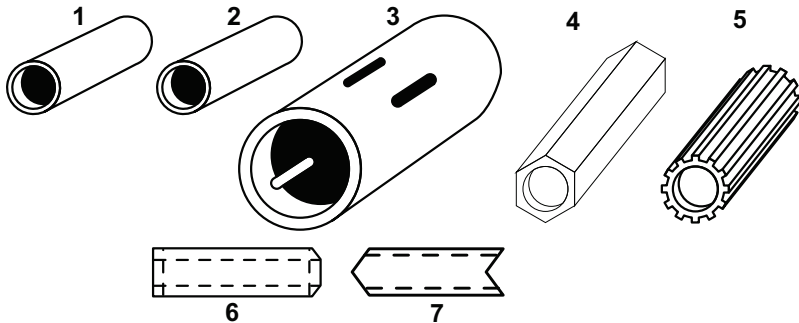


Рис. 3. Дренажные керамические трубы:

- 1 — цилиндрическая; 2 — цилиндрическая с опорной плоскостью;  
3 — перфорированная; 4 — граненая; 5 — рифленая; 6 — с фасками;  
7 — с фигурными торцами

## **8.2. Керамические материалы и изделия из тугоплавких глин**

Камень для подземных коллекторов изготавливают в форме трапеции с боковыми пазами. Его применяют при прокладке подземных коллекторов, при устройстве канализационных и других сооружений.

Плитку керамическую фасадную применяют для облицовки зданий и сооружений, стеновых панелей, блоков. Плитку для полов по виду лицевой поверхности подразделяют на гладкую, шероховатую и тесненую; по цвету — на одноцветную и многоцветную; по форме — на квадратную, прямоугольную, треугольную, шестигранную, четырехгранную. Толщина плитки 10 и 13 мм. Применяют ее для устройства полов в помещениях промышленных, водохозяйственных зданий с влажным режимом. Плитка интерьерная применяется для облицовки внутри помещений с высокой влажностью.

---

## 9. СТЕКЛО И СТЕКЛЯННЫЕ ИЗДЕЛИЯ

**Стекло** — один из самых древних материалов аморфной структуры, получаемый быстрым охлаждением (для предотвращения кристаллизации) огненно-вязких расплавов, состоящих из стеклообразующих компонентов с преобладанием оксида кремния. При этом прозрачность (пропускание света в видимом человеческим глазом диапазоне излучения) не является обязательным свойством для всех видов природных или искусственных стекол [9].

### 9.1. Свойства стекол

**Плотность** стекла зависит от его химического состава: минимальная плотность у кварцевого стекла ( $2200 \text{ кг/м}^3$ ), наибольшая — у стекол, содержащих оксиды свинца, висмута, тантала (до  $6000 \text{ кг/м}^3$ ). Плотность рядовых применяемых в строительстве натрий-кальций-силикатных стекол колеблется в пределах  $2500\text{--}2600 \text{ кг/м}^3$ . При повышении температуры до  $1300 \text{ }^\circ\text{C}$  плотность стекла снижается на  $6\text{--}12\%$ .

**Модуль Юнга** стекла зависит от химического состава и варьируется от  $48 \cdot 10^3$  до  $12 \cdot 10^4$  МПа, коэффициент Пуассона  $0,25$ .

**Прочность** большинства рядовых стекол на сжатие составляет 500–2000 МПа, оконного стекла — 1000 МПа. Предел прочности на растяжение стекла значительно меньше — 35–100 МПа и путем закаливания стекла удастся его повысить в 3–4 раза. Также значительно повышает прочность обработка поверхности стекол химическими реагентами для удаления дефектов: мельчайших трещин и царапин.

**Твердость** стекла зависит от вида и содержания примесей, но в большинстве случаев по шкале Мооса составляет 6–7. Наиболее твердые кварцевое и боросиликатное стекла, а с увеличением содержания щелочных оксидов твердость снижается до минимальной у свинцового стекла.

**Температура плавления** стекла отсутствует, т. к. это аморфный термопластичный материал, который при нагреве постепенно размягчается до перехода в жидкость в некотором температурном интервале, зависящем от химического состава. Ниже температуры стеклования (425–600 °С) стекло приобретает хрупкость, а выше — становится жидкостью и при этих температурах стекломасса перерабатывается в изделия.

**Хрупкость** стекла. В области ниже температуры стеклования стекло разрушается от механического воздействия без пластической деформации и относится к идеально хрупким материалам. Для расширения сферы применения стекла подвергают закалке (сталинит), создают многослойные композиты (триплекс) и упрочняют методом низкотемпературной ионообменной диффузии.

**Теплопроводность** стекла низкая и равна 0,711–13,39 Вт/(м·К), а у оконных стекол — 0,96 Вт/(м·К) [3].

**Сырьевые материалы**, из которых изготавливают стекло, должны содержать основные компоненты (кремнезем — кварцевый песок, соду и известь) и дополнительные, вводимые в зависимости от вида материала (поташ, оксид свинца, борный ангидрид). Шихта также может содержать стеклянные оскол-



ки от предыдущей варки, окислители, красители и глушители. После того как материалы измельчены, тщательно перемешаны друг с другом в требуемых соотношениях, расплавлены при высокой температуре, а расплав быстро охлажден, получают стекло. Стеклообразующий песок — это кварц, наиболее распространенная форма кремнезема.

**Производство стекла** происходит путем варки, а затем выдерживания смеси сырьевых материалов при высоких температурах (1200—1600 °С) в течение продолжительного времени (12—96 ч), что обеспечивает протекание необходимых реакций для приобретения стеклом своих свойств. Большие массы стекла варят в ваннах печей непрерывного действия, а постоянный уровень расплавленного стекла в ванне поддерживают путем непрерывной подачи шихты на одном из концов установки и извлечения готового продукта с той же скоростью из другого конца.

## 9.2. Виды стекол

**Кварцевое стекло** состоит только из кремнезема, это простейшее стекло по своим химическим и физическим свойствам, обладающее характерными параметрами: не подвергается деформированию при температурах вплоть до 1000 °С, обладает стойкостью к термоудару при резком изменении температуры, отлично пропускает как видимое, так и ультрафиолетовое излучение. Недостатками являются трудности изготовления и переработки изделия, высокая стоимость, что ограничивает его применение изделиями специального назначения: как химико-лабораторная посуда, ртутные лампы и компоненты оптических систем.

В 1939 г. был изобретен вид стекла — **специальное кварцевое стекло** с содержанием кварца 96 %. Данный продукт обладает эквивалентными кварцевому стеклу свойствами, однако мо-

жет производиться дешевле и с большим разнообразием форм и размеров.

**Натриево-силикатные стекла** получают сплавлением кремнезема (оксида кремния) и соды (карбоната натрия) при температуре на  $900^{\circ}\text{C}$  более низкой, чем у кварцевого стекла. Но такие стекла растворяются в воде и из них нельзя изготавливать большинство изделий.

**Известковые стекла** изобретены в древности, когда обнаружили, что водорастворимость натриево-силикатных стекол можно устранить добавлением извести и получением таким образом натриево-известково-силикатных стекол (главные компоненты шихты — оксиды  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$  и  $\text{SiO}_2$ ). Эти стекла широко используют (90% мирового производства) для изготовления листового и зеркального стекла, стеклотары, потому что они легко расплавляются при более низкой температуре, а сырье недорогое.

**Свинцовые стекла** изготавливают сплавлением оксида свинца с кремнеземом, оксидами натрия или калия и небольшими добавками других оксидов. Эти свинцово-натриево-силикатные или свинцово-калиево-силикатные стекла дороже известковых, но имеют более низкую температуру плавления и простоту изготовления. Такое стекло является одним из лучших изоляторов для изготовления электроники, изолирующих элементов электроламп и конденсаторов. Большинство стекол, называемых хрусталем, являются свинцовыми.

**Боросиликатные стекла** обладают высоким содержанием оксида кремния, низким — щелочного металла и существенным — оксида бора. В 1915 г. фирма «Корнинг гласс уоркс» начала производить первые боросиликатные стекла под торговым названием «пирекс». В зависимости от состава стойкость таких стекол к термоудару в 2–5 раз выше, чем у известковых, они намного превосходят другие стекла по химической стойкости и полезны для применения в электротехнике. Такое сочетание свойств сделало возможным производство новых стеклянных

изделий (промышленных труб, рабочих колес центробежных насосов и домашней кухонной посуды).

Существует много других видов стекол специального назначения (алюмосиликатные, фосфатные и боратные), которые производят с разнообразной окраской для изготовления линз, светофильтров и осветительного оборудования.

### 9.3. Виды изделий из стекла

**Плоское стекло** — наиболее распространенное изделие. В начале XX в. разработаны новые непрерывные методы изготовления оконного и зеркального стекол. В 1928 г. было изобретено многослойное безосколочное стекло для автомобилей, которое при разбивании разрушается не на длинные, острые осколки, а на относительно безвредные для человека маленькие округлые кусочки. Отпуск оказывается эффективным при упрочнении не только плоского стекла, но и кухонной посуды, мерного стекла, линз защитных очков и круглых колб светильников. Стеклопакеты, заменяющие вставные оконные переплеты, — сравнительно новая разработка конструкции с плоским стеклом. Они состоят из двух или более листов стекла, герметично соединенных по периметру рамкой. Пространство между листами заполняют очищенным и осушенным воздухом. По сравнению с одинарным остеклением стеклопакеты уменьшают теплопотери почти на 50% и надолго избавляют от проблем, связанных с применением наружного оконного переплета, проникновением пыли и конденсацией влаги.

**Стеновые стеклоблоки.** Производство стеновых стеклоблоков и стекловолокна началось в 1931 г. Стеновые стеклоблоки массивны и изготавливаются сваркой двух прессованных полублоков с образованием герметической полости между ними.

Такие элементы монтируются при строительстве с использованием обычных инструментов и материалов. Получаемые из них «стены дневного света» пропускают большую часть падающего на них солнечного излучения, но уменьшают его яркость, обеспечивают хорошую теплоизоляцию и практически исключают конденсацию влаги. Эти полезные свойства обусловили широкое использование стеновых стеклоблоков как элементов строительных конструкций.

**Стекловолокно.** В отличие от бытового стекла стекловолокну обычно изготавливается в форме нитей диаметром меньше 1 мкм. Поскольку каждое волокно представляет собой, по существу, сплошной стеклянный стержень, в объеме оно обладает всеми свойствами стекла. Стекловолокно термостойко и негорюче. Оно не поглощает влаги, не гниет и не подвержено химическому разложению. Оно атмосферо-, кислото-, масло- и коррозионно-стойко, а также не проводит электричества. Из стекловолокна можно изготавливать нити, ленты, оплетки и корд. Из несколько более толстых, коротких волокон получают упругую ватоподобную массу, называемую стекловатой. В такой форме стекловолокно — отличный теплоизолятор. Различные виды стекловолокна в сочетании с асбестом, слюдой, пластмассами и силиконами дают превосходные композиционные материалы. Действительно, материалы, состоящие из параллельных стеклянных нитей, внедренных в сложный полиэфир или другую матрицу, по прочности на единицу массы могут быть намного прочнее обычных конструкционных материалов, включая сталь, алюминий, магний и титан. Армированные стекловолокном пластмассы этого типа теперь широко используются для изготовления деталей самолетов и ракет, труб, резервуаров, корпусов лодок и строительных панелей. Промышленность стекловолокон выросла с удивительной быстротой ввиду широкого применения этого вида стекла в композиционных материалах.

**Пеностекло** — еще один продукт изобретательности стеклоделов — по структуре похожий на хлеб и может распиливаться на куски нужного размера. Разработанное в 1940 г. это стекло так мало весит, что не тонет в воде и все же является жестким, не горит и не выделяет запахов. Такая аномалия свойств создается после смешения тонко измельченных кокса и стекла и нагрева смеси до высокой температуры. Смесь мучнистого вида расплавляется, превращаясь в черную пену, которая заполняет объем формы и потом застывает. В результате получается твердый ячеистый материал с сотнями тысяч заполненных воздухом изолированных ячеек на 1 м<sup>3</sup>. После снятия форм блоки пеностекла нарезаются до нужных размеров. Этот замечательный продукт весит примерно столько же, сколько весит пробка, и во время Второй мировой войны использовался в качестве заменителя пробки, а также пробковой древесины, пористой резины и кап-ка. Как и пробка, пеностекло — отличный изолятор. Однако в отличие от пробки на него не влияют сырость и конденсация влаги, так что оно очень подходит для обкладки холодильных камер и бытовых холодильников. Пеностекло в равной мере успешно может применяться и для высокотемпературной теплоизоляции вплоть до 425 °С, поскольку оно не только не горит, но и заглушает огонь. Новый сорт пеностекла содержит 99% кремнезема и может использоваться при температуре до 1200 °С.

**Электротехнические изделия** из стекла (стеклянные колбы) широко используются в качестве оболочек для ламп накаливания и электронно-лучевых трубок. Проволочные резисторы, трансформаторы, конденсаторы, реле и переключатели могут заключаться в оболочки из отпущенного стекла с выводами через стеклянные изоляторы. Крупные проходные изоляторы массой до 22 кг, рассчитанные на сильные токи и высокие напряжения, изготавливаются путем центробежной отливки стекла вокруг металлических втулок. С применением стекла изготавливаются конденсаторы как постоянной, так и переменной

емкости. В конденсаторах постоянной емкости используется листовое стекло толщиной до 0,025 мм. Конденсатор переменной емкости состоит из изготовленной с жестким допуском стеклянной трубки, часть внешней поверхности которой металлизирована для образования одной обкладки. Внутри трубки вставляется стержень из латуни или инвара, образующий вторую обкладку. Стеклянные трубки или стержни с нанесенной на них углеродной, металлической или металлооксидной пленкой используются в качестве резисторов.

**Светочувствительные стекла** впервые получены в 1947 г., когда было обнаружено, что стекла некоторых составов при воздействии ультрафиолетового излучения образуют скрытое изображение, которое может быть проявлено путем нагрева стекла чуть выше температуры отжига. Скажем, на стекло можно наложить фотографический негатив и облучить его ультрафиолетом, а потом нагреть стекло; в результате в объеме стекла появится воспроизведенное в цвете изображение. Цвет изображения зависит от вида светочувствительного металла, введенного в шихту. Один из составов дает опаловое стекло такой природы, что разбавленная фтористоводородная кислота протравливает облученную часть раз в пятнадцать быстрее, чем необлученную. Эта огромная разница в растворимостях позволяет осуществлять химическое травление. Таким способом в стекле можно вытравливать отверстия размером меньше половины среднего диаметра человеческого волоса в количестве до 100 тыс. отверстий на 1 см<sup>2</sup>. Стекла этого типа используются для изготовления световых табло, именных табличек и декоративных плиток, а также в качестве чувствительных элементов дозиметров. После воздействия проникающего излучения некоторые из таких стекол ярко светятся при облучении ультрафиолетовым светом, а другие меняют свой цвет. Интенсивность флуоресценции или степень изменения окраски пропорциональна полученной дозе облучения.

**Стеклокерамика (ситаллы)** — это название относится к материалам, которые вначале были произведены как стекла, а потом во всей своей массе переведены в кристаллическое состояние. Они выпускаются под зарегистрированными торговыми названиями «пирокерамика» и «фотокерамика» и другими. Сырьевые материалы для изготовления стеклокерамики примерно те же, что и для изготовления стекла, однако включают некоторые дополнительные добавки, играющие роль зародышеобразователей (центров кристаллизации). После формования одним из обычных способов — прессования, выдувания или прокатки — изделие нагревается до температуры образования центров кристаллизации. Затем температура повышается, и во всем объеме стеклообразного изделия начинается кристаллизация вокруг кристаллов-зародышей. Процесс продолжается до тех пор, пока растущие кристаллы не наталкиваются друг на друга и вся масса изделия не становится кристаллической за исключением малых областей стеклообразной матрицы на границах кристалла. Температуры переработки, зародышеобразования и кристаллизации зависят от состава стекла. В некоторых случаях образование ядер кристаллизации производится воздействием рентгеновского или ультрафиолетового излучения с последующей термообработкой. В отличие от обычной керамики стеклокерамика не имеет пор, а ее кристаллы меньше размером и более однородны. По сравнению со стеклом-основой стеклокерамика тверже, не деформируется до более высоких температур и в несколько раз прочнее. Одним из первых ее применений были обтекатели ракет. Теперь широко используется стеклокерамическая посуда, которую можно переставлять из холодильника прямо на плиту. Лабораторная посуда, цилиндры двигателей и даже шарикоподшипники изготавливаются из стеклокерамики. Эти разработки — главное достижение в технологии стекла.

---

## 10. МЕТАЛЛЫ И МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ

**Металлами** принято называть вещества, обладающие характерными для них свойствами: особым металлическим блеском поверхности, высокой пластичностью, тепло- и электропроводностью, а также, в большинстве случаев, значительной прочностью.

В строительной отрасли металлы нашли широкое применение в качестве сырья для изготовления металлических изделий или металлопроката (полуфабриката): при строительстве гидротехнических сооружений, производственных, офисных и общественных зданий и сооружений.

Металлы классифицируют по виду железных руд, из которых их получают: черные металлы — из природных соединений, содержащих химический элемент железо, а цветные металлы — из других соединений, содержащих любой из металлических элементов, кроме железа. Некоторые металлы в природных условиях не образуют химических соединений, а встречаются в самородном виде: благородные металлы (золото, серебро) и некоторые другие (ртуть, медь).

Используемые на практике черные металлы являются высокотемпературными сплавами железа и углерода с незначительными примесями других химических элементов (кремний, марганец, сера, фосфор и другие).



## 10.1. Черные металлы

Черные металлы в зависимости от содержания углерода, определяющего прочностные характеристики сплавов, подразделяют на чугуны и стали [7].

**Чугун** — это железоуглеродистый сплав с содержанием углерода 2,14–6,67%. По назначению чугуны дополнительно подразделяют на литейные (применяют для отливки различных строительных деталей), пердедельные (используют в качестве сырья для производства стали) и специальные (добавки при производстве стали и чугунного литья). По характеру металлической структуры чугуны делят на группы: серый, белый, высокопрочный и ковкий.

**Серый чугун** — содержит углерода 2,4–3,8%, причем весь углерод находится в связанном состоянии в виде цементита  $\text{Fe}_3\text{C}$ . Он хорошо поддается обработке, но имеет повышенную хрупкость. Его используют для производства изделий, не подвергающихся в процессе эксплуатации ударным воздействиям.

**Белый чугун** — содержит углерода 2,8–3,6% в свободном состоянии в виде пластинчатого графита. Он обладает более высокой твердостью и хрупкостью, не поддается обработке и поэтому применяется только как сырье для других видов черных металлов.

**Высокопрочный чугун** получают путем введения магния в количестве 0,03–0,04% в расплав чугуна, что повышает его прочностные свойства по сравнению с серым чугуном. Основные области применения — это корпуса насосов, вентилялей и других агрегатов.

**Ковкий чугун** — содержит углерода 2,5–3,0% в виде хлопьевидного графита. Его получают длительным нагревом при высоких температурах заготовок из белого чугуна, что позволяет подвергать его механической обработке и расширяет области примене-

ния: тонкостенные детали (гайки, скобы), чугунные плиты для облицовки подвергающихся истиранию поверхностей гидротехнических сооружений, водопроводные задвижки и трубы.

**Сталь** — железоуглеродистый сплав с содержанием углерода до 2,14 %, что придает ей возможность механической обработки (ковкость), при этом прослеживается следующая зависимость: увеличение содержания углерода повышает твердость и хрупкость и одновременно понижает пластичность и ударную вязкость. По химическому составу (содержание в сплаве химических элементов) стали подразделяют на углеродистые и легированные. По назначению стали делятся на конструкционные и инструментальные, а по способу получения — на мартеновские, конвертерные и электростали.

**Сталь углеродистая** обыкновенного качества представляет собой сплав железа с углеродом (содержание 0,06–0,62 %), в небольшом количестве могут присутствовать примеси (кремний, марганец, фосфор или сера). Сталь углеродистую принято подразделять на группы:

— А — нормируют по прочностным характеристикам и применяют в изделиях, подвергаемых горячей обработке (сварка, ковка и др.), изменяющей ее механические свойства (Ст0, Ст1 и др.);

— Б — нормируют по химическому составу и применяют при изготовлении деталей, которые будут подвергать обработке, изменяющей механические свойства до уровня, определяемого химическим составом (БСт0, БСт1 и др.);

— В — нормируют по химическому составу и механическим свойствам для изготовления свариваемых деталей (ВСт1, ВСт2 и др.).

В строительстве наибольшее применение нашла сталь марки Ст3, применяемая при изготовлении металлических конструкций гражданских и промышленных зданий, сооружений и арматуры для железобетонных конструкций.

**Легированные стали.** Для значительного улучшения механических и физических свойств стали при ее изготовлении вводят в состав легирующие добавки (никель, хром, вольфрам, молибден, медь, алюминий), по содержанию которых разделяют виды сталей: низколегированные (содержание примесей не превышает 2,5%), среднелегированные (2,5–10%) и высоколегированные (более 10%). При этом содержание углерода вне зависимости от вида стали не должно превышать 0,2% для исключения снижения коррозионной стойкости и свариваемости.

Легирующие компоненты оказывают различное влияние на свойства стали: марганец повышает прочность, твердость и сопротивление износу; кремний и хром также увеличивают прочность и жаростойкость; медь делает сталь устойчивой к атмосферной коррозии; никель повышает вязкость без снижения прочности.

При выполнении строительно-монтажных работ применяют различные способы обработки стальных изделий: механическую горячую и холодную, термическую и сварку.

#### **Виды обработки стали**

**При горячей обработке** стальные изделия нагревают до определенных температур и придают им форму и размеры в процессе проката, под воздействием ударов молота или давления прессы. При производстве металлических строительных конструкций и сооружений из горячекатаных сталей изготавливают прокатные стальные профили: равнополочный и неравнополочный уголки (с полками шириной 20–250 мм), швеллер, двутавр или тавр, которые при монтаже скрепляют друг с другом металлическими заклепками, болтами, гайками и винтами.

**Холодную обработку стали** подразделяют на обработку резанием и слесарную, последняя состоит из технологических операций: разметки, рубки, сверления или нарезки. Резание металлов выполняют на металлорежущих станках путем сня-

тия тонкой металлической стружки режущим инструментом (точение, строгание, фрезерование).

**Термическую обработку** (закалка, отпуск, отжиг, нормализация и цементация) выполняют для улучшения строительных качеств стальных изделий.

**Закалка** увеличивает прочность и твердость стали и заключается в нагреве изделий до температуры выше критической (зависит от содержания в стали углерода), выдержке и в последующем быстром охлаждении их в воде или других жидкостях.

**Отпуск** повышает вязкость стали, уменьшая ее хрупкость и внутреннее напряжение, улучшает обрабатываемость и заключается в нагреве уже закаленных изделий до 150–670 °С (в зависимости от марки стали), обработке при этой температуре и последующем медленном или быстром охлаждении на воздухе, воде или в масле.

**Отжиг** заключается в нагреве изделий до температуры 750–960 °С, выдержке и последующем медленном охлаждении в печи. Он понижает твердость стали, улучшая обрабатываемость.

**Нормализация** повышает твердость, делает структуру стали мелкозернистой и заключается в нагреве изделий до температуры выше отжига, выдержке и последующем охлаждении на воздухе.

**Цементация** — это процесс поверхностного повышения содержания углерода в стали для получения высокой поверхностной твердости изделий, износостойкости и прочности при сохранении внутренней части стали вязкой.

При **маркировке стали** углеродистой обыкновенного качества ее обозначают буквами Ст и цифрами от 0 до 7 (содержание углерода в %). При обозначении марок кипящей стали добавляют индекс «кп», полуспокойной — «пс», спокойной — «сп»: Ст3 сп, Ст3 пс, Ст2 кп.

При маркировке низколегированных сталей первые цифры марки обозначают среднее содержание углерода (в сотых долях процента для инструментальных и нержавеющей сталей), буквы (кремний — С, марганец — Г, хром — Х, никель — Н, молибден — М, вольфрам — В, алюминий — Ю, медь — Д, кобальт — К) показывают наличие в стали легирующих примесей, а цифры после них — среднее содержание элемента в процентах.

## 10.2. Цветные металлы и сплавы

В строительстве редко используют цветные металлы в чистом виде, а чаще используют сплавы цветных металлов, разделяемые по средней плотности на легкие и тяжелые. Легкие сплавы получают на основе алюминия или магния, тяжелые — на основе меди, олова, цинка или свинца. Наиболее распространенными легкими сплавами являются алюминий-марганцевые, алюминий-кремнеземистые, алюминий-магниевые, сплавы дюралюминия (используют для несущих и светопрозрачных ограждающих конструкций зданий и сооружений). Из тяжелых сплавов (бронза и латунь) изготавливают архитектурные детали и санитарно-техническую арматуру.

**Свинец** — мягкий, легко поддающийся обработке металл серого цвета со средней плотностью  $11\,300\text{ кг/м}^3$ , обладающий высокой коррозионной стойкостью. В промышленных объемах добывают его из сульфидных руд. В строительстве используют для зачеканки швов труб, герметизации деформационных швов, устройства антикоррозийных покрытий и в некоторых легких сплавах.

**Алюминий** — легкий (средняя плотность  $2700\text{ кг/м}^3$ ) высокотехнологичный и легкообрабатываемый металл серого цвета

с высокой коррозионной стойкостью. В строительстве в большинстве случаев применяют алюминиевые сплавы (алюминиево-марганцевый, алюминиево-магниевый), которые при незначительной плотности ( $2700\text{--}2900\text{ кг/м}^3$ ) имеют высокие прочностные характеристики, сравнимые со сталью. Кроме того, алюминий и его сплавы обладают эстетичным внешним видом, достаточной огнестойкостью, не намагничиваются и достаточно долговечны. Например, использование ограждающих конструкций из алюминиевых сплавов может снизить массу стен или кровли до 80 раз.

В чистом виде алюминий применяют для изготовления электропроводов, порошкообразных покрытий, компонента газообразователя для производства ячеистых бетонов, фольги, а также высокоэффективного утеплителя (альфоль).

**Цинк** имеет среднюю плотность  $7100\text{ кг/м}^3$  и обладает также коррозионной стойкостью, что объясняет его область применения в качестве антикоррозионного покрытия при оцинковке стальных изделий (например, кровельная сталь, болты и прочее).

**Медь** — рыжего цвета тяжелый (средняя плотность  $8900\text{ кг/м}^3$ ) металл, обладающий высокой тепло- и электропроводностью, легко обрабатываемый. В чистом виде медь используют при производстве электрических проводов, а также широко применяют в различных сплавах.

**Бронза** — коррозионно-стойкий металлический сплав меди с оловом, алюминием, марганцем или никелем, обладает более высокими механическими свойствами, применяется для изготовления сантехнической запорной арматуры.

**Латунь** — коррозионно-стойкий металлический сплав меди с цинком (до 40 %), иногда с добавлением свинца, олова, алюминия или кремния, обладающий высокими механическими свойствами, коррозионной стойкостью; применяется для изготовления листов, проволоки, труб.

### 10.3. Коррозия металлов и защита от нее

**Коррозия** — это воздействие окружающей среды (температуры, воды и ее паров) на конструкции и сооружения из металла, что приводит к их разрушению, начиная с поверхности и распространяясь вглубь, с потерей поверхностью блеска.

По характеру коррозионного воздействия различают несколько видов коррозии:

- сплошную подразделяют на равномерную (разрушение металла протекает с одинаковой скоростью по всей поверхности) и неравномерную;
- избирательная возникает на отдельных участках металла и бывает поверхностная, точечная, сквозная и пятнами;
- межкристаллитная коррозия проявляется внутри структуры по границам кристаллов металла.

По характеру взаимодействия с окружающей средой выделяют химическую (при действии на металл сухих газов или жидкостей — не электролитов) и электрохимическую (с появлением электрического тока под действием на металл жидких проводников электричества — электролитов, влажных газов и воздуха).

Для сохранения металлов используют различные способы защиты от коррозии: герметизация от агрессивной среды, снижение загрязнения окружающей среды, обеспечение оптимальных температурно-влажностных режимов, устройство антикоррозионных покрытий: грунтовки, краски, эмали, лаки, тонкие коррозионно-стойкие металлические покрытия или легирование.

---

## 11. ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

**Пластмассы** — это искусственные материалы, получаемые на основе природных или синтетических полимеров, способные при определенных условиях формоваться и переходить в твердое состояние, сохраняя заданную форму.

### **Основные компоненты пластмасс**

Связующее вещество — полимер.

Наполнители могут быть органическими или минеральными; по внешнему виду подразделяются на дисперсные (древесная или кварцевая мука, мел, тальк, сажа), волокнистые (стекловолокно, асбест, древесная шерсть) и слоистые (ткань, древесный шпон). К наполнителям также можно отнести воздушные поры в газонаполненных пластмассах. Наполнители могут занимать до 80–90 % объема материала. Они не только снижают стоимость, но и придают дополнительные свойства материалу: повышают тепло- и атмосферостойкость, снижают усадку и деформативность.

Пластификаторы — вещества, повышающие эластичность и пластичность полимеров для упрощения их переработки в изделия — глицерин, камфара и пр.

Стабилизаторы — препятствуют старению полимеров.

Отвердители (для реактопластов) — обеспечивают сшивку линейных олигомеров или полимеров в сетчатые.



Пигменты и красители — придают материалам и изделиям соответствующий внешний вид.

Полимерные материалы обладают уникальными механическими, электроизоляционными свойствами, многие из них — высокой эластичностью. Они способны принимать любую форму в процессе переработки и нашли широкое применение в большинстве областей строительства: полиэтилен (пленки, трубы), полистирол (плиты), полихлорвинил (линолеум), полиметилметакрилат (органическое стекло).

Основные недостатки пластмасс — низкая теплостойкость, высокий коэффициент термического расширения, повышенная ползучесть, старение и токсичность некоторых полимеров.

### 11.1. Исходные полимерные материалы

**Полимерные материалы** — это природного или искусственного (синтетического) происхождения высокомолекулярные вещества, молекулы которых состоят из многократно повторяющихся звеньев (мономеров), соединенных химическими связями.

В зависимости от технологии изготовления синтетические полимеры подразделяют на полимеризационные (например, полиэтилен, полистирол, поливинилхлорид) и поликонденсационные (полиэфирные, акриловые, кремнийорганические, полиэфирсы, полиуретановые каучуки).

По химическому составу полимеры делятся на карбоцепные (состоят только из атомов углерода и водорода), гетероцепные (кроме углерода могут присутствовать атомы серы, фосфора, кислорода) и элементоорганические (в состав цепей входят другие атомы, например, кремний, титан).

В зависимости от формы макромолекул различают полимеры линейной, разветвленной и сетчатой структуры (см. рис. 4).

Линейные полимеры, в основном, имеют невысокую температуру размягчения и растворяются в соответствующих растворителях. Сетчатые полимеры не плавятся, не растворяются, а только набухают.

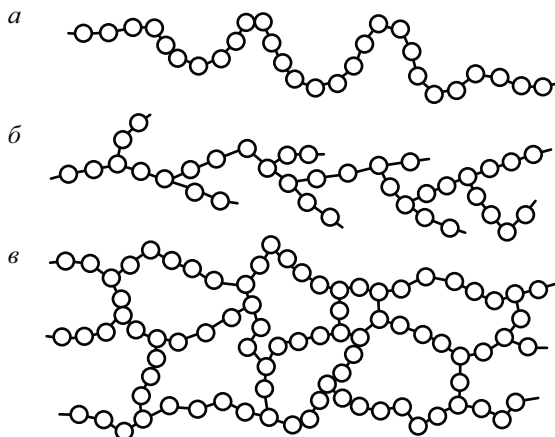


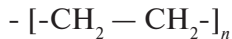
Рис. 4. Структура макромолекул полимеров:  
*а* — линейная; *б* — разветвленная; *в* — сетчатая

По отношению к нагреванию полимеры подразделяются на термопластичные и термореактивные.

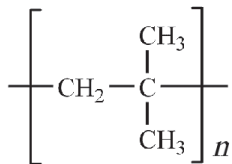
Термопластичные могут многократно при нагревании размягчаться, переходя в пластичное состояние, и при охлаждении затвердевать, сохраняя заданную форму. К ним относятся большинство полимеризационных полимеров (полиэтилен, полипропилен, полистирол, поливинилхлорид).

Термореактивные полимеры (реактопласты) в процессе переработки за счет химических реакций приобретают сетчатое строение и теряют возможность плавиться. К ним относятся эпоксидные смолы, вулканизированные каучуки и другие.

**Полиэтилен** — продукт полимеризации этилена плотностью 910–925 кг/м<sup>3</sup>. Характерные свойства: морозостойкость –70 °С, термостойкость +70 °С, при нагреве до +80 °С растворяется в некоторых органических растворителях. По способу получения подразделяют на полиэтилен высокого давления (ПВД) и низкого давления (ПНД). Основная область применения в строительстве — изготовление пленок отделочных материалов.



**Полиизобутилен** — каучукоподобный или жидкий эластичный материал плотностью 910–930 кг/м<sup>3</sup>, получаемый в промышленности полимеризацией изобутилена, не изменяет структуру под действием окружающей среды, обладает очень малой влаго- и газопроницаемостью. Основные области применения в строительстве: изготовление гидроизоляционных тканей, защитных покрытий, клеящих пленок, добавка в асфальтобетон.



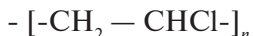
**Полистирол** — термопластичный полимер плотностью 1060 кг/м<sup>3</sup>, продукт полимеризации стирола, применяемый при изготовлении лаков и эмалей, а во вспененном состоянии — в качестве теплоизоляционного материала. Из него изготавливают плиты из вспененного экструдированного полистирола.



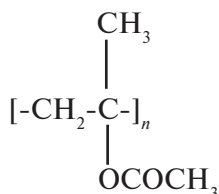
**Поливинилхлорид** — (ПВХ) является продуктом полимеризации винилхлорида (CH<sub>2</sub>=CHCl). Обладает высокими меха-

ническими свойствами. Из поливинилхлорида изготавливают гидроизоляционные и отделочные материалы, плитуса, поручни, оконные и дверные переплеты, линолеум и др. Ценным свойством поливинилхлорида является стойкость к действию кислот, щелочей, спирта, бензина, смазочных масел. Поэтому его широко применяют для производства труб, используемых в системах водоснабжения, канализации и технологических трубопроводов.

Недостатками поливинилхлорида является резкое понижение прочности при повышении температуры, а также ползучесть при длительном действии нагрузки.



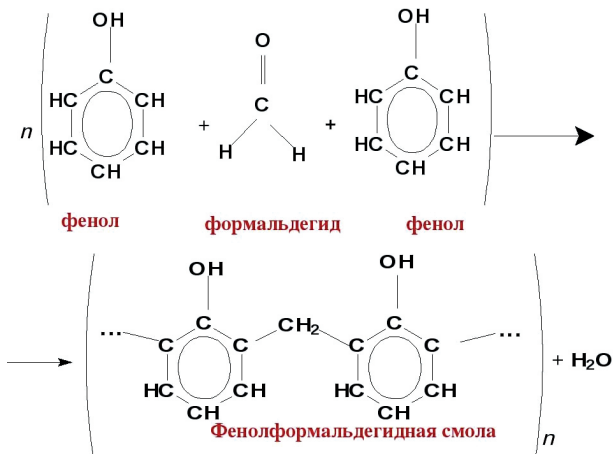
**Полиметилметакрилат (органическое стекло)** — прозрачное твердое и упругое вещество плотностью  $1190 \text{ кг/м}^3$ , получают в виде бесцветной, прозрачной жидкости в процессе полимеризации метилового эфира, из которой после отвердевания образуются стеклообразные готовые изделия очень стойкие в воде, кислотах и щелочах. В строительстве применяют для остекления или изготовления масштабных моделей и заготовок.



Среди поликонденсационных полимеров (реактопластов) наиболее значимыми являются фенолформальдегидные, карбамидные (мочевинформальдегидные), эпоксидные, кремний-органические полимеры, полиуретаны и др. Фенолформальдегидные полимеры получают путем поликонденсации фенола с формальдегидом. Эти полимеры хорошо совмещаются с на-

полнителями — древесной стружкой, бумагой, тканью, стеклянным волокном, при этом получаются пластики более прочные и менее хрупкие, чем сами полимеры. Поэтому фенолформальдегидные полимеры широко применяют в качестве связующего при изготовлении древесно-стружечных плит, бумажно-слоистых пластиков, стеклопластиков и разнообразных изделий из минеральной ваты. Кроме того, они используются для производства клеев, водостойкой фанеры, спиртовых лаков.

Фенолформальдегидную смолу получают по следующей схеме:



## 11.2. Основы производства изделий из пластмасс

В процессе переработки пластмасс в изделия полимеру придается требуемая форма и создается определенная структура материала. Большинство технологических процессов формирования изделий включает несколько стадий:

— **подготовка компонентов** состоит из сушки, гранулирования или наоборот помола и дозирования исходных материалов;

— **смешение компонентов** происходит в обычных смесителях методом экструзии (в этом случае процесс смешения совмещен с формованием) и специфическим для полимеров методом вальцевания;

— **формование** изделий зависит от природы полимера (термопласт или реактопласт). Основные способы формования: экструзия, экструзия с раздувом, каландрование, литье под давлением, горячее прессование, вакуумное прессование, а также склейка и сварка готовых деталей.

**Основные виды строительных материалов и изделий из пластмасс:**

— конструкционные и конструкционно-отделочные материалы (стеклопластики, древесно-стружечные плиты, древесно-слоистые пластики, полимербетоны);

— отделочные материалы (бумажно-слоистые пластики, декоративно-пленочные материалы, линолеумы);

— гидроизоляционные материалы и герметики;

— теплоизоляционные материалы (пенопласты, поропласты, сотопласты);

— клеи и мастики;

— трубы и сантехнические изделия.

### 11.3. Полимерные трубы

Наибольший объем строительных изделий из полимеров — это разнообразные водопроводные трубы, применяемые при строительстве напорных трубопроводов (подземных и надземных), закрытого дренажа, трубчатых гидротехнических сооружений, а в сельском хозяйстве — для оросительных систем. Исходными материалами для полимерных труб являются полиэтилен, винилпласт, полипропилен или фторопласт.

Все полимерные трубы изготавливают методом непрерыв-

ной шнековой экструзии, т.е. непрерывным выдавливанием густой массы размягченного полимера из насадки с заданным профилем, определяющим поперечное сечение будущей трубы. Такие трубы являются морозостойкими и их эксплуатируют в зданиях при температурах от  $-60$  до  $+90$  °С.

#### 11.4. Полимерные мастики и бетоны

Условия работы гидротехнических сооружений — это в большинстве случаев агрессивная среда, воздействие высоких скоростей и твердых компонентов сточных вод. Для увеличения долговечности и срока службы сооружений их защищают специальными покрытиями или облицовками из полимерных мастик, полимерцементных бетонов или полимеррастворов.

**Полимерные мастики** используют при устройстве защитных покрытий конструкции и сооружения, предохраняющих от воздействия агрессивной среды в виде механических нагрузок, истирания, перепадов температур и радиации.

**Полимерцементные бетоны** — это бетоны на портландцементе с добавлением кремнийорганических или водорастворимых полимеров, обеспечивающих повышенную морозостойкость и водонепроницаемость.

При отсутствии в полимерцементном бетоне крупного заполнителя его называют **полимерцементным раствором**. Их применяют в качестве гидроизоляционных, антикоррозионных и износостойчивых покрытий, защищающих конструкции зданий и сооружений, а также при изготовлении тонких напольных покрытий.

Вязущим в **полимербетонах** являются полимерные смолы, а в качестве заполнителей используют неорганические заполнители.

---

## 12. КЛАССИФИКАЦИЯ ВЯЖУЩИХ МАТЕРИАЛОВ

**Вязущие вещества** — это материалы, при определенных условиях затвердевающие и связывающие крупные и мелкие заполнители, в результате чего образуется прочное камневидное тело. По составу все вязущие принято делить на органические и минеральные [2].

Органические вязущие вещества — это смесь высокомолекулярных углеводов или их производных: продукты переработки нефти (битум и асфальт) или термического разложения твердых и жидких горючих ископаемых (дегты), а также искусственно синтезированные термореактивные полиэфирные, эпоксидные и фенолформальдегидные смолы.

Неорганические (минеральные) вязущие материалы — это порошкообразные вещества, при смешении с водой (или другой жидкостью) образуют пластичную массу, которая затвердевает со временем с образованием прочного камневидного тела. Эти вязущие получают только искусственно при термической обработке смеси измельченных горных пород, а классифицируют их по нескольким признакам: скорости схватывания и твердения, условиям и области применения.

По скорости твердения вязущие разделяют на быстротвердеющие (строительный гипс твердеет за десятки минут) и медлентвердеющие (портландцемент затвердевает в течение месяца).



**По условиям твердения** минеральные вяжущие вещества разделяют на:

1) воздушные — это минеральные вяжущие, твердение которых возможно только в условиях воздушно-сухой среды, продукты твердения устойчивы только на воздухе, а в воде теряют прочность и разрушаются (строительный гипс, воздушная известь);

2) гидравлические — это минеральные вяжущие, твердение которых возможно в воде, в атмосфере насыщенного пара и в условиях воздушно-сухой среды, продукты их твердения устойчивы на воздухе и в воде (портландцемент и большинство видов цемента);

3) материалы автоклавного твердения — это минеральные вяжущие и изделия на их основе, твердение которых возможно при автоклавной (гидротермальной) обработке при давлении пара 0,9–1,3 МПа и температуре 170–200 °С в течение 6–10 часов (силикатный кирпич, автоклавные газосиликатные бетоны);

4) кислотоупорные — это минеральные вяжущие, продукты твердения которых устойчивы в кислых средах, состоят из тонкоизмельченной смеси кварцевого песка и гексафторсиликата натрия —  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ . Средой затворения являются водные растворы силиката натрия или калия;

5) фосфатные вяжущие материалы — это специальные минеральные вяжущие, образующие под действием фосфорной кислоты  $\text{H}_3\text{PO}_4$  пластичную массу, медленно твердеющую, но образующую камень, сохраняющий прочность при температурах более 1000 °С.

Твердение вяжущих веществ (постепенное превращение пластичного теста в твердое камневидное тело) происходит в результате протекания химических и физико-химических процессов, характерных для каждого вяжущего вещества. Общая теория твердения вяжущих веществ была разработана профессором А. А. Байковым, по которой данный процесс имеет три стадии.

На 1-й стадии происходит затворение (контакт среды затворения и вяжущего), т. е. смешивание порошкообразного вяжущего вещества с водой с образованием пластичного теста. На этой стадии вяжущее начинает взаимодействовать с затворителем (чаще всего с водой), происходят процессы растворения вяжущего вещества (гидролиз) с образованием насыщенного раствора и начинаются реакции гидратации (присоединение воды). Количество воды затворения необходимо брать минимальное, но достаточное для образования пластичного теста, потому что избыток воды сохраняется в тесте и образует после затвердевания цементного камня поры, что снижает его прочность.

2-я стадия — коллоидации (соответствует процессу схватывания), на которой тесто постепенно теряет пластичность, не набирая при этом какой-либо существенной прочности. На этой стадии наблюдается выделение из насыщенных растворов малорастворимых веществ в коллоидном состоянии (в виде гелей) вследствие того, что гидраты имеют меньшую растворимость по сравнению с безводными соединениями.

На 3-й стадии (кристаллизация) можно наблюдать нарастание механической прочности и твердости и образование камневидного тела, что происходит за счет перекристаллизации коллоидных частиц в более крупные кристаллы, срастающиеся между собой. При этом параллельно происходит другой физико-химический процесс — снижение содержания воды в коллоидном геле, которая, в свою очередь, взаимодействует с другими частицами вяжущего вещества, не вступившими в реакцию ранее.

Необходимо принимать во внимание, что перечисленные стадии твердения в реальных условиях частично налагаются и идут параллельно, а не строго друг за другом.

Академик П. А. Ребиндер также внес значительный вклад в развитие теории твердения минеральных вяжущих веществ, предложив регулировать скорость их твердения с помощью поверхностно-активных веществ.

---

## 13. ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ МАТЕРИАЛЫ, РАСТВОРЫ И БЕТОНЫ НА ИХ ОСНОВЕ

**Органические вяжущие материалы** — это вещества, содержащие смесь органических высокомолекулярных соединений (углеводородов) и их неметаллических производных природного или искусственного происхождения, обладающие способностью под действием физических или химических процессов с определенной скоростью переходить из жидкого высокопластичного состояния в твердое, связывая при этом частицы заполнителей.

Органические вяжущие природного происхождения принято подразделять на битумные (обладают большей долговечностью), дегтевые и смешанные битумно-дегтевые.

Характерные свойства органических вяжущих, определяющие их применение в строительстве: высокая адгезия к поверхности практически всех минеральных материалов, необходимая пластичность и эластичность, достаточная стойкость к воздействию окружающей среды, низкая растворимость в воде, определяющая водонепроницаемость и гидрофобность. При этом, как и все органические вещества, они хорошо растворяются в органических растворителях (бензине, керосине).

При ряде достоинств этого вида вяжущих они обладают общим недостатком — это узкий интервал температур, в котором материалы при эксплуатации обладают заявленными прочностью и эластичностью. При снижении температуры до  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  они становятся хрупкими, а при превышении  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  постепенно переходят в вязкое состояние. Их модифицируют добавками термопластичных полимеров и каучуков для расширения температурного интервала эксплуатации.

Имеются исторические свидетельства, что природные битумы и дегти были первыми органическими вяжущими, примененными в строительстве «висячих» садов Семирамиды, тоннеля под Евфратом и асфальтированных мостовых в I тысячелетии до н. э. в древнем государстве Месопотамия. Затем опыт их использования переняли в Древнем Риме, а в средние века строители применяли смолы и дегти для защиты древесины от гниения. В современных условиях органические вяжущие материалы применяют при устройстве водозащитных покрытий в качестве сырья для изготовления гидроизоляционных материалов, а также при производстве асфальтобетонов и асфальтовых растворов.

### 13.1. Битумные материалы

**Битумы** (от лат. bitumen — смола) — это сложные смеси высокомолекулярных углеводородов и их неметаллических производных черного или темно-коричневого цвета, вязкопластичные или твердые при комнатной температуре, получаемые из нефти и нефтепродуктов. В зависимости от происхождения битумы подразделяют на природные и искусственные (техногенные).

В природе битумы изредка могут встречаться в чистом виде (например, в виде битумных озер на Сахалине или в Африке), а в большинстве случаев они пропитывают (содержание битум-

ма до 20 %) пористые осадочные горные породы в результате поднятия нефти из нижележащих слоев (месторождения в Венесуэле, Канаде, на острове Тринидад). Мировые запасы природного битума оставляют более 500 млрд т.

**Чистый природный битум** образуется при разливе нефти, испарении из нее легких фракций углеводорода с частичным окислением кислородом из воздуха.

**Асфальтиты** — породы, состоящие из затвердевшего природного битума и других органических веществ.

**Асфальтовые породы** — горные породы, пропитанные битумом (известняки, доломиты, песчаники, пески и глины). Данные породы применяют в качестве асфальтового порошка в молотом виде или извлекают битум путем нагрева.

**Искусственные битумы** получают при переработке нефти, в результате отгонки из ее состава газов (пропан, этилен), бензина, керосина, дизельного топлива.

Битумы являются сложными коллоидно—дисперсными системами, состоящими из нескольких групп веществ:

— дисперсная фаза — это твердые высокомолекулярные вещества (асфальтены, карбены, карбоиды), придающие битуму прочность при затвердевании;

— дисперсионная среда, в которой находятся другие компоненты — нефтяные масла, придающие битуму вязкость;

— стабилизаторами дисперсии являются смолистые вещества, одновременно обеспечивающие адгезию битума.

При повышении температуры входящие в него масла разжижаются, за счет чего битум становится жидковязким, а при снижении температуры они загустевают и затвердевают, превращая битум в твердое, а при дальнейшем охлаждении хрупкое вещество.

По области применения битумы принято подразделять на типы: дорожные (для устройства асфальтобетонного покрытия), кровельные (для изготовления мягких кровельных мате-

риалов) и строительные (применяемые при гидроизоляции).

По качественным характеристикам битумы разделяют на марки, определяемые по комплексу показателей: температура размягчения, твердость и растяжимость.

Битум является горючим веществом и при работе с ним, особенно при разогреве, необходимо соблюдать требования пожарной безопасности. Хранить битумы необходимо в закрытых складах или под навесом без попадания прямых солнечных лучей, а транспортировать в фанерных барабанах или бумажных мешках.

### 13.2. Дегтевые материалы

**Деготь** — это продукт пиролиза (сухой без доступа воздуха термической до 200–300 °С перегонки) твердых видов топлива (древесина, уголь, горючие сланцы, торф и т. п.), который представляет собой вязкую темно-бурую жидкость с характерным запахом. По химическому составу деготь является смесью ненасыщенных углеводородов ароматического ряда.

В зависимости от исходного сырья деготь подразделяют на каменноугольный, буроугольный, торфяной и древесный.

С древнейших времен деготь использовали для пропитки деревянных сооружений и лодок для антисептирования, гидрофобизации и защиты от гниения. На Руси его изначально добывали при нагреве бересты без доступа воздуха. Антисептирующие свойства дегтя используют в медицине (мазь Вишневского) и при копчении продуктов (рыбы, мяса). Позже стали вырабатывать деготь из древесины, а с конца XIX в. с развитием металлургии его получают в больших масштабах как побочный продукт коксования углей (высокотемпературной до 1000 °С обработки для получения кокса).

Сырой деготь в строительстве в настоящее время практически не применяют, а используют в качестве сырья для растворителей, различных масел (антраценовое, креозотовое) и твердобразного вещества — пека.

**Пек** — представляет собой аморфный хрупкий при комнатной температуре остаток перегонки дегтя при температуре более 360 °С, состоящий из смолистых веществ, «свободного углерода», антрацена, масел и других слаболетучих соединений. Пек при сплавлении с маслами и растворении в ароматических растворителях применяют при производстве составного дегтя.

Дегти имеют меньшую атмосферостойкость по сравнению с битумом и под действием солнечного излучения и кислорода воздуха окисляются, превращаясь в твердые хрупкие продукты.

При работе с дегтями и пеком необходимо учитывать, что их пары могут вызвать воспаление или аллергические реакции при контакте с кожей и слизистыми оболочками. Также дегти и их продукты канцерогенны и их использование в местах длительного контакта с человеком запрещено.

### 13.3. Асфальтовые растворы

**Асфальтовые растворы** — это смесь органических вяжущих с мелким заполнителем, применяемая при устройстве гидроизоляционных штукатурок, покрытий, тротуаров и полов. Битум в смеси с тонкомолотым наполнителем является вяжущим. Характерные свойства этих растворов: средняя плотность 2200 кг/м<sup>3</sup>, предел прочности при сжатии при температуре 22 °С не менее 3,0 МПа, водопоглощение по объему не более 1,5%. В зависимости от условий эксплуатации асфальтовых растворов в сооружениях подбирают их состав исходя из усло-

вий эксплуатации: в закрытом помещении можно применять раствор с температурой размягчения  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а для тротуара, нагреваемого летним солнцем, — не ниже  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ . По температуре применения подразделяют на горячие (литые) и холодные.

**Холодный асфальтовый раствор** производят из смеси нефтяных битумов (5–10%) с добавлением растворителя (бензол), порошкообразного минерального наполнителя (известняка, доломита) и чистого сухого мелкого заполнителя в специальных растворомешалках с разогревом до  $110\text{--}120\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Затвердевание этого вида асфальтового раствора происходит за счет испарения растворителя.

**Горячий асфальтовый раствор** изготавливают в специальных мешалках с разогревом до  $120\text{--}180\text{ }^{\circ}\text{C}$  из смеси битума (дегтя, пека), порошкообразных минеральных наполнителей и заполнителей, а при укладке на подготовленную поверхность каждый слой в горячем состоянии укатывают катками.

### 13.4. Асфальтобетоны

**Асфальтобетон** (до затвердевания — асфальтобетонная смесь) является самым распространенным и поэтому важнейшим строительным материалом для устройства автодорожного полотна, который получают уплотнением при требуемой температуре рационально рассчитанной и приготовленной бетонной смеси из битумного вяжущего, минеральных заполнителей и наполнителей.

Асфальтобетон изготавливают в промышленных условиях на специализированных асфальтобетонных заводах или мобильных установках. Активным веществом в асфальтовых бетонах является асфальтовое вяжущее (в большинстве случаев композиция нефтяного битума с тонкомолотым минеральным



порошком), которое предназначено для соединения инертных зерен заполнителей в единый монолит. Также принято в бетонную смесь добавлять минеральный наполнитель (тонкоизмельченный известняк, доломит или другие карбонатные породы) для снижения расхода дорогого вяжущего и повышения прочностных характеристик и теплостойкости конечного материала за счет перевода битума из объемного в пленочное состояние.

Сырьевые материалы для асфальтобетонов выбирают в зависимости от условий эксплуатации будущего дорожного покрытия. Марку асфальтового вяжущего необходимо выбирать в зависимости от проектируемого вида асфальтобетона, климатических условий строительства и категорий дороги. При необходимости используют полимерно-битумные или модифицированные вяжущие.

При изготовлении минерального наполнителя (неактивированного минерального порошка) путем тонкого измельчения горных пород к ним предъявляют требование по содержанию глинистых примесей, которое не должно превышать 5%. Также изготавливают активированный минеральный порошок совместным помолом горных пород с активирующей смесью из битума и поверхностно-активного вещества. Тонкость помола порошков должна соответствовать указанной в нормативном документе — ГОСТ 16557–78 «Порошок минеральный для асфальтобетонных смесей. Технические условия». Активацией минерального порошка добиваются его гидрофобности, за счет чего активированные порошки при хранении не комкуются, легко перемешиваются при изготовлении смесей и уменьшают расход вяжущего при приготовлении асфальтобетона.

Наилучшим крупным заполнителем для асфальтобетона является щебень с размерами зерен от 5 до 20 мм (в крупнозернистых смесях — до 40 мм) из горных пород магматического или метаморфического происхождения, обладающий прочностью

не менее 100 МПа в водонасыщенном состоянии. Морозостойкость щебня для верхнего слоя дорожного покрытия должна быть не менее F50, а для нижнего — не менее F25. Характеристики гравия в качестве крупного заполнителя асфальтобетонной смеси хуже, чем щебня, поэтому в асфальтобетоне более половины зерен гравия должны быть дроблеными.

В качестве мелкого заполнителя асфальтобетона с размерами зерен 0,14–5 мм используют дробленый песок (отсев при дроблении щебня) или природный (речной, овражный, горный). Требования по качеству заполнителей для изготовления асфальтобетонных смесей указаны в ГОСТ 31015–2002 «Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Технические условия».

Существует ряд признаков классификации данного вида бетонов: назначение (дорожный, для устройства полов), состав (битумный или дегтевый), температура укладки (аналогично асфальтовым растворам — холодный и горячий), вид минерального заполнителя (щебеночный, гравийный или песчаный).

В зависимости от величины остаточной пористости (после укладки и уплотнения) асфальтобетоны делят на: высокоплотные с остаточной пористостью 1–2,5%; плотные — 2,5–5%; пористые (используют для нижних слоев покрытий и основания) — 5–10%; высокопористые — 10–18%. Повышение пористости снижает долговечность асфальтобетона за счет увеличения водопоглощения и, как следствие, снижения морозостойкости (при замерзании вода распирает и разрушает бетон изнутри).

Горячие асфальтобетонные смеси в зависимости от содержания и вида минерального заполнителя в соответствии с ГОСТ 31015–2002 «Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Технические условия» подразделяют на типы:

- А — многощебенистые — содержат щебня 50–60 %;
- Б — среднещебенистые — содержат щебня 40–50 %;

- В — малощебенистые — содержат щебня 30–40 %;
- Г — песчаные смеси на песках из отсевов дробления или смесях с природным песком (не более 30 %);
- Д — песчаные смеси на природных песках или смесях с отсевами дробления (менее 70 %).

Горячие асфальтобетонные смеси наиболее распространены, их изготавливают на вязких нефтяных дорожных битумах, а укладывают непосредственно после приготовления при температуре не менее 120 °С. У холодных смесей, полученных с применением жидких битумов, температура укладки должна быть более 5 °С. Некоторые ученые выделяют дополнительный вид асфальтобетонных смесей — теплые, которые можно применять при температуре 70–120 °С. В состав холодных асфальтобетонных смесей обязательно входит растворитель, за счет испарения которого происходит твердение, поэтому их необходимо укладывать слоями на сухие поверхности путем легкой укатки катками.

Макроструктуру асфальтобетона образует смесь крупного и мелкого заполнителей, скрепленная в монолит асфальтовым вяжущим веществом. Микроструктура асфальтового связующего состоит из равномерно распределенных частиц минерального порошка и матричного вещества битума.

На каждом уровне структуры можно выделить несколько ее типов. Порфировая (базальная) структура характерна для литого асфальтобетона из высокопластичных малощебенистых смесей, отличается на макроуровне относительно большим количеством вяжущего и «плавающим» положением заполнителя, который практически не оказывает влияния на свойства материала. При контактной структуре, характерной для среднещебенистой асфальтобетонной смеси, дискретные частицы заполнителя контактируют между собой через тонкие непрерывные пленки вяжущего, при этом характеристики структуры зависят от свойств заполнителя и асфальтового связующего.

Законтактная структура присуща многощебеночным смесям нижнего слоя асфальтобетонного покрытия с недостаточным для заполнения пор содержанием вяжущего и отсутствием непрерывной пленки на поверхности минеральных компонентов, отличается высокой остаточной пористостью и дренирующей способностью пропускать воду. Контактная структура при прочих равных условиях обеспечивает наиболее высокие прочностные и эксплуатационные характеристики материала. Наилучшая структура асфальтобетона зависит от требуемых расчетных параметров и обеспечивает комплекс технологических (пластичность смесей) и эксплуатационных свойств и достигается в результате оптимального совмещения прогнозируемых типов структур на каждом уровне.

Все виды асфальтобетона с течением времени в той или иной степени подвергаются деструкции под действием температурных, влажностных и механических факторов. При этом расширяется структура, ухудшаются свойства материала, изменяется концентрация твердой фазы под действием тепловых факторов. При эксплуатации при отрицательных температурах битум асфальтового вяжущего становится хрупким и в нем появляются микро- и макротрещины. Ультрафиолетовые лучи приводят к старению асфальтобетона за счет окисления молекул битума и уменьшению его адгезии к минеральным частицам. Влажностный фактор влияет за счет полярных молекул воды, вытесняющих неполярные молекулы битума с поверхности минеральных компонентов, а при вымерзании воды повышается пористость с одновременным снижением прочности покрытия.

Повышение долговечности за счет снижения воздействия перечисленных факторов возможно только путем целесообразного выбора оптимальной структуры асфальтобетона, качественного уплотнения покрытия, периодической обработки и гидрофобизации поверхности, а также своевременного ремонта покрытия.

---

## 14. ВОЗДУШНЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

### 14.1. Гипсовые вяжущие вещества

**Гипсовые вяжущие материалы** — это в большинстве своем воздушные вяжущие с преобладанием в составе сульфата кальция, для производства которых используют природный двуводный гипс и ангидрит. В зависимости от вида сырья и условий тепловой обработки получают различные виды гипсовых вяжущих веществ. Отходы промышленности минеральных удобрений, называемые фосфогипсом и борогипсом, также могут выступать сырьем для изготовления гипсовых вяжущих веществ. В процессе изготовления продукт, получаемый при низкотемпературной обработке, измельчают до порошкообразного состояния.

**Природный двуводный гипс** — минерал из крупных или мелких кристаллов двуводного сульфата кальция ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), слагающий горные породы осадочного происхождения: плотные образования называют гипсовым камнем, встречается прозрачный кристаллический гипс, гипсовый шпат, тонковолокнистый и зернистый гипс. Наиболее чистую разновидность зернистого гипса называют алебастром.

**Природный ангидрит** — горная порода осадочного происхождения, состоящая из безводного сульфата кальция  $\text{CaSO}_4$ ,

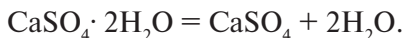
который под действием грунтовых вод медленно гидратируется и частично переходит в двухводный гипс, поэтому в природе ангидрит обычно примесно содержит 5–10 % двухводного гипса.

**Строительный (полуводный гипс)** имеет химическую формулу  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$  — воздушное вяжущее вещество, быстро твердеющее на воздухе и размягчаемое в водной среде. Его изготавливают в промышленных условиях в печах или варочных котлах при низкотемпературной обработке природного двухводного гипса (или других сырьевых материалов природного или техногенного происхождения) при 120–180 °С. При этой температуре часть химически связанной воды выделяется в незамкнутое пространство и удаляется в виде пара, т. е. происходит частичная дегидратация природного двухводного гипса с образованием полуводного сульфата кальция по реакции:



В зависимости от технологии изготовления получают две модификации строительного полуводного гипса:  $\alpha$ -полугидрат с гладким рельефом поверхности кристаллов, обеспечивающей плотную упаковку, и  $\beta$ -полугидрат с очень рыхлой упаковкой и шероховатым рельефом поверхности, обуславливающими большое количество капилляров.

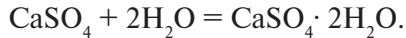
**Ангидритовое вяжущее** преимущественно состоит из нерастворимого безводного сульфата кальция ( $\text{CaSO}_4$ ), получаемого из природного ангидрита без какой-либо температурной обработки или обжигом гипсового камня при более высокой температуре 600–800 °С, при которой полностью завершается дегидратация двухводного гипса по уравнению:



При твердении строительного полуводного гипса происходит обратная реакция — присоединение воды с образованием двухводного сульфата кальция (гидратация) по уравнению:



Отличие скорости твердения ангидритового вяжущего от полуводного гидрата объясняется другим исходным продуктом и его низкой реакционной способностью взаимодействия с водой по уравнению:



Гипсовые вяжущие материалы в области строительства применяют: в качестве основы при изготовлении отделочных и декоративных интерьерных растворов, при производстве перегородочных блоков, гипсокартонных и гипсоволокнистых листов, строительных деталей и декоративных элементов.

Произведенные в Российской Федерации гипсовые вяжущие должны соответствовать требованиям ГОСТ 125–79 «Вяжущие гипсовые. Технические условия», в соответствии с которым их по прочности на сжатие разделяют на марки (табл. 10).

Таблица 10

### Марки гипсового вяжущего

Марка вяжущего	Предел прочности образцов-балочек размерами 40x40x160 мм в возрасте 2 ч, МПа (кг/см <sup>2</sup> ), не менее	
	при сжатии	при изгибе
Г–2	2 (20)	1,2 (12)
Г–3	3 (30)	1,8 (18)
Г–4	4 (40)	2,0 (20)
Г–5	5 (50)	2, (25)
Г–6	6 (60)	3,0 (30)
Г–7	7 (70)	3,5 (35)
Г–10	10 (100)	4,5 (45)
Г–13	13 (130)	5,5 (55)
Г–16	16 (160)	6,0 (60)
Г–19	19 (190)	6,5 (65)
Г–22	22 (220)	7,0 (70)
Г–25	25 (250)	8,0 (80)

## 14.2. Воздушная известь

**Воздушной известью** называют продукт высокотемпературного обжига кальциевых или кальциево-магниевого карбонатных горных пород (различных видов известняков, мела, доломита, мрамора), который состоит в основном из оксида кальция. Обжиг извести проводят при температуре до 1300 °С в шахтных или вращающихся печах. К сырью для изготовления воздушной извести предъявляют требования по химическому составу. Преобладающим компонентом горных пород должен быть карбонат кальция, что характерно для осадочных пород, образовавшихся в результате биогенеза доисторических животных. Характерными примесями в карбонатных породах являются механические примеси глины, песка, а также карбонаты магния. По содержанию оксида магния воздушную известь подразделяют на несколько видов: кальциевая содержит оксида магния не более 5%, в магнезиальной содержание MgO не превышает 20%, а в доломитовой — 40%.

На производстве в процессе обжига карбонатных пород преимущественно происходит процесс декарбонизации, т. е. разложение молекул карбонатов на оксид кальция (или магния) и диоксид углерода CO<sub>2</sub>, который в газообразном виде выделяется в окружающую среду. Температура реакции диссоциации карбонатов кальция и магния различается. При более низких температурах 650–750 °С начинается термическое разложение карбоната магния с поглощением тепла  $\Delta H = 101,74$  кДж/моль по уравнению:



Реакция разложения карбонатов кальция начинается при более высокой температуре около 1000 °С и полностью завершается при 1300 °С с поглощением большего количества те-



пла  $\Delta H = 177,90$  кДж/моль и образованием оксидов по уравнению [3]:



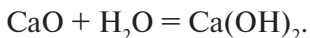
В результате обжига из печей выходит готовый продукт в кусковом (комовом) виде, который представляет собой пористый материал, состоящий из мелких кристаллов (от 0,5 до 2 мкм) оксида кальция с примесями оксида магния. Макроструктурное строение комовой извести предопределяет высокую реакционную способность при взаимодействии с водой. Существует два способа переработки крупнозернистого продукта в порошкообразное вяжущее: при механическом способе производят тонкий размол в шаровых мельницах с получением молотой негашеной извести, а в случае воздействия на продукт воды в процессе гидратации образуется несколько видов гидратной (гашеной) извести.

**Негашеная комовая известь** является смесью кусков различной величины, получаемой грубым дроблением продукта обжига. В химическом составе преобладает CaO, а также оксид магния. В примесном количестве возможно присутствие карбоната кальция, не прошедшего декарбонизацию, различные соединения кальция и магния (силикаты, алюминаты и ферриты), получаемые при взаимодействии компонентов глины, кварцевого песка с оксидами кальция и магния.

**Негашеная молотая известь** по химическому составу соответствует комовой извести и представляет собой продукт тонкого измельчения комовой извести. Помол необходимо проводить в сухих условиях для предотвращения возможности частичного или полного гашения извести. Таким образом, негашеная комовая известь отличается от молотой только гранулометрическим составом.

**Гашение извести** — это технологический процесс гидратации негашеной извести (зачастую комовой) с целью получе-

ния других видов воздушной строительной извести, состоящих из тонкодисперсного гидроксида кальция. При гашении вода активно впитывается кусками комовой извести, распределяясь в порах, и одновременно активно начинается химическое взаимодействие с оксидами кальция и примесями магния с образованием соответствующих гидроксидов. В процессе гашения комков наблюдают самопроизвольный их распад на тонкодисперсные частицы. При гидратации извести выделяется большое количество тепла  $\Delta H = -66,90$  кДж/моль и протекает следующая химическая реакция:



Данную реакцию необходимо контролировать, т.к. количества выделяющегося тепла достаточно для кипения воды или возгорания древесины и материалов из нее. Случайное начало реакции, например, при образовании протечек атмосферных осадков в местах хранения негашеной извести, может привести к образованию цепной реакции, приводящей к химическому пожару в сооружениях хранилища. В зависимости от объема воды, участвующей в гашении, получают порошкообразную известь-пушонку, известковое тесто или молоко. По соотношению для химической реакции гидратации количество воды, необходимое для полного протекания процесса, составляет 30 % от количества оксида кальция. На практике воды требуется в 2–3 раза больше (до 80 %), потому что параллельно протекает процесс испарения воды с поверхности комка извести за счет большого выделения тепла во время химической реакции.

**Гидратная известь (пушонка)** — это высокодисперсный сухой порошок, состоящий преимущественно из  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , который изготавливают при гашении негашеной комовой или молотой извести путем добавления небольшого количества воды, обеспечивающего только переход оксидов кальция и магния в их гидраты с увеличением объема от первоначального в 2–3 раза.

**Известковое тесто** — это продукт контролируемой гидратации комовой извести, состоящий преимущественно из  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и представляющий собой дисперсию данного гидроксида в воде. Выдержанное известковое тесто получают в виде пастообразной концентрированной смеси с плотностью примерно  $1400 \text{ кг/м}^3$ , содержащей суммарно около 50–55 % гидроксидов кальция и магния, а также 45–50 % воды.

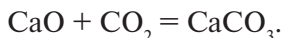
Важным показателем качества воздушной строительной извести является выход теста, который определяют объемом (в литрах) известкового теста, получаемого при гашении одного килограмма комовой извести. Высококачественные сорта извести (их называют жирными) быстро гасятся с большим выделением тепла с получением более пластичного теста и имеют выход теста 2,5–3,5 л. У низких сортов извести (тощая известь) процесс гидратации происходит медленно с образованием менее пластичного теста с наличием зерен оксида кальция, не распавшихся при гашении.

**Известковое молоко** имеет вид жидкости белого цвета и представляет собой суспензию плотностью менее  $1300 \text{ кг/м}^3$ , в которой гидроксид кальция находится в основном во взвешенном и частично в растворенном состоянии. Получают в результате разбавления известкового теста водой.

**Твердение извести** происходит за счет двух параллельных процессов:

— сначала происходит более быстрый процесс кристаллизации из коллоидного раствора гидроксида кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  с одновременным испарением излишков воды;

— происходит в течение многих лет процесс карбонизации (присоединения к гидроксиду кальция диоксида углерода) с поглощением углекислого газа из воздуха с образованием карбоната кальция по реакции:



Строительную известь применяют в строительстве уже несколько тысячелетий: изготавливают вяжущие материалы, строительные растворы и бетоны на их основе, а также другие искусственные каменные материалы.

### 14.3. Магнезиальные вяжущие материалы

К магнезиальным вяжущим относят каустический магнезит, каустический доломит и доломитовый цемент. Это воздушные вяжущие. Сырьем для них являются природные магнезит  $MgCO_3$  и доломит  $MgCO_3 \cdot CaCO_3$ . Для получения продукта сырьевые материалы дробят, обжигают и подвергают тонкому помолу. Обжиг ведут в шахтных или вращающихся печах при температуре 750–800 °С (во вращающихся печах до 1000 °С) до полного разложения  $MgCO_3$  на  $MgO$  и  $CO_2$  с удалением последнего.

**Каустический магнезит** — порошок, состоящий, в основном, из оксида магния. Он получается помолом магнезита, обожженного при температуре 600–800 °С. В процессе обжига происходит разложение магнезита:

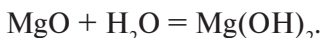


$MgO$  очень чувствителен к обжигу. При температуре обжига выше 800 °С оксид магния теряет свои вяжущие свойства. Имеет предел прочности при сжатии 40–60 МПа, достигая иногда до 100 МПа.

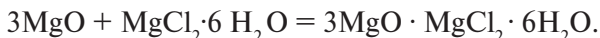
**Каустический доломит** — порошок, состоящий из оксида магния и карбоната кальция. Он получается обжигом доломита при более низких температурах 600–700 °С (так как при повышении температуры обжига начинает разлагаться и  $CaCO_3$  с образованием извести) с последующим помолом в тонкий порошок. Каустический доломит должен содержать не менее 15 %  $MgO$  и не более 2,5 %  $CaO$ .

**Доломитовый цемент** — порошок, состоящий из оксида магния, оксида кальция и карбоната кальция. Он получается обжигом доломита при температуре 900–950 °С с последующим помолом в тонкий порошок.

**Процесс гидратации.** Магнезиальные вяжущие при затворении водой твердеют медленно, достигая небольшой твердости (начало схватывания наступает не позднее 20 мин, а конец — не позднее 6 ч). Поэтому их затворяют не водой, а растворами солей  $MgCl_2$  или  $MgSO_4$ . Водный раствор хлорида магния содержит 62–67 %  $MgO$  и 33–38 %  $MgCl_2$ . Второй распространенный затворитель — водный раствор сульфата магния  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ , где 80–84 %  $MgO$  и 16–20 %  $MgSO_4$ . С одной стороны, затворение растворами солей повышает растворимость  $MgO$  в воде. Реакция гидратации протекает следующим образом:



С другой стороны, оксид магния взаимодействует с хлоридом магния, что приводит к образованию нерастворимого гидроксохлорида магния:



При использовании в качестве затворителя раствора  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  образуется комплексная многоводная соль определенного состава  $4MgSO_4 \cdot 3Mg(OH)_2 \cdot 15H_2O$  по реакции:



#### 14.4. Растворимое (жидкое) стекло

Для производства растворимого стекла сырьем служат в основном чистый кварцевый песок и кальцинированная сода или сернокислый натрий, значительно реже вторым компонентом является поташ.

Тщательно перемешанную сырьевую смесь расплавляют в стекловаренных печах при температуре 1300–1400 °С, а затем стекломассу выгружают в вагонетки. При быстром охлаждении она твердеет и раскалывается на куски, именуемые силикат-глыбой. Лучше всего растворять силикат-глыбу в автоклавах при давлении 0,6–0,7 МПа и температуре 150 °С, превращая ее в сиропобразную жидкость. Жидкое (растворимое) стекло применяют для производства кислотоупорных цементов, жароупорных бетонов, силикатных красок и обмазок, для пропитки (силикатизации) грунтовых оснований.

---

## 15. ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ

**Портландцемент** — гидравлическое вяжущее вещество с преобладанием в составе силикатов кальция (суммарное содержание 70–80 %), получаемое совместным тонким измельчением клинкера и двуводного гипса в количестве 3–5 % от массы клинкера [3].

Промышленно изготавливаемый портландцемент должен соответствовать требованиям ГОСТ 31108–2003 «Цементы общестроительные. Технические условия», который распространяет свое действие на цементы общестроительные, изготовленные на основе портландцементного клинкера, и устанавливает требования к свойствам цемента и содержанию компонентов этих цемента.

По вещественному составу цементы подразделяют на пять типов: ЦЕМ I — портландцемент; ЦЕМ II — портландцемент с минеральными добавками; ЦЕМ III — шлакопортландцемент; ЦЕМ IV — пуццолановый цемент; ЦЕМ V — композиционный цемент.

По пределу прочности на сжатие при твердении в нормальных условиях (влажность  $95 \pm 5\%$ , температура  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ) в течение 28 суток цементы подразделяют на классы: 22,5; 32,5; 42,5; 52,5 (табл. 11). По скорости твердения, оцениваемой по прочности на сжатие в возрасте 2 или 7 суток, каждый класс цемента (кроме 22,5) дополнительно подразделяют на два подкласса: Н (нормальнотвердеющий) и Б (быстротвердеющий).

Таблица 11

## Характеристика портландцемента

Класс прочности цемента	Прочность на сжатие, МПа, в возрасте				Начало схватывания, мин, не ранее	Равномерность изменения объема (расширение), мм, не более
	2 сут не менее	7 сут не менее	28 сут			
			не менее	не более		
22,5Н	—	11	22,5	42,5	75	10
32,5Н	—	16	32,5	52,5		
32,5Б	10	—				
42,5Н	10	—	42,5	62,5	60	
42,5Б	20	—				
52,5Н	20	—	52,5	—	45	
52,5Б	30	—				

На сегодняшний день портландцемент является основным строительным материалом, используемым в качестве одного из главных сырьевых компонентов для производства железобетона в заводских условиях, товарных бетонов и строительных растворов, стеновых безобжиговых изделий, асбестоцементных, теплоизоляционных и других материалов.

**Плотность** затвердевшего в результате гидратации портландцементного камня 3050–3150 кг/м<sup>3</sup>, а насыпная плотность портландцемента зависит от уплотнения и в среднем составляет 1100 кг/м<sup>3</sup>.

**Тонкость помола** — параметр, по которому оперативно в производственных условиях возможно оценить удельную поверхность (поверхность зерен) портландцемента (обычно 250–300 м<sup>2</sup>/кг), которая является показателем скорости схватывания, твердения и прочности цементного камня в проектном возрасте. Тонкость помола цементов определяют остатком на сите № 008, который согласно ГОСТу не должен превышать 15 %.



**Водопо требность (нормальная густота)** портландцемента характеризуется количеством воды (в % по массе цемента), необходимым для получения цементного теста определенной стандартной (нормальной) пластичности (густоты). Нормальную густоту цементного теста измеряют с помощью прибора (пластиметра) Вика по погружению пестика, укрепленного на штанге, на определенную глубину. У произведенных в РФ цементах нормальная густота находится в пределах 21–28 % в зависимости от тонкости помола и минералогического состава, при этом снижение нормальной густоты теста свидетельствует о повышении качества цемента. По стехиометрическим соотношениям для полного протекания реакций гидратации клинкерных минералов при твердении цемента воды требуется около 18 % от массы цемента в зависимости от вида, сроков и условий твердения. Однако, нормальная густота превышает данное значение на 40–70 %, соответственно вода, не израсходованная в процессе гидратации, остается в структуре цементного камня, образуя поры, а затем испаряется из них со временем с образованием пустот, снижающих прочностные характеристики.

**Сроки схватывания** (скорость протекания реакций гидратации) проверяют, погружая иглу на приборе Вика: начало схватывания должно быть не ранее 45 минут с момента затворения, а окончание — не позднее 12 часов.

**Клинкер** — гранулированный полуфабрикат, получаемый высокотемпературным обжигом до спекания при температуре до 1450 °С тонкоизмельченной сырьевой смеси, состоящей из карбонатного (известняк или мрамор), глиноземистого (глины, мергель), кремнеземистого (кварцевый песок) и железосодержащего (отходы производства, огарки) компонентов, что обеспечивает преобладание в клинкере силикатов, алюминатов и алюмоферритов кальция (см. табл. 12).

Таблица 12

**Химический состав клинкера портландцемента, мас. %**

CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO
64–67	24–25	4–8	2–4	1–2

Для обозначения состава минералов, входящих в цемент, пользуются сочетанием соответствующих оксидов, для которых приняты их сокращения: CaO обозначают буквой С, SiO<sub>2</sub> — S, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — А, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — F, H<sub>2</sub>O — Н. При первых микроскопических исследованиях минерального состава цементного клинкера (табл. 13) трем открытым в нем минералам были присвоены названия по первым буквам латинского алфавита *a*, *b*, *c* (алит, белит, целит) [2].

Таблица 13

**Минералогический состав портландцемента**

Название соединения	Формула	Условное обозначение	Содержание в клинкере, %	Название минерала
Трехкальциевый силикат	3CaO·SiO <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> S	37–60	алит
Двухкальциевый силикат	2CaO·SiO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> S	15–37	белит
Трехкальциевый алюминат	3CaO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> A	5–15	целит
Четырехкальциевый алюмоферрит	4CaO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>4</sub> AF	10–18	—

Процесс производства портландцемента состоит из следующих основных операций: добыча сырьевых материалов; дробление, помол и усреднение состава сырьевой смеси; обжиг

сырьевой смеси и получение клинкера; совместный помол клинкера и гипсового камня.

В зависимости от способа подготовки сырьевой смеси различают следующие способы производства портландцементного клинкера: мокрый (измельчение сырьевых материалов, их перемешивание, усреднение и корректирование сырьевой смеси осуществляется при наличии воды), сухой (в сухом виде) и комбинированный (в полусухом виде). Способы выбирают в зависимости от технологических и технико-экономических факторов: свойства, однородность и влажность сырья, наличие достаточной топливной базы и другие. Каждый способ производства имеет свои достоинства и недостатки.

При **мокром способе производства** сырьевые материалы измельчают без дополнительного высушивания, а сырьевую смесь смешивают и корректируют в виде сметанообразной массы (сырьевой шлам) с влажностью 32–45%. Для мокрого способа производства цемента характерно использование мягкого глинистого и известнякового компонентов.

При измельчении глиноземистого и карбонатного сырьевых компонентов используют болтушки или мельницы самоизмельчения. Если применяемый известняк твердый, то его дробят в одну–две стадии в щековых дробилках, а затем направляют в сырьевую мельницу для совместного измельчения с другими компонентами. В мельнице происходит усреднение, гомогенизация и подбор соотношения компонентов, соответствующих требуемому химическому составу клинкера. Выходящий из мельниц сырьевой шлам насосами подают в расходный бак перед обжигом, откуда он впоследствии равномерно сливается в длинную вращающуюся печь со встроенными теплообменными устройствами.

После обжига во вращающейся печи клинкер охлаждают холодным воздухом в специальном холодильнике, после чего охлажденный клинкер отправляют на клинкерный склад, с ко-

того по мере необходимости его транспортируют на совместный помол в цементных мельницах с гипсовым камнем, шлаком и необходимыми гидравлическими и другими добавками.

Готовый продукт — измельченный портландцемент из мельницы транспортируют на silosный склад (цементные вертикальные силосы), откуда его отгружают конечному потребителю в таре (бумажных мешках по 50 кг или полипропиленовых биг-бэгах по 1 тонне), в специальных железнодорожных вагонах либо в автоцементовозах.

При сухом способе производства портландцемента выбор параметров технологического оборудования также напрямую зависит от физических и химических свойств сырья (рис. 5), а укрупненная технологическая схема состоит из следующих операций:

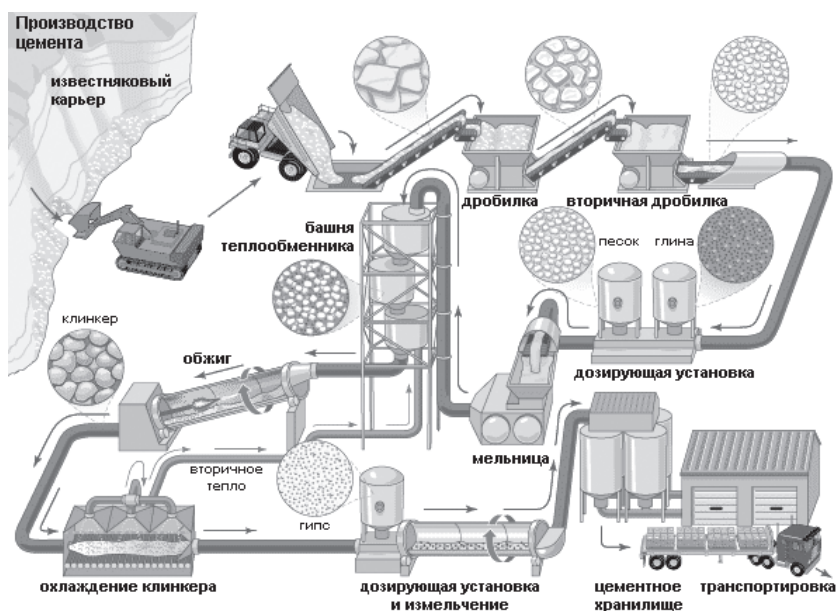


Рис. 5. Принципиальная схема производства портландцемента [4]

1. После отдельного крупного дробления известняк и глину сушат выходящими из печи газами до влажности не более 1% и одновременно измельчают в сырьевой сепараторной мельнице до состояния муки. Также в сырьевую мельницу подают дозированно остальные компоненты смеси.

2. Готовую сырьевую муку с определенным требуемым химическим составом корректируют, гомогенизируют и хранят в специальных сырьевых силосах, причем в разных емкостях состав незначительно отличается по титру (содержанию  $\text{CaCO}_3$ ) для возможности регулирования технологического процесса обжига.

3. Из силосов сырьевая смесь поступает в систему многоступенчатых вертикально расположенных циклонных теплообменников, в которых за время пребывания 25–30 с происходит первичная высокотемпературная обработка, нагрев смеси отходящими из вращающейся печи газами до температуры более 1100 °С и протекание части химических реакций. После этого подготовленный материал поступает в короткую вращающуюся печь, где происходит его спекание при температуре до 1450 °С, и завершаются необходимые химические реакции. Дальнейшие операции (охлаждение и хранение клинкера, совместный помол с получением портландцемента) аналогичны мокрому способу.

При **комбинированном способе производства** сырьевую смесь получают по мокрому способу производства в виде шлама, который затем для экономии затрат тепла на обжиг клинкера подвергают обезвоживанию и грануляции и в таком виде обжигают в печах сухого способа производства. Особенности технологических операций и их последовательность при комбинированном способе следующие:

— сырьевой шлам на выходе из мельницы имеет влажность 35–40% и после корректировки поступает для обезвоживания до влажности 16–20% в вакуум-фильтр или пресс-фильтр;

— на выходе «сухарь» смешивают с пылью из электрофильтров и дымовых газов печи для предотвращения слипания кусков «сухаря» и дополнительного снижения его влажности до 12–14 %;

— брикетированную смесь обжигают во вращающихся печах сухого способа производства;

— остальные производственные операции по изготовлению портландцемента аналогичны соответствующим операциям при других способах производства.

---

## 16. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ЦЕМЕНТОВ

**Декоративные портландцементы** — это белый и цветной портландцементы. Их применяют в архитектурно-отделочных работах. Белые и цветные портландцементы выпускаются двух марок: 400 и 500.

Для **производства белого портландцемента** по ГОСТ 965–89 используют чистые известняки, каолиновые глины, в результате чего получают клинкер белого цвета, который дополнительно отбеливают резким охлаждением после обжига. Помол производят фарфоровыми шарами в специально футерованных мельницах, исключающих попадание в цемент оксидов железа. Возможно добавление минеральных пластифицирующих (маркировка ПЛ) и гидрофобных добавок (маркировка ГФ), а также активных и инертных добавок не более 20 % (маркировка Д20), не снижающих белизну цемента. По степени белизны цементы разделяются на три сорта: 1, 2 и 3.

**Цветной портландцемент** может быть желтым, розовым, красным, коричневым, голубым, зеленым, черным. Его получают либо совместным помолом клинкера белого портландцемента со свето- и щелочестойкими добавками (суриком, ультрамаринном и др.), либо по специальной технологии, по которой получение необходимого цвета достигается подбором исходного

сырья. Последний способ позволяет получить цементы редких цветов (синие, зеленые, бирюзовые) и более устойчивые.

**Быстротвердеющий портландцемент (БТЦ)** — это портландцемент с минеральными добавками, который отличается интенсивным нарастанием прочности в первый период твердения. Повышенная механическая прочность БТЦ достигается надлежащим подбором минералогического состава клинкерной марки БТЦ 400 и 500. Для этого вида цемента нормируется прочность не только в 28-суточном возрасте, но и в 2-суточном. БТЦ предназначен для изготовления железобетонных конструкций и изделий в заводских полигонных условиях, а также для скоростного строительства. Применение БТЦ дает возможность отказаться от тепловлажностной обработки бетона.

**Тампонажные портландцементы** предназначены для тампонирувания нефтяных и газовых скважин с целью их изоляции от грунтовых вод. К тампонажным цементам предъявляются жесткие технические требования: высокая текучесть, независимость от температуры и давления, конкретные, в зависимости от давления и температуры, сроки схватывания, прочность затвердевшего цементного раствора в ранние сроки, обеспечивающая закрепление колонны труб в стволе скважины. Сроки схватывания не ранее 2 часов и не позднее 10 часов.

Технология производства **вяжущих низкой водопотребности (ВНВ)** базируется на тонком измельчении портландцемента с повышенными дозами сухого суперпластификатора. Это вяжущее имеет низкую нормальную плотность цементного теста (в среднем 18 %). Производят марки ВНВ—100, ВНВ—50, ВНВ—30. Использование ВНВ—100 позволяет получить бетоны прочностью 100 МПа и выше, а ВНВ—50 экономить значительное количество портландцементного клинкера (до 45 %).

Для получения **гидрофобного портландцемента** при помоле добавляют (не более 0,3 % от массы цемента) асидол, асидол-мылонафт, мылонафт, олеиновую кислоту или окислен-



ный петролатум. Эти материалы образуют на поверхности цементных зерен водоотталкивающие (гидрофобные) пленки, которые препятствуют смачиванию зерен цемента водой. Такие цементы могут длительно храниться в неблагоприятных условиях, не теряя своих свойств. В процессе перемешивания гидрофобные пленки сдираются и проявляются при этом пластифицирующие свойства, вовлекая в смесь большое количество мелких пузырьков воздуха. Аналогично пластифицированному цементу процесс твердения, особенно в ранние сроки, замедлен. Растворы и бетоны на гидрофобных цементах имеют меньшую водопроницаемость, большую морозостойкость, а следовательно, и долговечность. Гидрофобный портландцемент выпускают марок 300 и 400.

Основное достоинство **расширяющихся цементов** — отсутствие усадки в процессе твердения. Все вяжущие вещества, за исключением гипсового, при твердении уменьшаются в объеме, это нередко приводит к появлению трещин, к уменьшению водонепроницаемости и долговечности. Расширяющиеся цементы используются в ремонтных работах для заделки трещин, щелей, бетонирования, для зачеканки швов, производства гидроизоляционных штукатурок, расширяющихся и безусадочных бетонов и растворов. Расширяющийся портландцемент получают совместным помолом 58–65 % портландцементного клинкера, 5–7 % высокоглиноземистого шлака, 7–10 % двухводного гипса и 23–28 % активной минеральной добавки. Его выпускают марок М400, М500, М600. Линейное расширение образцов цементного камня через сутки твердения должно быть не менее 0,15 %, а через 28 суток — не менее 0,2 % и не более 2 %.

**Напрягающий цемент** создан советскими учеными на основе способности цементов с большим содержанием алюминатной составляющей к увеличению объема при твердении. В процессе расширения этот цемент создает в арматуре предварительное

напряжение. В зависимости от усилий, возникающих в бетоне при использовании таких цементов, различают три разновидности напрягающих цементов: НЦ–2, НЦ–4, НЦ–6. Начало схватывания этих цементов не ранее 30 мин, конец — не позднее 4 ч. Прочность через сутки — не менее 15 МПа, через 28 суток — 50 МПа. Используются в сооружениях, где требуется повышенная газо-, паро-, водонепроницаемость.

**Шлакопортландцемент (ШПЦ)** получают совместным помолом портландцементного клинкера, гипса и гранулированного доменного шлака в количестве не менее 21 % и не более 60 %. Чем больше шлака, тем меньше активность цемента. По сравнению с портландцементом ШПЦ характеризуется замедленным нарастанием прочности в ранние сроки, в дальнейшем скорость твердения повышается и к 6–12 месяцам его прочность приближается к прочности портландцемента. ШПЦ имеет низкую экзотермию и повышенную устойчивость к агрессивному воздействию. Используют при гидротехническом строительстве, в строительстве портовых сооружений. Не рекомендуется применять ШПЦ для конструкций, подвергающихся попеременному замораживанию и таянию, а также при пониженных температурах.

**Пуццолановый портландцемент** — гидравлическое вяжущее вещество, получаемое совместным помолом цементного клинкера, гипса и активной минеральной добавки. Активные минеральные добавки — это природные или искусственные вещества, которые при смешивании в тонкомолотом виде с известью придают ей свойства гидравлического вяжущего. Они бывают вулканического (пеплы, туфы, витрофиры, трассы) и осадочного (диатомиты, трепелы, опоки, глиежи) происхождения. В качестве искусственных добавок используются доменные гранулированные и топливные шлаки, нефелиновый шлак, зола–унос.

Содержание в пуццолановом портландцементе активных добавок вулканического происхождения или топливной золы

составляет 25–40 %, а добавок осадочного происхождения — 20–30 %. Введенная добавка увеличивает водопотребность цемента, что приводит к ухудшению морозостойкости и увеличению расхода цемента. Процесс твердения замедляется, особенно в начальный период. С другой стороны, добавка, связывая свободный гидроксид кальция, придает цементному камню большую коррозионную стойкость, особенно водо- и сульфатостойкость. Поэтому пуццолановые цементы весьма эффективно использовать при возведении подводных и подземных сооружений. Хорошая эффективность достигается при использовании таких цементов в заводских условиях, где изделия подвергаются тепловлажностной обработке. Цемент выпускается двух марок — 300 и 400.

**Гипсоцементно-пуццолановые вяжущие вещества (ГЦПВ)** обладают гидравлическими свойствами и способностью быстро твердеть. Так, бетоны на ГЦПВ, приготовленные с использованием высокопрочного гипса, достигают предела прочности при сжатии после 2–3 ч твердения 9,4–14,7 МПа, а через 7–15 суток нормального твердения — 30–40 МПа. ГЦПВ широко применяют для изготовления различных строительных конструкций (панелей, стен ванных комнат, санкабин) и в строительстве малоэтажных зданий, особенно в сельской местности.

**Известково-шлаковое вяжущее** (изготавливают марок 50, 100, 150, 200) — гидравлическое вяжущее вещество, получаемое при совместном помоле или (что хуже) тщательном смешении в сухом виде тонкомолотых гранулированного доменного шлака и извести. Для регулирования сроков схватывания допускается добавка гипса до 5 %. Известково-шлаковое вяжущее — медленно схватывающееся и медленно твердеющее вяжущее вещество. Используют в растворах и бетонах при строительстве ответственных сооружений, не подвергающихся суровым климатическим воздействиям.

**Глиноземистый цемент** по прочности разделяют на марки 400, 500 и 600, определяемые по результатам испытаний на сжатие половинок призм размером  $4 \times 4 \times 16$  см, изготовленных из малопластичного цементно-песчаного раствора 1 : 3 и испытанных через 3 суток нормального твердения. Через 1 сутки твердения цемент достигает 80–90 % трехсуточной прочности.

Для твердения глиноземистого цемента наиболее благоприятны водные условия. Как воздушное, так и комбинированное воздушно–влажное хранение сопровождается значительным падением прочности бетонов на этом цементе в отдаленные сроки твердения (на 50–60 % через 10–20 лет). Прочность снижается иногда и в первый месяц твердения. По ГОСТ 969–77 не допускается снижение прочности на растяжение образцов 28-суточного возраста по сравнению с прочностью образцов трехсуточного возраста более чем на 10 %. При пониженных температурах (от +5 до –10 °С) глиноземистый цемент твердеет достаточно интенсивно вследствие значительного выделения теплоты.

Бетоны на глиноземистом цементе хорошо сопротивляются действию температур до 1200–1400 °С и выше. В этом случае не возникают разрушающие деформации (как у бетонов на портландцементе) при увлажнении их после воздействия высоких температур. Это объясняется тем, что в глиноземистом цементе нет гидроксида кальция, который, присутствуя в затвердевшем портландцементе, при нагревании до 500 °С и выше переходит в СаО, гидратирующийся при повторном увлажнении, увеличиваясь в объеме и разрушая цементный камень.

Широко применяется данный цемент при изготовлении жароупорных бетонов и различных видов расширяющихся цементов, а также при выполнении аварийных и ремонтных работ. Недопустимо его применение в бетонных конструкциях, подвергающихся щелочной агрессии. Выпускается глиноземистый цемент следующих видов:

Цемент глиноземистый марок ГЦ–40, ГЦ–50, ГЦ–60.

Цемент высокоглиноземистый марок ВГЦ–I, ВГЦ–II, ВГЦ–III.

Цемент высокоглиноземистый коррозионно–стойкий марки ВГКЦ–75–01.

**Транспортирование и хранение вяжущих материалов.** Вяжущие материалы отгружают в клапанных бумажных мешках или навалом в специальных транспортных средствах. Цементы должны храниться отдельно по видам и маркам в стационарных или передвижных автоматизированных складах (силосах), или в специальных контейнерах или бункерах. В паспорте на цемент, который выдает завод-изготовитель, указывается номер партии, полное наименование цемента и его гарантированная марка, вид и количество добавок, нормальная густота цементного теста, средняя активность цемента при пропаривании и другие данные.

---

# 17. МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ

## 17.1. Строительные растворы

**Строительные растворы** — это мелкозернистые тщательно отдозированные смеси, состоящие из неорганических вяжущих веществ (цемента, извести, гипса, глины), мелкого заполнителя (песка, дробленого шлака, отсева дробления), воды и в необходимых случаях добавок (неорганических или органических). В свежеприготовленном состоянии их можно укладывать на основание тонким слоем, заполняя все его неровности.

Основные качественные характеристики незатвердевших растворов смесей: средняя плотность, подвижность, водоудерживающая способность (устойчивость к расслаиванию), требуемые сроки схватывания, условия применения (температура и влажность). У затвердевшего растворного композита определяют прочность на сжатие в проектном (марка) и промежуточных сроках твердения, морозостойкость и среднюю плотность камня.

Строительные растворы классифицируют по ряду свойств.

1. По средней плотности растворы подразделяют на тяжелые (более  $1800 \text{ кг/м}^3$ ) и легкие (менее  $1800 \text{ кг/м}^3$ ).

2. В случае использования одного вяжущего раствора называют простыми, а по виду бывают известковые, глиняные, гипсовые, цементные. При применении нескольких вяжущих растворы называют сложными (смешанными): известково-цементные, известково-гипсовые, цементно-глиняные. Состав растворов выражают двумя или тремя числами, показывающими соотношение массы вяжущего и заполнителя. В случае смешанных растворов первое число — массовая доля основного вяжущего вещества (принимают за единицу), а второе и третье — доли дополнительного вяжущего и заполнителя соответственно по отношению к основному вяжущему. Состав известково-цементного раствора 1 : 1 : 9 означает, что на одну часть извести в растворе надо взять одну часть цемента и девять частей песка. Дополнительно в цементные растворы вводят мел или гидратную известь, что предохраняет раствор от растрескивания при твердении и снижает его стоимость.

3. В зависимости от соотношения вяжущего вещества и заполнителя растворы делят на жирные — с большим содержанием вяжущего, нормальные — с обычным содержанием и тощие малопластичные — с относительно небольшим количеством вяжущего.

4. В зависимости от условий твердения растворы подразделяют на воздушные, твердеющие в воздушно-сухих условиях (например, известковые, гипсовые, глиняные), и гидравлические — отвердевающие на воздухе, воде или во влажных условиях.

5. По назначению растворы подразделяют на гидроизоляционные, акустические, кладочные, штукатурные и другие.

**Кладочные строительные растворы** используют при кладке колонн, каменных внутренних и наружных стен, подвалов, частей фундаментов и подземных сооружений, а производят в промышленных условиях в соответствии с требованиями ГОСТ 28013—98 «Растворы строительные. Общие технические условия». Наиболее распространены в современных условиях цементные или

сложные цементно-известковые, изредка применяют для кладки элементов печей и каминов цементно-глиняные, а для специального строительства — известковые растворы.

**Отделочные (штукатурные) растворы** должны соответствовать требованиям того же ГОСТ 28013–98; применяют для выравнивания и финишной отделки стен из различных материалов (кирпич, каменные материалы, бетон и другие). По возможной области эксплуатации дополнительно подразделяют на наружные и внутренние для применения снаружи здания или внутри.

**Гидроизоляционные растворы** предназначены для повышения водонепроницаемости различных видов конструкций и обычно представлены жирными растворами на портландцементе (или сульфатостойком портландцементе) с мелким кварцевым песком и с добавлением наполнителей (цезезит, алюминат натрия, нитрат кальция, хлористое железо) или битумной эмульсии. Цезезит — это белого или желтого цвета порошкообразный отход производства анилиновой кислоты, при добавлении в растворы заполняет мелкие поры, что приводит к увеличению плотности раствора и повышению водонепроницаемости.

**Акустические растворы** в отличие от гидроизоляционных изготавливают с низкой плотностью за счет высокой пористости (или легкого пористого заполнителя — пемзы, перлита, керамзита, шлака), что придает им после затвердевания хорошую звукоизоляцию.

## 17.2. Сухие строительные смеси

**Сухая строительная смесь (ССС)** представляет собой тщательно приготовленную в заводских условиях смесь минерального и (или) полимерного вяжущего, крупного или мелкого



заполнителей, при необходимости наполнителя и полимерных модифицирующих добавок.

В качестве вяжущих в смесях используют чаще всего рядовой портландцемент или разновидности, различные виды гипсовых вяжущих, изредка в качестве вспомогательного вяжущего — известь-пушонку. Наполнители используют в большинстве случаев мелкие: кварцевый речной или овражный мытый песок определенного фракционного состава без содержания органических и других примесей. Применяемые модифицирующие добавки ускоряют твердение смеси, увеличивают пористость, позволяют применять ССС при отрицательных температурах, окрашивают или придают гидрофобизирующие свойства. Сухие строительные смеси обычно классифицируют в соответствии с ГОСТ 31189–2015 «Смеси сухие строительные. Классификация» по ряду признаков.

**1. По условиям применения** ССС могут быть разделены на используемые для внутренних и для наружных работ (в основном фасадных).

**2. По наибольшей крупности зерен заполнителей ( $D_{\text{макс}}$ )** ССС подразделяют на бетонные (с заполнителем более 5 мм) и растворные (крупнозернистые с заполнителем до 5 мм, мелкозернистые — до 1,25 мм и тонкодисперсные — до 0,2 мм).

**3. По виду вяжущего вещества** ССС могут быть отнесены к одному из трех видов: цементные, гипсовые, известковые, магнезиальные, полимерные и смешанные (содержат композиции минеральных вяжущих веществ и высокомолекулярных органических соединений, например полимерцементные, полимерсиликатные, гипсополимерные).

**4. По способу нанесения** ССС бывают ручного и механизированного нанесения.

**5. По функциональному назначению** ССС могут быть разделены на следующие группы:

— кладочные толстослойные (для растворных швов более 5 мм) и тонкослойные (швы не более 5 мм);

— штукатурные особо тяжелые (имеющие среднюю плотность более  $2300 \text{ кг/м}^3$ ), тяжелые (плотностью  $1300\text{--}2300 \text{ кг/м}^3$ ) и легкие (плотностью менее  $1300 \text{ кг/м}^3$ );

— шпаклевочные выравнивающие или финишные;

— клеевые для укладки облицовочных материалов (в основном кафельной плитки) и листовых материалов (гипсокартонных, гипсоволокнистых, стекломagneйевых и других);

— затирочные предназначены для затирки узких (до 6 мм) и широких (более 6 мм) швов между облицовочными материалами;

— напольные для устройства стяжек, выравнивающих слоев и финишных покрытий, разделяемые на выравниваемые и самовыравнивающиеся;

— ремонтные бывают поверхностно-восстановительные, объемно-восстановительные конструкционные и инъекционные;

— изоляционные разделяют на гидроизоляционные (поверхностные, инъекционные и проникающие), тепло-, звукоизоляционные (теплоизоляционные со средней плотностью менее  $500 \text{ кг/м}^3$ , теплоизоляционно-конструкционные — более  $500 \text{ кг/м}^3$ , звукоизоляционные);

— специальные защитные (огнезащитные, огнеупорные и жаростойкие, ингибирующие, коррозионно-защитные, радиационно-защитные и биоцидные), реставрационные (обеспечивают аутентичность состава, соответствие механическим свойствам и внешнему виду реставрируемого объекта) и saniрующие для устройства базового сцепляющего, выравнивающего влаго- и солеаккумулирующего или отделочного паропроницаемого слоев;

— отдельную группу составляют ССС для фасадных теплоизоляционных композиционных систем с наружными штукатурными слоями, подразделяемые на смеси для клеевого состава, армированного базового штукатурного, выравнивающего или защитно-декоративного финишного слоев.

### 17.3. Бетоны

**Бетон** — это искусственный каменный материал, получаемый в результате затвердевания бетонной смеси, состоящей из отдозированных в определенном соотношении вяжущих веществ (цементирующих), мелких (песок) и крупных (щебень или гравий) заполнителей, наполнителей (порошкообразных материалов крупностью, сопоставимой с размерами частиц вяжущего вещества и образующихся кристаллогидратов), воды и в необходимых случаях модифицирующих добавок. Бетон является основным строительным материалом, ценным возможностью изготавливать из него сборные конструкции, изделия и монолитные сооружения различной формы и назначения и придавать ему самые разнообразные свойства в широких пределах: прочность, плотность, теплопроводность. Используют этот материал во всех видах строительства: гражданское, промышленное, гидротехническое, теплоэнергетическое, дорожное и др.

Вяжущее вещество и вода являются активными компонентами бетона, образующими в результате реакций гидратации цементный камень, скрепляющий зерна заполнителей. Заполнители и наполнители могут быть неактивными и активными. Последние в смеси с вяжущим повышают прочность композита на сжатие, растяжение или сдвиг, причем активный заполнитель с одним видом вяжущего может быть неактивным при использовании другого вяжущего. В большинстве случаев заполнители (песок, гравий, щебень) инертны и не вступают в химическое взаимодействие с вяжущим и водой, а необходимы для образования жесткого каркаса бетона, уменьшения его усадки при твердении, снижения плотности и теплопроводности (пористые заполнители в легких бетонах) и уменьшения себестоимости композиционного материала. Самым простым

способом изменения требуемых свойств бетонной смеси или бетона является введение различных модифицирующих добавок, повышающих подвижность бетонной смеси, регулирующих сроки схватывания, ускоряющих или замедляющих твердение бетона на ранних или поздних этапах и улучшающих его технические и эксплуатационные свойства: морозостойкость, водонепроницаемость и др.

Бетоны классифицируют по ряду признаков, основным из которых является средняя плотность, определяющая большинство его свойств, на которую, в свою очередь, влияют плотность цементного камня, вид заполнителя и структура бетона. По плотности бетоны разделяют на пять видов:

1. Особо тяжелый (плотность выше  $2500 \text{ кг/м}^3$ ) содержит заполнители повышенной плотности: стальные опилки или зерна (сталебетон), железные руды (лимонитовый и магнетитовый бетоны) или барит (баритовый бетон).

2. Тяжелый (рядовой или обычный) бетон имеет плотность  $2100\text{--}2500 \text{ кг/м}^3$  и содержит плотные заполнители: кварцевый песок, щебень или гравий из природных каменных пород (гранит, известняк, диабаз) или техногенных отходов.

3. Облегченный имеет меньшую плотность ( $1800\text{--}2100 \text{ кг/м}^3$ ) за счет крупнопористой структуры (беспесчаный) или использования более легкого щебня из горных пород с плотностью  $1600\text{--}1900 \text{ кг/м}^3$ .

4. Легкий бетон (плотность  $1200\text{--}1800 \text{ кг/м}^3$ , чаще  $1300\text{--}1500 \text{ кг/м}^3$ ) содержит пористые заполнители (керамзит, аглопорит, вспученный шлак, пемзу или туф).

5. Особо легкий бетон (плотность меньше  $1200 \text{ кг/м}^3$ , чаще  $500\text{--}800 \text{ кг/м}^3$ ) относится к ячеистым (пенобетон, газобетон) или крупнопористым с легкими заполнителями.

Главным компонентом бетона, определяющим его свойства, является вяжущее вещество, по виду которого бетоны разделяют на ряд видов.

**1. Цементные бетоны** изготавливают на различных цементах и наиболее широко применяют в строительстве. Среди них основное место занимают бетоны на портландцементе и его разновидностях (около 65 % от всего объема производства) на шлакопортландцементе (20–25 %) и пуццолановом цементе.

К относительно редким разновидностям цементных бетонов относят декоративные бетоны (на белом и цветных цементах), бетоны для самонапряженных конструкций (на напрягающем цементе) и изготавливаемые для специальных целей (на глиноземистом и безусадочном цементах).

**2. Силикатные бетоны** готовят на основе извести, а изделия твердеют в условиях автоклава при повышенном давлении и влажности.

**3. В гипсовых бетонах** используют один из видов гипсового вяжущего, что определяет внутриквартирные воздушно–сухие условия эксплуатации данного вида бетонов для устройства внутренних перегородок, подвесных потолков и элементов отделки зданий.

**4. В шлакощелочных бетонах** в качестве вяжущего используют молотые шлаки, затворяемые щелочными растворами (например, жидким стеклом).

**5. Полимербетоны** изготавливают на различных видах полимерного связующего, основу которого составляют смолы (полиэфирные, эпоксидные, карбамидные) или мономеры (фурфуролацетоновый), отверждаемые в бетоне с помощью специальных добавок, что позволяет эксплуатировать эти бетоны в агрессивных средах и особых условиях воздействия (истирание, кавитация).

**6. Полимерцементные бетоны** получают на смешанном связующем в большинстве случаев из портландцемента и полимерного вещества (водорастворимые смолы и латексы).

**7. Специальные бетоны** готовят с применением особых вяжущих веществ: для кислотоупорных и жаростойких бетонов

применяют жидкое стекло с кремнефтористым натрием, фосфатное связующее; также применяют специальные техногенные вяжущие (шлаковые, нефелиновые и стеклощелочные).

В зависимости от назначения различают: обычный бетон для железобетонных конструкций (фундаментов, колон, балок перекрытий и мостовых конструкций); гидротехнический бетон для плотин, шлюзов, облицовки каналов, водопроводно-канализационных сооружений; бетон для ограждающих конструкций (легкий); бетон для полов, тротуаров, дорожных и аэродромных покрытий; бетоны специального назначения (жароупорный, кислотостойкий, для радиационной защиты).

Общие требования ко всем бетонным смесям следующие: до затвердевания бетонные смеси должны легко перемешиваться, транспортироваться, укладываться, не расслаиваться. Бетоны должны иметь определенную скорость твердения в соответствии с заданными сроками распалубки и ввода конструкции в эксплуатацию; расход цемента должен быть минимальным для снижения себестоимости бетона.

**Заполнители** занимают 85–90 % всего объема бетона и бывают природного происхождения, полученные при дроблении горных пород (известняков, гранитов, мраморов, диабазов), искусственно промышленно изготовленные по специальным технологиям (керамзит), а также из отходов промышленности (золы, шлаки, золошлаковые смеси).

Заполнители бывают крупные (размером от 5 до 140 мм) и мелкие (до 5 мм). Чтобы обеспечить оптимальный зерновой состав, крупный заполнитель делят на фракции. В бетоне должны находиться заполнители разных фракций, разделяемые по размерам ячеек сит — 0,14; 0,315; 0,63; 1,25; 2,5; 5; 10; 20; 40; 70 мм.

В зависимости от характера поверхности заполнители бывают с шероховатой поверхностью (щебень, дробленый песок) и с гладкой окатанной поверхностью (гравий, речной и морской песок). В зависимости от характера формы зерен запол-

нителю бывают неправильной формы и правильной формы (округлой). Форма зерен влияет на плотность бетонной смеси, а заполнители с округлой формой образуют более пластичные бетонные смеси. Зерна заполнителей пластинчатой и игловатой формы снижают прочность бетона и поэтому их содержание ограничивается ГОСТом (для крупных заполнителей).

Большое влияние на расход цемента при приготовлении бетонной смеси имеет показатель межзерновой пустотности ( $P_{м.з}$ ), особенно крупного заполнителя, которую рассчитывают по формуле:

$$P_{м.з} = \left(1 - \frac{\gamma}{\rho}\right) \cdot 100\%, \quad (21)$$

где  $\gamma$  — насыпная плотность материала, кг/м<sup>3</sup>;  
 $\rho$  — средняя плотность материала, кг/м<sup>3</sup>.

Основное требование к щебню как заполнителю — это его прочность, которую определяют пределом прочности при сжатии, а для удобства оценивают по показателю прочности — марке по дробимости (Др). Также нормативами в щебне ограничено содержание пыли и глины — не должно превышать 2%.

**Гравий** состоит из более округлых окатанных зерен размером до 120 мм. В нем могут содержаться зерна высокой прочности, например гранитные, и слабые зерна пористых известняков. Гравий обычно содержит примеси пыли, глины, иногда и органических веществ, а также песка. При большом содержании песка такой материал называют песчано—гравийной смесью, или гравелистым песком. В зависимости от происхождения различают гравий овражный (горный), речной и морской. Овражный (горный) гравий обычно загрязнен примесями, речной и морской — более чистые. Зерна морского и речного гравия вследствие истирания водой обычно имеют округлую форму, иногда со слишком гладкой поверхностью, не дающей прочного сцепления с цементным раствором, что понижа-

ет прочность бетона. Зерна овражного (горного) гравия более остроугольные. При изготовлении бетона большое значение имеет максимально допускаемая крупность гравия, определяемая размером отверстия сита, на котором полный остаток не превышает 5% общей навески. Прочность зерен гравия должна обеспечивать получение прочности бетона выше заданной на 20–50%. В гравии допускается не более 1% (по массе) глинистых, илистых и пылевидных примесей, количество которых определяют отмучиванием.

В качестве мелкого заполнителя применяют природный или искусственный песок с размером зерен менее 5 мм и истинной плотностью более 1800 кг/м<sup>3</sup>. Искусственный песок получают при отсеве дробления плотных природных горных пород для получения щебня. В зависимости от минералогического состава пески бывают полевошпатные, кварцевые, известняковые и другие. Лучшими в бетонах являются кварцевые пески. В зависимости от происхождения бывают: морские, речные (содержат мало пыли, имеют окатанную форму) и овражные (горные) пески (содержат много пыли и глины).

При оценке качества песка определяют его истинную плотность, насыпную плотность, межзерновую пустотность, влажность, гранулометрический состав и модуль крупности. В хороших песках межзерновая пустотность составляет 30–38%, в разнотернистых — 40–42%.

Фракционный состав песка должен отвечать требованиям ГОСТ 8736–2014 «Песок для строительных работ. Технические условия», который определяют путем просеивания просушенного песка через набор сит с отверстиями размером 5,0; 2,5; 1,25; 0,63; 0,315 и 0,14 мм. В результате просеивания навески песка через этот набор сит на каждом из них остается частный остаток.

**Частный остаток** ( $a_i$ ) — это отношение массы остатка материала на данном сите ( $m_i$ ) к общей массе просеянной пробы ( $M$ ) в процентах:



$$a_i = \frac{m_i}{M} \cdot 100 \%. \quad (22)$$

**Полный остаток** ( $A_i$ ) — это сумма частных остатков на данном сите и на всех ситах с большим размером отверстий (при наличии). Рассчитывают по формуле в процентах:

$$A_i = \Sigma a_i. \quad (23)$$

Величина полных остатков на ситах возрастает по мере убывания размера отверстий сетки, т. е. величина полного остатка самая малая на сите с максимальным размером отверстий и самая большая — с минимальным размером.

По результатам определения фракционного состава песка рассчитывают его модуль крупности:

$$M_k = \frac{A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16}}{100}, \quad (24)$$

где  $A_{2,5}$ ,  $A_{1,25}$ ,  $A_{0,63}$ ,  $A_{0,315}$ ,  $A_{0,16}$  — полные остатки на ситах № 2,5; 1,25; 0,63; 0,315 и 0,16 соответственно, %.

По ГОСТ 8736–2014 «Песок для строительных работ. Технические условия» по модулю крупности определяют группу песка: повышенной крупности, крупный, средний, мелкий, очень мелкий, тонкий, очень тонкий.

Пески с группой ниже средней в бетонах не рекомендуется применять, т. к. они содержат много пыли и глины, что увеличивает расход вяжущего вещества. Содержание пыли и глины определяют методом отмучивания. В соответствии с ГОСТ 8736–2014 оно не должно превышать 2–3% в зависимости от качества и происхождения песка.

При приготовлении бетонной смеси выбирают используемый вид цемента и марку в зависимости от условий работы будущей бетонной конструкции, ее назначения, способов производства работ.

**Вода затворения.** Для приготовления бетонной смеси используют обычную водопроводную воду с низким содержанием примесей (органические соединения фенолов и сахаров, жиров, масел, нефтепродуктов, взвешенных частиц пыли, глины и песка), препятствующих твердению цементного камня. Запрещается использовать для изготовления бетонной смеси сточные, производственные, или бытовые воды, болотные воды.

Введение модифицирующих добавок в бетонную смесь является простым и удобным способом повышения качества растворного камня и бетона, позволяет значительно улучшить не только их свойства, но и технические, эксплуатационные показатели. Они позволяют изменить качество бетонной смеси и самого бетона, воздействуя на удобоукладываемость, механическую прочность, морозостойкость, трещиностойкость, водостойкость, стойкость к окружающей среде, водонепроницаемость, теплопроводность.

#### **17.4. Бетонная смесь и ее свойства**

В практике производства бетонных работ для оценки свойств бетонной смеси используют технические характеристики, основными из которых являются однородность, вододерживающая способность, удобоукладываемость. Свежеприготовленная бетонная смесь должна быть хорошо перемешана до однородности, пригодна к транспортировке на место укладки с учетом погодных условий. Водоцементное отношение (В/Ц) играет значительную роль в образовании структуры бетона, определяющей прочность, водонепроницаемость и морозостойкость.

**Удобоукладываемость** — самое важное свойство, характеризующее способность бетонной смеси после уплотнения за-

полнять форму с образованием плотной, однородной массы. На удобоукладываемость бетонных смесей оказывает влияние содержание цементного теста, воды, вид цемента, крупность и форма зерен заполнителей, соотношение между крупным заполнителем и песком, чистота заполнителей и вводимые модифицирующие поверхностно—активные добавки. В зависимости от удобоукладываемости различают жесткие и подвижные бетонные смеси, а для оценки используют показатели подвижность и жесткость.

**Подвижность бетонной смеси** определяют по осадке стандартного конуса Абрамса, который изготавливают из тонкой листовой стали (см. рис. 6). Конус устанавливают на горизонтальной площадке, не впитывающей влагу. Берут пробу бетонной смеси. Конус наполняют в три приема, каждый раз уплотняя смесь 25 ударами металлического стержня—штыковки. Поверхность смеси заглаживают, затем конус снимают и устанавливают рядом. Под действием силы тяжести бетонная смесь деформируется и оседает. Разность высот металлической формы конуса и осевшей бетонной смеси, выраженная в сантиметрах, характеризует подвижность смеси и называется осадкой конуса (ОК). С помощью этого показателя оценивают подвижность пластичных бетонных смесей.

**Жесткость бетонной смеси** — это время вибрирования, необходимое для уплотнения бетонной смеси. Жесткость смесей, у которых значение  $ОК = 0$ , характеризуют показателем жесткости, определяемым на приборе вискозиметре, который представляет собой металлический цилиндр диаметром 240 мм и высотой 200 мм (см. рис. 6, б).

Цилиндр устанавливают на лабораторную виброплощадку со стандартными характеристиками: частота (50 Гц) и амплитуда колебаний 0,5 мм в ненагруженном состоянии. Затем в цилиндр вставляют стандартный конус и заполняют его бетонной смесью так же, как и при определении подвижности.

После этого конус снимают и, поворачивая штатив, опускают стальной диск 4 на бетонную смесь. Общая масса диска с шайбой и штангой составляет около 2750 г, что создает при уплотнении пригруз 0,9 кПа. Включив виброплощадку, смесь подвергают вибрации до тех пор, пока цементное тесто не начнет выделяться из всех отверстий диска. В этот момент вибратор выключают. Время, необходимое для уплотнения смеси в приборе, называют показателем жесткости бетонной смеси (Ж) и выражают в секундах.

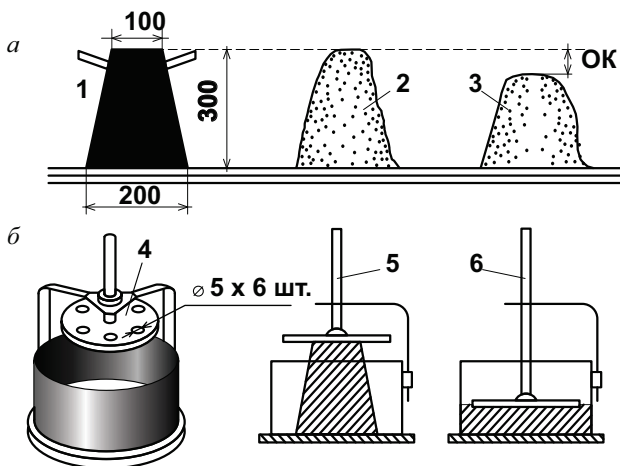


Рис. 6. Методики определения подвижности (а) и жесткости (б) бетонной смеси:

1 — конус Абрамса; 2 — жесткая бетонная смесь (OK = 0); 3 — подвижная бетонная смесь (OK > 0); 4 — прибор для определения жесткости бетонной смеси; 5, 6 — начальный и конечный моменты испытаний

Классификация бетонных смесей по подвижности приведена в ГОСТ 7473–2010 «Смеси бетонные. Технические условия» (см. табл. 14). Бетонные смеси марок Ж1–Ж4 имеют

ОК = 0, а бетонные смеси марок П2–П5 имеют показатель жесткости Ж = 0, т. к. оседают и заполняют форму без включения виброплощадки.

Таблица 14

### Классификация бетонных смесей по подвижности

Марка бетонной смеси по подвижности	Группа бетонной смеси	Показатель подвижности	
		жесткость, с	осадка конуса, см
Ж4	Жесткие	31 и более	–
Ж3		21–30	–
Ж2		11–20	–
Ж1		5–10	–
П1	Пластичные	1–4	4 и менее
П2		–	5–9
П3	Литые	–	10–15
П4		–	16–20
П5		–	21–25

## 17.5. Структура бетона

**Структура бетона** как и любого композитного материала на природных сырьевых компонентах является крайне неоднородной и отдельные объемы материала могут значительно отличаться друг от друга по свойствам (см. рис. 7). Эти различия характерны для отдельных микрообъемов цементного камня, а особенно для сыпучих каменных материалов крупного и мелкого заполнителей. Особыми свойствами обладает контактная зона — прослойки цементного камня на границе с зернами щебня или гравия, дополнительно уплотненные самим заполнителем, содержат микродефекты, зерна вяжущего, не всту-

пившего в реакцию с водой, и др., что снижает однородность материала.

Наибольшее влияние на свойства бетона оказывает плотность. С учетом количества пор и воздушных пустот в структуре бетона профессор Ю. М. Баженов предложил общепринятую классификацию макроструктуры, разделив ее на четыре типа (см. рис. 8).

**Плотная структура** практически не содержит воздушных пор (не более 5% объема), а состоит из сплошной матрицы растворного камня с прочно связанными зернами плотного крупного заполнителя. В случае, когда между зернами щебня или гравия много растворного слоя, макроструктуру называют «с плавающим заполнителем», а ее прочностные характеристики определяются растворным камнем. В противоположном случае малой толщины растворного слоя зерна крупного заполнителя контактируют между собой и при этом прочность бетона в большей степени зависит от характеристик заполнителя, а от матрицы цементного камня — в меньшей.

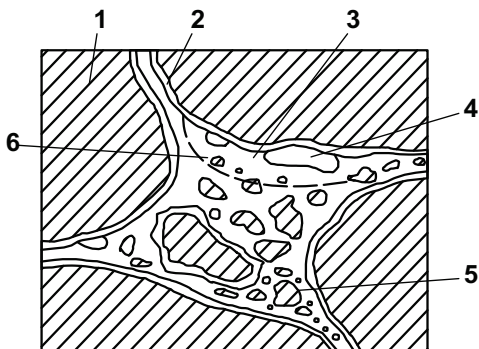


Рис. 7. Элементарная ячейка структуры бетона:

- 1 — зерна заполнителя; 2 — контактная зона; 3 — зона ослабленной структуры вследствие седиментации; 4 — воздушные пузырьки;
- 5 — зона уплотненной структуры; 6 — крупные седиментационные поры

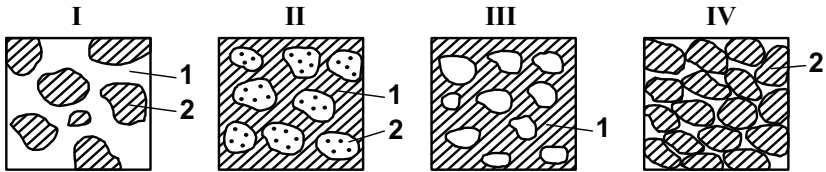


Рис. 8. Макроструктура бетонов:

- I — плотная; II — плотная с пористым заполнителем;  
 III — ячеистая; IV — зернистая  
 1 — матрица из цементного камня; 2 — заполнитель

**Структура с пористым заполнителем** состоит также из сплошной матрицы, но в нее вкраплен пористый заполнитель с шероховатой поверхностью, обеспечивающей прочное сцепление с растворной матрицей за счет проникновения цементного камня в поры и неровности заполнителя. При этом большая часть пористости является закрытой и располагается внутри заполнителя. В таком типе структуры основным определяющим прочностные характеристики фактором является прочность растворной матрицы, выступающей в системе структуры композита в качестве каркаса.

**В ячеистой структуре** замкнутые, не соединенные друг с другом поры и пустоты равномерно распределены по всему объему композита. В зависимости от содержания и размеров пустот дополнительно могут быть разделены на крупно- и мелкопористые ячеистые бетоны. В данной структуре единственный компонент, определяющий прочностные характеристики композита, — это ячеистая матрица растворного или цементного камня.

**Зернистая структура** состоит из совокупности зерен твердого материала, скрепленных между собой цементной матрицей. При этом пористость является непрерывной (поры сообщаются друг с другом по всему объему) и максимальной из всех четырех структур. Прочность и долговечность структуры определяется величиной адгезии цементного камня с заполнителем.

## 17.6. Свойства бетона

Основной определяемой характеристикой конструкционных видов бетона является прочность при сжатии или изгибе.

**Прочность при сжатии** характеризует максимальное сжимающее усилие, которое необходимо для разрушения образцов стандартных форм и размеров (кубов  $150 \times 150 \times 150$  мм), рассчитывают по формуле:

$$R_{\text{сж}} = \alpha \cdot (P/S), \quad (25)$$

где  $\alpha$  — масштабный коэффициент;

$P$  — разрушающее усилие, кН;

$S$  — площадь сечения материала, перпендикулярного прикладываемой нагрузке,  $\text{мм}^2$ .

В соответствии с требованиями ГОСТ 10180–2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам» допускается испытывать образцы-кубы других размеров, которые выбирают в зависимости от максимальной крупности примененного заполнителя, с учетом масштабного коэффициента  $\alpha$  (см. табл. 15).

**Предел прочности при изгибе** определяют при нагружении образца-призмы длиной в 4 раза больше ребра прямоугольного сечения ( $100 \times 100$ ,  $150 \times 150$ ,  $200 \times 200$ ,  $250 \times 250$  и  $300 \times 300$  мм) и рассчитывают по формуле:

$$R_{\text{изг}} = \sigma \frac{Pl}{a \cdot b^2}, \quad (26)$$

где  $\sigma$  — масштабный коэффициент (см. табл. 15);

$P$  — разрушающая нагрузка (усилие), Н;

$l$  — расстояние между осями опор, мм;

$a$  — ширина образца, мм;

$b$  — высота образца, мм.



Таблица 15

**Зависимость минимальных размеров образцов  
от наибольшей крупности заполнителя**

Показатели	Значения				
Наибольшая крупность зерен заполнителя, мм	10	20	40	70	100
Размер ребра куба или диаметра цилиндра, мм	70	100	150	200	300
Масштабный коэффициент $\alpha$	0,85	0,95	1,00	1,05	1,08
Масштабный коэффициент $\sigma$	0,86	0,92	1,00	1,15	1,25

**Марки бетона на сжатие** (M100, M200, M600) — это средний показатель предела прочности стандартных образцов бетона на сжатие ( $\text{кгс/см}^2$ ) в проектном возрасте (по умолчанию 28 суток) при твердении в нормальных условиях.

**Класс бетона на сжатие** — это предел прочности стандартных образцов бетона на сжатие (МПа), принимаемый с гарантированной обеспеченностью 0,95, т. е. обеспечивается не менее чем в 95 случаях из 100.

### 17.7. Расчет состава тяжелого бетона

Расчет состава бетонной смеси заключается в установлении наиболее рационального соотношения между составляющими бетон материалами (цементом, водой, песком, щебнем или гравием). Такое соотношение должно обеспечивать необходимую жесткость или подвижность смеси для принятого способа ее уплотнения, а также приобретение бетоном необходимой прочности в заданный срок при меньшем расходе цемента. В отдельных случаях вводят также требование о достаточной плотности, морозостойкости, водонепроницаемости и др.

Для того чтобы произвести подбор состава бетона, необходимо иметь данные о бетоне, бетонируемой конструкции и результаты испытания материалов, применяемых для бетона. В данных о бетоне указывается его прочность, которую он должен избрать к заданному сроку. Значения отпускной прочности бетона приводятся в табл. 16. По этим показателям производят пересчет прочности бетона на возраст 28 суток и устанавливают марку бетона.

Таблица 16

### Определение отпускной прочности бетона

Вид изделия	Проектная марка бетона	Отпускная прочность бетона
Панели железобетонные для перекрытий: — многопустотные — сплошные	$\geq 200$ $\geq 200$	$R_{\text{отп}} \geq 0,7 R_b$ $R_{\text{отп}} \geq 0,7 R_b$
Панели бетонные и железобетонные для внутренних стен крупнопанельных зданий	$\geq 150$	но не менее $100 \text{ кг/см}^2$
Колонны железобетонные	$\geq 200$	$R_{\text{отп}} \geq 0,5 R_b$
Плиты для дорожных покрытий	300, 350, 400	$R_{\text{отп}} \geq 0,7 R_b$
Элементы фундаментов	$\geq 150$	$R_{\text{отп}} \geq 0,5 R_b$
Сваи железобетонные	$\geq 200$	$R_{\text{отп}} = R_b$
Шпалы железобетонные	$\geq 500$	$R_{\text{отп}} = R_b$
Панели и блоки вентиляционные	$\geq 200$	$R_{\text{отп}} = 0,7 R_b$
Трубы железобетонные безнапорные	$\geq 300$	$R_{\text{отп}} \geq 0,7 R_b$
Трубы железобетонные напорные	$\geq 500$	$R_{\text{отп}} \geq 0,9 R_b$
Ригеля железобетонные	$\geq 500$	$R_{\text{отп}} \geq 0,5 R_b$

В характеристике бетонизируемой конструкции должны содержаться сведения о ее наименовании и размерах, густоте армирования, минимальном расстоянии между стержнями арматуры и способе укладки бетонной смеси. По этим данным устанавливается подвижность (жесткость) бетонной смеси и максимальная величина зерен крупного заполнителя. Подвижность бетонной смеси может быть определена из табл. 17. По густоте армирования определяют максимальную крупность заполнителя, обеспечивающего плотность укладки бетона. Максимальная крупность щебня или гравия не должна превышать наименьшего расстояния между стержнями арматуры. Кроме данных о бетоне, необходимо иметь результаты испытания материалов, входящих в состав бетона. Данные о материалах берут из паспортов завода или получают в результате испытания в лаборатории по методике соответствующих ГОСТов, при этом учитывают следующие показатели:

- для цемента: вид; марку (его активность); объемную массу;
- для крупного заполнителя: вид (гравий или щебень); насыпную плотность; объем пустот; предельную крупность зерен; влажность; среднюю плотность зерен;
- для песка: насыпную плотность; модуль крупности; влажность; среднюю плотность зерен.

Кроме приведенных показателей, необходимых для расчета состава бетона, применяемые материалы должны удовлетворять требованиям технических условий соответствующих ГОСТов.

Наиболее простым и удобным методом определения состава обычного бетона является метод расчета по абсолютным объемам, разработанный профессором Б. Г. Скрамтаевым. Расчет и подбор бетона после испытания сырьевых материалов ведут в следующей последовательности: определяют расход воды; определяют расчетным путем В/Ц (Ц/В); устанавливают расход цемента на 1 м<sup>3</sup> бетона; определяют расход заполнителей.

Таблица 17

**Определение подвижности бетонной смеси**

Вид конструкции	Способы укладки бетонной смеси		
	механический		ручной
	ОК, см	Жесткость, с	ОК, см
Подстилающие слои под фунда- менты, полы, дорожные покры- тия и т. д.	1–2	35–25	2–3
Массивные неармированные конструкции (подпорные стены, фундаменты, блоки массивов) и конструкции с редко распо- ложенной арматурой	2–4	25–15	3–6
Каркасные железобетонные конструкции (плиты, балки, ко- лонны большого и среднего сечений)	4–6	12–15	9–12
Железобетонные конструкции, насыщенные арматурой (бункера, силосы, тонкие стенки, колонны небольших сечений)	6–8	10–12	10–12
Железобетонные конструкции, сильно насыщенные арматурой (арочные и балочные мосты, опорные части)	8–12	10–5	12–16
Конструкции, выполненные пу- тем подводного бетонирования	12–18	5	16–18

Ориентировочный расход воды определяют на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси заданной подвижности или жесткости по данным В. П. Сизова (табл. 18), составленным с учетом водопотребности разных по виду и крупности зерен заполнителей.

Таблица 18

## Определение расхода воды

Осадка конуса, см	Жесткость, с	Расход воды, л/м <sup>3</sup> , при наибольшей крупности зерен заполнителя, мм							
		Для гравия				Для щебня			
		10	20	40	70	10	20	40	70
—	150–200	135	130	128	—	150	145	135	—
—	80–120	145	140	135	—	160	155	140	—
—	60–80	155	150	140	—	165	160	150	—
—	30–50	165	160	150	—	175	170	160	—
1–2	—	185	170	155	140	200	185	170	155
3–5	—	195	180	165	150	210	195	180	165
6–8	—	205	190	175	160	220	205	190	175
9–12	—	215	200	185	170	230	215	200	185

Примечания:

1. Табличные данные справедливы для бетонов с расходом цемента не выше 400 кг/м<sup>3</sup>.
2. При применении пуццолановых портландцементов расход воды увеличивается на 15–20 л.
3. При использовании мелкого или крупного песка расход воды соответственно увеличивают или уменьшают на 10 л.

Определяют водоцементное отношение В/Ц, при котором возможно получение бетона требуемой прочности. Если отпускная прочность бетона соответствует прочности после пропаривания (задается в процентах или  $R_{отп} = R_{проп}$ ), то В/Ц может быть вычислено по формуле, рекомендованной ВНИИ железобетона (Л. А. Кайсера):

$$\frac{В}{Ц} = \frac{0,23R_{ц} + 100}{R_{г} + 80}, \quad (27)$$

где  $R_{ц}$  — активность цемента,

$R_6$  — заданная прочность бетона.

Если  $R_{отп} = R_{28}$  (отпускная прочность соответствует прочности бетона в возрасте 28 суток), то используются формулы:

$$\frac{В}{Ц} = \frac{0,16R_{ц} + 70}{R_6 + 56}. \quad (28)$$

Для высокомарочных бетонов (имеющих прочность  $R_{628} > 50$  МПа) можно использовать формулу, рекомендованную ВНИИ железобетона:

$$\frac{В}{Ц} = \frac{0,45 \frac{R_{ц}}{R_6}}{1 + 0,18 \frac{R_{ц}}{R_6}} \quad (29)$$

или для получения после пропаривания проектной марки

$$\frac{В}{Ц} = \frac{0,36 \frac{R_{ц}}{R_6}}{1 + 0,14 \frac{R_{ц}}{R_6}}. \quad (30)$$

В тех случаях, когда представляется возможным учесть свойства заполнителей, целесообразно использовать формулы Б. Г. Скрамтаева и Ю. М. Баженова:

$$R_{628} = AR_{ц} \left( \frac{Ц}{В} \pm 0,5 \right), \quad (31)$$

где  $R_{628}$  — прочность бетона в возрасте 28 суток;

$A$  — коэффициент, зависящий от качества заполнителей (определяется по табл. 19);

$R_{ц}$  — активность или марка цемента.

Из формулы (31):

$$\frac{B}{Ц} = \frac{A \frac{R_{ц}}{R_6}}{1 + 0,5A \frac{R_{ц}}{R_6}} \quad \text{или} \quad \frac{Ц}{B} = \frac{1 + 0,5A \frac{R_{ц}}{R_6}}{A \frac{R_{ц}}{R_6}}. \quad (32)$$

Если при этом расчете Ц/В получится более 2,5 или В/Ц меньше 0,4, то окончательное определение этих значений производится по формуле:

$$R_6 = A_1 R_{ц} \left( \frac{Ц}{B} + 0,5 \right). \quad (33)$$

Определяют расход цемента на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси по уже известным величинам В/Ц и В — ориентировочному расходу воды:

$$Ц = В : (В/Ц). \quad (34)$$

Определяют расход крупного и мелкого заполнителей по формулам, составленным из условия, что сумма абсолютных объемов всех компонентов, расходуемых на 1 м<sup>3</sup> бетона, равняется 1000 л уплотненной бетонной смеси, а объем песчаного раствора несколько больше объема пустот крупного заполнителя, что обеспечивает некоторую раздвижку его зерен:

$$Z_{кр} = \frac{1000}{\frac{V_{пуст}}{\gamma_{н.кр}} \alpha + \frac{1}{\rho_{кр}}}; \quad (35)$$

$$V_{пуст} = 1 - \frac{\gamma_{н.кр}}{\rho_{кр}}, \quad (36)$$

где  $Z_{кр}$  — содержание крупного заполнителя, кг;

$V_{пуст}$  — пустотность крупного заполнителя (в долях от его объема);

$\gamma_{н.кр}$  — насыпная плотность крупного заполнителя, кг/л;  
 $\alpha$  — коэффициент, учитывающий увеличение объема раствора с учетом раздвижки крупного заполнителя в смеси и зависящий от расхода цемента и вида заполнителей (коэффициент раздвижки зерен). Значения приводятся в табл. 20;  
 $\rho_{кр}$  — плотность зерен крупного заполнителя, кг/л.

Таблица 19

**Определение коэффициента A**

Характеристика материалов	A (Ц/В ≤ 2,5)	A <sub>1</sub> (Ц/В > 2,5)
Высококачественные	0,65	0,43
Рядовые	0,60	0,40
Пониженного качества (гравий, мелкий песок, низкомарочный цемент)	0,55	0,37

Таблица 20

**Определение коэффициента раздвижки зерен**

Ц, кг/м <sup>3</sup>	α при В/Ц				
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
250	—	—	1,26	1,32	1,38
300	—	1,30	1,36	1,42	—
350	1,312	1,38	1,44	—	—
400	1,40	1,46	—	—	—

Примечание. Для жестких бетонных смесей при мелких песках α = 1,05, средних α = 1,1, крупных α = 1,15.

Расход песка устанавливают по формуле:

$$\Pi = \left( 1000 - \frac{\Pi}{\rho_{ц}} - В - \frac{З_{кр}}{\rho_{кр}} \right) \cdot \rho_{п}, \quad (37)$$



где  $\Pi$ ,  $\text{Ц}$ ,  $\text{В}$ ,  $\text{З}_{\text{кр}}$  — расходы песка, цемента, воды, крупного заполнителя,  $\text{кг}/\text{М}^3$ ;

$\rho_{\text{п}}$  — плотность зерен песка,  $\text{кг}/\text{л}$ .

Затем вычисляют плотность бетонной смеси:

$$\gamma_{\text{б. см}} = \text{Ц} + \text{В} + \text{З}_{\text{кр}} + \Pi. \quad (38)$$

Рассчитывают коэффициент выхода бетона лабораторного состава:

$$\beta = \frac{1000}{\frac{\text{Ц}}{\gamma_{\text{н.ц}}} + \frac{\text{З}_{\text{кр}}}{\gamma_{\text{н.кр}}} + \frac{\Pi}{\gamma_{\text{н.п}}}}, \quad (39)$$

где  $\gamma_{\text{н.ц}}$ ,  $\gamma_{\text{н.кр}}$ ,  $\gamma_{\text{н.п}}$  — насыпные плотности цемента, крупного заполнителя и песка.

**Опытная проверка расчетного состава бетона пробными замесами.** Опытной проверкой устанавливают соответствие расчетного состава бетона заданным условиям подвижности бетонной смеси и прочности затвердевшего бетона. При изготовлении бетонной смеси делают пробный замес на 10 л, т. е. отвешивают сухие материалы в количестве 1/100 от расчетного расхода их на 1 м<sup>3</sup> бетона. Перемешивание отвешенных сухих материалов производят в следующей последовательности: отвешенное количество песка помещают на металлический боек или сферическую чашу, добавляют требуемое количество цемента и перемешивают до получения смеси однородного цвета, затем добавляют крупный заполнитель и всю смесь перемешивают до тех пор, пока щебень (гравий) не будет равномерно распределен в сухой смеси; в середине перемешанной смеси делают углубление, куда вливают половину отвешенной воды; осторожно перемешав, собирают материалы в кучку и добавляют остальную часть воды. После этого энергично перелопачивают бетонную смесь до достижения ею однородности; длительность перемешивания (от момента приливания воды) должна составлять при объеме замеса до 30 л — 5 мин.

При механическом перемешивании в бетономешалку загружают материалы в последовательности: песок, цемент, крупный заполнитель, вода; длительность перемешивания должна составлять 2 мин, считая с момента окончания загрузки всех материалов. После перемешивания определяют подвижность бетонной смеси в сантиметрах или секундах, в зависимости от принятого способа укладки бетона в конструкцию.

**Изготовление образцов.** В процессе корректировки необходимо получить подвижность или жесткость бетонной смеси, соответствующие заданной конструкции. Количество добавленных материалов в результате опытной проверки состава бетона фиксируется и суммируется с расчетными расходами материалов. После этого из бетонной смеси изготавливают образцы в форме кубов или цилиндров для испытания бетона на прочность.

Стандартными образцами для испытания на прочность при сжатии являются образцы в форме куба размером 15×15×15 см. Для каждого срока испытания должно быть изготовлено не менее 3 образцов.

Для изготовления образцов применяются формы из материала, не впитывающего воду, исключающие возможность вытекания цементного теста при формовании образцов. Этим требованиям удовлетворяют стальные плотно пригнанные формы.

Отбор бетонной смеси для приготовления образцов должен производиться из средней части замеса. Объем бетонной смеси, приготовленной для изготовления образцов, должен превышать объем образцов в 1,5–2 раза. Проба бетонной смеси должна быть дополнительно перемешана перед формованием образцов. Формование образцов следует производить не позднее чем через 15 мин после приготовления бетонной смеси.

Перед изготовлением образцов внутренние поверхности форм должны быть покрыты тонким слоем смазки, не оставляющей пятен на поверхности образцов.

Укладку и уплотнение в формах бетонной смеси в зависимости от ее подвижности и жесткости производят следующим образом.

1. При изготовлении образцов из бетонной смеси с жесткостью менее 60 с или подвижностью, характеризуемой осадкой конуса ОК менее 12 см, форму, заполненную бетонной смесью с некоторым избытком, устанавливают и жестко закрепляют на виброплощадке и подвергают вибрации до полного уплотнения, характеризуемого прекращением оседания бетонной смеси, выравниванием ее поверхности и появлением на ней тонкого слоя цементного теста. Поверхность образца заглаживается кельмой.

2. При изготовлении образцов из бетонной смеси с жесткостью более 60 с перед укладкой смеси на форме закрепляют насадку высотой, равной высоте формы. Форму с насадкой жестко закрепляют на виброплощадке и заполняют бетонной смесью (примерно до половины высоты насадки), устанавливают сверху на поверхность смеси пригруз, обеспечивающий давление  $4 \times 10^{-4}$  МПа, и вибрируют смесь, находящуюся в форме, до прекращения оседания пригруза и появления цементного теста в зазорах между насадкой и формой. После этого снимают пригруз и насадку, срезают избыток смеси в форме и заглаживают поверхность. Заглаживание поверхности производят кельмой или ножом.

3. При изготовлении образцов из подвижной бетонной смеси с осадкой конуса  $ОК > 12$  см ее уплотнение производят путем штыкования стальным стержнем, без применения вибрации. Количество штыкований принимается из расчета: один нажим на  $10 \text{ см}^2$  поверхности образца (при форме размером  $10 \times 10 \times 10$  см число штыкований таким образом будет равно 10).

Заполнение форм высотой 20 см и более бетонной смесью производят в два слоя. Каждый слой уплотняется штыкованием из расчета одного нажима стержня на  $10 \text{ см}^2$  поверхности образца.

После окончания уплотнения производят заглаживание поверхности образцов. Затем формы нумеруют, взвешивают и записывают полученную массу.

Для определения марки бетона образцы после их изготовления хранят одни сутки в формах, покрытых влажной тканью, в помещении с температурой воздуха  $(+20\pm 2)$  °С, после чего их вынимают из формы, маркируют и выдерживают до момента испытания в камере нормального твердения при температуре  $(+20\pm 2)$  °С и относительной влажности воздуха 95–100 %.

Образцы бетона, которые по условиям задания должны быть подвергнуты тепловлажностной обработке, после изготовления подвергаются пропариванию в формах по указанному в задании режиму. Распалубку образцов, подвергнутых тепловой обработке, производят после ее окончания.

Испытание образцов производится в два срока: 7 и 28 суток. В учебной лаборатории обычно испытание образцов ведут в возрасте 7 суток, а затем делают пересчет прочности при сжатии на 28 суток.

**Определение выхода бетона.** Для определения выхода бетона необходимо предварительно определить плотность бетонной смеси, уложенной в формы. Зная массу пустых форм и форм, заполненных бетонной смесью, вычисляют среднюю плотность бетонной смеси  $\gamma_6$  по формуле:

$$\gamma_6 = (m_1 - m_2) / V_{\phi}, \quad (40)$$

где  $m_1$  — масса формы с бетонной смесью, кг;

$m_2$  — масса пустой формы, кг;

$V_{\phi}$  — объем формы, л.

Фактически полученный из пробного замеса объем бетона в литрах определяют путем деления суммарного расхода взятых на замес материалов в килограммах (цемент + вода + песок + крупный заполнитель + добавки) на плотность бетонной смеси, выраженную в кг/л.

$$V_6 = (Ц + В + П + З_{кр} + Д)/\gamma_6, \quad (41)$$

где  $V_6$  — фактический объем бетона, л;  
 $\gamma_6$  — плотность бетонной смеси, кг/л.

**Определение фактического расхода материалов на 1 м<sup>3</sup> бетона.** Фактический расход материалов может быть определен из пропорции, составленной следующим образом. На полученный из пробного замеса объем бетона  $V_6$  фактически пошло цемента Ц кг, а на 1000 л бетона должно пойти цемента  $x$  кг. Решая аналогичным способом пропорции, можно фактический расход материалов на 1 м<sup>3</sup> бетона подсчитать по следующим формулам.

Количество воды, кг/м<sup>3</sup>:

$$В = B_{\phi} \cdot 1000/V_6, \quad (42)$$

где  $B_{\phi}$  — фактический расход воды на пробный замес бетона, кг.

Количество цемента, кг/м<sup>3</sup>:

$$Ц = Ц_{\phi} \cdot 1000/V_6, \quad (43)$$

где  $Ц_{\phi}$  — фактический расход цемента на пробный замес бетона, кг.

Количество песка, кг/м<sup>3</sup>:

$$П = П_{\phi} \cdot 1000/V_6, \quad (44)$$

где  $П_{\phi}$  — фактический расход песка на пробный замес, кг.

Количество крупного заполнителя, кг/м<sup>3</sup>:

$$K_3 = K_{3\phi} \cdot 1000/V_6, \quad (45)$$

где  $K_{3\phi}$  — фактический расход крупного заполнителя на пробный замес, кг.

**Определение коэффициента выхода бетонной смеси.** Материалы, предназначенные для изготовления бетона, до перемешивания занимают объем, равный сумме их объемов в отдельности. Обозначим эту сумму (только сухих компонентов без воды) через  $\Sigma$ , объем полученной смеси через  $V_6$ .

$$\frac{\Pi}{\gamma_{\Pi}} + \frac{\Pi}{\gamma_{\Pi}} + \frac{K_3}{\gamma_{K3}} = \Sigma, \quad (46)$$

В процессе перемешивания бетонная смесь уплотняется, т. е. пустоты в крупном заполнителе заполняются песком, а пустоты в песке — цементным тестом. Полученный объем бетонной смеси будет всегда меньше суммы объемов первоначально загруженных материалов:

$$V_6 < \frac{\Pi}{\gamma_{\Pi}} + \frac{\Pi}{\gamma_{\Pi}} + \frac{K_3}{\gamma_{K3}}, \quad (47)$$

что можно заменить равенством

$$V_6 = \beta \left( \frac{\Pi}{\gamma_{\Pi}} + \frac{\Pi}{\gamma_{\Pi}} + \frac{K_3}{\gamma_{K3}} \right), \quad (48)$$

где  $\beta$  — коэффициент выхода бетона.

Эта величина всегда меньше единицы, она находится в пределах 0,55–0,75 в зависимости от объема пустот в заполнителях.

Из предыдущей формулы получим:

$$\beta = \frac{1000}{\frac{\Pi}{\gamma_{\Pi}} + \frac{Z_{кр}}{\gamma_{кр}} + \frac{\Pi}{\gamma_{\Pi}}}, \quad (49)$$

где  $(\Pi/\gamma_{\Pi})$ ,  $(Z_{кр}/\gamma_{кр})$ ,  $(\Pi/\gamma_{\Pi})$  — фактические расходы цемента, крупного заполнителя, песка на 1 м<sup>3</sup> бетона, л.

**Перерасчет состава бетона на заданную марку.** Перерасчет состава бетона на заданную марку производится следующим образом.

Определяют истинную активность цемента в бетоне по формуле:

$$R_{628} = AR_{\Pi} \left( \frac{\Pi}{B} \pm 0,5 \right), \quad (50)$$

где коэффициент  $A$  и знак (+) или (–) берутся в соответствии с той формулой, по которой определялось Ц/В при расчете состава бетона;

$R_{628}$  — прочность бетона пробного замеса, приведенная к стандартной в возрасте 28 суток;

Ц/В — цементно-водное отношение полученного состава бетонной смеси;

$R_{ц}$  — искомая активность цемента.

Определяют Ц/В по формуле:

$$\frac{В}{Ц} = \frac{A \frac{R_{ц}}{R_6}}{1 + 0,5A \frac{R_{ц}}{R_6}} \text{ или } \frac{Ц}{В} = \frac{1 + 0,5A \frac{R_{ц}}{R_6}}{A \frac{R_{ц}}{R_6}}, \quad (51)$$

где  $R_6$  — заданная марка бетона;

$R_{ц}$  — активность цемента, найденная из предыдущего определения.

Определяют расход цемента путем умножения вычисленного значения Ц/В на величину расхода воды в литрах, полученную при опытном подборе состава бетона.

В результате произведенного перерасчета назначается состав бетона, в котором изменяется расход цемента, а расходы остальных материалов (воды, песка, крупного заполнителя) принимаются такими, как в подобранном составе бетона.

## 17.8. Железобетон

Бетон имеет недостаток, присущий всем каменным как природным, так и искусственным материалам, — он хорошо работает на сжатие, но плохо сопротивляется изгибу и растяжению. Прочность бетона на растяжение составляет всего около

1/10–1/15 его прочности на сжатие. Чтобы повысить прочность бетонных конструкций на растяжение и изгиб, в бетон укладывают стальную проволоку или стержни, называемые арматурой. В настоящее время железобетон — основной конструкционный материал в жилищном и промышленном строительстве.

**Железобетон** представляет собой строительный материал, в котором выгодно сочетается совместная работа бетона и арматурной стали. Наиболее выгодно применять железобетон для строительных конструкций, работающих на изгиб. Железобетон — это композиционный материал, в котором свойства стали и бетона выгодно сочетаются и дополняют друг друга. При твердении бетон прочно сцепляется со стальной арматурой и надежно защищает ее от коррозии, так как в процессе гидратации цемента образуется щелочная среда. Так, чтобы выдернуть из бетона стержень диаметром 30 мм, введенный в бетон на глубину 300 мм, требуется сила не менее 10 кН. Сцепление стали с бетоном не нарушается и при сильных перепадах температуры, что обеспечивается относительной близостью величин их коэффициентов линейного расширения (для бетона от  $7,5 \cdot 10^{-6}$  до  $12 \cdot 10^{-6}$ , для стальной арматуры  $12 \cdot 10^{-6}$ ). Хорошее сцепление стали с бетоном приводит к тому, что под нагрузкой эти два материала работают как одно целое. Кроме того, бетон как сравнительно плохой проводник теплоты защищает сталь от быстрого нагрева при пожарах. Стальные конструкции при пожаре быстро нагреваются, сталь размягчается и вся конструкция начинает деформироваться даже под собственным весом. В железобетонных конструкциях стальная арматура защищена от огня слоем бетона. Так, опыты показали, что при температуре поверхности бетона 1000 °С арматура, находящаяся на глубине 50 мм, через 2 ч нагреется лишь до 500 °С.

**Арматура** — стальные стержни, проволока, пряди, канаты или прокатные профили, закладываемые в бетон для получения железобетонных конструкций необходимой прочности,



жесткости, трещиностойкости. По своему назначению в бетоне арматура подразделяется на рабочую (воспринимает нагрузки) и монтажную (необходима для обеспечения правильного расположения рабочей арматуры). Для улучшения свойств арматуры ее иногда подвергают упрочнению.

При работе таких элементов возникают два противоположных напряжения — растягивающее, воспринимаемое сталью, и сжимающее, воспринимаемое бетоном. Железобетонная конструкция в целом успешно противостоит изгибающим нагрузкам (рис. 9).



Рис. 9. Работа железобетона под изгибающей нагрузкой

Смысл армирования можно пояснить на элементах, работающих на изгиб (балках, ригелях). В таких элементах часть поперечного сечения элемента подвергается сжатию, а другая — растяжению. Если балку изготовить из неармированного бетона, то вследствие низкой его прочности на растяжение (1–4 МПа) уже под небольшой нагрузкой бетон в растянутой зоне растрескивается и балка разрушается. Если же в растянутую зону ввести стальную арматуру, то она примет на себя растягивающие напряжения (прочность стали при растяжении более 200 МПа), и балка, хотя на ней могут появиться трещины, не разрушится даже при больших нагрузках. В ряде случаев армируют элементы, работающие и на сжатие (колонны, сваи), так как и на сжатие сталь в 5–10 раз прочнее бетона.

Причиной, почему арматура принимает на себя большую часть нагрузки, является различие в модулях упругости ста-

ли  $2 \cdot 10^5$  МПа и бетона  $(2-3) \cdot 10$  МПа. Из-за того, что модуль упругости стали в 10 раз выше модуля упругости бетона, при нагружении железобетонного элемента сталь и бетон получают одинаковые деформации, но напряжения в них в соответствии с законом Гука будут разные. В стали они будут в 10 раз выше, чем в бетоне. Иными словами, можно сказать, что 1 см сечения стали заменяет  $10 \text{ см}^2$  бетона.

Благодаря универсальности и комплексу ценных свойств железобетон используют для строительства всех типов зданий и инженерных сооружений. Так, массовое строительство жилых зданий осуществляется из сборного железобетона, причем из него выполняют все элементы здания. В многоэтажных кирпичных зданиях фундаменты и перекрытия — железобетонные. Промышленные здания и инженерные сооружения в основном возводят из железобетона. В зависимости от способа изготовления железобетонные конструкции могут быть монолитными или сборными. Железобетон можно условно разделить на 3 больших класса.

1. Сборный железобетон (сборные железобетонные изделия и конструкции) представляют собой крупноразмерные железобетонные элементы, изготавливаемые на заводе или полигоне домостроительного комбината. Основное преимущество таких конструкций — высокомеханизированные и автоматизированные методы их изготовления. На строительной площадке эти элементы только монтируют, что резко сокращает сроки строительства, повышает производительность труда и позволяет широко применять новые эффективные материалы (легкие и ячеистые бетоны, отделочную керамику, пластмассы и т. п.).

2. Монолитный железобетон изготавливают непосредственно на строительной площадке. На месте возведения конструкции устанавливают опалубку. Назначение опалубки — придать бетонной смеси при ее укладке форму будущей конструкции. Опалубку выполняют из дерева, фанеры, стали или различных

их комбинаций. Обычно применяют разборно-переставную опалубку из мелких или крупных щитов.

Для возведения высоких сооружений (резервуаров, труб, башен) применяют скользящую или подъемно-переставную опалубку. Когда бетон, уложенный в скользящую опалубку, достаточно затвердеет, опалубку вместе с рабочими подмостями двигают вверх и цикл повторяют. Такая опалубка была использована при строительстве Останкинской телевизионной башни.

В опалубку устанавливают арматуру в расчетном положении и укладывают бетонную смесь. Уплотнение производят глубинными или поверхностными вибраторами, навешиваемыми на опалубку.

Бетон после укладки первые 7–10 дней необходимо защищать от высыхания, а зимой — от замерзания. Опалубку снимают по достижении бетоном достаточной прочности, чаще всего через 5–10 дней.

Для монолитного строительства используют тяжелые и легкие бетоны на быстротвердеющих цементах. При правильной организации труда скорость строительства из монолитного бетона не уступает скорости монтажа из сборных элементов. За последние годы в городах России построено много нестандартных сооружений из монолитного бетона, в том числе и такие уникальные, как храм Христа Спасителя, подземный торговый комплекс на Манежной площади в Москве и другие.

3. Напряженно-армированный бетон в современном строительстве находит все большее применение. Как уже говорилось, прочность бетона на растяжение в 10–20 раз ниже, чем на сжатие. В железобетоне этот недостаток устраняют введением арматуры в растянутую зону. Однако вследствие малой растяжимости бетона в растянутой его зоне возникают трещины, после чего всю нагрузку воспринимает только арматура. Пока ширина трещины менее 0,1–0,2 мм (так называемые волося-

ные трещины), они не опасны с точки зрения сцепления арматуры с бетоном и коррозии арматуры.

При применении для армирования высокопрочных сталей полное использование их прочности сопровождается относительно большим удлинением арматуры, что приводит к сильному растрескиванию бетона, а это, в свою очередь, — к коррозии арматуры из-за обнажения ее поверхности. Отсюда следует, что при обычном способе армирования применение высокопрочной арматуры нерационально. При армировании такой арматурой применяют метод предварительного натяжения арматуры.

Сущность этого метода состоит в том, что до загрузки железобетонной конструкции полезной нагрузкой ее арматуру растягивают наподобие резинового жгута; упором при этом служит бетон. Естественно, что чем сильнее растянута арматура, тем больше будет сжат бетон. Когда же к конструкции будет приложена полезная нагрузка, напряжения от нее, возникающие в растянутой зоне бетона, частично компенсируются предварительно созданными сжимающими напряжениями. Поэтому в растянутой зоне бетона не возникнут трещины, а предварительно напряженная арматура получит от нагрузки дополнительное напряжение и ее высокая прочность будет реализована в большей степени.

В настоящее время применяют два способа получения напряженно-армированного бетона. Один из них заключается в том, что арматуру натягивают и закрепляют на специальных анкерах, а затем укладывают бетон. После того как бетон достаточно затвердеет, арматуру освобождают и она, сжимаясь, сжимает бетон. Другой способ: в бетоне оставляют специальные каналы для напрягаемой арматуры. После затвердевания бетона арматуру вводят в каналы и натягивают, используя в качестве опоры затвердевший бетон. При этом в бетоне возникают сжимающие напряжения. После натяжения арматуры каналы заполняют цементным раствором.

В предварительно напряженных железобетонных конструкциях более полно используется прочность стали и бетона, поэтому уменьшается масса изделий. Кроме того, предварительное обжатие бетона, препятствуя образованию трещин, повышает его долговечность и непроницаемость.

Основные операции при производстве железобетонных изделий — это приготовление бетонной смеси, изготовление арматуры, армирование и формование изделий и их ускоренное твердение.

Приготовление бетонной смеси производят в бетоносмесительном цехе завода, арматуру — в арматурном цехе. Поступающую на завод арматуру очищают от ржавчины, правят и режут на стержни заданной длины и придают форму. Отдельные стержни и проволоку соединяют в сетки и каркасы контактной сваркой на станках—автоматах. Готовые сетки и каркасы передают в формовочный цех.

Напрягаемую арматуру натягивают на анкеры форм с помощью специальных механизмов или режут методом термического натяжения.

Перед укладкой арматуры и бетона формы очищают и смазывают. Бетонная смесь из бетоносмесительного цеха поступает в приемный бункер бетоноукладчика, который подает ее в форму и разравнивает.

Уплотняют бетонную смесь центрифугированием, вибропрессованием, прокатом, на виброплощадках большой грузоподъемности (до 5—10 т) с электромеханическим или электромагнитным приводом.

Для ускорения твердения бетона его подвергают тепло-влажностной обработке. Применяют следующие виды тепло-влажностной обработки: пропаривание при нормальном давлении и температуре 80—95 °С; контактный нагрев и электроподогрев до 100 °С; запаривание в автоклавах при давлении 0,9—1,6 МПа и температуре 175—200 °С.

Наиболее распространено пропаривание при нормальном давлении в камерах непрерывного или периодического действия. Изделия нагревают насыщенным паром. Камеры непрерывного действия представляют собой туннель, в котором изделия в формах, установленных на вагонетках, проходят последовательно зоны подогрева, изотермической выдержки и охлаждения.

В камеры периодического действия изделия загружают крапом и устанавливают в несколько рядов по высоте. Затем камеру закрывают крышкой и подают насыщенный пар.

После извлечения из форм изделия проходят технический контроль на соответствие требованиям ГОСТа или ТУ.

**Основные способы производства железобетонных изделий:** стендовый, кассетный, поточно-агрегатный, конвейерный и вибропрокатный.

При **стендовом способе** изделия получают в неподвижных формах (на стенде). Механизмы (бетоноукладчики, вибраторы и др.) поочередно подходят к стенду для выполнения необходимых операций. Этим способом изготавливают, как правило, крупногабаритные изделия (фермы, колонны, балки) на полигонах.

**Кассетный способ** — вариант стендового способа, основой которого является формование изделий в стационарно установленных кассетах, состоящих из нескольких вертикальных металлических форм-отсеков. В форму закладывают арматурный каркас и заполняют ее бетонной смесью. Тепловую обработку производят контактным обогревом через стенки форм. После тепловой обработки стенки форм раздвигают и изделия вынимают мостовым краном. Кассетным способом изготавливают плоские изделия (панели перекрытий, стеновые панели и т. п.). Этот способ благодаря вертикальному расположению форм экономит производственные площади.

При **поточно-агрегатном способе** металлические формы с будущими изделиями перемещаются от одного технологического поста к другому краном, а при конвейерном — формы стоят

на вагонетках, движущихся по рельсовому пути, и тепловлажностную обработку осуществляют непрерывным методом в туннельных камерах. Конвейерный способ высокопроизводительный, но на каждой «нитке» конвейера можно выпускать изделие только одного типоразмера.

При **вибропрокатном способе** процессы получения железобетонного изделия происходят на одной установке непрерывного действия — вибропрокатном стане. Вибропрокатный стан — это конвейер из стальной обрезиненной формующей ленты, движущейся вдоль постов укладки арматуры и бетона, виброуплотнения бетона и контактной тепловой обработки. Вибропрокатным способом получают плиты перекрытий, легкобетонные панели наружных стен, перегородочные панели. Этот способ самый производительный, но переход с выпуска одного вида изделий на другой затруднен, так как связан с переоснасткой стана.

**Классификацию железобетонных изделий** проводят по ряду признаков.

1. По **виду армирования** железобетонные изделия подразделяют на предварительно-напряженные и с обычным армированием.

2. По **внутреннему строению** изделия могут быть сплошными и пустотелыми, изготовленными из бетона одного вида (однослойные изделия) или из нескольких видов бетона (например, трехслойные — из ячеистого бетона, с двух сторон покрытого плотным мелкозернистым бетоном).

3. По **плотности, виду бетона и виду вяжущего** изделия подразделяют аналогично бетонам.

4. По **назначению** железобетонные изделия подразделяют на три группы: для жилых и общественных зданий, для промышленных зданий и для инженерных сооружений.

В свою очередь, изделия для жилых, общественных и промышленных зданий подразделяют на изделия для фундамен-

тов, каркасов зданий, стен, перекрытий и покрытий, лестниц и санитарно—технические.

**1. К изделиям для фундаментов зданий** относятся фундаментные плиты — массивные железобетонные элементы трапециевидальной или прямоугольной формы, укладываемые при устройстве фундамента непосредственно на грунт.

Бетонные блоки для стен подвалов — элементы в форме прямоугольного параллелепипеда из тяжелого бетона, керамзитобетона и силикатного бетона плотностью не менее  $1800 \text{ кг/м}^3$  и класса В7,5—В15. Блоки армируют лишь монтажной арматурой. В торцевой части блоков устраивают пазы, заполняемые при монтаже раствором. Керамзитобетонные блоки могут иметь несплошные, открытые вниз пустоты. Применяют блоки для устройства ленточных фундаментов и возведения стен подвалов для зданий всех видов.

Фундаментные блоки стаканного типа применяют в каркасных зданиях для опирания колонн. Они могут состоять как из одного элемента, так и из двух (отдельно блок и стакан).

**2. Изделия для каркасов зданий** (колонны; горизонтальные связи — ригели, прогоны, балки, фермы и арки) изготавливают из тяжелого бетона класса не ниже В15 и армируют несущей арматурой. Изделия для каркасов промышленных зданий отличаются от аналогичных изделий для жилых зданий большей несущей способностью и размерами. Так, высота колонн для жилых зданий достигает 7,5 м, а промышленных — 35 м.

Балки в зависимости от перекрываемого пролета могут иметь тавровое или двутавровое сечение с отверстиями в вертикальной стенке для снижения ее массы. Изготавливают балки из бетона класса В25—В30; армирование чаще напряженное. Длина балок — 12; 18 и 24 м.

Фермы применяют как элементы покрытий пролетом 30 м и более; сборные железобетонные арки — для пролетов более 60 м.



**3. Стеновые бетонные блоки** предназначены для жилых и общественных зданий, а также производственных зданий промышленного и сельскохозяйственного назначения. Размер блоков зависит от конструктивного решения здания и схемы разрезки стены: так, длина блоков может быть 400–3300 мм, высота 300–3900 мм. Толщина назначается по теплотехническим и конструктивным соображениям: для наружных стен — 200–600 мм, для внутренних — 160–300 мм.

**4. Стеновые панели** — крупноразмерные элементы (обычно высотой на этаж и длиной до 6 м) для монтажа полносборных зданий — в зависимости от назначения и конструктивных особенностей подразделяют на следующие виды:

- панели наружных стен отапливаемых зданий, изготавливаемые из легкого бетона на пористых заполнителях, ячеистого бетона или из тяжелого бетона с теплоизоляционным слоем;
- панели наружных стен неотапливаемых зданий и внутренних несущих стен, изготавливаемые из тяжелого или легкого бетона;
- панели перегородок, обычно изготавливаемые из гипсобетона.

Классы тяжелых бетонов для панелей наружных стен — не ниже В15, для внутренних — не ниже В12,5, легкие бетоны всех видов должны иметь класс не ниже В3,5.

Панели выпускают с наружной защитно-декоративной отделкой (керамической плиткой, декоративными бетонами, водостойкими красками и т. п.) и внутренней, подготовленной под отделку. Окрашенные и остекленные оконные и дверные блоки должны быть установлены на место.

**5. Элементы междуэтажных перекрытий.** В зданиях всех типов используют железобетонные панели перекрытий. Размер панелей: длина 2,4–12,0 м, ширина 1,2–3,6 м, толщина 220 мм. Панели изготавливают из бетона класса не менее В15 и армируют обычной или предварительно-напряженной арматурой.

Панели перекрытий кроме несущей способности должны удовлетворять требованиям звукоизоляции. Для повышения звукоизоляционных свойств и снижения массы панели делают с пустотами (главным образом круглого сечения) или из легких бетонов на пористых заполнителях; применяют ребристые панели перекрытий со звукоизоляционными прослойками. Нижняя сторона панели выпускается в готовом к отделке виде и служит потолком, а верхняя — основанием пола.

**6. Панели и плиты покрытий.** В зависимости от конструкций кровли они должны удовлетворять помимо несущей способности требованиям гидро- и пароизоляции, а для совмещенных (теплых) кровель- и теплоизоляции.

Панели покрытий изготовляют однослойными из тяжелого и легкого бетона на пористых заполнителях; слоистыми с несущей конструкцией из тяжелого бетона и теплоизоляционным слоем из ячеистого бетона или другого утеплителя; комбинированными в виде плиты из ячеистого бетона с ребрами из тяжелого бетона. Класс тяжелого бетона должен быть не менее В15, легкого на пористых заполнителях — не менее В10 и ячеистого — не менее В3,5.

**7. Санитарно–технические изделия.** Элементы водоснабжения, канализации, вентиляции и т. п. могут быть также выполнены в виде железобетонных изделий заводского изготовления. Водопроводные и канализационные трубы замоноличивают в тело специальных панелей; таким же образом получают отопительные панели. Для устройства вентиляции применяют специальные блоки со сквозными каналами. Применение таких блоков существенно упрощает санитарно-технические работы на стройке.

**8. Лестничные марши и площадки** изготовляют из бетона класса не ниже В15. Ступени лестниц должны иметь отделанную поверхность. Лестничные площадки, как правило, покрывают керамической плиткой. Лестничные марши и площадки

могут быть выполнены в виде одного цельного элемента. Применяют лестницы как в зданиях из сборного железобетона, так и в кирпичных зданиях.

9. **Железобетонные перемычки** для перекрытия оконных и дверных проемов в кирпичных зданиях бывают брусковые, плитные и балочные с отформованной четвертью для опирания панелей перекрытия. Перемычки изготавливают из тяжелого или легкого (на пористых заполнителях) бетона. Класс бетона не менее В15; марка по морозостойкости в зависимости от климатических условий F35–F200.

10. **Изделия для инженерных сооружений.** Железобетонные изделия широко применяют в дорожном строительстве (плиты покрытий дорог, бортовые камни, элементы мостов и путепроводов, шпалы, осветительные столбы и столбы контактной сети); при строительстве городских инженерных сетей (напорные и безнапорные железобетонные трубы диаметром от 0,5 до 3 м, элементы коллекторов и др.); при строительстве гидросооружений и мелиоративных систем.

---

## 18. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

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

Теплоизоляционные материалы (ГОСТ 16381–77) классифицируют по следующим признакам:

1. **Форме и внешнему виду:**
  - штучные (плиты, блоки, кирпичи, цилиндры, полуцилиндры, сегменты);
  - рулонные и шнуровые (маты, шнуры, жгуты);
  - рыхлые и сыпучие (вата, перлитовый песок и др.).
2. **Структуре:**
  - волокнистые (минераловатные, стекловолокнистые и др.);
  - зернистые (перлитовые, вермикулитовые);
  - ячеистые (изделия из ячеистых бетонов, пеностекло, пенопласты, совелитовые).
3. **Виду исходного сырья:** неорганические; органические; композиционные.
4. **Средней плотности.**

## 5. Жесткости:

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

## 6. Теплопроводности:

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

7. Горючести (СНиП 21–01–97): негорючие (НГ); слабогорючие (П); умеренно горючие (Г2); нормально горючие (Г3); сильногорючие (Г4).

## 18.1. Органические теплоизоляционные материалы

**Опилки, стружки** — применяют в сухом виде или с пропиткой, в конструкциях с известью, гипсом, цементом.

Опилки древесные получают в результате обработки древесины, в мебельном производстве, при распиловке. Опилки

плотностью около  $150 \text{ кг/м}^3$  используют в качестве утепляющей засыпки стен, полов, крыш жилых или хозяйственных зданий, поскольку они хорошо сохраняют тепло, а также для производства арболита, ксилолита, при изготовлении опилкобетона и других строительных материалов. Чистые необработанные опилки для утепления не используются. Во-первых, они легко загораются. Во-вторых, в них заводятся грызуны.

**Камышит** — теплоизоляционный материал в виде плит, спрессованных из стеблей камыша (тростника) и скрепленных стальной оцинкованной проволокой. Из стеблей камыша изготавливают путем прессования и скрепления стальной проволокой камышит, представляющий собой теплоизоляционный материал в виде прямоугольных плит, применяемых для утепления стен перегородок, перекрытий жилых домов, зданий производственного назначения (в большинстве случаев животноводческие комплексы) с относительной влажностью воздуха не выше 70 процентов.

Размеры плит (в мм): длина 2400, 2600 и 2800; ширина 550, 950, 1150 и 1500; толщина 30, 50, 70 и 100. Средняя плотность  $175\text{--}250 \text{ кг/м}^3$  (тонкие плиты плотнее, а толстые уплотнены менее); предел прочности при изгибе  $1,8\text{--}5 \text{ кгс/см}^2$ ; коэффициент теплопроводности (расчетный)  $0,05\text{--}0,08 \text{ Вт/м}\cdot\text{град}$ .

**Войлок строительный** — это прокладочный и теплоизоляционный материал, получаемый свойлачиванием грубой шерсти животных, а также меховых, шерстяных и др. отходов (предварительно антисептированных). Выпускается в виде полос длиной 1–2 м, шириной — 1 м, толщиной 10–15 мм. Средняя плотность  $150 \text{ кг/м}^3$ ; коэффициент теплопроводности  $0,045 \text{ Вт/(м}\cdot\text{град)}$ ; влажность 20%. Не горит, но тлеет; обладает высокой водопоглощающей способностью.

Строительный войлок используют для теплоизоляции трубопроводов, различного оборудования. Он также широко применяется для звуковой и тепловой изоляции потолков и стен

под штукатурку, утепления при дверных и оконных работах, утепления в рубленых домах наружных углов. Пропитанный глиняным раствором строительный войлок применяют в противопожарных целях при печных работах. Для того чтобы избежать появления в материале моли, войлок обычно пропитывают трехпроцентным раствором фтористого натрия, после чего его хорошо просушивают.

## 18.2. Неорганические теплоизоляционные материалы

**Минеральная вата**, технические характеристики которой позволяют считать ее одним из самых эффективных утеплителей на сегодняшний день, — материал недорогой и очень популярный. Основными ее достоинствами считаются невысокая стоимость и низкая степень теплопроводности. В качестве еще одного ее неоспоримого преимущества можно назвать универсальность. Минеральную вату используют для утепления кровель, перекрытий, стен и т. д. Не рекомендуется применять этот материал только в том случае, если существует опасность его увлажнения, поскольку при намокании минвата полностью теряет свои теплоизоляционные свойства. На данный момент существует три основных разновидности минеральной ваты:

1. При производстве **стекловаты** используют такие материалы, как сода, известка, бура и песок. Основным же компонентом является стеклянный бой. После переработки всех этих составляющих получают волокна, из которых делают упругие и прочные маты, хорошо сохраняющие тепло. Минвата этой разновидности имеет один достаточно существенный недостаток. В процессе выполнения работ по теплоизоляции конструкций волокна легко ломаются. При этом мелкие кусочки проникают через одежду и впиваются в кожу, вызывая силь-

ный зуд. Более того, частички с вдыхаемым воздухом могут попадать в легкие, вызывая их длительное раздражение. Поэтому работать со стекловатой нужно в плотном рабочем костюме, респираторе, очках и перчатках. Повторно одежду использовать, скорее всего, будет нельзя.

2. Волокна **шлаковаты** делают с использованием отходов металлургического производства. Показатель теплопроводности этой разновидности минеральной ваты самый низкий. К тому же она очень быстро впитывает влагу. Поэтому не рекомендуется использовать ее для утепления наружных стен и водопроводных труб. Еще одним недостатком шлаковаты является ее повышенная кислотность. При наличии даже небольшого количества влаги при контакте ее с металлом происходит быстрое окисление последнего. Как и стекловата, шлаковата отличается колкостью.

3. **Базальтовая вата**, технические характеристики которой делают ее наиболее популярной как у частных, так и у крупных застройщиков, изготавливается из горных пород габбро-базальтовой группы. Эта разновидность не колется и не вызывает окисления металла. Воды базальтовая вата боится, но при этом отличается высокой степенью паропроницаемости. Выпускается материал этой разновидности как в плитах, так и в рулонах (матах).

**Пеностекло** (вспененное стекло, ячеистое стекло) — теплоизоляционный материал, представляющий собой вспененную стекломассу. Для изготовления пеностекла используется способность силикатных стекол размягчаться и (в случае наличия газообразователя) пениться при температурах около 1000 °С. По мере нарастания вязкости при охлаждении вспененной стекломассы до комнатной температуры получившаяся пена приобретает существенную механическую прочность.



---

## 19. ОТДЕЛОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

**Отделочные материалы** применяют в строительстве для создания покрытий на поверхностях строительных конструкций и сооружений с целью защиты от вредного воздействия окружающей среды, улучшения гигиенических условий в жилых, общественных и производственных помещениях и для придания поверхностям эстетической выразительности.

Все разнообразие современных отделочных материалов можно разделить на виды по нескольким классификационным признакам: происхождение сырьевых компонентов, состояние, назначение и условия эксплуатации.

По происхождению сырьевых компонентов отделочные материалы можно разделить на природные (натуральные) и искусственные. Натуральные отделочные материалы — это экологически чистые изделия, не представляющие опасности для здоровья человека: плиты из натурального камня (мрамор, известняк, доломит, песчаник или гранит) для внутренней или наружной отделки, различные изделия из древесины (штучный паркет, вагонка) и многие другие.

Отделочные материалы искусственного происхождения бывают минеральные неорганические (керамогранит, облицовочный кирпич, керамическая плитка, различные штукатурки на основе минеральных вяжущих веществ) и изготовленные на основе полимеров — органические (виниловые обои, линолеум, материалы на основе бумаги).

Современной тенденцией для большинства искусственных материалов является наиболее точная имитация натуральных материалов по цвету, текстуре, рисунку и фактуре, а уровень развития техники позволяет добиваться высокого сходства до такой степени, что часто невозможно без тщательного изучения отличить искусственные материалы от природных.

В зависимости от своего физического состояния отделочные материалы разделяют на:

— жидкие — представляют собой смесь минерального или органического вяжущего и декоративного дисперсно-распределенного компонента (лакокрасочные составы, наливные полы);

— штучные отделочные материалы — набор изделий относительно небольших размеров (паркет, керамическая плитка);

— сборные элементы представляют собой изделия (чаще всего плиты) относительно большого размера (гипсоволокнистые и гипсокартонные листы, стеновые панели, плиты на основе древесины, ламинированный паркет), для монтажа которых необходимо применять скобяные изделия (гвозди, саморезы, заклепки) или использовать специальную технологию.

По условиям эксплуатации отделочные материалы можно разделить на наружные экстерьерные для работ вне помещения и внутренние интерьерные для выполнения работ внутри здания. Экстерьерные материалы — это фасадные (декоративная штукатурка, краска, керамический гранит) или кровельные (металлическая, керамическая и другие виды черепицы). Интерьерные материалы — это потолочные (гипсокартон, натяжные потолки), стеновые (краска, обои, штукатурные составы), половые (паркет, линолеум, ковровое покрытие).

По назначению отделочные материалы принято разделять на:

— отделочно-декоративные — это тонкие рулонные материалы (линолеум, обои), плиты небольшой толщины (керамические или из природного камня) или составы, наносимые

на поверхность достаточно тонким слоем (декоративная штукатурка, лак или краска);

— конструкционно-отделочные — это декоративные материалы, воспринимающие нагрузку и являющиеся несущими элементами (стеклоблоки, декоративный бетон, облицовочный кирпич);

— защитно-отделочные изделия и материалы, кроме декоративных, предназначены выполнять дополнительные функции: защита от шума, рентгеновского излучения или воздействия окружающей среды.

## 19.1. Красочные составы

**Красочный состав** — это вязкожидкие многокомпонентные эмульсии, состоящие из связующего (матрицы), пигмента и наполнителя, которые наносят тонкими слоями для отделки и защиты поверхности строительных конструкций из металла, железобетона, дерева, кирпича и других материалов от воздействия окружающей среды.

Красочный состав состоит из нескольких основных компонентов: связующего (пленкообразующего), наполнителей, растворителя и придающих цвет покрытию пигментов. Связующее обеспечивает сцепление с обрабатываемым основанием, а после затвердевания в результате физико-химических процессов образует покровные пленки. Производят красочные составы на водной основе (известковые, силикатные, цементные, клеевые, казеиновые), масляной (натуральные) или полимерной. Для повышения декоративных и защитных свойств и удешевления в красочные составы дополнительно вводят тонкоизмельченные наполнители: тальк, микрокальцит (мел или известняки), диатомит, молотый песок или слюду. Введе-

ние растворителя (искусственного органического или воды) позволяет изменять вязкость красочного состава без дополнительного расхода более дорогого связующего.

При выполнении отделочных работ необходимо учитывать несколько эксплуатационно-экономических факторов: прогнозируемый срок службы покрытия с учетом морального старения всего здания и расходы на текущие и капитальные ремонты в течение времени эксплуатации. В настоящее время большинство отделочных работ выполняют с применением красочных составов (более половины всего объема отделочных работ) после оценки указанных факторов.

Поверхности большинства строительных материалов имеют значительную шероховатость, достаточно большое количество пор, капилляров различного размера, раковин и других дефектов структуры, по величине которых их принято разделять на классы А1–А7 в соответствии с нормативами. Эти дефекты существенно изменяют свойства поверхности, придают ей способность впитывать связующее красочного состава и частично вступать в химическое взаимодействие с ним. В большинстве случаев жидкие отделочно-декоративные материалы (красочные составы) наносят на бетонные или растворные поверхности конструкций с повышенной пористостью и шероховатостью, поэтому поверхности железобетонных и бетонных конструкций, подлежащие окраске, по максимально допустимому диаметру раковин (открытых пор), высоте наплыва бетона и глубине сколов должны соответствовать категории А2 и А3.

Для снижения расхода окрасочного материала и повышения качества покрытия также при необходимости дополнительно подготавливают и выравнивают поверхности с помощью специальных композиций. В общем виде технологический процесс получения окрашенных покрытий состоит из следующих последовательных операций: шпатлевание, грунтование и нанесение красочных слоев. Требования к внешнему виду и ус-

ловия эксплуатации покрытий определяют наличие и количество указанных операций. Шпатлевание (местное или общее выравнивание поверхности) выполняют с помощью густых пастообразных составов для повышения качества поверхности и предотвращения возможного ее растрескивания. Грунтовочный слой предназначен для снижения впитывающих свойств материала основания и повышения адгезии красочного состава и представляет собой жидкую суспензию специального состава или разбавленный красочный состав. Грунтовки для металлических поверхностей содержат ингибиторы коррозии для повышения долговечности покрытия.

Шпатлевочный, грунтовочный и последующие окрашивающие слои образуют многослойный композиционный материал покрытия, особенно эффективный в случае пористой и химически активной подложки — основания. В качестве финишной отделки в ряде случаев выполняют шлифование готовой поверхности или покрывают ее лаком.

## 19.2. Свойства красочных составов

В зависимости от использованных при производстве компонентов красочным составам присущи различные характеристики, однако существует ряд характерных для всех свойств.

**Красящая способность** — способность пигмента передавать свой цвет смеси с белым пигментом минимально возможным количеством.

**Светостойкость** — способность пигмента сохранять свой первоначальный цвет под действием ультрафиолетовых лучей. Минеральные пигменты более светостойки, чем органические.

**Маслоемкость** — минимальное количество олифы, необходимое для перевода 100 г пигмента в пастообразное состояние.

**Атмосферостойкость** — способность противостоять атмосферным воздействиям: попеременному изменению температуры или влажности, действию кислорода и других компонентов воздуха.

**Щелочестойкость** — способность пигмента сохранять первоначальный цвет в щелочной среде, что актуально для составов, наносимых на бетонные и растворные поверхности. Щелочестойкими являются почти все природные или искусственные минеральные пигменты (титановые белила, оксид хрома, органические пигменты красных цветов).

---

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Профессия строителя во все времена была очень востребованной, уважаемой и ответственной. Дошедшие до наших дней образцы древнерусской архитектуры, построенные без единого гвоздя (церковь Спаса Преображения в Костроме, Кижы в Карелии и другие), вызывают восторг и уважение потомков.

К сожалению, в последние десятилетия проблемы долговечности и надежности строительных объектов все больше вызывают вопросы и озабоченность общества. Участились случаи внезапного обрушения относительно недавно построенных или строящихся жилых и общественных зданий и различных сооружений. Поэтому требования к компетентности и профессионализму участников строительного производства, особенно в условиях внедрения новых технологий строительства и стремительно меняющегося ассортимента материалов и изделий, безусловно, возрастают.

Грамотный выбор качественно изготовленных материалов и изделий, правильное их использование в процессе строительства и дальнейшей эксплуатации — важное условие создания безопасных строительных объектов, обладающих всеми необходимыми техническими и социальными характеристиками.

Авторы данного пособия надеются, что оно будет полезно не только студентам, обучающимся по направлению подготовки «Строительство», но и инженерно-техническим работникам строительной отрасли.

---

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баженов Ю. М. Технология бетона / Ю. М. Баженов. — Москва : Изд-во АСВ, 2002. — 499 с.
2. Горчаков Г. И. Строительные материалы: учеб. для вузов / Г. И. Горчаков, Ю. М. Баженов. — Москва : Стройиздат, 1986. — 688 с.
3. Горчаков Г. И. Строительные материалы / Г. И. Горчаков, Ю. М. Баженов. — Москва : Книга по требованию, 2012. — 688 с.
4. Надежные схемы [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://twlwsvnt.appspot.com/tehnologicheskaya-shema-proizvodstvavsvetnyh-cementov.html>. — Загл. с экрана.
5. Попов Л. Н. Строительные материалы и изделия / Л. Н. Попов, И. Л. Попов. — Москва : ГУП ЦПП, 2000. — 384 с.
6. Попов К. Н. Строительные материалы и изделия / К. Н. Попов, М. Б. Каддо ; изд. перераб. и доп. — Москва : Высшая шк., 2009. — 439 с.
7. Рыбьев И. А. Материаловедение в строительстве / И. А. Рыбьев. — Москва : Издательский центр «Академия», 2006. — 528 с.
8. Рыбьев И. А. Строительное материаловедение: учеб. пособие для строит. спец. вузов / И. А. Рыбьев. — Москва : Высш. шк., 2009. — 703 с.
9. Строительные материалы : учебник / В. Г. Микульский [и др.]. — М. : Изд-во АСВ, 2004. — 531 с.
10. Строительные материалы / В. Г. Микульский, Г. И. Горчаков, В. В. Козлов, Г. П. Сахаров. — Москва : АСВ, 2010. — 430 с.



---

# ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. КЛАССИФИКАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	5
2. СОСТАВ И СТРУКТУРА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ .....	10
3. СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	18
3.1. Физические свойства материалов .....	19
3.2. Химические свойства.....	26
3.3. Механические свойства строительных материалов ....	27
3.4. Технологические свойства строительных материалов.....	34
3.5. Эксплуатационные свойства .....	35
4. СТАНДАРТИЗАЦИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ .....	39
5. ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ СЫРЬЯ.....	54
6. ДРЕВЕСНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ.....	61
7. ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ .....	67

8. ИСКУССТВЕННЫЕ ОБЖИГОВЫЕ (КЕРАМИЧЕСКИЕ) МАТЕРИАЛЫ.....	68
8.1. Керамические материалы и изделия из легкоплавких глин .....	69
8.2. Керамические материалы и изделия из тугоплавких глин.....	76
9. СТЕКЛО И СТЕКЛЯННЫЕ ИЗДЕЛИЯ .....	77
9.1. Свойства стекол .....	77
9.2. Виды стекол .....	79
9.3. Виды изделий из стекла .....	81
10. МЕТАЛЛЫ И МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ.....	86
10.1. Черные металлы .....	87
10.2. Цветные металлы и сплавы .....	91
10.3. Коррозия металлов и защита от нее .....	93
11. ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	94
11.1. Исходные полимерные материалы.....	95
11.2. Основы производства изделий из пластмасс .....	99
11.3. Полимерные трубы .....	100
11.4. Полимерные мастики и бетоны .....	101
12. КЛАССИФИКАЦИЯ ВЯЖУЩИХ МАТЕРИАЛОВ.....	102
13. ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ МАТЕРИАЛЫ, РАСТВОРЫ И БЕТОНЫ НА ИХ ОСНОВЕ.....	105
13.1. Битумные материалы .....	106
13.2. Дегтевые материалы .....	108
13.3. Асфальтовые растворы.....	109
13.4. Асфальтобетоны .....	110

---

14. ВОЗДУШНЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА.....	115
14.1. Гипсовые вяжущие вещества.....	115
14.2. Воздушная известь .....	118
14.3. Магнезиальные вяжущие материалы .....	122
14.4. Растворимое (жидкое) стекло.....	123
15. ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ .....	125
16. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ЦЕМЕНТОВ .....	133
17. МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ.....	140
17.1. Строительные растворы.....	140
17.2. Сухие строительные смеси .....	142
17.3. Бетоны .....	145
17.4. Бетонная смесь и ее свойства .....	152
17.5. Структура бетона.....	155
17.6. Свойства бетона .....	158
17.7. Расчет состава тяжелого бетона.....	159
17.8. Железобетон.....	173
18. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	186
18.1. Органические теплоизоляционные материалы .....	187
18.2. Неорганические теплоизоляционные материалы ....	189
19. ОТДЕЛОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ .....	191
19.1. Красочные составы .....	193
19.2. Свойства красочных составов .....	195
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	197
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	198

*Учебное издание*

**Руднов** Василий Сергеевич  
**Владимирова** Елена Владимировна  
**Доманская** Ирина Кузьминична  
**Герасимова** Екатерина Сергеевна

## **СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ**

Редактор *Н. П. Кубыщенко*  
Компьютерный набор *Е. С. Герасимовой*  
Компьютерная графика *Р. В. Бутина*  
Верстка *Е. В. Ровнушкиной*

Подписано в печать 15.02.2018. Формат 60×84 1/16.  
Бумага писчая. Цифровая печать. Усл. печ. л. 11,9.  
Уч.-изд. л. 9,3. Тираж 100 экз. Заказ 21.

Издательство Уральского университета  
Редакционно-издательский отдел ИПЦ УрФУ  
620049, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 5  
Тел.: 8 (343) 375-48-25, 375-46-85, 374-19-41  
E-mail: rio@urfu.ru

Отпечатано в Издательско-полиграфическом центре УрФУ  
620083, Екатеринбург, ул. Тургенева, 4  
Тел.: 8 (343) 358-93-06, 350-58-20, 350-90-13  
Факс: 8 (343) 358-93-06  
<http://print.urfu.ru>

*Для заметок*



