

НАУЧНО – ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

«МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»

Содержание

Лекция 1.

Материаловедение. Задачи курса. Нормативные документы. Требования к строительным материалам, конструкциям и сооружениям по безопасности, экологии, экономическим показателям. Классификация материалов по назначению. Надежность и долговечность. Состав, структура и свойства.

Лекция 2.

Основные свойства строительных материалов. Физические свойства (параметры состояния, гидрофизические и теплофизические свойства).

Лекция 3.

Основные свойства строительных материалов. Теплофизические свойства. Деформативные и физико-механические свойства.

Лекция 4.

Природные каменные материалы из магматических, осадочных и метаморфических горных пород. Строение и свойства.

Лекция 5.

Техногенные отходы как сырье для производства строительных материалов.

Лекция 6.

Строение и свойства древесины. Строительные материалы из древесины.

Лекция 7.

Керамические кирпичи, камни и плитки.

Лекция 8.

Гидроизоляционные материалы.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Микульский В.Г., Сахаров Г.П. и др. Строительные материалы (Материаловедение. Технология конструкционных материалов). – М.: Издательство АСВ, 2007. – 520 с.

2. Попов К.Н., Каддо М.Б. Строительные материалы и изделия. – М.: Высшая школа, 2008. – 440 с.
3. Попов К.Н., Каддо М.Б., Кульков О.В. Оценка качества строительных материалов. – М.: Высшая школа, 2004. – 287 с.
4. Рыбьев И.А. Строительное материаловедение. – М.: Высшая школа, 2003. – 701 с.
5. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 46 с.
6. Федеральный закон «О техническом регулировании». – М.: Ось – 89, 2003. – 48 с.
7. Горшков В.С., Тимашев В.В., Савельев В.Г. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ. – М.: Высшая школа, 1981. – 335 с.
8. Шилин А.А., Зайцев М.В., Золотарев И.А., Ляпидевская О.Б. Гидроизоляция подземных и заглубленных сооружений при строительстве и ремонте: Учеб. пособие. – Тверь: «Русская марка», 2003. – 400 с.

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ «МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»

Лекция № 1.

Материаловедение. Задачи курса. Нормативные документы. Требования к строительным материалам, конструкциям и сооружениям по безопасности, экологии, экономическим показателям. Классификация материалов по назначению. Надежность и долговечность. Состав, структура и свойства.

Материаловедение – это наука, изучающая связь состава, строения и свойств материалов, закономерности их изменения при физико-химических, физических, механических и др. воздействиях.

При подготовке специалистов по направлению «Строительство» дисциплина «Материаловедение. Технология конструкционных материалов» занимает особое место. Строительные материалы оказывают решающее влияние на технико-экономическую эффективность, безопасность строительства и эксплуатацию зданий и сооружений. Строительные материалы составляют более 50 % сметной стоимости объектов. Данная дисциплина является первой инженерной дисциплиной, которая закладывает базу для изучения специальных дисциплин – строительных конструкций, технологии строительного производства, экономики, управления и организации строительства, архитектуры и др. Во время ее изучения возникают трудности, связанные с необычностью для бывших школьников изложения курса. Каждый материал имеет название, структуру, показатели качества или свойства, их численные значения, способы производства, условия и особенности применения и т.д. Всё это надо знать, чтобы считать себя настоящим строителем.

В 2003 году был принят Закон «О техническом регулировании». В этом законе на первое место поставлено обеспечение безопасности жизни и здоровья людей, охрана окружающей среды, имущества при всех видах собственности. По этому закону разрабатываются Технические регламенты в виде обязательных требований к продукции, процессам производства, работам и услугам, правилам эксплуатации, перевозки и хранения.

Остальные нормативные документы – национальные и межгосударственные стандарты, стандарты предприятий и общественных организаций, региональные нормы, которые разрабатываются в соответствии с этим законом, имеют рекомендательный и добровольный к применению характер.

Концепция безопасности по отношению к строительным материалам означает обеспечение функциональных свойств, экологической чистоты, пожаробезопасности и безвредности материалов в течение всего их срока службы. Это относится к конечной строительной продукции – конструкции, здания, сооружения, которые сделаны из строительных материалов. Поэтому для обеспечения безопасности необходимо знать функциональное назначение, условия эксплуатации конечной продукции при изучении, выборе и разработке строительного материала, что обеспечивает стабильность его показателей во время эксплуатации.

Любой строительный объект должен отвечать условиям безопасности, быть функционален и экономически состоятелен. Необходимо также учитывать желание заказчика.

Строительные материалы классифицируют по назначению на 2 группы:

1 группа: конструкционные материалы для несущих конструкций (природные каменные материалы, бетоны, растворы, керамика, стекло, ситаллы, металлы, полимеры, древесина, композиты и др.);

2 группа: строительные материалы специального назначения - теплоизоляционные, акустические, гидроизоляционные, герметики, кровельные, отделочные, антикоррозионные, огнеупорные материалы, материалы для радиационной защиты и т.д.

Свойства материалов имеют названия и оцениваются численными значениями, которые устанавливаются путем стандартных испытаний.

Конструкции, здания и сооружения должны иметь высокую надежность.

Надежность – это комплексное свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров при выполнении требуемых функций в заданных условиях эксплуатации и технического обслуживания. Она

складывается из долговечности, безотказности, ремонтпригодности и сохраняемости.

Безотказность (Reliability, failure-free operation) – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение времени.

Долговечность (Durability, longevity) – свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта (срок службы).

Например, для железобетонных и каменных конструкций нормами предусмотрены три степени долговечности: I – соответствует сроку не менее 100 лет; II – 50 лет; III – 20 лет.

Ремонтпригодность (Maintainability) – свойство объекта к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния при техническом обслуживании и ремонте.

Сохраняемость (Storability) – свойство объекта сохранять в заданных пределах значения параметров при выполнении требуемых функций (иногда трактуется – после хранения и транспортировки).

Все строительные материалы имеют состав. Они характеризуются химическим, минеральным, фазовым и вещественным составом.

Химический состав – это количество химических элементов или оксид в материале. Он позволяет судить об огнестойкости, биостойкости, механических свойствах и т.д. материалов.

Минеральный состав показывает, какие минералы и в каком количестве содержатся в строительном материале.

Фазовый состав материала – это наличие твердого вещества или каркаса, пор, заполненных воздухом или другим газом, и воды. Причем, если поры материала заполнены водой, то его, например, теплофизические свойства существенно изменяются, так же, как и влажностные деформации. Если вода в порах замерзает, то она изменяет свое фазовое состояние и возникают большие напряжения, которые весьма изменяют механические и деформативные свойства.

Вещественный состав составляют вещества, входящие материал: например, многокомпонентные цементы и др.).

От состава материала зависит его структура или строение, которые, в свою очередь, влияют на его свойства. В материаловедении принято использовать термин строение материала. Существует научно доказанная взаимосвязь между тремя составляющими выражения: «*состав – структура – свойства*».

Строение материала изучают на 3-х уровнях:

1. *Макроструктура материала* – строение, видимое невооруженным глазом.
2. *Микроструктура материала* – строение видимое в оптический микроскоп.
3. *Внутреннее строение материалов* – изучаемое на молекулярно-ионном уровне методами рентгенофазового анализом, рентгеноструктурного и электронной микроскопии.

Макроструктура твердых строительных материалов может быть следующих типов:

- конгломератная (бетоны);
- ячеистая (газобетоны и пенобетоны, ячеистые пластмассы);
- мелкопористая (керамика);
- волокнистая (древесина, стеклопластики, минеральная вата);
- слоистая (фанера, слоистые пластики: бумопласт, текстолит);
- рыхлозернистая (заполнители для бетона, наполнители для цементов, пластмасс и др.);
- макроструктура природных каменных материалов.

Микроструктура материала может быть кристаллическая и аморфная.

Кристаллическая форма всегда более устойчивая. Она имеет постоянную температуру плавления и определенную геометрию кристаллов, составляющих материал.

Внутреннее строение материалов может быть в виде кристаллических решеток из нейтральных атомов одинаковых элементов (алмаз) или разных

(кварц или разновидности SiO_2); ионов (CaCO_3 , металлы); молекул (кристаллы льда).

От внутреннего строения зависят все свойства материалов. Оно может изучаться методами рентгеноструктурного анализа, на сканирующем, растровом микроскопах-микроанализаторах и др.

Лекция № 2.

Основные свойства строительных материалов. Физические свойства (параметры состояния, гидрофизические и теплофизические свойства).

На первых лекциях специально даются основные свойства строительных материалов. Знание терминологии позволит свободно изучать все разделы курса. Все названия свойств будут повторяться, но для каждого материала они будут отличаться друг от друга. Изучение основных свойств – это ступеньки познания большого количества строительных материалов. Каждое свойство обязательно имеет свою размерность, которую всегда надо указывать.

Физические свойства

Параметры состояния. К ним относятся свойства, которыми обладает материал в естественном состоянии.

Истинная плотность – ρ (г/см^3 , кг/м^3) – масса (m) единицы объема абсолютно плотного материала - V_a :

$$\rho = m/V_a$$

Средняя плотность – ρ_m (г/см^3 , кг/м^3) – масса (m) единицы объема материала в естественном состоянии - V_e :

$$\rho_m = m/V_e$$

Относительная плотность – d выражает среднюю плотность материала по отношению к плотности воды (безразмерная величина):

$$d = \rho_m / \rho_v$$

Плотность пористых материалов всегда меньше их истинной плотности.

Средняя насыпная плотность или насыпная плотность – ρ_n (г/см³, кг/м³)

– масса (**m**) единицы объема рыхло насыпанных зернистых или волокнистых материалов - V_n (цемента, песка, щебня, минеральной ваты и др.):

$$\rho_n = m/V_n$$

Почти все строительные материалы имеют поры. Объем пористого материала V (см³, м³) в естественном состоянии (то есть вместе с порами) складывается из объема твердого вещества V_a и объема пор V_n :

$$V = V_a + V_n$$

Строение пористого материала характеризуется общей, открытой и закрытой пористостью, распределением размера пор по их диаметрам или радиусам и их удельной поверхностью.

Пористость П – это показатель заполнения объема материала порами, %.

$$П = V_n / V$$

Пористость можно определить прямым экспериментальным методом, который основан на замещении порового пространства в материале сжиженным гелием, ртутью или другой средой.

Для сравнения, в табл. 1 приводятся параметры состояния некоторых строительных материалов.

Таблица 1

Показатели параметров состояния некоторых строительных материалов

Материал	Истинная плотность, кг/м ³	Средняя плотность, кг/м ³	Пористость, %
Бетон тяжелый	2600	2400	10
Бетон ячеистый	2600	500	81
Кирпич обыкновенный	2650	1800	32
Гранит	2700	2670	1,4

Стекло оконное	2650	2650	0
Стеклопластик	2000	2000	0
Сосна	1530	500	67

Пористость можно определить опытно-расчётным путём по формуле:

$$\Pi = (1 - \rho_m / \rho) \cdot 100 = 100 - K_{пл.}$$

В этой формуле коэффициент плотности $K_{пл.}$ равен:

$$K_{пл.} = \rho_m / \rho$$

Гидрофизические свойства

Эти свойства оказывают существенное влияние на механические и теплофизические свойства.

Гигроскопичностью называют свойство строительного материала поглощать водяной пар из окружающего воздуха. Такой процесс является сорбцией. Он обратим. А влага, которую получает материал во время этого процесса, называется сорбционной влажностью. Гигроскопичность и сорбционная влажность измеряются в %.

Капиллярное всасывание (%) воды пористым материалом происходит, когда часть конструкции находится в воде или соприкасается с ней. Так грунтовые воды могут подниматься по бетонным, железобетонным и кирпичным стенам на значительную высоту.

Эти процессы увеличивают влажность строительных материалов, которая бывает по массе и по объему.

Влажностью называется количество влаги внутри материала по отношению к массе (m_c) или его объему высушенного материала. Единица измерения – %. Это свойство можно отнести к параметрам состояния.

Влажность по массе:

$$w_m = (m_{вл.} - m_c) / m_c \cdot 100 \%$$

Влажность по объему:

$$w_o = (m_{\text{вл.}} - m_c) / V \cdot 100 \% = w_m \cdot d,$$

где **d** – относительная средняя плотность материала в высушенном состоянии.

Очень важным свойством является водопоглощение строительных материалов. Особенно это касается стеновых материалов: бетонов, кирпича, древесины. Водопоглощение определяется выдерживанием образца в воде до постоянной массы.

Водопоглощение – способность материала поглощать и удерживать воду. Единица измерения – %. Водопоглощение определяют по массе и объёму.

Водопоглощение по массе:

$$W_m = (m_{\text{нас.}} - m_c) / m_c \cdot 100 \%,$$

где **m_{нас.}** и **m_c** массы насыщенного и высушенного образцов соответственно.

Водопоглощение по объёму:

$$W_o = (m_{\text{нас.}} - m_c) / V \cdot 100 \% = W_m \cdot d$$

d – относительная плотность материала.

Водопоглощение отрицательно влияет на основные свойства строительных материалов, среднюю плотность, материал набухает, его теплопроводность возрастает, прочность и морозостойкость снижаются.

Водопоглощение используют для оценки структуры материала, используя коэффициент насыщения пор водой.

Коэффициент насыщения пор водой равен отношению водопоглощения по объёму к пористости:

$$K_n = W_o / \Pi$$

По коэффициенту насыщения пор водой можно достаточно косвенно оценивать морозостойкость материала:

если **$K_n \leq 0,6$** , то можно считать, что материал морозостойкий;

если **$0,6 < K_n < 0,8$** , то материал имеет сомнительную морозостойкость,

а если $K_n \geq 0,8$, то материал неморозостойкий.

Эти утверждения основаны на рассуждениях о величине заполнения пор водой: чем больше пор заполнены водой, тем вероятность разрушения материала больше после замерзания в порах воды.

Материалы наружных несущих ограждающих конструкций после дождей насыщаются водой. Для обеспечения безопасности требуется знать будет ли снижаться прочность материала стены. Для этого существует коэффициент размягчения - K_p , который связывает прочность материала, насыщенного водой - R_b и прочность материала в сухом состоянии - R_c .

Коэффициент размягчения равен отношению прочности материала, насыщенного водой, к прочности сухого материала:

$$K_p = R_b / R_c$$

Коэффициент размягчения характеризует водостойкость материала:

если $K_p \geq 0,8$, то материал водостойкий и снижение прочности после водонасыщения не превышает 20 %;

если $0,6 < K_p < 0,8$, то материал имеет сомнительную водостойкость;

если $K_p \leq 0,6$, то можно считать, что материал неводостойкий и после увлажнения потеря прочности составляет 40 и более процентов.

Для строительных материалов, используемых в несущих ограждающих конструкциях, обязательно необходимо определять коэффициент размягчения. Раньше этот коэффициент называли еще коэффициентом водостойкости.

Ранней весной и поздней осенью влага от дождей накапливается в материале и под действием мороза замерзает в порах материала. При этом возникают большие напряжения, которые могут привести к разрушению материала стены. Для определения способности материала выдерживать попеременные циклы замораживания и оттаивания существует свойство под названием морозостойкость. Это свойство является одним из главных для нашего климата.

Морозостойкостью называется свойство материала выдерживать циклы замораживания и оттаивания без существенной потери массы и прочности по

сравнению с образцами неподвергнутыми испытаниям. Чаще всего материал испытывают в насыщенном водой состоянии. Например, образцы из тяжелого бетона насыщают водой и замораживают в течение 4 часов при температуре минус 15 °С...минус 20 °С, затем оттаивают в течение 4 часов при температуре + 15...20 °С. Взвешивают. Если потеря по массе превышает 5 %, то образцы испытывают на прочность. Потеря прочности при испытаниях на сжатие не должна быть больше 15 % по сравнению с образцами, которые не насыщались водой и не морозились.

Существуют марки по морозостойкости. Они обозначаются английской буквой F (от слова frost – мороз) и цифрами циклов, которые выдержали образцы материала. Марки по морозостойкости есть: F 15; F 25; F 35; F 50; F 75; F 100; F 125; F 150; F 175; F 200; F 300; F 400; F 500 и т.д. Для климата Средней полосы России достаточно 15 циклов, но обычно берется значение на 1 марку выше, поэтому принимается минимальная марка F 25. Единица измерения морозостойкости ЦЗО (циклы замораживания и оттаивания).

Морозостойкость напрямую связана с водопоглощением материала: чем выше водопоглощение, тем ниже морозостойкость.

Водонепроницаемость – это способность материала не пропускать воду под давлением. Единица измерения – $\text{кгс/см}^2 = \text{атм.}$

Это свойство очень важно для бетонов. Оно характеризуется маркой по водонепроницаемости при одностороннем гидростатическом давлении, при котором образец не пропускает воду. Существуют марки по водонепроницаемости: W2, W4, W6, W8, W10, W12, W14, W16, W18 ($\text{кгс/см}^2 = \text{атм.}$). В научной литературе значение марки по водонепроницаемости доходит до W24. Обозначение происходит от английского слова *watertightness* – водонепроницаемость.

К гидрофизическим свойствам многие авторы относят влажностные деформации. Однако, их следует все-таки рассматривать в деформативных свойствах.

Лекция № 3.

Основные свойства строительных материалов. Теплофизические свойства. Физико-механические и деформативные свойства.

Развитие цивилизации с каждым днем делает жизнь человека комфортнее. Это закреплено и в нормативных документах. Так, температура внутри жилого помещения должна быть от 18 до 22 °С и выше (в зависимости от региона). Она устанавливается чаще всего местными властями и зависит от их финансовых возможностей. Относительная влажность воздуха внутри жилых помещений установлена от 40 до 60 %. Температура и влажность внутри жилья в течение года должна быть практически постоянной. Это способствует хорошему самочувствию людей.

Теплофизические свойства.

Главным теплофизическим свойством для строительных материалов – термическое сопротивление ограждающей конструкции теплопередаче **R**.

Термическое сопротивление теплопередаче – способность конструкции противостоять движению тепла через нее. В настоящее время оно устанавливается в СНиП для каждого региона. Для условий Москвы оно установлено 2,5 (м² · °С)/Вт. На основании этого показателя происходит теплотехнический расчет конструкции стены. Требуемое значение термического сопротивления теплопередаче **R₀** или термического сопротивления делают толщину стен достаточно большой, поэтому в индустриальном строительстве применяют двух- и трехслойные ограждающие конструкции с использованием эффективного утеплителя (минераловатных плит, плит из пенопласта). Теплотехнический расчет конструкции стены производится по формуле:

$$R_0/r - (1/\alpha_{в} + 1/\alpha_{н}) = \sum \delta_i/\lambda_i$$

r – коэффициент однородности стены:

для однослойной стены **r** = 0,9; для двухслойной стены **r** = 0,8;

для трехслойной и более стены $r = 0,7$;

$\alpha_{в}$ и $\alpha_{н}$ – теплоотдача внутренней и наружной поверхности стены;

δ_i – толщина каждого слоя стены, м;

λ_i – теплопроводность каждого слоя стены, Вт/(м · °С).

По этой формуле находится толщины каждого слоя и всей стены, так как все остальные значения известны.

Теплопроводностью – λ называют способность материала передавать теплоту от одной поверхности другой. Она зависит от влажности материала: чем выше влажность, тем больше теплопроводность. Теплопроводность суммарно может передаваться теплопроводностью как таковой λ_m , конвекцией λ_k и излучением λ_n :

$$\lambda = \lambda_m + \lambda_k + \lambda_n$$

Теплоемкость – это количество теплоты - Q , которое необходимо сообщить 1 кг материала - m , чтобы повысить его температуру на 1 °С - Δt , кДж/(кг · °С). Иными словами – это способность материала аккумулировать тепло при нагревании и отдавать его при остывании.

$$c = Q / m \cdot \Delta t$$

Существуют различные условия, где строительные материалы могут работать при повышенных температурах. При этом они должны обладать тугоплавкостью или огнеупорностью.

Тугоплавкостью называют способность материала выдерживать без разрушения температуры от 1350 до 1580 °С. Единица измерения – °С.

Огнеупорность – способность материала выдерживать без разрушения температуры выше 1580 °С. Единица измерения – °С.

Огнестойкость – способность материала при пожаре выдерживать в течение времени соприкосновение с огнем до начала серьезных деформаций и обрушения конструкций. Огнестойкость имеет категории. Единица измерения – часы, ч. При пожаре развиваются высокие температуры: около 1000 °С; при

горении полимеров – до 2000 °С; при горении алюминия – 3000 °С.

Деформативные и физико-механические свойства.

Материалы в конструкции подвергаются различным воздействиям и нагрузкам. Нагрузки в свою очередь вызывают деформации и напряжения.

Нагрузки могут быть статическими, т.е. действующими постоянно, и динамическими, возникающие внезапно. Статические нагрузки действуют от массы стен, перекрытий, оборудования и т.п.

Основными деформативными свойствами строительных материалов являются упругость, пластичность, хрупкость, модуль упругости, температурные и влажностные деформации, деформации ползучести и усадки.

Упругостью твердого тела называется его свойство деформироваться под нагрузкой и самопроизвольно восстанавливать форму после прекращения внешнего воздействия. Она является обратимой деформацией (см. рис. 1 а). Единица измерения – МПа.

Пластичность – это свойство твердого тела изменять свою форму и размеры под действием внешних сил без нарушения сплошности структуры. После снятия нагрузки образуется остаточная необратимая деформация. (см. рис. 1 а и б). Единица измерения – МПа.

Рис. 1. Деформации: а – упругая; б - пластическая, в – хрупкая.

Хрупкость – это свойство твердого тела разрушаться практически без пластической деформации (рис. 1 в). Единица измерения – МПа.

$$\varepsilon = \sigma / E; \quad E = \varepsilon / \sigma$$

σ – напряжение, МПа;

E – модуль упругости (модуль Юнга), МПа;

$\varepsilon = \Delta l / l_0$ – относительная деформация. Единица измерения – безразмерная величина или мм/м.

Величина модуля упругости зависит от структуры материала: чем выше энергия межатомных связей, тем больше модуль упругости.

Под действием окружающей среды, при изменении влажности материала могут возникать влажностные деформации усадки (усушки).

Усадка – уменьшение размеров материала при высыхании. Единица измерения – мм/м, иногда – %.

Набухание – увеличение размеров материала при увлажнении. Единица измерения – мм/м, иногда – %.

Изменение размеров материала под действием его собственной массы называется *ползучестью*. Единица измерения – мм/м, иногда – %.

В настоящее время большое развитие получило новое направление – механика разрушения твердых тел. Она позволяет количественно оценить затраты энергии на упругое деформирование, старт магистральной трещины, ее рост и полное разрушение. Это происходит за счет автоматической записи диаграммы «нагрузка – прогиб» при равновесных и неравновесных испытаниях. Равновесные испытания позволяют получить более достоверные результаты, поскольку при них выполняется закон сохранения энергии и есть возможность получать ниспадающую ветвь диаграммы (вплоть до разрушения). Схема установки, принцип получения полностью равновесных диаграмм деформирования показана на рис. 2 и 3.

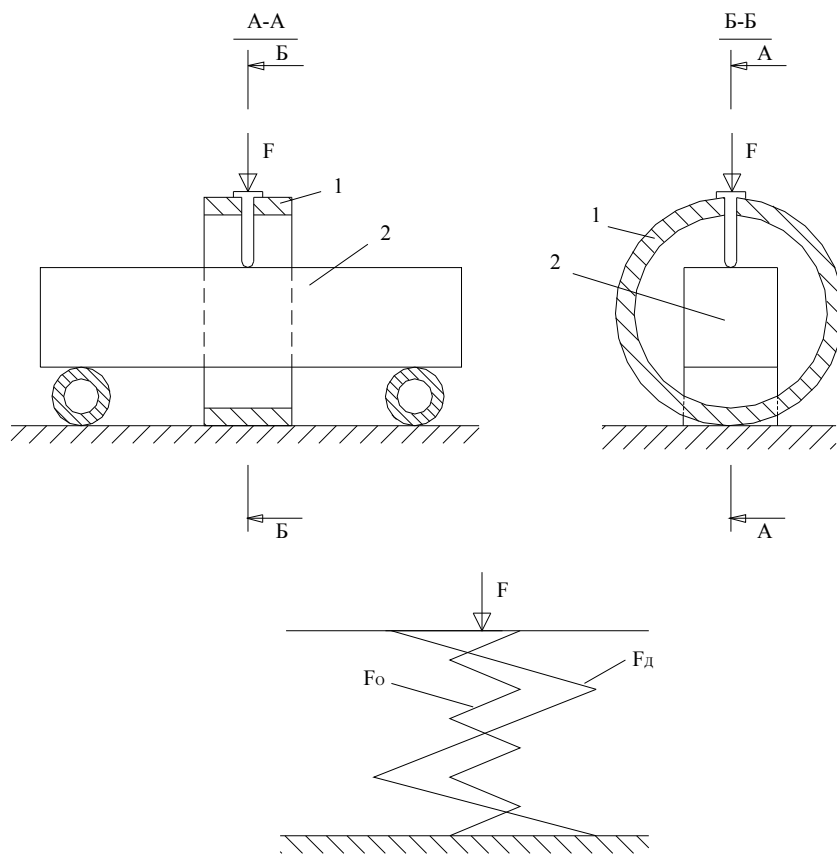


Рис. 2. Принцип получения полностью равновесных диаграмм деформирования.

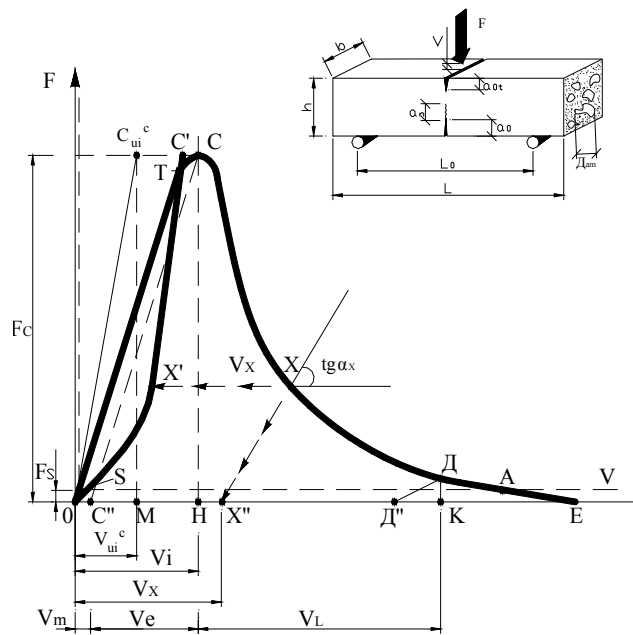


Рис. 3. Машинная (СТСДА) и расчётная (ОТСДД") диаграммы деформирования и разрушения образца.

Физико-механические свойства являются очень важными для строительных материалов, также как и гидро- и теплофизические. Они определяются для конструкций, которые являются либо несущими, либо основанием для какого-то покрытия и т.д. К ним относятся прочность при сжатии, при чистом изгибе, при трехточечном изгибе, растяжении.

Прочность – способность материала сопротивляться разрушению от внутренних напряжений, возникающих под действием внешних сил. Ее оценивают пределом прочности. Единица измерений – кгс/см², МПа.

В курсе «Материаловедение. Технология конструкционных материалов» наиболее часто встречаются:

- предел прочности при сжатии (далее – прочность и вид испытаний);
- прочность на растяжение при изгибе.

Прочность при сжатии равна отношению разрушающей нагрузки $P_{\text{разр.}}$ к площади ее приложения - F . Единица измерений прочности – кгс/см², МПа:

$$R_{\text{сж.}} = P_{\text{разр.}} / F$$

Прочность на растяжение при трехточечном изгибе определяется по формуле:

$$R_{\text{р.и.}} = 3 \cdot P_{\text{разр.}} \cdot l / 2 \cdot b \cdot h^2$$

Прочность на растяжение при чистом изгибе определяется по формуле:

$$R_{\text{р.и.}} = P_{\text{разр.}} \cdot l / b \cdot h^2$$

$P_{\text{разр.}}$ – разрушающая нагрузка, кН;

l – расстояние между опорами, м;

b и h – ширина и высота образца, м.

Для оценки эффективности материала используется формула, связывающая его прочность - R и относительную среднюю плотность – d . Этот показатель называется удельной прочностью $R_{уд.}$ или коэффициентом конструктивного качества – $K_{к.к.}$.

$$R_{уд.} = K_{к.к.} = R / d$$

Единица измерений удельной прочности – кгс/см², МПа.

К наиболее используемым физико-механическим свойствам можно отнести твердость материалов.

Твёрдостью твердого тела или материала называется его способность сопротивляться вдавливанию или царапанию.

Шкала Мооса	
1. Тальк	6. Ортоклаз
2. Гипс	7. Кварц
3. Кальцит	8. Топаз
4. Флюорит	9. Корунд
5. Апатит	10. Алмаз

Для минералов применяется шкала Мооса, которая показывает увеличение твердости по мере возрастания номера минерала в этой шкале.

Твёрдость древесины, металлов, керамики, бетона и других материалов определяют, вдавливая в них стальной шарик (метод Бринелля), алмазную пирамиду (методы Роквелла и Виккерса). Твёрдость определяется нагрузкой, отнесенной к площади отпечатка. Единица измерения – МПа.

Чем выше твердость, тем ниже *истираемость* строительных материалов. *Истираемость* – I оценивается потерей первоначальной массы образца материала, отнесенной к площади поверхности истирания и вычисляется по формуле, г/см²:

$$I = (m_1 - m_2) / F$$

m_1 и m_2 – до и после истирания, г.

Первые лекции были посвящены основным свойствам строительных материалов. Некоторые материалы имеют специфические свойства, которые будут рассмотрены в соответствующих разделах курса

Лекция № 4.

Природные каменные материалы из магматических, осадочных и метаморфических горных пород. Строение и свойства.

Главным сырьевым источником для получения строительных материалов являются горные породы. Их используют для производства керамики, стекла, металлов, тепло- и гидроизоляционных материалов, для производства неорганических вяжущих веществ: цемента, извести, строительного гипса. Из них делают мелкий и крупный заполнители для бетонов: песок, гравий, щебень.

Другим сырьевым источником являются техногенные отходы промышленности. Однако, их использование сейчас крайне мало.

Горная порода – это природный минеральный агрегат примерно одинакового состава и строения, являющийся продуктом геологических процессов и образующий в земных недрах самостоятельные тела.

В зависимости от условий формирования горные породы делятся на три генетические группы:

- магматические породы;
- осадочные породы;
- метаморфические породы.

Горные породы сложены из минералов. Их в природе существует более 3000, однако в образовании горных пород участвует лишь около 50.

Минералы – физически и химически однородные тела, возникшие в земной коре под действием физико-химических процессов.

Они различаются по химическому составу и делятся на группы:

- силикатов;

- магнезиальных;
- карбонатов;
- сульфидов и др.

Магматические горные породы

Магматические горные породы или изверженные образуются в процессе кристаллизации расплава магмы, поэтому их называют первичными.

В зависимости от условий образования выделяют две группы: глубинные (интрузивные) и излившиеся (эффузивные).

Главной составляющей таких пород является кремнезём – SiO_2 . В зависимости от его содержания породы делятся: на *кислые* (SiO_2 более 65 %); *средние* (SiO_2 - 52...65 %) и *основные* (SiO_2 менее 52 %).

Основными пороодообразующими минералами магматических горных пород являются кварц и его разновидности, полевые шпаты (ортоклаз и плагиоклазы) железисто-магнезиальные силикаты (оливин, пироксены, амфиболы, серпентин, хризотил-асбест) и алюмосиликаты в виде слюд.

Глубинные породы

Магматические породы, образующиеся в различной геологической обстановке, отличаются специфическими признаками, к которым прежде всего относятся форма магматических тел и их взаимоотношения с вмещающими породами.

Особенностями строения горных пород, зависящие от условий образования, выражаются в структурных и текстурных признаках.

Структура определяется степенью кристалличности и размерами зерен, а также формой и взаимными отношениями составных частей породы.

При медленном остывании магмы в глубинных условиях возникают полнокристаллические структуры. По размерам зерен среди кристаллических пород выделяют: крупнозернистые (средний размер зерен более 5 мм), среднезернистые (1-5 мм) и мелкозернистые (0,5-1 мм), а также равномернозернистые и неравномернозернистые структуры.

Текстура – совокупность признаков, определяемых расположением и распределением составных частей породы относительно друг друга в занимаемом ими пространстве. Подавляющее большинство магматических пород характеризуется массивной текстурой.

Следствием медленного охлаждения магмы является ряд общих свойств для разных глубинных горных пород: весьма малая пористость и, следовательно, большая плотность и высокая прочность. Кроме того, в связи с очень малой пористостью эти породы обычно обладают весьма низким водопоглощением, морозостойкостью и сравнительно высокотеплопроводны. Обработка таких пород из-за их высокой прочности затруднительна. Однако благодаря высокой плотности они хорошо полируются и шлифуются.

Средние показатели важнейших строительных свойств таких пород: прочность при сжатии – 100-300 МПа; плотность – 2600-3000 кг/м³; водопоглощение – меньше 1% по объему; теплопроводность – около 3 Вт/(м[°]С).

К глубинным породам относятся граниты, сиениты, гранодиориты, диориты и кварцевые диориты, габроиды и перидотиты.

Излившиеся горные породы

Магматическая порода, образовавшаяся при кристаллизации магмы на небольших глубинах и занимающая по условиям залегания и структуре промежуточное положение между глубинными и излившимися породами. При кристаллизации магмы в поверхностных условиях образуются полнокристаллические неравномернозернистые и неполнокристаллические структуры.

Среди неравномернозернистых структур выделяются порфиоровидные и порфиоровые структуры. *Порфиоровидные структуры* обусловлены наличием относительно крупных кристаллов на фоне полнокристаллической основной массы породы. Порфиоровые структуры характеризуются наличием хорошо образованных кристаллов – порфиоровых вкрапленников, погруженных в стекловидную основную массу породы.

Структура – существенный признак, определяющий физико-механические свойства породы. Наиболее прочными являются равномернозер-

нистые породы, тогда как породы такого же минерального состава, но крупнозернистой порфировидной структуры быстрее разрушаются как при механическом воздействии, так и при резких колебаниях температур.

Из магматических пород в строительстве наиболее широко применяются кварцевые и бескварцевые порфиры. *Кварцевые порфиры* по своему минеральному составу близки к гранитам. Прочность, пористость, водопоглощение у порфиров в общем сходны с показателями этих свойств, присущими гранитам. Но порфиры более хрупки и менее стойки вследствие наличия крупных вкраплений.

Бескварцевые порфиры по своему составу близки к сиенитам, но в связи с иным генезисом обладают худшими физико-химическими свойствами.

Излившиеся горные породы образовались в результате излияния магмы, ее охлаждения и застывания на поверхности земли, поэтому в большинстве случаев они состоят из отдельных кристаллов, вкрапленных в основную мелкокристаллическую, скрытокристаллическую и даже стекловатую массу.

Излившиеся породы в результате неравномерного распределения минеральных компонентов сравнительно легко разрушаются при выветривании и под воздействием внешних условий, а также обнаруживают анизотропность механических свойств.

Различают эффузивы: излившиеся плотные и излившиеся пористые. К *плотным* излившимся породам относятся трахиты, липариты, андезиты, базальты и диабазы.

К *пористым* излившимся породам относят пемзу, вулканические туфы и пеплы, туфолавы.

Осадочные горные породы

Осадочные горные породы образуются на поверхности Земли при разрушении магматических или метаморфических горных пород. Их называют еще вторичными.

Осадочная порода образуется в условиях переотложения продуктов выветривания и разрушения различных горных пород, химического и механического выпадения осадка из воды, жизнедеятельности растений.

В результате воздействия агентов химического выветривания происходит окисление минералов, их гидратация, а также разложение минералов сложного состава с образованием новых минеральных видов и выносом в растворенном состоянии различного рода соединений.

На первом этапе химического выветривания полевые шпаты переходят в глинистые минералы типа гидрослюда. При более глубоком разложении образуется другой глинистый минерал – каолинит – $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$.

Преобладающая часть продуктов выветривания выносятся из зоны выветривания и отлагается вдали от места разрушения материнских пород. Основными агентами переноса являются текучие воды, движущийся лед и ветер.

Осадочные породы в зависимости от условий их образования делят на три основные группы: *обломочные* породы, или механические осадки: рыхлые (гравий, глина, пески), оставшиеся на месте разрушения пород или перенесенные водой, а также льдом (ледниковые отложения) или ветром (эоловые отложения); *сцементированные* (песчаники, конгломераты, брекчии); *химические* осадки (например, гипс и известковые туфы), образовавшиеся из продуктов разрушения пород, перенесенных водой в растворенном виде: органические породы, образовавшиеся из остатков некоторых водорослей: к органическим породам относятся мел, большинство известняков, диатомиты.

Кроме обломочных рыхлых пород встречаются также породы (конгломераты, брекчии, песчаники), зерна которых сцементированы различными природными цементами. Эти цементы находились в растворенном или коллоидном состоянии в воде и выпали в толще рыхлых осадков, цементируя их зерна в сплошные горные породы различной плотности.

Большинство осадочных пород имеет более пористое строение, чем плотные магматические породы, а следовательно, и меньшую прочность. Некоторые

из них сравнительно легко растворяются (например, гипс) или распадаются в воде на мельчайшие нерастворимые частицы (например, глины).

В составе осадочных пород можно выделить две различные по своему происхождению группы минералов: реликтовые и минералы осадочного происхождения. К первой группе относятся минералы магматические и метаморфические; обычно зерна этих минералов окатаны; ко второй – минералы, образовавшиеся на месте в осадке или в породе.

Главными породообразующими минералами этих пород являются минералы:

- из группы кремнезема: опал, халцедон, осадочный кварц;
- из группы карбонатов: кальцит, доломит, магнезит;
- из группы глинистых минералов: каолинит, монтмориллонит, гидростлюды;
- из группы сульфатов: гипс и ангидрит;
- органические остатки в осадочных породах: диатомиты.

Структура и текстура характеризуют строение породы. Наиболее характерной особенностью строения осадочных пород является их слоистость. В том случае, если слоистость отсутствует, текстуру называют беспорядочной, т.к. частицы расположены без всякой ориентировки (пески и грубообломочные породы).

В зависимости от условий образования осадочные горные породы делят на основные группы:

- 1) обломочные породы или механические осадки:
 - а) рыхлые (гравий, глины, пески;
 - б) сцементированные (песчаники, конгломераты, брекчии);
- 2) химические осадки или хемогенные породы (гипс, известняковые туфы);
- 3) органогенные породы (диатомиты, радиоляриты, спонголиты, трепелы, опоки, органогенные известняки, например, мел)

Метаморфические горные породы

Метаморфические горные породы являются продуктом перекристаллизации магматических и метаморфических горных пород под действием температуры, давления, катализаторов и т.п. процессов в земных недрах. Их еще называют третичными.

Минералы, слагающие метаморфические породы, широко распространены в магматических породах: полевые шпаты, кварц, слюда, роговая обманка, большинство пироксенов, оливин и др; в осадочных породах : кальцит, доломит. Однако, есть минералы типичные в метаморфических породах: серпантин и др.

Основные разновидности горных пород – кристаллические сланцы, гнейсы, кварциты, мрамор.

Лекция № 5.

Техногенные отходы как сырье для производства строительных материалов.

Современная промышленность выпускает десятки тысяч наименований разнообразной продукции. В производство вовлекается во много раз больше исходного сырья, чем выпускается готовых продуктов. Например, на выпуск 1 т чугуна расходуется 1,5 – 2 т сырья, соответственно: алюминия – 3-10 т, никеля – 5-10, извести – 1,5-2 т, цемента – 1,4-1,7 т. При этом на разных стадиях технологического процесса возникают отходы.

Из отраслей, потребляющих промышленные отходы, наиболее емкой является промышленность строительных материалов, доля сырья которой в себестоимости продукции достигает 50% и более. *Многие отходы по своему составу и свойствам близки к природному сырью.* Установлено, что использование промышленных отходов позволяет покрыть до 40% потребности строительства в сырьевых ресурсах. Применение промышленных отходов позволяет на 10-30% снизить затраты на изготовление строительных материалов по сравнению с производством их из природного сырья. Кроме того, из промышлен-

ных отходов можно создавать новые строительные материалы с высокими технико-экономическими показателями.

Основными «производителями» многотоннажных отходов являются: горнообогатительная, металлургическая, химическая промышленности, энергетический комплекс, промышленность строительных материалов, агропромышленный комплекс, лесная и деревообрабатывающая, текстильная промышленность, бытовая деятельность человека. Наряду с термином «отходы производства», используются такие термины, как «побочные продукты промышленности», «вторичное сырье», «попутные продукты» и т.д. Суть основных понятий формулируется следующим образом.

Отходы производства – это все виды остатков данного производства, которые имеют какую-то потребительскую ценность и могут быть использованы в материальном производстве (как правило, после дополнительных операций). *Побочные продукты промышленности* – продукты, получение которых не являлось целью производственного процесса и которые могут быть использованы как готовая продукция после соответствующей обработки или как сырье для переработки. *Вторичное сырье* – материалы и изделия, которые после полного первоначального использования могут применяться повторно в производстве как исходное сырье.

Все отходы можно разделить на две большие группы: минеральные и органические. Преобладающее значение имеют минеральные отходы: их больше, она лучше изучены и имеют наибольшее значение для производства строительных материалов.

В зависимости от преобладающих химических соединений отходы делят на силикатные, карбонатные, известковые, гипсовые, железистые, цинкосодержащие, щелочесодержащие и т.д. В пределах каждой группы возможна более подробная классификация. Например, силикатные отходы в зависимости от процентного содержания кислотных и щелочных оксидов можно разделить на ультраосновные, основные, средние, кислые, ультракислые. Чем выше основность, тем выше гидравлическая активность отходов.

Большая часть минеральных отходов состоит преимущественно из силикатов и алюмосиликатов кальция и магния. Это объясняется тем, что 86,5% массы земной коры составляют природные силикаты. Соответственно и отходы, получаемые при добыче в переработке природных силикатов, тоже имеют силикатный состав. Силикатные отходы классифицируются также по структуре и химическому составу, по условиям образования и т.д. Наибольшую практическую применимость имеет классификация отходов по отраслям промышленности, их образующим, и классификации для отдельных видов отходов.

Шлаки черной металлургии. Наибольшее значение для строительной индустрии и первое место по объему среди отходов черной металлургии имеют доменные шлаки – побочный продукт при выплавке чугуна из железных руд – доменные, мартеновские, ферро-марганцевые. Выход шлаков очень велик и составляет от 0,4 до 0,65 тонны на одну тонну чугуна. В их состав входит до 30 различных химических элементов, главным образом в виде оксидов. Основные оксиды: SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO . В меньших количествах присутствуют FeO , MnO , P_2O_5 , TiO_2 , V_2O_5 и др.

В зависимости от величины модуля основности – отношение содержащихся в шлаке основных оксидов к сумме кислотных, %

$$M_o = (\text{CaO} + \text{MgO}) / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$$

все доменные шлаки делятся на кислые, их $M_o < 1$, и основные, имеющие $M_o \geq 1$, они более активные. 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 миллион тонн гранулированного доменного шлака. Грануляция – наиболее ранний и освоенный вид первоначальной переработки доменного шлака. Она заключается в быстром охлаждении шлакового расплава, в результате чего шлак приобретает стекловидную структуру и, соответственно, высокую активность.

Сталеплавильные шлаки применяются в меньшей степени. Трудности их использования связаны с неоднородностью, непостоянством химико-минералогического состава и физико-механических свойств. Кроме того, в них содержатся оксиды железа.

Особую проблему представляет использование шлаков, ранее накопленных в отвалах.

Шлаки цветной металлургии чрезвычайно разнообразны по составу. Выход их на единицу выплавляемого металла гораздо больше. Так при выплавке 1 т меди выход шлака может достигать 10...30 т, никеля – до 150 т. Основные оксиды, входящие в состав шлаков цветной металлургии: SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , FeO , MnO и др.

Наиболее перспективное направление их использования – комплексная переработка: предварительное извлечение цветных и редких металлов из шлака; выделение железа; использование силикатного шлака для производства строительных материалов.

При производстве алюминия, к примеру, сначала получают глинозем, при этом образуется бокситовый шлам красного цвета. Так, выход красного шлама, который можно использовать при производстве глиноземистого цемента, от 1 до 2,5 т на 1 т глинозема. Глинозем – основное сырье при выплавке алюминия. Более того, при получении глинозема из нефелинового сырья образуется нефелиновый шлам или белитовый шлам. Выход такого шлама составляет 6 т на 1 т глинозема. Минерал белит входит составной частью в портландцемент.

При производстве электроэнергии и тепла на тепловых электростанциях – ТЭС образуется большое количество золы и шлака. Из золы-уноса получают шаровидные алюмосиликатные полые микросферы с остеклованной поверхностью оболочки. Средние размеры микросфер 50...80 мкм. Золы и шлаки ТЭС можно использовать для получения практически всех строительных материалов.

Для производства строительных материалов можно использовать отходы вскрышных пород, гипсовые отходы химической промышленности (фосфогипс,

фторгипс, титаногипс, сульфогипс), отходы древесины и лесохимии, целлюлозно-бумажной промышленности, отходы промышленности строительных материалов. Так, например, до 30 % обожженного цементного клинкера уносится с дымовыми газами в виде пыли. Эта пыль оседает на фильтрах и возвращается в производство портландцемента. Особо тонкодисперсные частицы используются при производстве микродура с удельной поверхностью от 12000 до 24000 см²/г.

Использование отходов промышленности существенно улучшает экологию, высвобождает территорию, занятую ими и т.д.

Лекция № 6.

Строение и свойства древесины. Строительные материалы из древесины.

Общие сведения

Древесину издавна широко применяют в строительстве благодаря сочетанию замечательных свойств: высокой прочности и небольшой плотности, малой теплопроводности, легкости обработки, простоте скрепления отдельных элементов, высокой морозо- и химической стойкости и декоративности. Наряду с этим у древесины много недостатков: наличие пороков, гигроскопичность, и связанные с ней набухание и усушка изделий из древесины, приводящие к короблению и растрескиванию; особенно серьезным недостатком является ее подверженность горению и гниению. Специфическая особенность древесины - анизотропность, т.е. различие свойств в разных направлениях, обусловленное ее волокнистым строением.

На долю России приходится более 20% мировой площади лесов. Но при этом доля деловой древесины составляет менее половины лесных богатств. Сроки роста деревьев деловых пород (сосна, ель, лиственница и др.) до достижения товарной ценности в нашей климатической зоне составляют 40...60 лет. Поэтому рубка леса должна вестись строго с учетом возраста древесины и сопровождаться новыми посадками. Только в этом случае можно говорить, что

древесина относится к *возобновляемому сырью*, в отличие, например, от горючих ископаемых.

Общеизвестно, что древесина *экологически чистый* материал. При этом подразумевается, что она как строительный материал безвредна для человека. Это верно, но понятие экологической чистоты древесины значительно шире. Человек получает древесину как материал в готовом виде, не используя энергию для ее производства, т.е. в этом случае исключается загрязнение окружающей среды промышленными выбросами. Отслужившая древесина самоуничтожается, естественно входя в круговорот природы. Однако, экологичность древесины реализуется лишь в том случае, когда вырубка и посадка новых деревьев идут как единый процесс, не нарушая биологического равновесия в природе.

При заготовке и распиловке древесины образуется большое количество (до 50...60%) отходов: горбыль, стружки, опилки и т.п.. Эти отходы и неделовую древесину подвергают более глубокой переработке с целью получения полноценных материалов.

В зависимости от степени переработки древесины различают:

- *лесные материалы*, получаемые только механической обработкой стволов дерева (бревна, пиломатериалы); в этом случае сохраняются все присущие древесине положительные и отрицательные свойства;

- *деревянные изделия и конструкции*, изготавливаемые в заводских условиях (дверные и оконные блоки, клееные конструкции, фанера и др.); свойства древесины в этом случае используются более рационально;

- *материалы и изделия, получаемые технологической переработкой древесины*:

а) материалы и изделия из отходов и неделовой древесины с использованием вяжущих веществ (древесно-стружечные плиты, арболит, фибролит);

б) материалы, получаемые физико-химической обработкой древесного сырья (древесно-волокнистые плиты, картон, бумага);

в) материалы, получаемые химической переработкой древесины.

Строение и состав древесины

Макроструктура древесины - строение древесины, видимое невооруженным глазом. Рассматриваются три основных разреза ствола: поперечный - *торцовый*; и два продольных - *радиальный*, проходящий через ось ствола, и *тангентальный*, не проходящий через ось, т.е. сделанный по касательной к годовым кольцам.

В поперечном разрезе древесина ствола состоит из ряда концентрических годовых колец, располагающихся вокруг сердцевины. Каждое годовое кольцо имеет два слоя: ранней (весенней) и поздней (летней) древесины. Ранняя древесина светлая и состоит из крупных тонкостенных клеток; поздняя древесина более темного цвета, состоит из мелких клеток с толстыми стенками, поэтому менее пориста и обладает большей прочностью, чем весенняя.

В процессе роста дерева стенки клеток древесины внутренней части ствола, примыкающей к сердцевине, постепенно изменяют свой состав, одеревеневают и пропитываются у хвойных пород смолой, а у лиственных пород – дубильными веществами. Движение влаги в древесине этой части ствола прекращается, и она становится более прочной, твердой и менее способной к загниванию. Эту часть ствола у разных пород называют ядром или спелой древесиной.

Микростроение древесины. Изучая строение древесины под микроскопом, можно увидеть, что основную массу древесины составляют клетки механической ткани, имеющие веретенообразную форму, вытянутые вдоль ствола. Срубленная древесина состоит из отмерших клеток, т.е. только из клеточных оболочек. Оболочки клеток сложены из нескольких слоев очень тонких волоконцев, называемых микрофибриллами, которые компактно уложены и направлены по спирали в каждом слое под разным углом к оси клетки (подобно отдельным прядям в канате). Микрофибрилла состоит из длинных нитевидных молекул целлюлозы – природного полимера состава $(C_6H_{10}O_5)_n$, где $n = 2500...3000$. Его в древесине 35...45 %. В клеточной оболочке содержатся и другие органические (лигнин – 20...30 % и гемицеллюлозы – около 20 %) и неорганические вещества, которые образуют золу при сжигании древесины (0,17...0,27 %).

Плотность. В составе всех древесных пород преобладает одно и то же вещество – целлюлоза, поэтому *истинная плотность* древесины примерно одинакова и составляет $1,54 \text{ г/см}^3$.

Средняя плотность древесины разных пород и даже одной и той же породы зависит от многих факторов, связанных с условиями роста дерева. У большинства древесных пород плотность сухой древесины меньше 1000 кг/м^3 , т.е. меньше плотности воды. С изменением влажности средняя плотность древесины меняется, поэтому принято сравнивать плотность древесины при одной и той же стандартной влажности, равной 12 %.

Прочность при сжатии вдоль волокон достаточно высока и составляет в среднем $40...60 \text{ МПа}$, т.е. сопоставима с прочностью бетона. Это объясняется тем, что пустотелые волокна работают как жесткие пространственные элементы.

Прочность при сжатии поперек волокон составляет примерно $0,1...0,3$ от предела прочности вдоль волокон. Это объясняется тем, что при сжатии поперек волокон в действительности происходит смятие волокон древесины без явного разрушения стенок. Поэтому за прочность в этом случае принимают условный предел прочности, равный наибольшему напряжению, при котором еще сохраняется линейная зависимость между напряжением и деформацией.

Прочность при растяжении вдоль волокон в 2..3 раза больше прочности при сжатии в этом направлении и составляет $100...120 \text{ МПа}$. Прочность при растяжении сильно зависит от наличия некоторых пороков (сучки, косослой и др.), но мало изменяется от влажности.

Прочность при изгибе в $1,5...2$ раза превышает прочность при сжатии вдоль волокон, но несколько меньше прочности при растяжении, и составляет в среднем $60...110 \text{ МПа}$. Прочность при изгибе у древесины значительно выше, чем у большинства строительных материалов (бетон, керамика и т.д.) и сопоставима с прочностью металлов.

Основные древесные породы, применяемые в строительстве

Древесные породы по ряду биологических признаков принято разделять на *хвойные* и *лиственные*. Такое же деление принято и в строительстве.

Хвойные породы в средней полосе составляют основные запасы деловой древесины. В строительстве в основном применяется древесина хвойных пород, отличающаяся правильным (с меньшим количеством пороков) строением ствола и большей устойчивостью к загниванию, которая связана со смолистостью хвойной древесины. Из хвойных пород чаще всего применяют *сосну, лиственницу, ель, пихту, кедр* (их физико-механические свойства приведены в таблице 1).

Таблица 1

Средние показатели физико-механических свойств древесины хвойных и лиственных пород при 12 %-ой влажности

Порода	Средняя плотность- ρ_m , кг/см ³	Пористость, %	Предел прочности, МПа		
			R _{сж}	R _{изг}	R _р
Лиственница	680	56	65	110	125
Сосна	500	68	50	85	105
Ель	450	72	45	80	103
Кедр	440	71	35	65	80
Дуб	700	46	60	107	125
Бук	670	56	55	110	125
Береза	630	59	55	110	160
Осина	490	68	45	80	120

Сосна – наиболее распространенная хвойная порода. Древесина сосны светло-золотистого цвета обладает повышенными физико-механическими и эксплуатационными свойствами и хорошо поддается обработке. Из сосны изготовляют несущие деревянные конструкции, различные столярные изделия, фанеру и др.

Древесина *лиственницы* по внешнему виду напоминает древесину сосны, но обладает большей плотностью и прочностью. Цвет ее более темный, чем у сосны. Древесина лиственницы характеризуется повышенной стойкостью против загнивания в условиях переменной влажности благодаря высокой смолистости. Поэтому ее применяют для гидротехнических и подземных сооружений, а также для изготовления шпал.

Ель - распространенная хвойная порода, древесина которой отличается малой смолистостью при относительно высоких прочностных показателях. Однако при использовании в сырых местах быстро загнивает. Из ели изготавливают строительные конструкции, эксплуатируемые в сухих условиях.

Древесина *пихты* белого цвета, по внешнему виду напоминает древесину ели. Физико-механические свойства ее древесины близки к свойствам

ели, однако она еще менее стойка к загниванию. В строительстве используют для тех же целей, что и древесину ели.

Кедр имеет легкую прочную и хорошо обрабатываемую древесину.

Его применяют в столярном и мебельном производстве.

Лиственные породы в строительстве используют значительно реже, чем хвойные. Среди многообразия лиственных пород наибольшее применение в строительстве нашли *дуб, ясень, бук, береза, осина*.

Дуб обладает тяжелой, плотной, твердой и очень прочной древесиной желтоватого цвета с красивой текстурой; она хорошо сохраняется как на воздухе, так и под водой. Из дуба делают высококачественный паркет, фанеру, мебель.

Ясень имеет тяжелую, твердую и прочную древесину, по виду и строению напоминающую древесину дуба, но более светлой окраски.

Бук также имеет плотную: твердую и прочную древесину белого цвета с красноватым оттенком. Бук применяют для изготовления паркета, фанеры, высококачественных столярных изделий и мебели.

Береза – самая распространенная в наших лесах лиственная порода. Древесина ее прочная, средней твердости, но недолговечная в условиях переменного увлажнения и высушивания. Береза – основное сырье для изготовления фанеры, столярных изделий и мебели.

Осина имеет мягкую и легкую древесину белого цвета с зеленоватым оттенком; во влажном состоянии она быстро загнивает. Осина легко раскалывается вдоль волокон, поэтому применяется для изготовления фанеры, кровельных материалов (щепы, гонта, лемеха) и тары.

Стали поступать на строительный рынок России *экзотические породы*. Они отличаются разнообразной окраской и высокими физико-механическими показателями.

Пороки древесины

Пороками называют недостатки древесины, появляющиеся во время роста дерева и хранения пиломатериалов на складе. Степень влияния пороков на пригодность древесины в строительстве зависит от их вида, места расположения, размеров, а так же назначения древесной продукции. Один и тот же порок в некоторых видах лесопродукции делает древесину непригодной, а в других понижает ее сортность или не имеет существенного значения. Поэтому в стандартах на конкретные виды лесопродукции имеются указания о допустимых пороках.

Пороки древесины можно разделить на несколько групп: пороки формы ствола, пороки строения древесины, сучки, трещины, химические окраски и грибковые поражения. Ниже рассмотрены основные виды пороков.

Пороки формы ствола легко определяются на растущем дереве. Поэтому стволы таких деревьев могут быть отбракованы на лесосеке. К этой группе пороков относятся *сбежистость*, *закомелистость* и *кривизна* ствола.

Сбежистость – значительное уменьшение диаметра бревен. Нормальным сбегом считается уменьшение диаметра на 1 см на 1 м длины ствола. Этот порок уменьшает выход обрезных пиломатериалов. Кроме того, в материале оказывается много перерезанных волокон, что снижает его прочность.

Закомелистость – резкое увеличение диаметра комлевой (нижней) части ствола. Закомелистость бывает круглой и ребристой. В любом случае она увеличивает количество отходов и искусственно вызывает косослой в готовой продукции.

Кривизна – искривление ствола дерева в одном или нескольких местах. Сильная кривизна переводит древесину в разряд не пригодной для строительных целей.

Пороки строения древесины представляют собой отклонения от нормального расположения волокон в стволе дерева: *наклон волокон*, *свилеватость*, *крень*, *двойная сердцевина* и др.

Наклон волокон (косослой) – непараллельность волокон древесины продольной оси пиломатериала. Это явление (особенно при больших углах наклона волокон) вызывает резкое снижение прочности древесины и затрудняет ее обработку. Пиломатериал, имеющий косослой, обладает повышенной склонностью к короблению при изменении влажности.

Свилеватость – крайнее проявление косослоя, когда волокна древесины расположены в виде волн или завитков. Свилеватость в некоторых породах (орех, карельская береза) придает красивую текстуру древесине; такие породы используются в отделочных работах.

Крень – изменение строения древесины, когда годовые кольца имеют разную толщину и плотность по разные стороны от сердцевины. Крень нарушает однородность древесины.

Сучки – самый распространенный и неизбежный порок древесины, представляющий собой основания ветвей, заключенные в древесине. Они нарушают однородность строения древесины, вызывают искривление волокон (свилеватость). Сучки уменьшают рабочее сечение пиломатериалов, снижая их прочность в 1,5...2 раза (а в тонких досках и брусках и более).

По степени срастания древесины сучков с древесиной ствола различают сучки сросшиеся, частично сросшиеся и несросшиеся (выпадающие). Особенно неприятны сучки разветвленные (лапчатые).

Здоровые сучки имеют древесину твердую и плотную без признаков гнили. Часто сучки загнивают вплоть до превращения в рыхлую порошкообразную массу – это так называемые табачные сучки.

Для изготовления несущих деревянных конструкций используется древесина, имеющая только здоровые сросшиеся сучки. Количество и размещение сучков определяют сортность материала.

Трещины могут появляться как на растущем дереве, так и при высыхании срубленного дерева и пиломатериалов. Они нарушают целостность лесоматериалов, уменьшают выход высокосортной продукции, снижают прочность, и даже делают их непригодным для строительных целей. Кроме того, трещины способствуют развитию гниения древесины.

Различают следующие типы трещин: *метик*, *морозобоина* и *отлуп*, образующиеся на растущем дереве, и *трещины усушки*, образующиеся на срубленной древесине.

Метик – внутренние трещины, идущие вдоль ствола от центра к периферии; трещин может быть несколько, как расположенных в одной плоскости, так и крестообразно.

Морозобоина – наружная открытая продольная трещина, сужающаяся к центру. Такие трещины возникают при замерзании влаги в стволе во время сильных морозов.

Отлуп – полное или частичное отделение центральной части ствола от периферийной в результате усушки первой. Такие трещины располагаются по годовым кольцам.

Трещины усушки – встречаются очень часто в древесине всех пород; возникают в результате напряжений, вызванных неравномерной усадкой при быстрой сушке древесины на воздухе. Эти трещины направлены от периферии к центру вдоль волокон древесины.

Грибковые поражения вызываются простейшими живыми организмами – грибами, развивающимися из спор и использующими древесину в качестве питательной среды. Для развития грибов необходима также кислород воздуха, определенная влажность и температура (10...40) °С. Различают грибы, поражающие растущие в лесу деревья и свежесрубленную древесину, и грибы, развивающиеся на деревянных конструкциях.

На растущих деревьях могут развиваться **деревоокрашивающие грибы**. Они питаются содержимым клеток, не затрагивая их стенки. Поэтому прочность такой древесины изменяется незначительно, но на древесине появляются цветные пятна и полосы.

Значительно более опасны **дереворазрушающие грибы**. Они питаются целлюлозой, разлагая ее при помощи ферментов до глюкозы:



Это возможно только при достаточной влажности древесины. Глюкоза в теле гриба используется в процессе его жизнедеятельности и, в конце концов, превращается в углекислый газ и воду.

Известно большое число дереворазрушающих грибов. Среди них наиболее часто встречаются так называемые домовые грибы. При поражении такими грибами древесина делается трухлявой и легкой, а на ее поверхности появляется налет плесени в виде мягких подушечек. Домовый гриб может разрушить древесину очень быстро (в течение нескольких месяцев).

Процесс гниения прекращается при снижении влажности древесины до 18...20 % (сухая древесина не гниет), снижении температуры ниже 0 °С или исключении поступления кислорода.

Повреждения насекомыми (червоточины) представляют собой ходы и отверстия, проделанные в древесине насекомыми (жуками короедами, точильщиками). Они живут в древесине и ею же и питаются. Жуки точильщики могут развиваться в сухой древесине, и даже в мебели.

Поверхностные червоточины не влияют на механические свойства древесины, так как при распиловке уходят в горбыль. Глубокие червоточины нарушают целостность древесины и снижают ее прочность.

Лекция № 7.

Строительная керамика

Общие сведения

Керамическими называют изделия, получаемые из минерального сырья путем его формования и обжига при высоких температурах.

Термин «керамика» происходит (по П.П. Будникову) от слова «керамейя», которым в Древней Греции называли искусство изготовления изделий из глины. И теперь в керамической технологии используют главным образом глины, но наряду с ними применяют и другие виды минерального сырья, например чистые оксиды (оксидная техническая керамика). Керамические материалы – самые древние из всех искусственных каменных материалов. Черепки грубых горшечных изделий находят на месте поселений, относящихся к каменному веку. Возраст керамического кирпича как строительного материала составляет более 5000 лет.

В современном строительстве керамические изделия применяют почти во всех конструктивных элементах зданий, облицовочные и другие материалы используют в сборном и индивидуальном домостроении. Богатство эстетических возможностей керамики обеспечили ей видное место в отделке фасадов зданий и внутренних помещений. Керамические пористые заполнители – это основа легких бетонов. Санитарно-технические изделия, а также посуду из фарфора и фаянса широко используют в быту. Специальная керамика необходима для хи-

мической и металлургической промышленности (кислотоупорные и огнеупорные изделия), электротехники и радиоэлектроники (электроизоляторы, полупроводники и др.), ее применяют в космической технике.

Керамические материалы **в зависимости от их структуры** разделяют на две основные группы: пористые и плотные.

Пористые поглощают более 5 % воды (по массе), в среднем их водопоглощение составляет 8-20 % по массе или 14-36 % по объему. Пористую структуру имеют стеновые, кровельные и облицовочные материалы, а также стенки дренажных труб и др.

Плотные поглощают менее 5 % воды, чаще 1-4 % по массе или 2-8 % по объему. Плотную структуру имеют плитки пола, дорожный кирпич, стенки канализационных труб и др.

По назначению керамические материалы и изделия делят на следующие виды:

- стеновые изделия (кирпич, пустотелые камни и панели из них);
- кровельные изделия (черепица);
- элементы перекрытий;
- изделия для облицовки фасадов (лицевой кирпич, малогабаритные и другие плитки, наборные панно, архитектурно-художественные детали);
- изделия для внутренней облицовки стен (глазурованные плитки и фасонные детали к ним – карнизы, уголки, пояски);
- заполнители для легких бетонов (керамзит, аглопорит);
- теплоизоляционные изделия (перлитокерамика, ячеистая керамика, диатомитовые и др.);
- санитарно-технические изделия (умывальные столы, ванны, унитазы);
- плитка для пола;
- дорожный кирпич;
- кислотоупорные изделия (кирпич, плитки, трубы и фасонные части к ним);
- огнеупоры;

- изделия для подземных коммуникаций (канализационные и дренажные трубы).

Сырьевые материалы

Сырьевыми материалами для производства керамических изделий являются **глинистые материалы** – каолины и глины (природные водные алюмосиликаты с различными примесями, способные при замешивании с водой образовывать пластичное тесто, которое после обжига необратимо переходит в камнеподобное состояние). Применяются они как в чистом виде, так и в смеси с добавками (отошающими, порообразующими, плавнями, пластификаторами и др.).

- каолины – состоят из минерала $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$, содержат значительное количество частиц меньше 0,01 мм, после обжига сохраняют белый цвет;

- глины – разнообразны по минеральному составу, больше загрязнены минеральными и органическими примесями; глинистое вещество (с частицами менее 0,005 мм) состоит преимущественно из каолинита и родственных ему минералов – монтмориллонита $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot nH_2O$, галлуазита $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 4H_2O$; содержание тонких частиц определяет пластичность и другие свойства глин; могут содержать примеси, снижающие температуру плавления (карбонат кальция, полевой шпат, $Fe(OH)_3$, Fe_2O_3); камневидные включения $CaCO_3$ являются причиной появления «дутиков» трещин в керамических изделиях, т.к. гидратация получившегося при обжиге CaO сопровождается увеличением его объема; окраска глин зависит от примесей минерального и органического происхождения (от белой, коричневой, зеленой, серой до черной), привычную красную окраску глине придает примесь оксида железа;

- бентониты – высокодисперсные глинистые породы с преобладающим содержанием монтмориллонита;

- трепелы и диатомиты – состоят в основном из аморфного кремнезема; используют для изготовления теплоизоляционных изделий, строительного кирпича и камней.

Отощающие материалы – такие добавки вводят в состав керамической массы для понижения пластичности и уменьшения воздушной и огневой усадки глин. Используют шамот с зернами 0,14-2 мм (улучшает сушильные и обжиговые свойства глин, применяется для получения высококачественных изделий – лицевого кирпича, огнеупоров и пр.), дегидратированную глину (улучшает сушильные свойства сырца и внешний вид кирпича), песок с зернами 0,5-2 мм, гранулированный доменный шлак с зернами до 2 мм (эффективный утолщитель глин при производстве кирпича), золы ТЭС и выгорающие добавки.

Порообразующие материалы вводят в сырьевую массу для получения легких керамических изделий с повышенной пористостью и пониженной теплопроводностью. Используют вещества, которые при обжиге диссоциируют с выделением газа (молотые мел, доломит) или выгорают (выгорающие добавки: древесные опилки, измельченный бурый уголь, отходы углеобогатительных фабрик, золы ТЭС и лигнин, они повышают пористость изделий и способствуют равномерному спеканию керамического черепка).

Пластифицирующими добавками являются высокопластичные глины, бентониты, а также поверхностно-активные вещества – сульфито-дрожжевая бражка (СДБ) и др.

Плавни добавляют в глину в случаях, когда необходимо понизить температуру ее спекания (полевые шпаты, железная руда, доломит, магнезит, тальк и пр.).

Глазурью или **ангобом** покрывают поверхность некоторых керамических изделий для придания им декоративного вида и стойкости к внешним воздействиям. Слой глазури (прозрачного и/или непрозрачного (глухого) стекла различного цвета) наносят на поверхность керамического материала и закрепляют на ней обжигом при высокой температуре. Главные сырьевые компоненты глазури (кварцевый песок, каолин, полевой шпат, соли щелочных щелочно-земельных металлов, оксиды свинца либо стронция, борная кислота, бура и пр.) применяют в сыром виде либо сплавленными – в виде фритты. Ангоб же приготавливают из белой или цветной глины и наносят тонким слоем на поверхность еще не

обожженного изделия. При обжиге ангоб не плавится, поэтому поверхность получается матовой. По своим свойствам должен быть близок к основному черепку.

Свойства глин как сырья для керамических изделий

Глина, замешенная с определенным количеством воды, образует глиняное тесто, обладающее связностью и пластичностью. При смачивании сухой глины ощущается характерный запах увлажняемой земли и выделение теплоты. Молекулы воды (диполи) втягиваются между чешуйчатыми частицами каолинита и расклинивают их, вызывая набухание глины. Тонкие слои воды между пластинчатыми частицами глинистых минералов обуславливают характерные свойства глиняного теста.

Пластичность глины – свойство ее во влажном состоянии принимать под влиянием внешнего воздействия желаемую форму без образования разрывов и трещин и сохранять полученную форму при последующей сушке и обжиге.

Связующая способность глины – проявляется в связывании зерен непластичных материалов (песка, шамота и др.), а также в образовании при высыхании достаточно прочного изделия – сырца.

Особенность глиняного теста – в способности отвердевать при высыхании на воздухе. Силы капиллярного давления стягивают частицы глины, препятствуют их разъединению, вследствие чего происходит воздушная усадка.

Усадка – это уменьшение линейных размеров и объема глиняного сырца при его сушке (воздушная усадка) и обжиге (огневая усадка) глин (а вместе – полная усадка); выражается в % от первоначального размера изделия.

В процессе высокотемпературного обжига глина претерпевает физико-химические изменения. **Переход глины при обжиге в камневидное состояние** происходит следующим образом: сначала испаряется свободная вода, затем выгорают органические вещества. При температуре 700-800 °С происходит разложение безводного метакаолинита $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$, который образовался ранее (при температуре 450-600 °С) вследствие дегидратации каолинита; затем Al_2O_3 и

SiO₂ при повышении температуры до 900 °С и выше вновь соединяются, образуя искусственный минерал – муллит 3Al₂O₃•2SiO₂. Муллит придает обожженному керамическому изделию водостойкость, прочность, термическую стойкость. С его образованием глина необратимо переходит в камневидное состояние. Вместе с образованием муллита расплавляются легкоплавкие составляющие глины, цементируя и упрочняя материал.

Спекаемостью глин называют их свойство уплотняться при обжиге и образовывать камнеподобный черепок. С повышением температуры обжига возрастает степень спекания и уменьшается водопоглощение.

Общая схема производства керамических изделий

Производство керамических изделий включает следующие этапы: карьерные работы, механическую обработку глиняной массы, формование изделий, их сушку и обжиг.

Карьерные работы включают добычу, транспортирование и хранение промежуточного запаса глины.

Механическая обработка глины осуществляется с помощью глинообрабатывающих машин и имеет цель выделить либо измельчить каменистые включения, гомогенизировать керамическую массу и получить необходимые формовочные свойства.

Стеновые керамические изделия изготавливают способами **пластического формования** (на ленточных шнековых вакуумных и безвакуумных прессах) и **полусухого прессования** (из шихты с влажностью 8-10 %, уплотняемой прессованием под значительным давлением 15-40 МПа). Для производства тонких глазурованных мозаичных плиток, служащих для облицовки фасадов, используют **способ литья** (наливные аппараты наносят шликеры разделительного, плиточного и глазурованного слоев на пористые керамические поддоны, движущиеся по конвейеру).

Сушку сырца производят в туннельных и камерных сушилках.

Обжиг завершает изготовление керамических изделий; в процессе обжига формируется их структура, определяющая технические свойства изделия. Об-

жиг осуществляется в туннельных печах с автоматическим управлением (а также в кольцевых печах). Максимальная температура обжига кирпича и других стеновых керамических изделий 950-1000 °С, необходима для спекания керамической массы. При пережоге изделия теряют форму, оплавляются с поверхности; недожог обусловлен незавершенностью процесса спекания («алый» цвет кирпича, снижение прочности, сильное уменьшение водостойкости и морозостойкости).

Свойства керамических изделий

Пористость керамического черепка (пористых изделий) обычно составляет 10-40 %, она возрастает при введении в керамическую массу порообразующих добавок. Стремясь снизить плотность и теплопроводность, прибегают к созданию пустот в кирпиче и керамических камнях.

Водопоглощение характеризует пористость керамического черепка. Пористые керамические изделия имеют водопоглощение 6-20 % по массе, т.е. 12-40 % по объему. Водопоглощение плотных изделий гораздо меньше : 1-5 % по массе и 2-10 % по объему.

Теплопроводность абсолютно плотного керамического черепка большая – 1,16 Вт/(м °С). Воздушные поры и пустоты, создаваемые в керамических изделиях, снижают плотность и значительно уменьшают теплопроводность (например, для стеновых керамических изделий с 1800 до 700 кг/м³ и с 0,8 до 0,21 Вт/(м °С) соответственно). Вследствие этого уменьшается толщина наружной стены и материалоемкость ограждающих конструкций.

Прочность зависит от фазового состава керамического черепка, пористости и наличия трещин. Марка стенового керамического изделия (кирпича и др.) по прочности обозначает предел прочности при сжатии, однако при установлении марки кирпича наряду с прочностью при сжатии учитывают показатель прочности при изгибе, поскольку кирпич в кладке подвергается изгибу. Изделия с пористым черепком выпускаются марок М75-М300, а плотные изделия (дорожный кирпич и др.) – М400-М1000.

Морозостойкость. Марка по морозостойкости обозначает число циклов попеременного замораживания оттаивания, которое выдерживает керамическое изделие в насыщенном водой состоянии без признаков видимых повреждений (расслоение, шелушение, растрескивание, выкрашивание). Изделия в зависимости от своей структуры имеют следующие марки: F15, F25, F35, F50, F75, F100.

Паропроницаемость стеновых керамических изделий способствует вентиляции помещений, зависит от пористости и характера пор. Малая паропроницаемость нередко служит причиной отпотевания внутренней поверхности стен помещений с повышенной влажностью воздуха. Неодинаковая паропроницаемость слоев, из которых состоит наружная стена, вызывает накопление влаги. Так, фасадная облицовка стен глазурованными плитками может привести к накоплению влаги в контактном слое стена-плитка, а последующее замерзание влаги вызывает отслоение облицовки.

Лекция № 8.

Гидроизоляционные материалы

Задача развития и внедрения энергосберегающих технологий в строительство для нашей страны является весьма актуальной.

На снижение эффективности теплоизоляции оказывает влияние множество факторов. Наиболее существенным фактором является воздействие влаги: увлажнение стен зданий, подтопление подвалов и других заглубленных конструкций. Это приводит к нарушению тепловлажностного режима при эксплуатации зданий и сооружений.

Строительные конструкции подвержены воздействию различных видов воды: в капельно-жидком и парообразном состоянии (рис.1).

Появление капельно-жидкой влаги вызвано действием фильтрационных, грунтовых и поверхностных вод.

Фильтрационные воды образуются из дождевых и талых вод, которые падают на поверхность земли и проникают в почву. Фильтрационные воды заполняют поры между отдельными частицами почвы и под действием собственного веса спускаются в более глубокие слои. Таким образом, они совершают движение вниз в пределах воздухосодержащей зоны грунта. Если движение фильтрационных вод сдерживается малопроницаемым слоем, это приводит к застою воды и в большинстве случаев к образованию бассейна грунтовых вод.

Грунтовые воды, в отличие от фильтрационных, заполняют полностью поры между частицами почвы, насыщая их до полного вытеснения воздуха. Медленное течение грунтовых вод может быть обусловлено как рельефом местности, так и положением водоупорного слоя.

Поверхностные воды образованы атмосферными осадками.

Почвенная, или грунтовая, влага представляет собой малые массы воды, которые в некапельной форме удерживаются в грунте адгезионными или капиллярными силами, не просачиваясь. В отличие от фильтрационной воды для грунтовой влаги характерно отсутствие движения вниз, а в отличие от грунтовой воды – отсутствие влияния собственного веса.

Проникновение воды в сооружение, как правило, вызвано отказом гидроизоляционной системы. Особенно интенсивно этот процесс происходит после выпадения дождей, таяния снега, подъемом уровня грунтовых вод и т.д. Грунтовая влага поднимается снизу вверх по стенам здания при отсутствии или выходе из строя горизонтальной изоляции в стенах и нарушением гидроизоляционного покрытия по контуру подземной части сооружения.

Конденсационное увлажнение конструкций происходит при перемещении водяных паров из зоны высоких в зону пониженных парциальных давлений и перенасыщения воздуха влагой при падении температуры. Перемещение воздушных паров совершается тем интенсивнее, чем больше температурный перепад и больше процент влажности теплого воздуха. Разница температуры грунта вне сооружения и воздуха в сооружении вызывается эксплуатационным режи-

мом, сезонными колебаниями температуры, глубиной сооружений и неодинаковым отоплением помещений.

Кроме перечисленных факторов возможно влияние техногенных источников: утечек из бассейнов, резервуаров, очистных сооружений, отстойников, водопроводов и канализации. Действие техногенных источников подтопления как в процессе строительства, так и при эксплуатации зданий и сооружений накладывается на действие естественных источников, интенсифицируя процесс увлажнения и подтопления территории. Это явление усугубляется в плотной городской застройке из-за барражирования грунтовых вод подземными частями зданий и сооружений.

С целью защиты строительных конструкций от воздействия воды и влаги и обеспечения нормального тепло-влажностного режима эксплуатации зданий, а также увеличения долговечности конструкций необходимо провести целый комплекс защитных мероприятий, который предусматривает выполнение следующих работ: устройство гидроизоляционных покрытий, теплоизоляции, пароизоляции, обустройство дренажа и обеспечение водоудаления, создание систем вентиляции и кондиционирования воздуха.

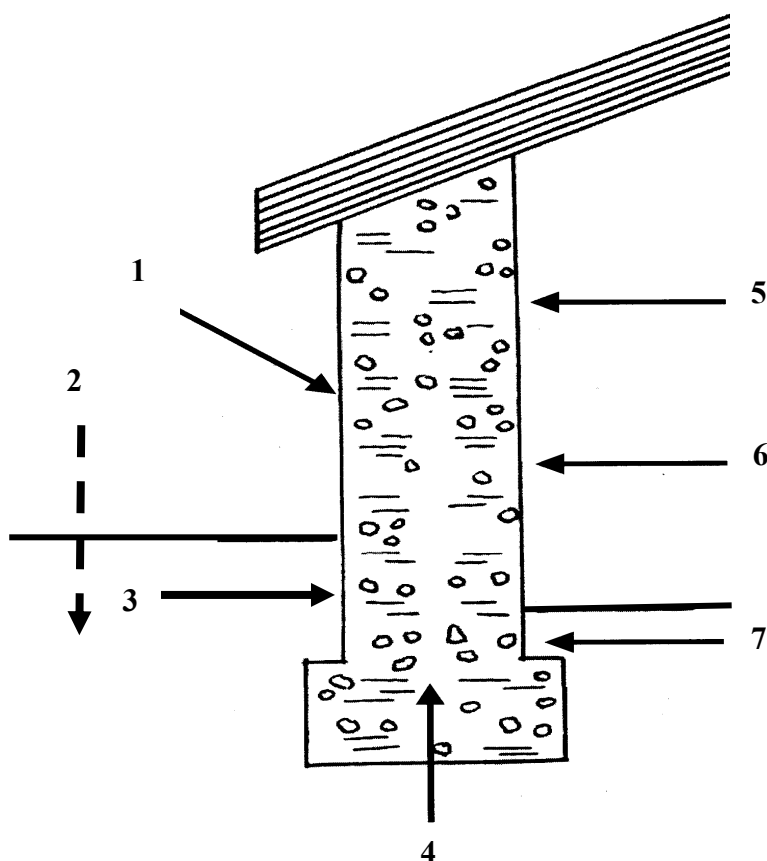


Рис.1. Воздействие воды на сооружение: 1- атмосферные осадки; 2 – фильтрационная вода; 3 – грунтовые воды; 4 – грунтовая (поднимающаяся) влага; 5 – гигроскопическое водопоглощение; 6 – конденсация паров внутреннего воздуха; 7– капиллярная конденсация паров, содержащихся в грунте.

Рассмотрим устройство гидроизоляционных покрытий, эффективность работы которых зависит как от методов их создания, так и от используемых материалов.

Применяемые методы создания гидроизоляции определяются ее назначением и принципами защиты.

Гидроизоляция должна либо препятствовать попаданию воды в сооружение (например, подвалы, подземные автостоянки, пешеходные переходы и т.п.), либо сохранять воду внутри него (например, бассейны, резервуары и т.п.).

По технологии работ гидроизоляционные покрытия можно разделить на оклеечные, обмазочные, штукатурные, монтируемые, механически закрепленные, инъекционные, пропиточные.

Оклеечная изоляция представляет собой сплошной водонепроницаемый ковер из рулонных гидроизоляционных материалов, наклеиваемых послойно мастиками на оштукатуренную поверхность изолируемой конструкции.

Обмазочная гидроизоляция создается путем нанесения на изолируемую поверхность нескольких слоев мастичных, лакокрасочных (битумных, битумно-полимерных, полимерных и т.п.) и цементных составов.

Штукатурные покрытия представляют собой многослойные покрытия из составов, содержащих наполнители и заполнители (например, асфальтовые, цементно-песчаные).

Монтируемая гидроизоляция выполняется в виде сплошного ограждения (например, стальных листов), соединенных между собой сваркой, а с изолируемой конструкцией – анкерами, заделываемыми в бетон.

Механически закрепленная изоляция предполагает укладку водонепроницаемых матов с последующим выполнением бетонной стяжки или засыпки из мелкозернистого грунта (для защиты горизонтальной поверхности) или закреплением металлическими дюбелями к вертикальной поверхности.

Инъекционная гидроизоляция основана на нагнетании в глубину конструкции под давлением специальных уплотняющих растворов с целью придания сооружению или его элементу водонепроницаемости и прочности; применяется, как правило, в конструкциях старых зданий для восстановления гидроизоляции и усиления строительных конструкций.

Пропиточная гидроизоляция основана на заполнении пор, микротрещин и других пустот, имеющих в теле конструктивного элемента, нерастворимыми кристаллами, образующимися при взаимодействии составляющих растворов или бетонов с химическими соединениями пропиточных (пенетрирующих) составов и предотвращающими проникновение воды.

Перечисленные основные методы организации гидроизоляции реализуются с помощью современных материалов, дающих возможность обеспечить требуемый уровень защиты от воздействия воды и влаги. Правильный выбор материала – основа качественного выполнения гидроизоляционных работ.

Выбор метода гидроизоляции и материала гидроизоляционного покрытия при защите сооружения зависит от ряда факторов:

- гидрогеологических условий: водопроницаемости и коэффициента фильтрации грунта; высоты капиллярного подъема; величины гидростатического давления воды, которая зависит от глубины заложения конструкции; агрессивности водной среды (определяемой по СНиП 2.03.11 – 85) и др.;
- особенностей конструкции сооружения и его назначения: допустимой влажности внутреннего воздуха помещения (определяемой по СНиП II-3-79*); трещиностойкости изолируемой конструкции (определяемой по СНиП 2.03.01 - 84*); механических воздействий на гидроизоляционные покрытия;
- технологических и технико-экономических факторов: возможности выполнения работ при различных температурах воздуха; возможности укладки гидроизоляции на влажные поверхности и т.п.

Кроме того, при выборе материала следует учитывать, какое воздействие оказывает вода на сооружение: позитивное или негативное. Позитивным (активным) считается такое давление воды и пара, которое обеспечивает прижатие гидроизоляционного покрытия к защищаемой поверхности. Негативным считается давление воды или водяного пара, оказывающее отрывающее действие на гидроизоляционное покрытие (рис. 2).

В настоящее время существуют различные материалы, применяемые для гидроизоляции зданий и сооружений: рулонные материалы на основе битумных вяжущих веществ, полимерные пленки, битумные и битумно-полимерные мастики, полимерные лаки и краски, штукатурные составы, металлические покрытия, бентонитовые маты, полимерцементные и полимерные инъекционные композиции, пропиточные материалы на органической и минеральной основе (рис. 3).



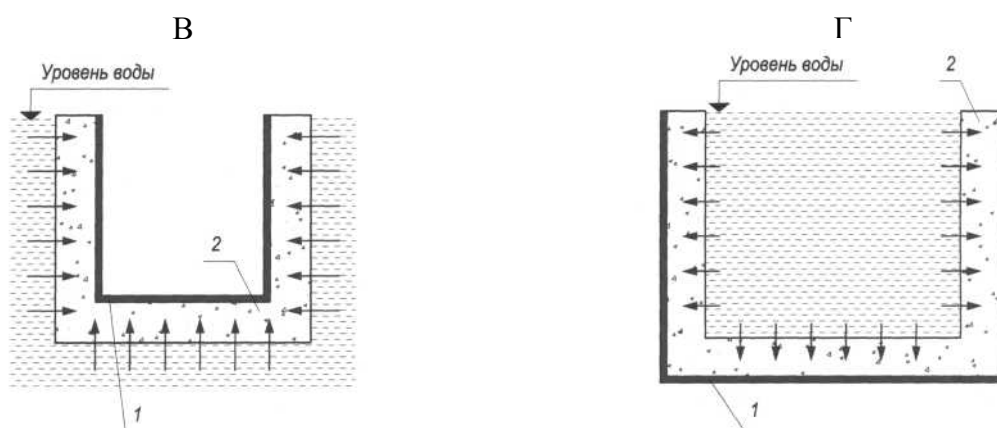


Рис. 2. Позитивное и негативное давление воды

- А - позитивное давление по внешнему контуру сооружения.
- Б - позитивное давление по внутреннему контуру сооружения
- В - негативное давление по внешнему контуру сооружения
- Г - негативное давление по внутреннему контуру сооружения

Далее приводятся данные о гидроизоляционных материалах, используемых в современных системах гидроизоляции.

Одним из наиболее распространенных способов защиты зданий от воздействия воды является применение рулонных органических материалов. Монтаж гидроизоляционного ковра осуществляется механическим закреплением, наплавлением либо приклеиванием к изолируемой поверхности с помощью мастик.

В настоящее время российский рынок предлагает большой выбор рулонных битумных и битумно-полимерных материалов на различных основах.

В табл. 1 представлены технические характеристики рулонных органических материалов на различных основах.

Для защиты подземных и заглубленных сооружений наибольшее распространение получили наплавляемые и оклеечные рулонные битумные материалы, модифицированные стирол-бутадиен-стиролом (СБС) и атактическим полипропиленом (АПП). Они обладают значительным удлинением при растяжении, высокой прочностью на разрыв, стойкостью к агрессивным средам, высокой гибкостью при низких температурах (подходят для укладки в холодное время года).

Гидроизоляционный ковер следует располагать только со стороны гидростатического напора (т.е. позитивного давления воды), т.к. при негативном давлении воды происходит потеря сцепления покрытия с бетоном. При глубине заложения до 5 м (давлении воды до 0,05 МПа) толщина наплавляемых материалов должна составлять 3÷5 мм. При большом гидростатическом напоре необходимо предусматривать четыре-пять слоев рулонной изоляции.

Таблица 1

Технические характеристики рулонных органических материалов

Материал		Разрывная сила, Н	Температура хрупкости вяжущего, °С	Теплостойкость, °С	Гибкость на брусе, R, мм/°С	Относительное удлинение при растяжении, %	Срок службы, годы
вяжущее	основа						
Битум окисленный	картон	280÷340	0	80	15/5	-	5÷7
Битум	стекловолокнистая	400÷500	-10...-15	80	25/0	2÷4	10
СБС-битум	стекловолокнистая	600÷800	-20...-35	80÷100	20/-15	2÷4	20÷25
СБС-битум	полиэфир	600÷700	-20...-35	80÷100	20/-15	20÷60	20÷25
АПП-битум	стекловолокнистая	600÷800	-25	100÷120	10/-15	2÷4	15÷20
АПП-битум	полиэфир	600÷700	-25	100÷120	10/-15	20÷60	15÷20

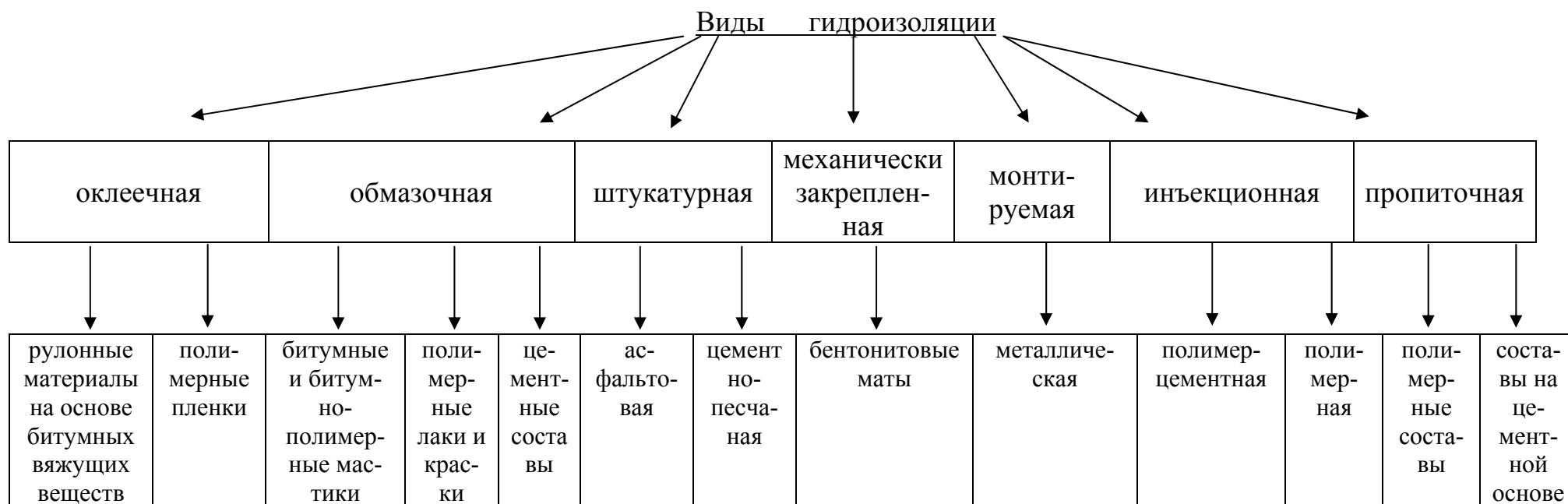


Рис. 3. Классификация основных видов гидроизоляции строительных конструкций

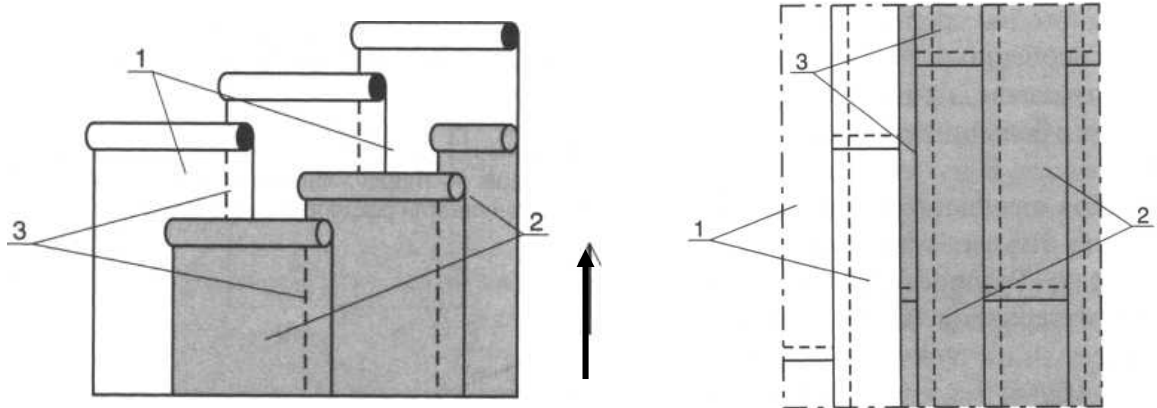


Рис. 4. Укладка гидроизоляционного покрытия из рулонных материалов
 1 - первый слой; 2 - второй слой; 3 - нахлест листов

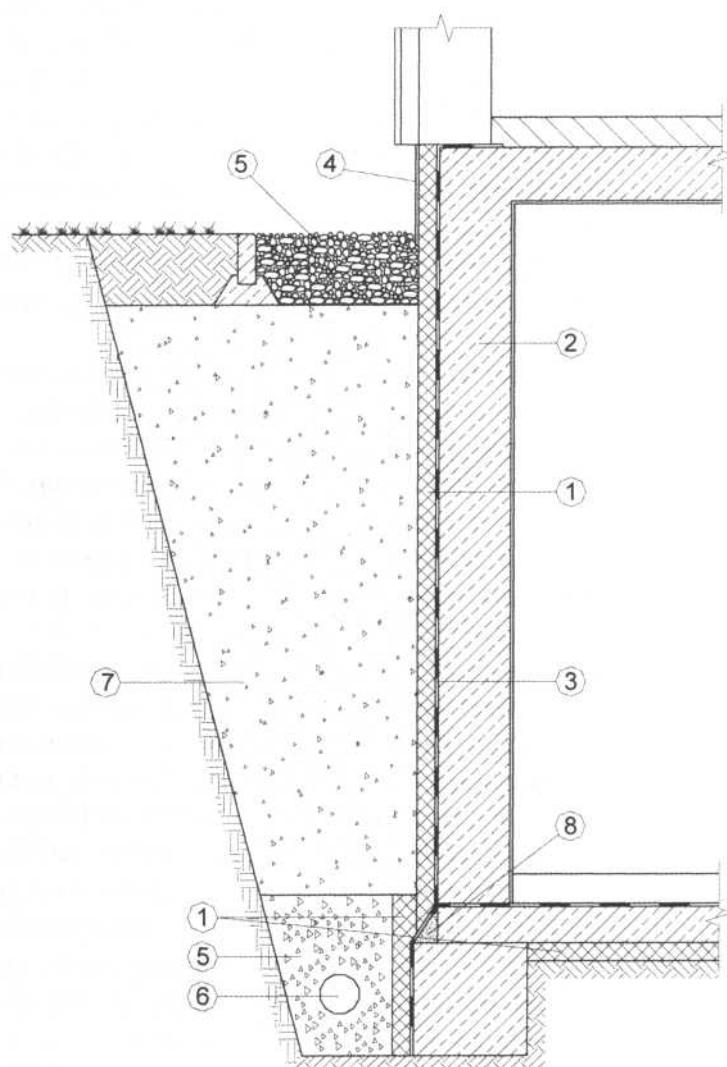


Рис. 5. Устройство наружной теплоизоляции ограждающих конструкций подземных частей сооружений

1 - утеплитель; 2 - стена подземного сооружения; 3 - гидроизоляционная мембрана; 4 - цоколь; 5 - гравий; 6 - дренажная труба; 7 - дренирующий грунт обратной засыпки; 8 - галтель

Укладка рулонной гидроизоляции должна проводиться по сухому основанию. Перед нанесением гидроизоляционного ковра защищаемую поверхность следует обработать грунтовкой (праймером). Укладка осуществляется по стенам внахлест (10÷15 см) снизу вверх (рис.4). Формирование швов выполняется тепловой сваркой.

Для защиты рулонной гидроизоляции от механического повреждения (например, при обратной засыпке грунта) необходимо устройство защитной стенки, например, из пенополистирола, который одновременно служит и для теплоизоляции подземного помещения (рис. 5).

Наряду с положительными характеристиками рулонная гидроизоляция имеет и ряд недостатков: низкая ремонтпригодность, трудно укладывать на вертикальные поверхности, необходимость создания защитной стенки; кроме того, срок службы рулонных полимер-битумных материалов составляет 15÷20 лет, что существенно ниже срока службы сооружения.