

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Строительные материалы»

## **КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ**

по дисциплине «Дорожное материаловедение»  
для студентов направления 08.03.01 «Строительство» профиля  
«Автомобильные дороги» заочной формы обучения

Ростов-на-Дону  
2020

## «ВВОДНАЯ ЛЕКЦИЯ»

1.1 Цель изучения дисциплины: формирование у бакалавра по направлению подготовки «Строительство» знания свойств и назначения современных дорожно-строительных материалов и изделий, а также умения применять эти знания при проектировании и строительстве автомобильных дорог и инженерных сооружений.

### 1.2 Основные задачи дисциплины:

- познакомить с историей производства и применения дорожно-строительных материалов, с теоретическим и практическим вкладом отечественных и зарубежных ученых в разработку и внедрение новых эффективных технологий их производства;
- объяснить взаимосвязь состава, строения и свойств дорожно-строительных материалов;
- раскрыть основные показатели качества дорожно-строительных материалов и современные методы их оценки;
- научить правильно использовать основные нормативные документы (ГОСТы, СНИПы и др.), регламентирующие технические характеристики, рациональные области применения и контроль качества дорожно-строительных материалов;
- описать основные принципы технологий производства важнейших видов материалов и изделий для транспортного строительства;
- дать представления об осуществляемых в строительстве мероприятиях по экономии и рациональному использованию сырьевых и топливно-энергетических ресурсов, а также по снижению трудоемкости производственных процессов;
- научить правильно выбирать и грамотно использовать дорожно-строительные материалы для решения практических задач при строительстве автомобильных дорог и инженерных сооружений на них.

### 1.3 Перечень литературы, рекомендуемой студентам для самостоятельной работы:

– основная литература:

1. Алимов Л.А., Воронин Строительные материалы: учебник для бакалавров, обуч. по напр. «Строительство». □ М.: ИЦ «Академия», 2014.
  2. Баженов Ю.М. Технология бетона: учебник. – М.: АСВ, 2007.
  3. Илиополов С.К., Мардиросова И.В., Углова Е.В., Безродный О.К. Органические вяжущие для дорожного строительства: учебное пособие. – Ростов-на-Дону: ООО «Юг», 2003.
  4. Каклюгин А.В. Трищенко. И.В. Лабораторный практикум по учебным дисциплинам «Строительные материалы» и «Дорожное материаловедение и технология дорожно-строительных материалов». – Часть 1. – Ростов-на-Дону: Рост. гос. строит. ун-т, 2014.
  5. Каклюгин А.В. Трищенко. И.В. Строительные растворы. Цементные бетоны. Асфальтобетон: практикум. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2018.
  6. Попов К.Н., Каддо М.Б. Строительные материалы и изделия: учебник. – М.: Высшая школа, 2005.
  7. Попов Л.Н., Попов Н.Л. Строительные материалы и изделия: учебник. – М.: ОАО «ЦПП», 2008.
  8. Юндин А.Н. Битуминозные дорожно-строительные материалы: учебное пособие. – Ростов н/Д: РГСУ, 2012.
- дополнительная литература:

1. Веренько В.А. Новые материалы в дорожном строительстве: учебное пособие. – Минск: УП «Технопринт», 2004.
  2. Давыдов В.Н. Изготовление изделий из асфальтобетонных смесей. – М.: АСВ, 2003.
  3. Касторных Л.И. Добавки в бетоны и строительные растворы: учебно-справочное пособие. – Ростов н/Д: Феникс, 2007.
  4. Несветаев Г.В. Бетоны: учебное пособие. – Ростов н/Д: Феникс, 2011.
  5. Строительные материалы: учебно-справочное пособие / под ред. Г.В. Несветаева. – Ростов н/Д: Феникс, 2009.
  6. Стройиндустрия и промышленность строительных материалов: энциклопедия / под общ. ред. К.В. Михайлова. – М.: Стройиздат, 1996.
  7. Ферронская А.В. Долговечность конструкций из бетона и железобетона: учебное пособие. – М.: АСВ, 2006.
- 1.4 Классификации дорожно-строительных материалов по виду сырья и технологии изготовления:
- грунты;
  - природные каменные материалы;
  - органические и минеральные вяжущие вещества;
  - асфальтобетон;
  - цементобетон и железобетонные изделия;
  - керамические материалы (дорожный клинкерный кирпич);
  - лесные материалы;
  - стальной прокат;
  - полимерные материалы
- 1.5 Краткий исторический обзор производства и применения дорожно-строительных материалов и изделий. Зависимость качества, долговечности и стоимости транспортных сооружений от правильного выбора и применения строительных материалов.

## **1. ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА ДЛЯ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

Битумы, как органические вяжущие вещества, состоящие из смеси высокомолекулярных углеводородов, изменяющие свои свойства в зависимости от температуры.

Классификация органических вяжущих веществ:

- в зависимости от вида исходного сырья и технологии получения (природные битумы, нефтяные битумы, сланцевые битумы);
- в зависимости от консистенции при обычных и повышенных температурах (твердые битумы, вязкие битумы, жидкие битумы, битумные эмульсии и пасты);
- по назначению (строительные битумы, кровельные битумы, изоляционные битумы, дорожные битумы).

Химический состав битумов (содержание в элементарном химическом составе всех битумов углерода, водорода, кислорода, азота, серы).

Групповой состав битумов (содержание в битумах групп углеводородов со сходными свойствами – масел, смол, асфальтенов, карбенов и карбоидов, асфальтогеновых кислот и их ангидридов, парафинов).

Характеристика основных групп углеводородов по физическому и агрегатному состоянию, истинной плотности и молекулярной массе. Влияние группового состава битумов на их важнейшие физико-механические показатели: глубину проникания иглы, растяжимость, температуру размягчения, температуру хрупкости.

Нестабильность группового состава битума. Старение органических вяжущих веществ в процессе эксплуатации асфальтобетонного покрытия.

Строение органических вяжущих веществ.

Основы мицелярной теории строения органических вяжущих веществ по А.С. Кобановской и В.В. Михайлову.

Структурные типы битумов в зависимости от их коллоидного (дисперсного) строения, предопределяемого содержанием масел, смол и асфальтенов:

- гель, обладающий некоторыми свойствами твердых тел (способность сохранять форму, прочность, упругость);
- золь, в котором преобладает жидкая дисперсионная среда;
- золь-гель, занимающий промежуточное место между двумя предыдущими структурными типами.

Характеристика структурных типов битумов.

Природные битумы: определение, условия образования. Месторождения природных битумов:

- поверхностные (асфальтовые озера);
- пластовые;
- жильные;
- жильно-пластовые.

Классификация природных битумов в зависимости от консистенции при обычных и повышенных температурах:

- твердые (асфальтиты);
- вязкие (асфальты);
- жидкие (мальты).

Основные направления переработки асфальтовых горных пород:

- извлечение чистого битума;
- получение асфальтовых материалов (асфальтового порошка, асфальтовой мастики или холодного асфальтового бетона).

Рациональные области применения природных битумов.

Нефтяные битумы: определение.

Способы переработки нефти, как горючего ископаемого, и асфальто-смолистые остатки, образующиеся после фракционной перегонки и крекинг процесса. Мазут, гудрон и крекинг-остаток, как основное сырье для получения нефтяных битумов.

Классификация нефтяных битумов по способам производства:

- остаточные (жидкие и вязкие);
- окисленные;
- крекинговые;
- экстрактные;
- компаундированные.

Дорожные битумы, как разновидность нефтяных битумов, применяемых в качестве вяжущего материала при строительстве и ремонте асфальтобетонных дорожных и аэродромных покрытий. Их строительные свойства.

Нормативные документы на вязкие и жидкие нефтяные дорожные битумы.

Способы получения и область применения вязких нефтяных дорожных битумов. Их физико-механические показатели:

- глубина проникания иглы (пенетрация);
- температура размягчения;
- растяжимость (дуктильность);
- индекс пенетрации;
- температура хрупкости;
- температурный интервал превращения (пластичности);
- температуры вспышки;
- изменение температуры размягчения после прогрева.

Остаточные и разжиженные нефтяные дорожные битумы. Их классификация в зависимости от скорости формирования структуры:

- густеющие со средней скоростью (СГ);
- медленногустеющие (МГ, МГО).

Физико-механические показатели жидких нефтяных дорожных битумов:

- условная вязкость;
- количество испарившегося разжижителя;
- температура размягчения остатка после определения количества испарившегося разжижителя;
- температура вспышки.

Дорожные битумные эмульсии и битумно-полимерные (полимеродифицированные): определение, состав, назначение.

Эмульсии, как дисперсные системы, образованные двумя несмешиваемыми жидкостями.

Классификация дорожных битумных эмульсий по структуре:

- прямые («масло в воде»);
- обратные («вода в масле»).

Распад эмульсий. Роль эмульгаторов в повышении стойкости эмульсий против распада.

Классификация прямых эмульсий по химической природе эмульгатора:

- катионные;
- анионные;
- пасты.

Взаимодействие прямых эмульсий с минеральными материалами кислого и основного характера. Применение прямых эмульсий в дорожном строительстве.

Характеристика и назначение обратных эмульсий.

Составы прямых и обратных эмульсий, а также паст, технологические схемы их приготовления в эмульсионных машинах (диспергаторах).

Свойства дорожных битумных эмульсий:

- устойчивость при перемешивании со смесями минеральных материалов пористого и плотного зерновых составов;
- содержание вяжущего (битума) с эмульгатором;
- условную вязкость;
- сцепление эмульсий с минеральными материалами;
- остаток на сите с сеткой № 014;

- устойчивость при хранении.

Класс дорожных битумных эмульсий в зависимости от устойчивости при перемешивании со смесями минеральных материалов пористого и плотного зерновых составов:

- быстрораспадающиеся (анионные: ЭБА-1, ЭБПА-1; катионные: ЭБК-1, ЭБПК-1);
- среднераспадающиеся (анионные: ЭБА-2, ЭБПА-2; катионные: ЭБК-2, ЭБПК-2);
- медленнораспадающиеся (анионные: ЭБА-3, ЭБПА-3; катионные: ЭБК-3, ЭБПК-3).

Формирование структуры эмульсионно-минеральных смесей.

Основные направления использования дорожных битумных эмульсий в транспортном строительстве.

## **2. ЗАПОЛНИТЕЛИ ДЛЯ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ И МИНЕРАЛЬНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ**

Асфальтобетон и полимерасфальтобетон, как искусственные камневидные материалы, получаемые в результате уплотнения смеси минеральных материалов (щебня (гравия) и песка с минеральным порошком или без него) с органическими вяжущими веществами, взятых в определенных соотношениях и перемешанных в нагретом состоянии. Их преимущества и недостатки. Термопластичность асфальтобетона и полимерасфальтобетона.

Классификация асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов в зависимости от:

- производственного назначения;
- вида минеральной составляющей;
- вязкости битума и температуры при укладке;
- наибольшего размера минеральных зерен;
- способа уплотнения;
- показателей физико-механических свойств и применяемых материалов.

Виды асфальтобетонов из горячих смесей и полимерасфальтобетонов в зависимости от величины остаточной пористости. Требования к остаточной пористости асфальтобетонов из холодных смесей. Типы плотных асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов в зависимости от содержания щебня (гравия). Типы песчаных асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов в зависимости от вида песка.

Особенности использования асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов различных видов и типов в конструктивных слоях дорожных одежд.

Материалы для асфальтобетона и технические требования к ним:

- органические вяжущие вещества (вязкие и жидкие нефтяные дорожные битумы; дорожные битумные эмульсии, полимерные и другие модифицированные битумные вяжущие;
- щебень и гравий из основных и кислых плотных горных пород и шла-

ков;

- песок (природный, дробленый, из отсеков дробления горных пород);
- минеральный порошок (активированные и неактивированный).

Структура асфальтобетона. Понятия «минеральный остов» и «асфальтовое вяжущее». Зависимость структура асфальтобетона от плотности и пористости минерального остова и самого асфальтобетона, а также структуры и объема асфальтового вяжущего.

Рассмотрение основных факторов, оказывающих влияние на формирование структуры асфальтобетона:

- гранулометрический состав щебня (гравия) и песка;
- форма зерен минеральных составляющих и характер их поверхности;
- минералогический состав заполнителей (кислые или основные) и их загрязненность;
- вязкость применяемого дорожного битума и его количество.

Описание структуры асфальтобетона на микро-, мезо- и макроструктурном уровнях. Понятия: «бескаркасная», «полукаркасная» и «каркасная» структуры асфальтобетона.

Основы проектирования состава асфальтобетона.

Характеристика этапов проектирования состава асфальтобетона:

- испытания исходных материалов и установление их пригодности для применения в асфальтобетоне требуемого качества;
- расчет состава асфальтобетонной смеси;
- определение оптимального количества битума;
- изготовление контрольных образцов из запроектированной смеси и их испытание с целью определения соответствия свойств асфальтобетона требованиям нормативных документов.

Прерывистая и непрерывная гранулометрия смеси минеральных составляющих асфальтобетона. Теоретические основы их получения и применения.

Свойства асфальтобетона: методики определения и влияние на качество асфальтобетонного покрытия.

Физические свойства:

- средняя и истинная плотность асфальтобетона;
- остаточная пористость асфальтобетона;
- водонасыщение и набухание асфальтобетона;
- средняя и истинная плотность минерального остова;
- пористость минерального остова;

Механические свойства:

- предел прочности асфальтобетона при осевом сжатии;
- водостойкость;
- морозостойкость;
- предел прочности на растяжение при изгибе;
- предельная относительная деформация растяжения при изгибе;
- модуль деформации.

Эксплуатационные свойства:

- трещиностойкость;
- сдвигоустойчивость по коэффициенту внутреннего трения и лабораторному показателю сцепления при сдвиге.

Удобообрабатываемость асфальтобетонных смесей. Термины: «удобоукладываемость» и «уплотняемость».

Классификация асфальтобетонных смесей в зависимости от удобообрабатываемости:

- жесткие;
- пластичные;
- литые.

Управление удобообрабатываемостью асфальтобетонных смесей с помощью факторов ее определяющих: температуры; состава и структуры смеси; вязкости битума; качества и количества минерального порошка; гранулометрического состава и характера поверхности зерен минеральных составляющих; качества перемешивания.

Однородность асфальтобетонных смесей. Использование методов математической статистики и коэффициента вариации для оценки однородности горячих и холодных асфальтобетонных смесей.

Асфальтобетонные заводы: стационарные и передвижные (временные). Основные цеха и службы асфальтобетонных заводов.

Классификация асфальтосмесителей:

- по производительности;
- по принципу действия;
- по способу перемешивания;
- по конструктивной компоновке.

Характеристика основных этапов технологического процесса приготовления асфальтобетонной смеси:

- подготовки минеральных составляющих асфальтобетонной смеси;
- подготовки битума;
- перемешивания минеральных материалов с битумом;
- выгрузки готовой смеси.

Горячий асфальтобетон: определение, преимущества и недостатки, особенности формирования структуры, применение в современном дорожном строительстве.

Правила укладки и уплотнения горячих асфальтобетонных смесей. Описание асфальтоукладчика и его основных узлов. Классификация катков и их использование для уплотнения горячих смесей. Оценка качества уплотнения горячих асфальтобетонных смесей.

Холодный асфальтобетон: определение, преимущества и недостатки, особенности формирования структуры, применение в современном дорожном строительстве.

Правила укладки и уплотнения холодных асфальтобетонных смесей. Методика определения слеживаемости холодных смесей.

Контроль качества приготовления горячих и холодных асфальтобетонных смесей:

- входной контроль;
- операционный контроль;
- выходной контроль (приемосдаточные и периодические испытания).

Разновидности горячего асфальтобетона (отличительные особенности, технические требования, рациональные области применения в современном строительстве):

- литой асфальтобетон;

- щебеночно-мастичный асфальтобетон;
- асфальтобетон светлых тонов;
- цветной асфальтобетон;
- кислотостойкий и щелочестойкий асфальтобетон;
- сборные плитные изделия из асфальтобетонных смесей.

*Асфальтобетонная смесь* – рационально подобранная смесь минеральных материалов (щебня, гравия) и песка с минеральным порошком (или без него) с битумом, взятых в определенных соотношениях и перемешанных в нагретом состоянии.

Состав асфальтобетона:

щебня или гравия 20-65 %;

песка 20-66 %;

минерального порошка 4-14 %;

битума 5-7 %.

Смесь минерального порошка (МП) с битумом (Б) называют **асфальтовым вяжущим**.

Достоинства от других битумо-минеральных вяжущих:

- высокая плотность
- высокая прочность
- высокая водостойкость
- способность к упругим и пластическим деформациям
- хорошее сцепление с автомобильными шинами
- возможность получения ровной поверхности с бесшумным скоростным движением автомобилей

Движением автомобилей

- сравнительная простота ремонта
- высокая скорость укладки с применением широкой механизации работ

Недостатки:

- термопластичен, т. е. размягчается и снижается прочность до 0,8-1,0 МПа в жаркие летние дни, когда температура покрытия поднимается до 40-50<sup>0</sup>С, а зимой при отрицательной температуре повышается прочность до 10-15 МПа и твердость и хрупкость.

- Термопластичностью объясняется и характер деформаций на покрытиях: летом возникают и развиваются пластические сдвиги, колея, волны; зимой, - трещины.

*От всех битумо-минеральных материалов асфальтобетон отличается обязательным содержанием минерального порошка и точным дозированием всех компонентов, что возможно только при использовании специализированного сложного оборудования и средств автоматизации.*

Требования к составам а/б смесей и а/бетонам, нормированы тремя нормативными документами:

ГОСТ9128-97 – Смеси а/б дорожные, аэродромные и а/бетон. Технические условия.

ГОСТ12801-84- Смеси а/б дорожные и аэродромные, дегтебетонные, а/бетон и дегтебетон. Методы испытаний.

СНиП 2. 05. 02 – 85 Автомобильные дороги. Проектирование.

Классификация а/бетона.

*Классификация асфальтобетона.* ГОСТ 9128-97 «Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия» устанавливает следующие классификационные признаки асфальтобетона

- Асфальтобетонные смеси на вязких битумах называются **горячими**, на жидких – **холодными**.

**Горячие** укладывают при температуре **не ниже 120°С** и изготовляют с использованием вязких и жидких нефтяных дорожных битумов. **Холодные** приготавливают с использованием жидких нефтяных дорожных битумов и укладывают с температурой **не ниже 5°С**.

**По наибольшей крупности** минеральных зерен асфальтобетон может быть крупнозернистым – до 40 мм,

мелкозернистым – до 20 мм и

песчаным до 5 мм.

Смеси холодные делятся на **мелкозернистые** и **песчаные**.

**В зависимости от содержания щебня** асфальтобетон подразделяется на типы:

А – 50...60%

Б – 40...50%

В – 30...40%

Г – песчаный с искусственным (дробленным) песком

Д – песчаный с природным песком

Для обозначения холодных смесей добавляется индекс х, например, Б<sub>х</sub>, В<sub>х</sub> и т.д.

- **По пористости асфальтобетон** из горячих смесей подразделяется на разновидности:

высокоплотные 1...2,5 % пор по объему;

плотные 2,5...5,0 % пор по объему;

пористые 5...10 % пор по объему;

высокопористые 10...18 % пор по объему.

Покрытия из холодных смесей должны иметь остаточную пористость от 6,0 до 10,0%.

Холодные щебеночные и гравийные смеси и соответствующие асфальтобетоны по содержанию щебня (гравия) делятся на типы **Бх** и **Вх**.

Смеси песчаные, горячие и холодные, и соответствующие асфальтобетоны по виду песка делятся на следующие типы:

Г и Г<sub>х</sub> — приготовленные на песках из отсевов дробления или на их смесях с природным песком при содержании природных не более 30% по массе;

Д и Д<sub>х</sub> — приготовленные на природных песках или смесях природных песков с отсевами дробления при содержании последних менее 30% по массе.

## Типы асфальтовых смесей

Типы смесей		Количество щебня (гравия), % по массе	Вид песка
Горячие для плот- ного асфальто- бетона	Холод- ные		
А	-	Свыше 50 до 60 включительно щебня	-
Б	Б <sub>х</sub>	Свыше 40 до 50 включительно щебня и гравия	-
В	В <sub>х</sub>	Свыше 30 до 40 включительно щебня и гравия	
Г	Г <sub>х</sub>		Отсевы дробле- ния или смесь с при- родным песком до 30%
Д	Д <sub>х</sub>		Природный песок или смесь с отсевами дробления до 30%

- По качеству составляющих материалов и физико-механическим свойствам асфальтобетон подразделяется на марки:

I – для горячего высокоплотного асфальтобетона

I-II-III – для горячего плотного асфальтобетона

I-II – для горячего пористого и высокопористого и для холодного асфальтобетона

Тип асфальтобетона и его марку назначают в зависимости от характера движения автомобилей конструкции дорожной одежды, имеющихся материалов, климатических условий района строительства и условий производства работ. Если выбранный асфальтобетон не соответствует условиям эксплуатации, на покрытии возникают и развиваются деформации и разрушения, а именно:

- пластические сдвиги, волны, колея при высокой летней температуре
- трещины зимой
- шелушение поверхности и выбоины при знакопеременной температуре весной.

Минеральные материалы для асфальтобетона

### **Заполнители.**

**Щебень** (ГОСТ 8267-93) – дробленый и разделенный на фракции материал из монолитных горных пород, или получаемый дроблением гравия. Для дробления используют в основном граниты и известняки и применяют различные по конструкции и мощности камнедробильные машины, от которых зависит качество получаемой

продукции. Лучшей формой зерен щебня считается кубовидная или тетраэдрическая.

Производство щебня включает следующие этапы: добычу камня, дробление, сортировку (грохочение). Добыча камня производится в карьерах в основном буровзрывным способом, затем сырье доставляется на дробильно-сортировочный завод.

Содержание зерен щебня лещадной (ширина их в 3 раза превышает толщину) и игловатой (длина в 3 и более раза превышает толщину и ширину) формы не должно быть больше допустимых стандартов, приведенных в табл. 15.

*Щебень* из плотных горных пород и гравий должны отвечать требованиям ГОСТ 8267-93, а *щебень* из металлургических шлаков требованиям ГОСТ 3344-83.

Прочные и морозостойкие магматические, метаморфические и осадочные горные породы

Медленноохлажденные металлургические шлаки

Прочность при сжатии не менее 100...120 МПа – для магматических и метаморфических пород

Прочность для осадочных карбонатных и металлургических шлаков – не менее 80-100 МПа

Качество щебня и гравия характеризуется показателями крупностью и формой зерен,

содержанию пылевидных и глинистых частиц и прочности.

Для дорожного строительства щебень применяют в основном четырех фракций: с размером зерна 5-10; 10-20; 20-40; 40-70(80) мм.

**Крупность щебня** и гравия устанавливается в пределах от 5,0 до 40 мм, а по фракциям от 5-20 или 5-15 мм до 20-40 мм.

**Форма зерен** щебня должна быть кубовидной и тетраэдрной, а поверхность – шероховатой, что повышает внутреннее трение и прилипание вяжущего. Содержание зерен лещадной (ширина их в 3 раза превышает толщину) и игловатой (длина в 3 и более раза превышает толщину и ширину) формы в щебне и гравии должно быть, в % по массе, не более:

15 – для смесей типа А и высокоплотных;

25 – для смесей типа Б и Бх;

35 – для смесей типа В и Вх..

Большее содержание лещадных зерен приводит к их дроблению при укатке.

**Загрязняющих примесей** (глинистых, пылеватых) не должно быть больше 1,5% по массе. Щебень должен быть чистым

**Прочность щебня** и гравия нормированы стандартом на а/бетон ГОСТ9128-97 марками

- по раздавливанию в цилиндре,
- по износу в полочном барабане,
- по морозостойкости.

Показатель прочности при износе в полочном барабане для щебня из горных пород устанавливается не более 25...35%

Марка по морозостойкости не менее 50 циклов попеременного замораживания и оттаивания, а для нижнего слоя покрытия – не менее 25 циклов.

**Гравий** (ГОСТ 8267-93) получают делением (разгрохоткой) на фракции песчано-гравийных смесей.

Природный гравий представляет собой рыхлую смесь окатанных обломков горных пород размером от 5(3) до 70(80) мм. По происхождению он может быть горным, речным, морским и ледниковым. Горный гравий имеет более угловатую форму зерен, что благоприятно сказывается на сцеплении с вяжущим, но более загрязнен пылевато-глинистыми примесями. Речной и морской гравий имеет гладкую поверхность, что ухудшает сцепление с вяжущим. Лучшей разновидностью гравия считается ледниковый, который менее окатан и имеет более равномерный зерновой состав. Из-за недостаточного сцепления с цементным камнем в бетоне гравий, как правило, не применяется в бетонах с пределом прочности выше 30 МПа.

Обработка гравия заключается в его сортировке по фракциям и промывке. При содержании в гравии природного песка от 25 до 40% материал называют гравийно-песчаной смесью.

Гравий для асфальтобетонов должен соответствовать требованиям ГОСТ 8267-93. Для асфальтобетонов применяют гравий фракций 5-10, 10-20(15), 20(15)- 40, а также смеси указанных фракций.

Качество щебня и гравия характеризуется показателями:

- прочности (маркой по раздавливанию в цилиндре, по сопротивлению износу в полочном барабане, по морозостойкости)
- крупностью и формой зерен (фракции 5...40 мм. форма зерен- кубовидная, количество лещадных зерен для смеси А до 15%, для смеси Б 25% и В -35% по массе)
- степенью загрязненности пылевато-глинистыми частицами (не более 1,5% по массе)
- петрографическим составом, который влияет на шероховатость покрытия. Чем выше шероховатость, тем лучше сцепление колес автотранспорта с дорогой. Шероховатость для гранита сохраняется до 5 лет эксплуатации дороги, а для известняка – один сезон, хотя адгезия битума к поверхности известняка больше, чем к граниту.

**Песок** (ГОСТ 8736). Песком называют рыхлую смесь зерен материала природного или искусственного происхождения размером от 0,16 до 5 мм.

По минерало-петрографическому составу различают кварцевые, полевошпатовые, карбонатные и другие пески. Как правило, лучшие по качеству пески – кварцевые, и они чаще других используются. Однако при производстве бетонов и асфальтобетонов их можно заменять на другие пески.

По происхождению пески подразделяются на горные (овражные), речные, морские, барханные, дюнные и др. Каждый из них имеет положительные и отрицательные свойства: горные пески содержат повышенное содержание глины, но обладают неокатанной формой зерен, более благоприятно влияющей на прочность сцепления с цементным камнем в бетоне. Морские могут содержать обломки раковин, снижающих прочность бетонов и асфальтобетонов. Кроме того, речные и морские пески имеют гладкую поверхность зерен, не обеспечивающую достаточного сцепления с вяжущим веществом, но они более чистые. Дюнные и барханные пески сложены очень мелкими частицами, не отвечающими требованиям стандартов.

Показателями, характеризующими пески, являются:

- зерновой состав и модуль крупности
- содержание пылеватых и глинистых частиц
- минерало-петрографический состав

В асфальтобетонах могут применяться различные пески. Крупные пески оцениваются модулем крупности  $M_{кр} > 2,5$  и содержанием в них зерен крупнее 0,63 более 50%. Пески средние оцениваются модулем крупности  $M_{кр} = 2 - 2,5$  и содержанием в них зерен крупнее 0,315 в пределах 35- 50%.

Применяемый для асфальтобетонів песок природный и из отсеивов дробления горных пород должен соответствовать требованиям ГОСТ 8736, согласно которому содержание глинистых частиц не должно превышать 0,5% для асфальтобетона марок I и II, и не более 1% для марки III.

Прочность песков оценивается по прочности горных пород, при естественном разрушении которых они образуются (природные пески), или из которых получают-ся при дроблении (дробленые пески).

**Минеральный порошок (МП)** (ГОСТ 52129-2003). Он представляет собой полидисперсный материал и является важнейшим структурообразующим компонентом асфальтобетона. На его долю приходится до 95% суммарной поверхности минеральных зерен асфальтобетона.

*Минеральный порошок является важнейшим компонентом асфальтобетона, выполняющим две функции:*

- *заполняет пустоты песчано-щебеночного каркаса и повышает плотность минерального состава;*
- *превращает битум при смешивании с ним в прочное асфальтовое вяжущее вещество, связывающие зерна заполнителя в прочный монолит.*

Основное назначение минерального порошка – переводить объемный битум в пленочное состояние. При этом повышается вязкость и прочность битума. Вместе с битумом минеральный порошок образует структурированную дисперсную систему, которая выполняет роль вяжущего материала в асфальтобетоне. Кроме того, минеральный порошок заполняет поры между частицами песка что способствует повышению плотности асфальтобетона и снижению расхода битума.

**Сырье** для производства МП служит известняк, доломит, а также известняковые и доломитовые асфальтовые породы (прочность исходных пород для получения которых не должно быть меньше 200 кг/см<sup>2</sup>).

Допускается применение порошковых отходов промышленности: цементной пыли, пыли уноса ТЭЦ, золы каменного угля, отходы асбоцементного завода, молотых основных доменных шлаков, которые удовлетворяют требованиям стандарта ГОСТ 9128-87.

Материалы, предназначенные для приготовления МП, не должны содержать загрязняющих и глинистых примесей более 5%.

МП должен быть сухим, рыхлым, не комковаться при смешивании с битумом

#### **Свойства минерального порошка**

Удельная поверхность 2500-4500 см<sup>2</sup>/г

Тонкость помола

При мокром рассеве сквозь сито с отв. 1,25 мм должно пройти 100%

0,315-не менее 90%

0,071 мм-не менее 70%

Коэффициент гидрофильности (для частиц менее 1,25 мм)

отношение набухания минерального порошка в воде (полярная среда) к набуханию в обезвоженном керосине (неполярная среда). Более гидрофильные порошки имеют большое сродство с водой и характеризуются коэффициентом гидрофильности более 1, а менее гидрофильные – менее 1. Для а/бетонов не рекомендуют порош-

ки с коэффициентом гидрофильности более 1. Набухание смеси порошка с битумом не должно превышать 2,5%.

### Битумы

Марку вязкого битума, а также класс и марку жидкого битума выбирают в зависимости от вида асфальтобетона, климатических условий района строительства и категории дороги, а для холодного асфальтобетона – с учета условий и сроков хранения смеси на складе.

Для приготовления горячих смесей применяют вязкие нефтяные битумы марок БНД 40/60, БНД 60/90, БНД 90/130, БН 60/90 по ГОСТ 22245-76, а для теплых смесей – вязкие битумы марок БНД 130/200, БНД 200/300, БН 130/200, БН 200/300 по ГОСТ 22245-76 и жидкие битумы марок СГ130/200, МГ 130/200 и МГО 130/200 по ГОСТ 11955-82.

Для приготовления холодных смесей следует применять жидкие нефтяные дорожные битумы марок СГ 70/130, МГ 70/130 и МГО 70/130 по ГОСТ 11955-82.

### Свойства асфальтобетона

- Прочность
- Деформативность
- Ползучесть
- Релаксация
- Водостойкость
- Износостойкость
- Морозостойкость

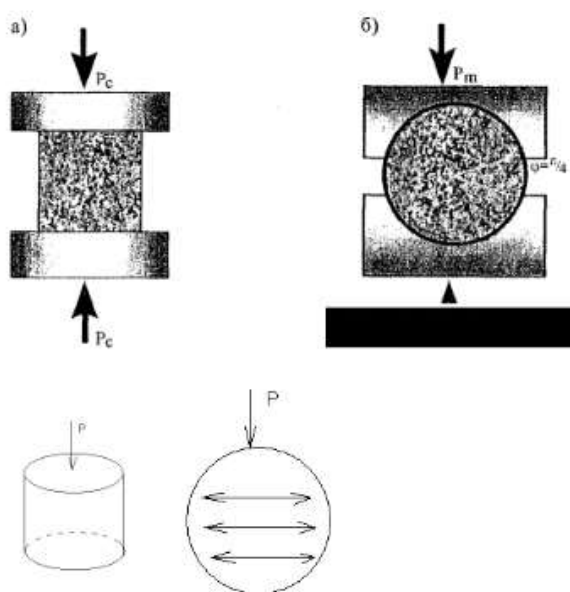
Прочность при сжатии нормируют при температурах 50<sup>0</sup>С, 20<sup>0</sup>С 0<sup>0</sup>С, что соответствует температуре покрытия в жаркий летний день и осеннее-зимний период.

С увеличением вязкости битума прочность а/б увеличивается

Прочность при сжатии определяют осевым сжатием

$R_{сж} = P/A$  [МПа] на образцах размером 50,5х50,5 или 71,4х71,4

Испытание на сжатие по образующей- «бразильский метод», создавая давление на боковую поверхность образца.



Испытание давлением на боковую поверхность образца отражает предельное сопротивление материала растягивающим напряжениям

Прочность а/б при растяжении в 6-8 раз меньше, чем прочность при сжатии

### **Деформативность**

Оценивается по относительной деформации а/бетонных образцов при испытании на изгиб (баллочки 4х4х16 см) или на растяжении

Покрытие будет устойчивым против образованию трещин, если а/бетон обладает относительным удлинением при 0°С не менее 0,004...0,008

-20 °С не менее 0,001...0,002

### **Ползучесть**

Деформирование а/бетона во времени под действием постоянной нагрузки.

Проявляется при любом виде нагружения:

- Растяжении
- Изгибе
- Сжатии

*Проявление:*

- В виде волн и наплывов
- Развития колейности

### **Релаксация**

Заключается в «перерождении» упругой деформации в пластичную

Зависит от:

- Наличия битума
- Скорости деформирования (нагружения)
- Влияния напряжения

### **Водостойкость**

Зависит от плотности и устойчивости адгезионных связей. Для асфальтобетона коэффициент размягчения должен быть  $K_{\text{разм}}=0,6-0,9$

### **Износостойкость и шероховатость а/бетонных покрытий**

- Проявляется в виде абразивного истирания поверхности, шелушения с выкрашиванием отдельных зерен щебня и песка, разрушения покрытия на всю толщину слоя.

- Все это результат одновременного воздействия воды, температуры, давления и ударов автомобильных колес

### **Морозостойкость**

Определяют числом циклов замораживать насыщенных водой образцов на воздухе при температуре -20°С и оттаивание в воде при комнатной температуре

Для асфальтобетонов морозостойкость должна быть F не менее 25 циклов

Виды асфальтобетонов

### **Теплый асфальтобетон.**

По своим свойствам занимает как бы промежуточное положение между горячим и холодным. Формирование структуры у теплого а/б происходит быстрее, чем у холодного, но медленнее, чем у горячего. Такой а/б по сравнению с горячим имеет меньшую прочность и деформативную устойчивость, особенно при высоких температурах.

Материалы:

**битум** БНД 200/300 и БНД130/200 или жидкие битумы

**минеральный порошок** – известняковый более тонкого помола, чем в горячих

**заполнители** щебень и песок дроблением основных пород габбровых или диабазовых или прочные шлаки.

Последовательность расчета состава теплого а/б аналогична горячим смесям. Приготовление теплых а/б смесей ведут на тех же установках, на которых готовят горячие смеси. Температура готовой теплой массы при ее выходе из смесителя должна быть 90-130°С. Укладку теплых смесей ведут асфальтоукладчиками при температуре не ниже 60°С, а уплотнение – при температуре выше 50°С в зависимости от вязкости битума и температуры воздуха. Смеси уплотняют сначала легкими, затем средними и окончательно тяжелыми катками.

Если погода холодная массу уплотняют сразу же после ее укладки в покрытие. Толщину рыхлого слоя назначают на 15-20% больше проектной толщины покрытия.

*Применение.* Используют при строительстве дорожных покрытий капитального типа и для устройства нижних слоев в покрытиях.

***Холодный асфальтобетон (холодный асфальт).***

*Материалы.*

*Битум* жидкий или разжиженный в горячем состоянии, битумную эмульсию – в холодном.

*Заполнители.*

*Щебень* из морозостойких карбонатных пород (известняков, доломитов) и доменных шлаков с пределом прочности при сжатии не менее 80 МПа,

а при использовании магматических и метаморфических пород – не менее 100 МПа. Чтобы покрытие не было скользким при его эксплуатации, к известняковому щебню добавляют до 30% мелкого (8-10 мм) щебня из гранита, диабазы, базальта или искусственного дробленого песка из тех же пород. *Песок* должен быть чистым, однородным, морозостойким, без органических примесей или глинистых частиц, способных набухать в воде.

*Минеральный порошок.* Известняковый для повышения вязкости и клеящей способности разжиженного или жидкого битума.

*Свойства.*

Прочность при сжатии в сухом и водо-насыщенном состояниях при 20 градусах соответственно 1,5-2,0 МПа и 1,0-1,5 МПа

Коэффициент водостойкости не менее 0,6-0,8

*Достоинства.* Холодный асфальт может длительное время оставаться в рыхлом состоянии в складских условиях (до 8-10 месяцев). Поэтому холодную а/б массу обычно готовят в зимнее время года с тем, чтобы ее раскладку в покрытие произвести с наступлением весны. Слеживаемость холодного а/б при длительном хранении уменьшают, добавляя на последней стадии перемешивания ССБ, хлорное железо, водный раствор соапстока и некоторые другие специальные добавки в количестве до 2-3 %.

*Приготовление* холодного асфальта осуществляется в горячем и холодном состояниях. Более распространен в строительстве холодный асфальт на основе жидкого или разжиженного битума. Укладку массы предпочтительнее производить еще в теплом состоянии. При работе во влажную погоду используют холодный асфальт, приготовленный на битумной эмульсии.

*Применение.*

Его применяют для создания верхних слоев дорожных покрытий и при производстве ремонтных работ. В частности, при восстановлении сильно износившихся покрытий.

### ***Литой асфальтобетон.***

Литой асфальтобетон представляет собой разновидность горячего а/б, но содержит повышенное количество асфальтосвязующего вещества, т.е. битума и минерального порошка имеет повышенную пластичность. Ввиду повышенной пластичности такой асфальтобетон после укладки и уплотнения имеет очень малую остаточную пустотность.

Для приготовления литых а/б смесей применяют: гравий или щебень, песок, минеральный порошок, битум, асфальтовую мастику.

В зависимости от крупности зерен литой а/б бывает среднезернистый (наибольший размер зерен 7-10 мм) и песчаный (наибольший размер зерен до 3 мм)

Расчет состава ведут путем изготовления и испытания нескольких вариантов смеси с различным количеством составляющих материалов. Технические требования к качеству литого асфальтобетона строго не нормированы. Однако при подборе состава такого бетона предел прочности при сжатии цилиндрических образцов необходимо иметь и , водонасыщение не более 1% по объему, остаточную пористость не более 3% по объёму.

**Достоинства.** Работы по его укладке можно производить при сравнительно низких температурах (до  $-10^{\circ}\text{C}$ ) воздуха. Не требует продолжительного уплотнения массы катками или трамбования при ямочном ремонте. Относительно высокая долговечность, износостойкость и шероховатость.

**Недостатки.** Податливость к сдвиговым деформациям в жаркое летнее время и склонностью к трещинообразованию от неравномерных тепловых напряжений в период отрицательных температур воздуха.

**Применение.** Для укладки дорог высоких категорий, мостах, путепроводах, эстакадах и взлетно-посадочных полосах аэродромов.

## **3. ТЕХНОЛОГИЯ АСФАЛЬТОБЕТОНА**

Изготовление асфальтобетонных смесей производится **на стационарных** или **передвижных** асфальтобетонных заводах (АБЗ). В городах, у крупных транспортных узлов, где асфальтобетонные смеси востребованы каждый строительный сезон, возникает необходимость возведения стационарных АБЗ. При строительстве или реконструкции автомобильных дорог используют передвижные АБЗ.

Радиус обслуживания строящихся дорог с одного АБЗ составляет 60 – 80 км, т.к. продолжительность транспортирования горячей асфальтобетонной смеси должна быть менее 1,5 ч.

Выбор площадки для АБЗ определяется из условий:

- наименьшего расстояния транспортирования асфальтобетонных смесей и исходных материалов;
- наличия железнодорожных и водных путей, автомобильных дорог;
- энерго-, водо-, канализационного хозяйства;
- экологических условий.

На территории АБЗ расположены:

- 1) склады щебня, песка, склад щебня, минерального порошка, горюче-смазочных материалов;
- 2) дробильно-сортировочная установка для получения щебня;

- 3) битумное хозяйство: битумохранилище, битумные котлы, насосные станции, битумопроводы;
- 4) установки по приготовлению полимерно-битумных вяжущих и битумных эмульсий;
- 5) смесительный цех, состоящий из машин и агрегатов для приготовления асфальтобетонных смесей (АСУ);
- 6) лаборатория;
- 7) ремонтные мастерские;
- 8) энерго- и паросиловое хозяйство (подстанция, котельная);
- 9) административное здание;
- 10) транспортные средства для перевозки материалов на АБЗ.

По принципу действия асфальтосмесительные установки (АСУ) подразделяются на **циклические** (периодического действия) и **непрерывного** действия.

Циклические АСУ позволяют проще и быстрее менять рецептуру смеси, в теории каждый замес может иметь другую рецептуру. Такие АБЗ наиболее востребованы при производстве асфальта в городах и мегаполисах, когда асфальт производят для нескольких укладочных комплексов. В то же время циклические АБЗ менее мобильны из-за башни. Башня имеет большие размеры, и для их снижения уменьшают размеры бункеров горячих заполнителей.

1. В нашей стране асфальтобетонные смеси изготавливают в основном по **традиционной технологии** в смесителях периодического действия.

Производительность АСУ 50 – 300 т/ч.

Современные АБЗ с микропроцессорными системами управления в непрерывном режиме контролируют весь технологический процесс приготовления смесей и позволяют быстро переходить на выпуск смесей по любому заранее выданному рецепту.

Вместимость лопастных мешалок от 700 до 3000 кг в зависимости от производительности. Установки: Amman, Virtgen, Bernardi, HC-100 и другие.

Установки снабжены компьютерами, точность дозирования 0,1% мас.

Температурный режим выдерживается с точностью до 0,5 °С.

Тканевые фильтры улавливают пыль на 99,9%.

Высокое качество продукции.

Большая энерго- и металлоемкость.

Обогрев битумопроводов и оборудования осуществляется жидким теплоносителем.

Технология циклического приготовления асфальтобетонных смесей (классическая технология) включает:

- хранение небольшого запаса минеральных материалов (песка и щебня) в бункерах-преддозаторах и предварительное дозирование влажных щебня и песка;
- нагрев и сушку минеральных материалов в сушильном барабане;
- сортировку (рассев) нагретых минеральных материалов по фракциям и складирование в «горячих» бункерах;
- дозирование нагретых минеральных материалов по фракциям на весовой площадке и подача в смеситель;
- нагрев минерального порошка в теплообменнике;
- дозирование минерального порошка на весовой площадке (или в отдельном дозаторе) и подача в смеситель;
- «сухое» (без вяжущего) перемешивание минеральных материалов в смесителе;

- нагрев вяжущего (битума или ПБВ) в рабочей емкости;
- дозирование вяжущего и подача в смеситель;
- «мокрое» (с вяжущим) перемешивание компонентов в смесителе;
- выгрузка готовой смеси в кузов транспортного средства или через подъемное устройство («горячий» элеватор или скиповый подъемник) в бункер-накопитель готовой смеси;
- выгрузка готовой смеси из бункера-накопителя в транспортное средство (рисунки).

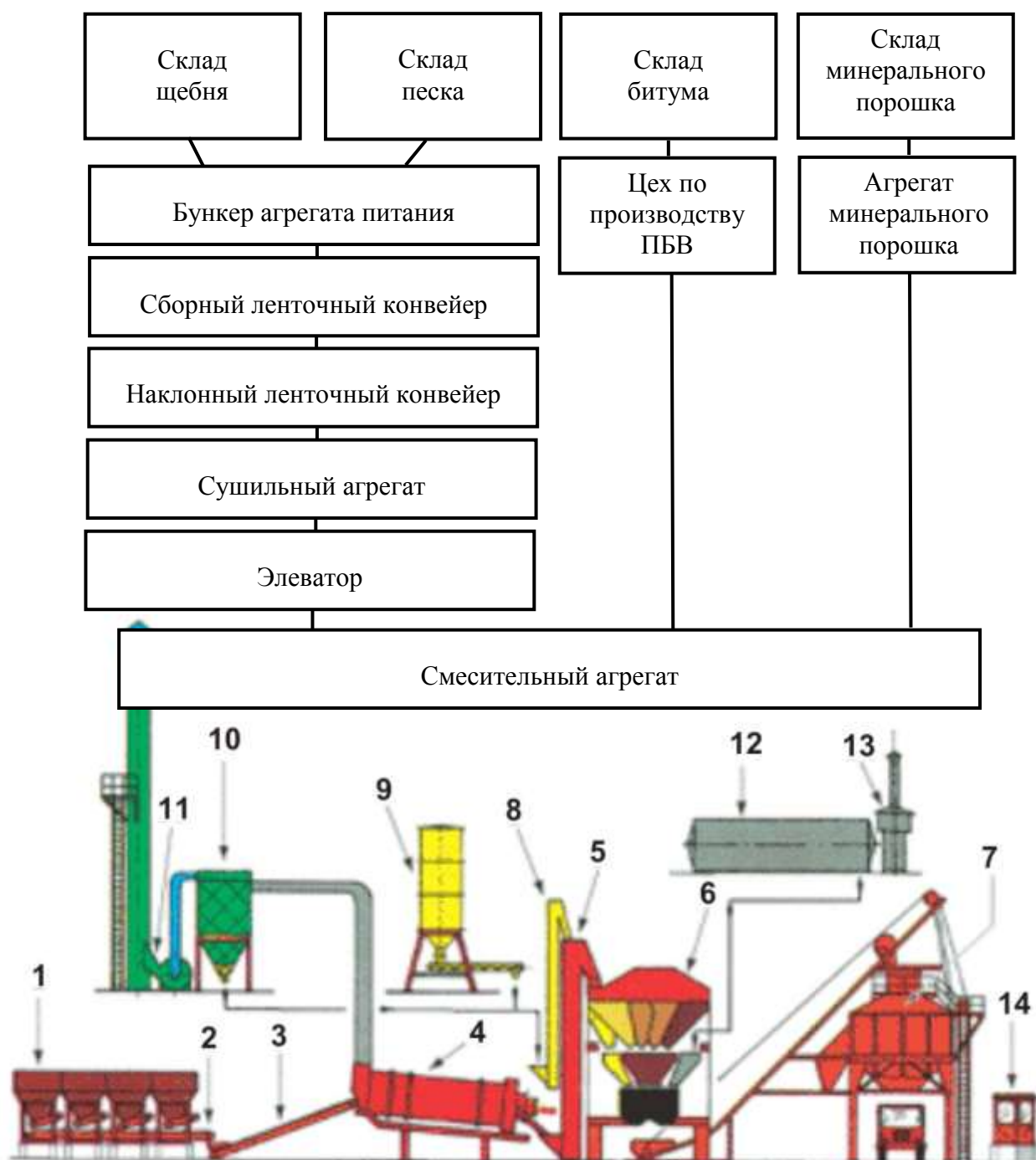


Рисунок 1. Технологическая схема приготовления асфальтобетонной смеси в установке циклического действия:

1. Бункеры-дозаторы, 2. Сборный конвейер, 3. Конвейер сушильного барабана, 4. Сушильный барабан, 5. «Горячий» элеватор, 6. Смесительная башня,
7. Накопительный бункер, 8. Элеватор минерального порошка, 9. Силос минерального порошка, 10. Пылеуловитель и силос пыли, 11. Пылесос-вентилятор, 12. Битумный бак-цистерна, 13. Нагреватель масла, 14. Кабина управления.

Основные операции изготовления асфальтобетонной смеси предусматривают:

- 1) подачу со склада погрузчиком минеральных материалов в бункер агрегата питания;
- 2) предварительное дозирование песка и щебня и подача их в сушильный барабан;
- 3) просушку и нагрев минеральных материалов;
- 4) разделение их по фракциям;
- 5) точное дозирование щебня, песка, минерального порошка;
- 6) приготовление БПВ, его дозирование и подача к смесителю;
- 7) смешивание минеральных материалов с битумом (БПВ);
- 8) выгрузку готовой смеси в автомобиль-самосвал или накопительный бункер.

Допустимая точность дозирования:

Щ и П  $\pm 3\%$  мас.:

Б  $\pm 1,5\%$  мас.

Технологические режимы приготовления асфальтобетонной смеси даны в таблице 1. Интервал температур нагрева компонентов асфальтобетонной смеси дан в зависимости от марки битума.

Таблица 1 – Технологические режимы приготовления асфальтобетонной смеси

Вид смеси	Температура нагрева, °С			Продолжительность перемешивания, с	
	заполнителей	битума	асфальто-бетонной смеси	Сухое (минеральных материалов)	Мокрое (минеральных материалов с битумом)
Горячая	150 – 180	120 – 150	130 – 160	15- 20	40 – 60
Холодная	110 – 130	80 – 120	80 – 120	15- 20	40 – 60

2. **Беспыльная** технология приготовления асфальтобетонной смеси – холодные и влажные щебень, песок и минеральный порошок смешивают с горячим битумом в смесителе принудительного действия, а затем нагревают в сушильном барабане до заданной температуры. Отсутствует запыленность. Производительность АСУ 120 т/ч.

Фирма «Машинери» (Финляндия) выпускает компьютеризированные установки, в памяти компьютера до 200 рецептов смесей, переналадка занимает 1 – 2 с. На принтере фиксируется составы и отклонение от нормы по каждому рецепту.

3. **Турбулентная** технология – асфальтобетонная смесь готовится в асфальтосмесителях свободного перемешивания барабанного типа непрерывного действия, в которых отдозированные минеральные материалы просушиваются, нагреваются и смешиваются с битумом.

Внутри барабанного смесителя выделяют четыре рабочие зоны:

*А* – зона просушивания и нагрева минеральных материалов открытым пламенем. Смесь перемещается по шнековым элементам, закрепленным на внутренней стороне барабана. В конце зоны находится защитный экран, препятствующий проникновению пламени в зону *Б*;

*Б* – зона смешения минеральных материалов с битумом. Битум разбрызгивается из сопел, расположенных по длине этого участка. На внутренней поверхности барабана на этом участке прикреплены уголки профили, обеспечивающие поточное продвижение материала;

*В* – зона обволакивания минеральных материалов битумом. На внутренней поверхности барабана на этом участке прикреплены параллельно оси полочки, предназначенные для подъема и сброса материалов;

*Г* – зона окончательного смешения минеральных материалов с битумом, удаление пера и выгрузка смеси в ковш скипового подъемника. Скиповый подъемник подает смесь в накопительный бункер.

Преимущества: ниже стоимость, меньше запыленность, ниже энергозатраты на 40%, чем при традиционной технологии. Требуется высокая технологическая дисциплина и интенсивный контроль, т.к. установка непрерывного действия.

## 4. ТЕХНОЛОГИЯ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ

### 4.1. Общие сведения о бетонах

**Бетоны** являются композиционными материалами, состоящими из двух и более компонентов, каждый из которых в составе композита сохраняет свою индивидуальность (структуру, свойства). Материалы могут быть природного и искусственного происхождения. К *природным* композитам относятся конгломераты, брекчии, песчаники и др. Бетон наряду с железобетоном, строительными растворами, пластмассами является *искусственным* композиционным материалом (искусственным строительным конгломератом – ИСК).

По определению СТБ EN 206-1 бетоном называют материал, получаемый путем смешивания вяжущего, крупного и мелкого заполнителя, воды и различных добавок, структура которого формируется вследствие процесса гидратации вяжущего. Однако сегодня под термином «бетон» понимается более широкая гамма различных строительных композитов как гидратационного, так и других видов твердения. Многообразие составляющих бетона (вяжущих веществ, заполнителей, добавок) и технологических приемов позволяет получать бетоны различных видов и с самыми разнообразными свойствами. Композиция этих материалов, рационально составленная и тщательно перемешанная до начала процессов схватывания и твердения, называется *бетонной смесью*.

В современном строительстве бетоны являются самыми востребованными материалами как конструкционного, так и специального назначения (декоративными, теплоизоляционными, для защиты от радиоактивного воздействия и др.). Им, безусловно, принадлежит лидерство среди другого известного человечества строительных материалов. Именно бетон и изделия на его основе во многом определяют развитие технического прогресса и экономическое благополучие во всех странах мира. Природный камень и бетон являются и самыми долговечными строительными материалами в мире. Кроме того, бетон признается материалом архитектурно-привлекательным и экологически благоприятным (биопозитивным).

Несмотря на целый ряд положительных характеристик, бетон имеет и ряд существенных недостатков, например, присущая практически всем разновидностям бетонов неоднородность. Если слово «однородный» и можно применить к бетону, то следует сказать, что он исключительно однороден в своей неоднородности, поскольку представляет собой композицию (систему) из разных по величине и форме зерен мелкого и крупного заполнителя, связанных в произвольную структуру цементным камнем с массой пор, пустот, микротрещин, капилляров, заполненных водой, воздухом и другими компонентами. Недостатком бетона, как и любого камен-

ного материала, является также низкая прочность на растяжение и изгиб, которые в 10–15 раз ниже прочности на сжатие, подверженность коррозии и др. И тем не менее это наиболее используемый материал на стройке.

#### **4.2. Классификация бетонов**

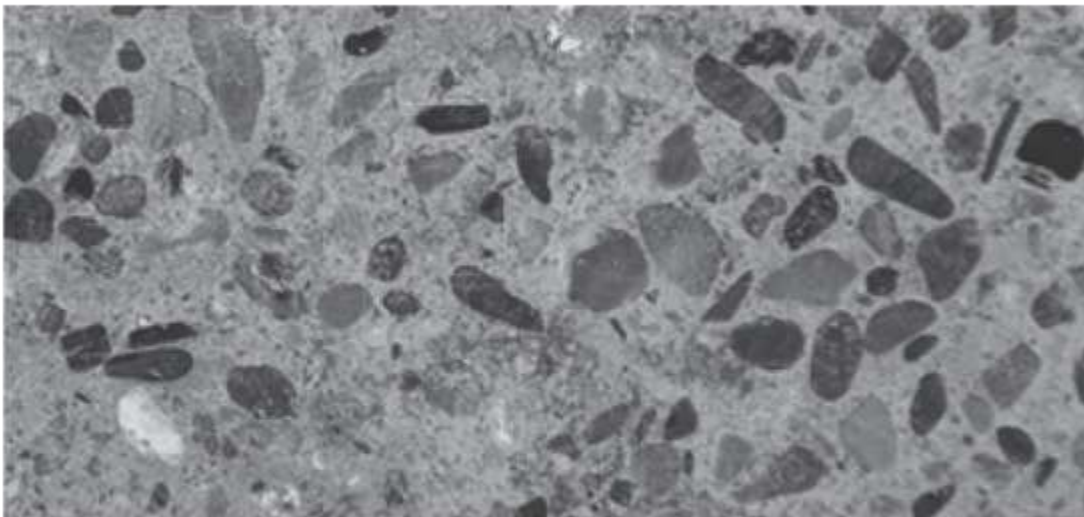
Бетоны классифицируют по структуре, виду вяжущего и заполнителя, условиям твердения, физико-механическим характеристикам, назначению и другим показателям (СТБ 1310, СТБ EN 206-1, ГОСТ 25192). В зависимости от характера структуры различают бетоны плотные, крупнопористые, поризованные и ячеистые (рис. 1).

*Бетоны плотной структуры* представляют собой конгломерат, в котором пространство между зернами мелкого и крупного заполнителя или только мелкого заполнителя полностью заполнено затвердевшим вяжущим, в том числе с искусственно созданной в объеме не более 7% пористостью за счет применения поризующих добавок (рис. 4.2, а).

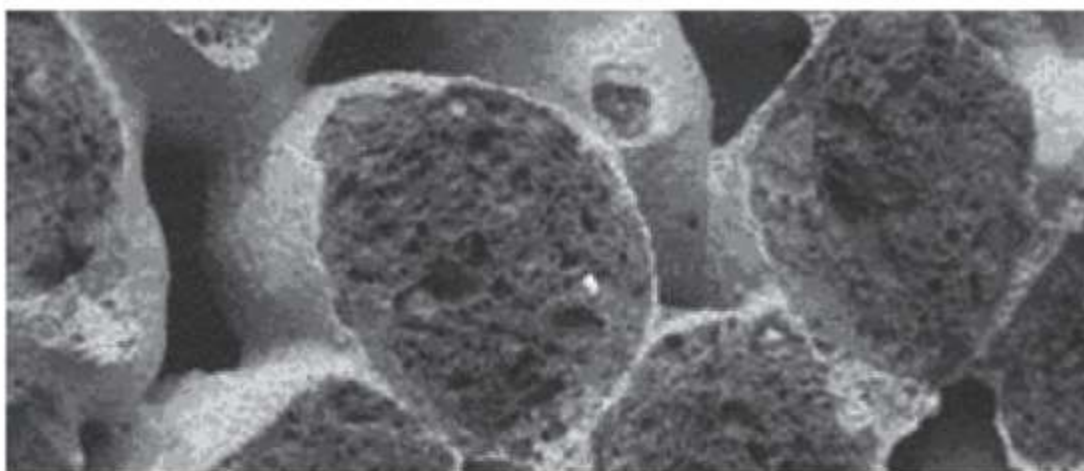
Структура плотного бетона может быть с максимальным насыщением объема крупным заполнителем, т.е. с плотной упаковкой крупного заполнителя, зерна крупного заполнителя могут быть раздвинуты в объеме бетона на значительные расстояния и не взаимодействовать между собой (с «плавающим» крупным заполнителем). В структуре бетона с плотной упаковкой крупного заполнителя цементное тесто заполняет пустоты между зернами заполнителя с незначительной раздвижкой слоя обмазки. Зоны взаимодействия отдельных зерен начинают перекрывать друг друга, возникает трение между ними. Такая структура отличается наибольшей эффективностью, бетонные смеси получают, как правило, нерасслаиваемыми с заданной подвижностью при минимальном расходе цемента.

У *крупнопористых (беспесчаных) бетонов* пространство между зернами крупного заполнителя не полностью заполнено затвердевшим вяжущим, в том числе с искусственно созданной пористостью за счет применения поризующих добавок. Вяжущее до превращения в камень лишь обволакивает зерна крупного заполнителя тонким слоем и склеивает их в местах контакта между собой, не заполняя межзерновое пространство (рис. 4.2, б).

*a*



*б*



*в*

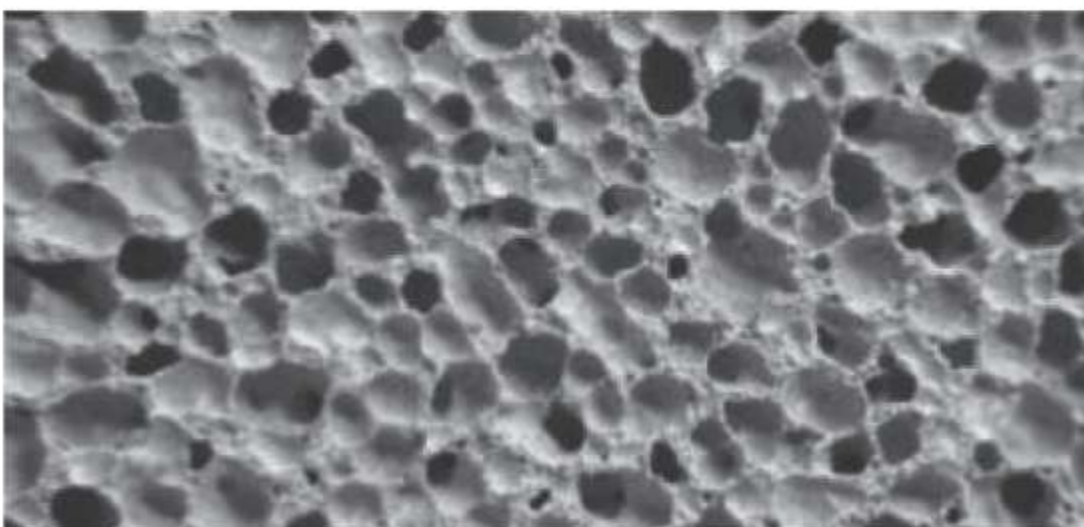


Рис. 4.2. Структура плотного (а), крупнопористого (б) и ячеистого (в) бетонов

У поризованных бетонов пространство между зернами мелкого и крупного или только мелкого заполнителя заполнено затвердевшим вяжущим с искусственно созданной в объеме более 7% пористостью за счет применения поризующих добавок.

*Ячеистые* – это бетоны без крупного заполнителя, состоящие из вяжущего вещества, воды, тонкодисперсного компонента и искусственно созданных пор по всему объему в виде ячеек, полученных с помощью газоили пенообразователей (рис. 1, в).

По виду вяжущего бетоны могут быть:

- *на цементных вяжущих* – на основе клинкерных цементов;
- *известковых вяжущих* (силикатные бетоны) – на основе извести в сочетании с активными гидравлическими (цемент, шлаки, золы) и кремнеземистыми компонентами (песок, минеральные добавки);
- *шлаковых и зольных вяжущих* – на основе молотых шлаков и зол с активизаторами твердения (щелочными растворами, известью, цементом или гипсом);
- *гипсовых вяжущих* – на основе полуводного гипса или ангидрита гипса (включая гипсоцементно-пуццолановое вяжущее и др.);
- *смешанных вяжущих* – на основе двух и более вяжущих веществ (гипсоцементно-пуццолановые, шлакощелочные и др.);
- *специальных вяжущих* – битумных, дегтевых, полимерных и др.

По виду заполнителя бетоны могут быть на:

- *плотных* (из плотных горных пород или шлаков),
- *пористых* (природных и искусственных минеральных),
- *органических* (измельченная древесина, стебли хлопчатника или рисовой соломы, костра конопли и льна),
- *специальных заполнителей* (обеспечивающих специальные свойства).

По зерновому составу заполнителя различают:

- *мелкозернистые* (пескобетоны с крупностью зерен заполнителя до 5 мм);
- *крупнозернистые бетоны* (с крупностью зерен более 5 мм).

По условиям твердения бетоны подразделяются:

- *на твердеющие в естественных условиях* – без подвода тепла от искусственных источников, с положительной температурой окружающей среды и при обязательной гидроизоляции открытой поверхности бетона на гидравлических вяжущих (как правило, для монолитных конструкций);
- *в условиях тепловлажностной обработки при атмосферном давлении* (пропаренные – для изготовления сборных изделий и конструкций) *и при давлении выше атмосферного* (автоклавного твердения – преимущественно силикатные и ячеистые), – характеризующиеся прямым контактом его поверхности с водяным паром, используемым в качестве теплоносителя;
- *с тепловой обработкой без контакта бетона с паровоздушной средой* (в термоформах, кассетных установках, электропрогрев, электрообогрев, электромагнитная обработка и др.). Например, прогрев бетона может осуществляться путем подачи теплоносителя (пара, горячей воды, разогретого масла и др.) в тепловые отсеки (в бортах и поддонах форм, стендах, кассетных установках) или размещения в этих отсеках электронагревателей. *Электропрогрев* – это когда электрический ток пропускается непосредственно через бетон. В этом случае бетон включается в цепь как сопротивление, и внутри него электрическая энергия преобразуется в тепловую. При этом используется только переменный ток;
- *в условиях отрицательных температур окружающей среды*.

По назначению бетоны подразделяют на конструкционные и специальные.

К конструкционным относят бетоны, используемые в несущих и ограждающих конструкциях зданий и сооружений и обеспечивающих главным образом прочность, жесткость, трещиностойкость несущих конструкций (СТБ 1544).

Специальные бетоны предназначены для конструкций, эксплуатируемых в особых условиях или для конструкций специального назначения, к которым относятся конструкционно-

*теплоизоляционные, теплоизоляционные, жаростойкие, химически стойкие, радиационно-защитные, декоративные, дорожные, гидротехнические и др.*

Различают бетоны по средней плотности:

- *тяжелые* (обычные) – на плотных крупных и мелких заполнителях со средней плотностью в сухом состоянии в пределах 2000...2600 кг/м<sup>3</sup>. По СТБ EN 206-1 – нормальный бетон;
- *сверхтяжелые* (особо тяжелые, по СТБ EN 206-1 – тяжелые) – со средней плотностью в сухом состоянии более 2600 кг/м<sup>3</sup>;
- *легкие* – на пористом крупном и пористом или плотном мелком заполнителе со средней плотностью в сухом состоянии 800 (500)...2000 кг/м<sup>3</sup>, в том числе ячеистые бетоны.

По стойкости к видам коррозии различают бетоны, *эксплуатируемые в среде:*

- без риска коррозионного воздействия (ХО);
- вызывающей коррозию под действием карбонизации (ХС);
- хлоридов (ХД);
- попеременного замораживания и оттаивания (ХФ);
- химическую коррозию (ХА).

В строительной практике различают также особо легкие бетоны с плотностью до 500 кг/м<sup>3</sup>. Кроме того, бетоны подразделяются по прочности, морозостойкости, водонепроницаемости, истираемости и другим показателям.

### 4.3. Проектирование состава бетона

Состав бетона выражают либо в виде расхода составляющих материалов по массе на 1 м<sup>3</sup> уплотненного бетона, либо отношением массы составляющих к массе цемента, принимаемой за единицу, с указанием водоцементного отношения (В/Ц). Например, 1 : 2,5 : 4,0 при В/Ц = 0,48.

Исходные данные для определения состава бетона содержатся, как правило, в архитектурно-строительной части проекта или задании и включают следующие требования:

- проектную прочность или класс бетона по прочности;
- заданную условиями работ удобоукладываемость бетонной смеси;
- при необходимости требования по водонепроницаемости, морозостойкости или коррозионной стойкости бетона;
- данные по наибольшей крупности заполнителя, длительности и режиме твердения и др.

Целью проектирования является определение расходов составляющих или их соотношения между собой, при которых будут гарантированы к определенному сроку один или несколько нормируемых показателей (прочность, плотность, водонепроницаемость, морозостойкость, долговечность, защита арматуры от коррозии и др.) с учетом ряда технологических параметров (подвижности, нерасслаиваемости под действием собственной массы и уплотняющих механизмов) и при минимальном расходе цемента, как наиболее дорогостоящего компонента (СТБ 1182, ГОСТ 27006). В строительной-технологической практике наибольшее распространение по-

лучили методы проектирования состава бетона по требуемой прочности на сжатии. Это обусловлено тем, что этот показатель является основным для конструкционных и других бетонов и предполагает однозначное влияние прочности на другие необходимые свойства бетона.

Проектирование состава бетона ведется по разработанным методикам и включает:

- выбор материалов (составляющих) для бетона;
- получение технических характеристик составляющих бетона;
- определение предварительного (расчетного) состава бетона;
- проверку запроектированного состава бетона в пробных замесах;
- корректировку состава бетона;
- расчет материалов на замес бетоносмесителя.

*Тип цемента* следует выбирать с учетом технологии производства работ, реакционной способности заполнителя, вида конструкции и армирования, условий твердения (в частности тепловой обработки), размеров конструкции и назначения сооружения, условий эксплуатации (агрессивности среды) и с учетом требований ГОСТ 30515.

*Марку (класс) цемента* принимают в зависимости от проектного класса бетона бетонных и железобетонных изделий и конструкций и условий их твердения. При этом необходимо руководствоваться рекомендациями или нормативными документами. Вместе с тем необходимо учитывать, что при использовании цемента, активность которого ниже прочности бетона, потребуется увеличение его расхода. А это приведет к удорожанию, образованию трещин в результате усадки и другим негативным последствиям. Если активность цемента окажется слишком высокой, это может привести к занижению его расхода и цемент может оказаться меньше минимально допустимого, требуемого техническими условиями. В этом случае в цемент можно вводить тонкомолотые добавки.

*Выбор мелкого и крупного заполнителя* также зависит от требуемой прочности бетона. Чем выше требуемая прочность бетона, тем выше должны быть требования к качеству заполнителей. При этом необходимо стремиться использовать заполнители местные или из близко расположенных карьеров, но отбираются те из них, которые позволяют получить бетон с заданными свойствами при минимальном расходе цемента.

Разработано множество методов проектирования состава бетона, однако стандартного метода, позволяющего получить требуемый результат только с помощью расчета, в настоящее время не существует. Все они являются, как правило, расчетно-экспериментальными и состоят из расчетной части и обязательной экспериментальной проверки и корректировки назначенного состава.

*Расчетная часть* сводится к определению расхода составляющих по эмпирическим формулам, накопленным таблицам и графикам, выражающим основные зависимости свойств бетона от его состава. При этом различают номинальный (лабораторный) состав, рассчитанный для сухих материалов, и производственный (рабочий, полевой) – для материалов, находящихся в естественно-влажном состоянии. При незначительных объемах или малосерийном нерегулярном производстве конструкций и изделий допускается принимать ориентировочные составы бетонов, которые могут служить основой при назначении рабочего состава с обязательной экспериментальной проверкой и корректировкой.

Рассчитанный состав бетона проверяют путем приготовления пробного замеса бетонной смеси в объеме 7...10 л. Определяют удобоукладываемость бетонной смеси и при удовлетворительном значении изготавливают контрольные образцы для определения прочности. Если удобоукладываемость приготовленной бетонной смеси оказывается меньше требуемой, то добавляют 5...10% воды от массы, использованной на пробный замес. Чтобы не изменилось В/Ц, одновременно добавляют такой же процент цемента. Если удобоукладываемость бетонной смеси оказывается выше заданной, то добавляют одновременно 5...10% мелкого и крупного заполнителя от их расхода на пробный замес, не меняя соотношения между ними. Из бетонной смеси изготавливают бетонные образцы по ГОСТ 10180 и после двухчасовой выдержки подвергают тепловлажностной обработке по режиму 3 + 6 + 2 ч (подъем, изотермический прогрев при 80 °С, остывание), выдержка 4 ч и испытание. Прочность бетона после тепловой обработки должна составлять не менее 70% от заданной. Если полученная при испытании прочность бетона отличается от заданной более чем на 15%, то изменяют В/Ц в большую или меньшую сторону. Можно использовать и другие технологические приемы, вводить добавки и т.д.

Для уточнения состава бетона рекомендуется также готовить по два пробных замеса с изменением водоцементного отношения на 15...30% в большую и меньшую сторону, и производить расчет четырех составов аналогично приведенному выше. Затем из указанных составов готовят контрольные образцы для определения прочности и испытывают их в возрасте 28 сут нормальновлажностного твердения. По результатам испытаний устанавливают зависимость прочности бетона от водоцементного отношения, по которой назначают окончательное В/Ц, обеспечивающее получение бетона требуемой прочности.

Окончательно определенный лабораторный состав бетона, полученный для сухих материалов, пересчитывают на рабочий состав, в котором учтена влажность заполнителей. Для этого рассчитывают количество воды, содержащейся во влажных заполнителях. С целью повышения надежности и безопасности бетонных и железобетонных конструкций и в соответствии с требованиями нормативных документов проводят также статистический контроль прочности бетона с учетом фактической однородности и установлением коэффициента вариации.

Определяют также коэффициент выхода бетонной смеси. Он равняется отношению объема готовой бетонной смеси в уплотненном состоянии к сумме объемов загружаемых в бетоносмеситель твердых компонентов. Для бетонных смесей коэффициент выхода составляет 0,6...0,7, для растворных – 0,75...0,80.

#### **4. Приготовление и транспортирование бетонной смеси**

**Бетонной смесью** называют рационально составленную и однородно перемешанную смесь компонентов бетона до начала процессов схватывания и твердения. Кроме того, бетонная смесь независимо от ее вида должна обладать хорошей удобоукладываемостью, соответствующей применяемому способу укладки, и сохранять при транспортировании и укладке однородность, достигнутую при приготовлении (СТБ 1035).

Приготовление бетонной смеси состоит из *подготовки* составляющих материалов, их *дозирования* и *перемешивания*. По степени готовности бетонные смеси подразделяются на готовые к употреблению (БСГ), частично затворенные (БСЧЗ) и сухие (БСС).

Подготовка составляющих бетонную смесь материалов производится в основном на соответствующих предприятиях. В случае необходимости такие операции могут быть проведены и на месте приготовления бетонной смеси. Они включают в себя *дробление* заполнителей, *удаление* загрязняющих *примесей*, *оттаивание* и *подогрев* заполнителей в зимнее время, *активацию* цемента, приготовление растворов *химических добавок* и др.

Дозирование материалов осуществляется дозаторами периодического и непрерывного действия с полуавтоматическим или автоматическим управлением. При этом точность дозирования определяет точность расчета состава бетона.

Выбор способа приготовления бетонной смеси определяется видом и характеристикой составляющих ее компонентов. Для этих целей используются бетоносмесители периодического (циклического) и непрерывного действия. Бетоносмесители периодического действия бывают двух типов: гравитационные (смешивание осуществляется при свободном падении материалов во время вращения барабана смесителя) и принудительного перемешивания.

Перемешивание в бетоносмесителях свободного падения достигается при вращении барабана определенной формы с корытообразными лопастями на внутренней поверхности. Лопасты захватывают составляющие бетонной смеси, поднимают их на некоторую высоту и при переходе в верхнее положение сбрасывают. В результате многократного подъема и падения составляющих обеспечивается их перемешивание. В таких смесителях готовят пластичные бетонные смеси с крупным заполнителем из плотных пород. Некоторые гравитационные смесители устанавливаются на автомашинах – это передвижные смесители, автобетоносмесители, автомиксеры (рис. 4.3).

Бетоносмесители принудительного перемешивания представляют собой стальные чаши, в которых смешивание компонентов производится вращающимися лопастями, насаженными на вертикальные или горизонтальные валы. На крупных централизованных растворобетонных предприятиях используются турбулентные смесители. В них сырьевые компоненты перемешиваются в различных направлениях и с большой скоростью, что позволяет получать однородные смеси за сравнительно короткий промежуток времени.

Продолжительность перемешивания бетонной смеси зависит от ее состава, характеристик, типа применяемого смесителя и других показателей. При недостаточной продолжительности перемешивания ухудшается однородность бетонной смеси и снижается прочность бетона. Оптимальное время перемешивания тяжелых бетонных смесей составляет 1...2,5 мин, легкобетонных смесей – 2...6 мин.

а



б

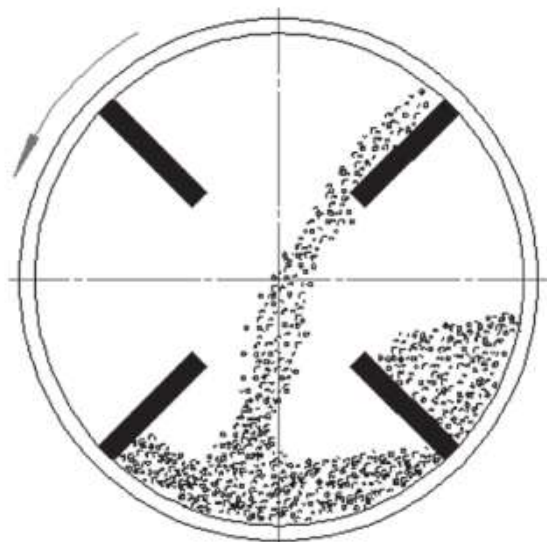


Рис. 4.3. Передвижной смеситель (автомиксер) (а) и схема перемешивания в нем бетонной смеси (б)

Бетонные смеси готовят, как правило, на центральных автоматизированных заводах, в бетоносмесительных цехах на предприятиях сборного железобетона либо в условиях строительной площадки (приобъектно). Бетонные смеси, приготовленные в стационарных условиях и предназначенные для монолитного строительства, в нашей стране и странах СНГ называют товарным бетоном, за рубежом – готовой бетонной смесью. При этом высококачественный бетон может быть получен только при строгом контроле качества составляющих материалов и процессов приготовления смеси как в условиях стационарного, так и приобъектного производства.

Современный завод товарного бетона – это высокоавтоматизированное производство с минимальным количеством обслуживающего персонала, наличием диспетчерской службы и радиосвязи с автобетоновозами и строительными площадками. Применяются также и спутниковые системы управления, которые позволяют получать разнообразную информацию, в том числе топографическую о местонахождении автомиксера с цветовыми выделениями его состояния: движение в загруженном состоянии, разгрузка, возвращение на завод. Автомиксер, как правило, оборудован датчиками фиксирующими время доставки, время простоя под разгрузкой, превышение которого оплачивается дополнительно заказчиком, время начала и конца разгрузки, другую информацию, в частности температуру смеси и т.п. Среднее расстояние транспортирования бетонной смеси составляет в основном от 10...15 до 50 км.

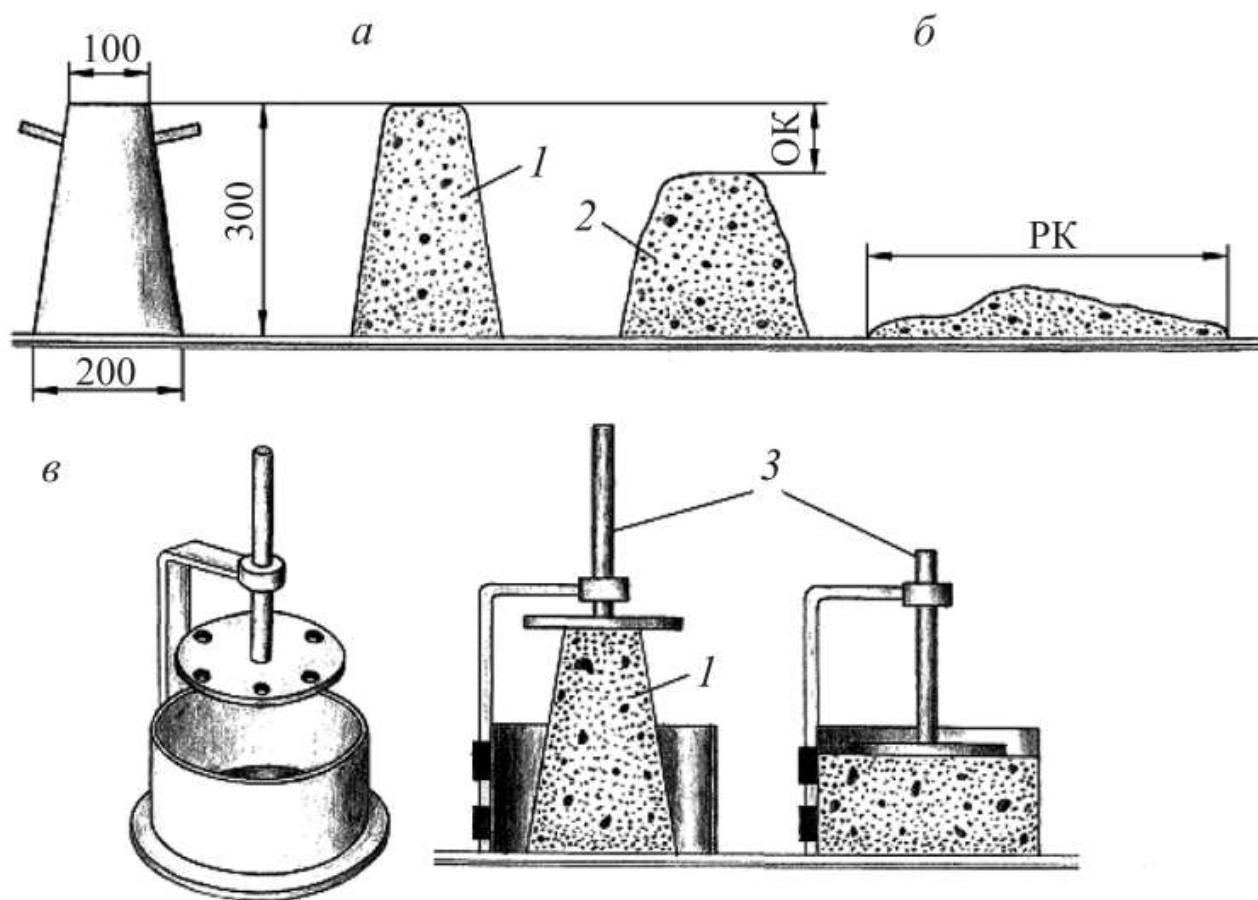
## 5. Технологические свойства бетонной смеси

Наиболее важным свойством бетонной смеси является ее **удобоукладываемость**, или **формуемость**, т.е. способность смеси растекаться и заполнять заданную форму под действием собственной массы, сохраняя при этом монолитность (связность) и однородность. Для оценки удобоукладываемости бетонной смеси используют такие показатели, как подвижность, жесткость и связность (СТБ 1545, СТБ EN 206-1, СТБ EN 12350, ГОСТ 7473) (рис. 4.4).

**Подвижность** бетонной смеси (СТБ EN 12350-2) характеризуется ее способностью растекаться под действием собственной массы и оценивается показателем осадки конуса (ОК, см) и показателем диаметра растекания (расплыва) конуса (РК, см) с помощью стандартного прибора-конуса (конуса Абрамса). Если осадка конуса

равна нулю, то удобоукладываемость бетонной смеси характеризуется жесткостью (СТБ EN 12350-5).

*Жесткость* (Ж, с) оценивается временем вибрации, необходимым для выравнивания и уплотнения предварительно отформованного конуса бетонной смеси в приборе для определения жесткости.



**Рис. 4.4. Определение удобоукладываемости бетонной смеси:** а – по осадке конуса: 1 – жесткая смесь; 2 – подвижная смесь; ОК – осадка конуса; б – по распылу конуса (РК); в – по жесткости: 3 – схема испытания жесткости

По СТБ 1035 и СТБ 1544 бетонные смеси в зависимости от удобоукладываемости характеризуются марками, по СТБ EN 206-1 – классами (табл. 1 и 2).

**Таблица 1. Классификация бетонных смесей по удобоукладываемости (СТБ 1035, СТБ 1544)**

По жесткости		По осадке конуса		По распылу конуса	
марка	показатель, с	марка	показатель, см	марка	показатель, см
СЖ3	Более 100	П1	1...4	РК1	Менее 35
СЖ2	51...100	П2	5...9	РК2	35...41
СЖ1	41...50	П3	10...15	РК3	42...48
Ж4	31...40	П4	16...20	РК4	49...55
Ж3	21...30	П5	21...25	РК5	56...62
Ж2	11...20			РК6	Более 62
Ж1	5...10				

Таблица 2. Классификация бетонных смесей по удобоукладываемости (СТБ EN 206-1)

По жесткости		По пластичности		По растекаемости		По степени уплотнения	
класс	показатель, с	класс	показатель, мм	класс	показатель, мм	класс	показатель, см
V0	31	S1	10...40	F1	340	C0	1,46
V1	30...21	S2	50...90	F2	350...410	C1	1,45...1,26
V2	20...11	S3	100...150	F3	420...480	C2	1,25...1,11
V3	10...6	S4	160...210	F4	490...550	C3	1,10...1,04
V4	5...3	S5	220	F5	560...620		
				F6	630		

Если по результатам испытаний смеси осадка конуса составила марку П4 и выше, то подвижность более целесообразно оценивать показателем распыла конуса. В условиях строительной площадки определение подвижности и жесткости бетонной смеси должно осуществляться на момент ее применения, а для товарного бетона – на момент поставки. При транспортировании бетонной смеси в автобетоносмесителях или других транспортных средствах с мешалкой контроль бетонной смеси должен осуществляться в начале разгрузки.

Разновидностью высокоподвижных смесей являются самовыравнивающиеся (самоуплотняющиеся) бетонные смеси. Они способны укладываться в опалубку под действием силы тяжести без расслаивания и равномерно распределяться во всем ее объеме при сохранении однородности даже при наличии густорасположенной арматуры. Осадка конуса у таких смесей должна быть не ниже 27 см, а распыл – не менее 65 см.

*Связность* (расслаиваемость) – это способность бетонной смеси сохранять однородную структуру, т.е. не расслаиваться в процессе транспортирования, укладки, уплотнения, характеризуется водо- и раствооотделением (%). При водоотделении твердые частицы бетонной смеси сближаются между собой и оседают вниз, а избыток воды, как наиболее легкий компонент, вытесняется вверх, образуя сеть вертикальных капиллярных ходов (пор) и полостей под зернами крупного заполнителя. Водоотделение бетонной смеси определяется после ее отстаивания в цилиндрическом сосуде в течение определенного промежутка времени и характеризуется объемом отделившейся воды (%) от объема бетонной смеси.

При раствооотделении крупный заполнитель (если плотный и тяжелый – например, гранитный щебень) оседает вниз, а растворная составляющая вытесняется вверх. У бетонов на пористых заполнителях (керамзит, аглопорит) происходит обратный процесс. При транспортировании и уплотнении бетонной смеси пористые заполнители всплывают на поверхность. Раствооотделение определяется после вибрирования бетонной смеси в мерной форме в течение определенного времени и характеризуется отношением растворных составляющих соответственно в верхней и нижней половинах образца (%).

Водо- и раствооотделение нарушает однородность структуры бетона, повышает водопроницаемость, снижает морозостойкость и истираемость. Чтобы повысить связность и предотвратить расслоение бетонной смеси, необходимо правильно назначать соотношение мелкого и крупного заполнителей в составе бетона и сокра-

щать расход воды затворения, используя пластифицирующие добавки, а также специальные стабилизирующие добавки.

*Сохраняемость* удобоукладываемости бетонной смеси определяется временем, в течение которого смесь в процессе своего выдерживания после окончания перемешивания теряет удобоукладываемость в пределах диапазонов марок или классов, указанных в табл. 1 и 2. Потеря удобоукладываемости бетонной

смеси зависит в основном от свойств цемента и заполнителей, наличия добавок, температуры окружающей среды и других факторов. По сохраняемости удобоукладываемости бетонные смеси делят на группы (S-1...S-4).

#### **4.6. Влияние различных факторов на удобоукладываемость бетонных смесей**

К факторам, влияющим на удобоукладываемость бетонной смеси, относятся вязкость цементного теста, вид и соотношение мелкого и крупного заполнителей, отношение объема цементного теста к объему заполнителя, условия приготовления, температура и время выдержки бетонной смеси от момента затворения и др. Вязкость цементного теста определяется водоцементным отношением, видом цемента, тонкостью помола, химико-минералогическим и вещественным составом цемента, наличием добавок. Вид заполнителя определяется максимальным размером зерен, зерновым составом, содержанием мелких частиц и пористостью.

**Вид цемента.** Бетонные смеси одного и того же состава, но на разных видах цемента обладают, как правило, разной подвижностью или требуют разного расхода воды затворения, т.е. характеризуются разной водопотребностью. Зависит это прежде всего от водопотребности цемента, которая характеризуется нормальной густотой цементного теста. Чем она выше (больше), тем меньше подвижность или больше жесткость бетонной смеси при прочих равных условиях. Увеличение нормальной густоты цемента на 1% повышает водопотребность бетонной смеси на 1,5...3%. По этой причине бетонные смеси на портландцементях с минеральными добавками (на пуццолановом, шлакопортландцементе) и с активной кремнеземистой добавкой могут иметь подвижность меньшую, чем смеси на портландцементях без добавок или меньшего их содержания. В целом ряде случаев даже при одинаковой нормальной густоте цементов водопотребность бетонных смесей на различных вяжущих может отличаться на 5...10%, что объясняется дополнительным влиянием их минералогического состава и тонкости помола.

**Расход цемента.** Увеличение расхода только цемента, при неизменном расходе воды, приводит к увеличению вязкости цементного теста, а следовательно, и к снижению подвижности бетонной смеси, но одновременно увеличивается объем цементного теста и имеет место дополнительная «раздвижка» зерен заполнителя, что способствует росту подвижности. В результате подвижность бетонной смеси изменяется незначительно. Существенный ее рост обеспечивается одновременным увеличением расхода цемента и воды при сохранении постоянной величины водоцементного отношения бетона, как одного из базовых факторов, определяющих его прочностные и эксплуатационные характеристики.

**Содержание воды.** Всю воду, необходимую для затворения бетонной смеси, условно можно разделить на две части: одна часть расходуется на смачивание частиц цемента и образование пластичного цементного теста, другая – на смачивание поверхности зерен заполнителя и впитывание ее порами заполнителей. С увеличением содержания воды при неизменном расходе цемента уменьшается структурная

вязкость цементного теста и бетонной смеси, и следовательно, меньше следует прилагать усилий для перемещения заполнителей с целью их плотной упаковки. В результате подвижность бетонной смеси возрастает, но при этом увеличивается водоцементное отношение, растет пористость и уменьшается прочность бетона. Поэтому неконтролируемо увеличивать содержание воды в бетонной смеси не рекомендуется. Кроме того, бетонная смесь разных составов обладает и определенной водоудерживающей способностью. При повышенном содержании воды часть ее отделяется от бетонной смеси, скапливаясь на поверхности конструкций, что недопустимо, так как ухудшаются все физико-технические свойства бетона.

**Водоцементное отношение.** При водоцементном отношении (В/Ц) бетонной смеси, соответствующем количеству химически связываемой воды (15...20%), бетонная смесь оказывается неудобоукладываемой, что неизбежно приведет к образованию технологической пористости (пустотности) из-за недоуплотнения бетона при формировании и снижению прочности. По мере увеличения В/Ц (вплоть до оптимального значения) удобоукладываемость бетонной смеси повышается, возрастает плотность и прочность бетона. Дальнейшее повышение В/Ц сверх оптимального приведет к росту пористости, расслоению бетонной смеси (водо- и раствооотделению) и снижению прочности. Как уже отмечалось, с одновременным увеличением содержания цемента и воды при неизменном В/Ц растет объемное содержание цементного теста в бетонной смеси. В этом случае оно не только заполняет пустоты и обволакивает зерна заполнителей, но и раздвигает их, создавая между ними прослойки, способствующие повышению удобоукладываемости смеси.

**Содержание цементного теста.** Цементное тесто выполняет двойную роль в обеспечении удобоукладываемости бетонной смеси:

- отделяет частицы заполнителя друг от друга и предотвращает их взаимный контакт. В результате уменьшается трение между зернами заполнителя, что приводит к повышению подвижности бетонной смеси;
- являясь материалом с вязкими свойствами, наделяет бетонную смесь способностью к пластическим деформациям.

Если для приготовления бетона плотной структуры цементного теста взять в количестве необходимом только для заполнения пустот между зернами заполнителя, то такая бетонная смесь получится достаточно жесткой и неудобоукладываемой. Для того чтобы получить подвижную бетонную смесь, необходимо не только заполнить пустоты между зернами заполнителя, но и раздвинуть их прослойками цементного теста. В зависимости от вида, свойств заполнителей и соотношения между мелким и крупным заполнителем минимальное содержание цементного теста в 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси, обеспечивающее ее нерасслаиваемость и качественное уплотнение, должно составить: в жестких бетонных смесях 180...200 л, в подвижных и литых – 220...270 л, что соответствует (в соответствии с действующими нормативами) наименьшему расходу цемента 200...220 кг/м<sup>3</sup>. С увеличением содержания цементного теста сверх оптимального при постоянном В/Ц или с уменьшением количества заполнителей подвижность бетонной смеси возрастает, а прочность бетона при этом остается практически неизменной.

**Содержание растворной части.** Увеличение содержания растворной части в бетонной смеси сверх объема пустот крупного заполнителя приводит к образованию вокруг зерен крупного заполнителя пластичных оболочек, облегчающих их взаимное перемещение при укладке и уплотнении смеси. Если же содержание растворной части ограничивается объемом пустот крупного заполнителя, то многочисленные

контакты между его зернами создают большое сопротивление при деформировании бетонной смеси, а следовательно, делают смесь более жесткой и менее удобоукладываемой. Поэтому объем растворной части в бетонной смеси назначается, как правило, несколько большим, чем объем пустот крупного заполнителя, что и учитывается при подборе составов коэффициентом раздвижки зерен –  $\alpha$ . Увеличение объема растворной части сверх оптимального приведет к большому расходу цемента и удорожанию бетона.

**Содержание заполнителей.** Подвижность бетонной смеси зависит от содержания мелкого и крупного заполнителя или их соотношения между собой. Требуемая подвижность достигается при некотором оптимальном их соотношении, устанавливаемом опытным путем. В общем случае с ростом содержания в смеси заполнителей доли крупного (щебня, гравия) и снижении доли мелкого (песка) ее удобоукладываемость (или формуемость) ухудшается, т.е. снижается подвижность (осадка и распыл конуса) или возрастает жесткость.

Вместе с тем при содержании песка (особенно мелкозернистого) в смеси заполнителей сверх оптимального значения подвижность бетонной смеси (при прочих равных условиях) уменьшается вследствие возрастания суммарной поверхности зерен заполнителя, поскольку значительная часть воды расходуется на смачивание этой поверхности.

**Крупность заполнителей.** С увеличением крупности заполнителей суммарная поверхность их уменьшается. Воды на смачивание поверхности такого заполнителя уходит меньше, а следовательно, больше воды остается в цементном тесте, что делает его более пластичным, а бетонную смесь – более подвижной. Кроме того, с увеличением крупности заполнителей и уменьшением их суммарной поверхности прослойки цементного теста (при неизменном расходе цемента) на зернах оказываются толще, что в свою очередь тоже увеличивает подвижность бетонной смеси. Мелкозернистые пески, пыль, глинистые, илистые и другие мелкие загрязняющие примеси увеличивают суммарную поверхность заполнителя и, как правило, снижают подвижность бетонной смеси.

**Форма и характер поверхности зерен заполнителя.** При округлой и гладкой поверхности зерен заполнителя суммарная поверхность их и трение между ними меньше, чем при острогранной форме и шероховатой поверхности. Следовательно, при прочих равных условиях бетонные смеси на природном гравии и окатанном песке подвижнее, чем смеси на щебне и горном или дробленом песке. Замена гравия щебнем той же фракции несколько увеличивает водопотребность бетонной смеси, соответственно снижая ее подвижность. Пористые заполнители, характеризующиеся большим водопоглощением, требуют увеличения расхода воды затворения. В противном случае это приведет к снижению подвижности бетонной смеси.

**Другие факторы.** Подвижность бетонной смеси закономерно снижается с течением времени ее хранения (транспортирования) и с повышением температуры окружающей среды и собственно смеси. Причинами являются развитие реакций взаимодействия цемента и воды, а также частичное испарение последней. Особенно нежелательно это явление для жестких бетонных смесей. Поэтому их необходимо укладывать в форму (опалубку) как можно быстрее.

Эффективными регуляторами подвижности бетонной смеси и сохранения ее во времени являются пластифицирующие добавки и добавки-замедлители схватывания. Следует учитывать, что в жестких бетонных смесях эффективность действия

пластификаторов несколько меньше, чем в подвижных, так как со снижением количества воды затворения проявление эффекта пластификации понижается.

**Выбор степени подвижности бетонной смеси.** Наиболее экономичными являются, как правило, бетонные смеси минимально необходимой удобоукладываемости, так как на эти составы бетона заданной прочности требуются наименьшие расходы цемента. Исходя из этого условия, подвижность бетонной смеси следует выбирать более низкую из допустимых, но в то же время она должна обеспечить качественную укладку бетона в опалубку.

При выборе степени подвижности (удобоукладываемости, формуемости) бетонной смеси учитывают размеры, вид и сложность конфигурации форм (опалубок) бетонируемой конструкции, степень (коэффициент или густоту) армирования, способы укладки и уплотнения бетонной смеси и другие факторы. В зависимости от перечисленных и других показателей подвижность бетонной смеси рассчитывают или назначают по разработанным и приведенным в методиках подбора состава бетона таблицам. Для всех известных и применяемых методов подбора состава бетона обязательна практическая проверка удобоукладываемости (формуемости) смеси расчетного состава.

#### **4.7. Твердение бетона и уход за ним**

Уложенная в опалубку бетонная смесь в результате взаимодействия цемента с водой постепенно твердеет, переходит в камневидное состояние и бетон набирает прочность. Твердение происходит при определенных температурно-влажностных условиях. Для протекания нормального процесса твердения бетона необходима теплая и влажная среда – температура  $+20 (\pm 3) ^\circ\text{C}$  и относительная влажность не менее 90%. Такие условия твердения называют нормально-влажностными. С повышением температуры до  $70...90 ^\circ\text{C}$  и максимальной влажности (в пропарочных камерах) или при температуре  $175 ^\circ\text{C}$  и в среде насыщенного водяного пара высокого давления (автоклавах) интенсивность набора прочности еще больше возрастает (рис. 4.6, 4.7).

Важным условием нормального твердения бетона является влажность среды. Во влажных условиях твердения (а еще лучше в воде) цементный бетон набирает большую прочность, чем при твердении на воздухе. При испарении влаги из бетона его твердение замедляется и может вовсе прекратиться. При температуре  $15 ^\circ\text{C}$  и ниже процесс твердения замедляется, а при температуре близкой к нулю – практически прекращается.

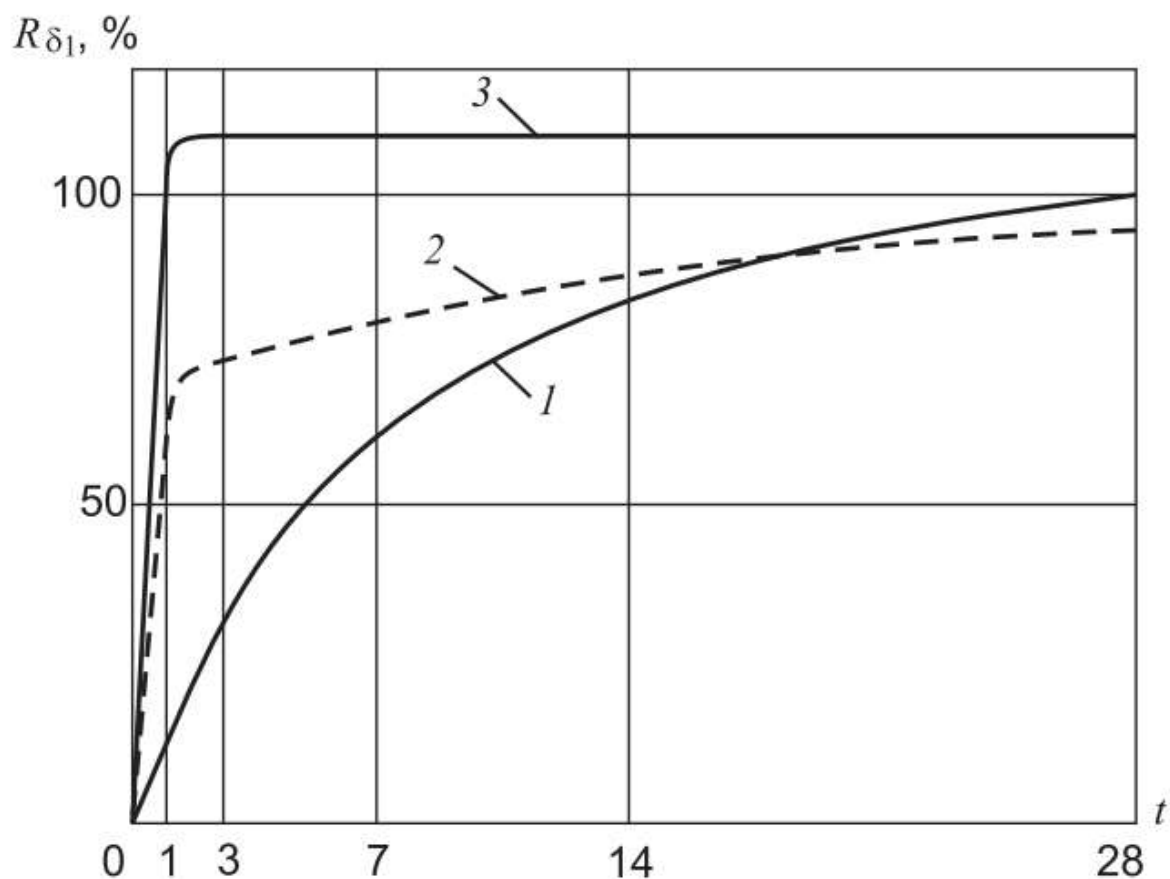


Рис. 4. Интенсивность набора прочности различных видов бетона в течение 28 сут: 1 – нормально-влажностного твердения; 2 – предварительно пропаренного; 3 – после автоклавного твердения

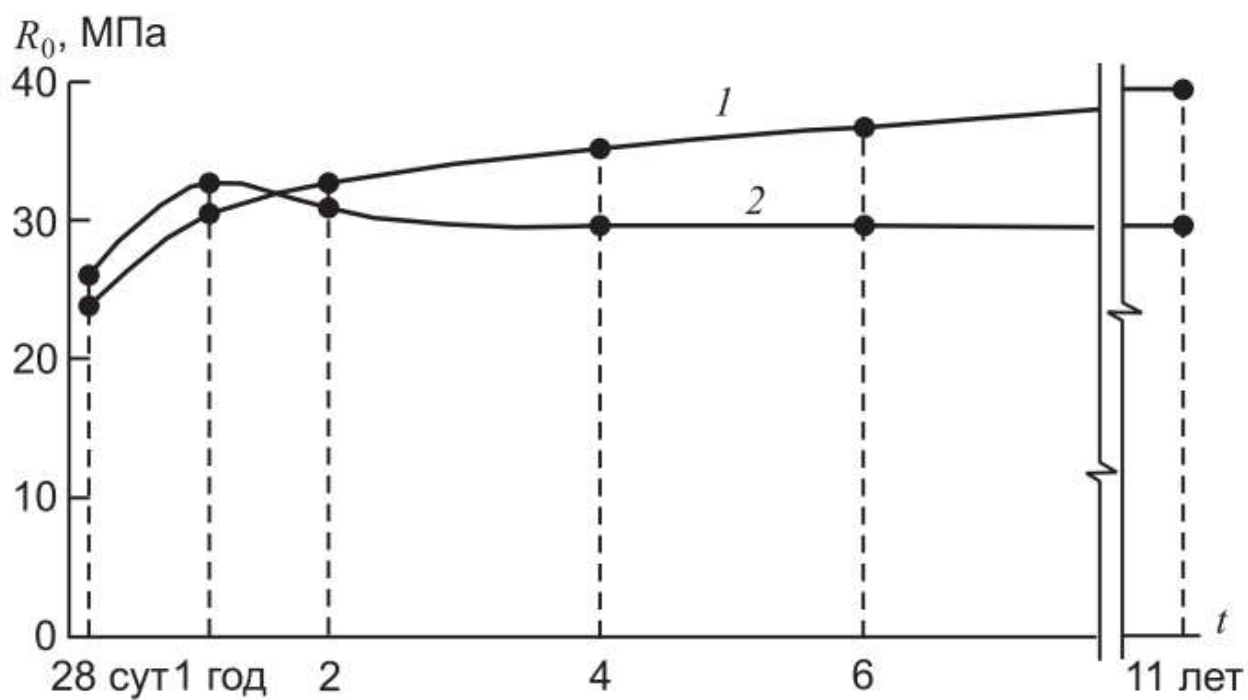


Рис. 5. Нарастание прочности бетона во времени: 1 – во влажных условиях твердения; 2 – в сухих условиях твердения

Бетон, твердеющий в нормально-влажностных условиях, набирает прочность достаточно длительное время. Наиболее интенсивно рост прочности наблюдается в ранние сроки твердения. Бетон из пластичных смесей на портландцементе через 3 сут нормального твердения набирает до 30...50% от 28-суточной прочности, а через 7...14 сут – 60...90%. В зависимости от скорости набора прочности в ранние сроки твердения различают быструю, среднюю, медленную и очень медленную динамику прочности. Оценочным показателем динамики набора прочности является отношение средней прочности на сжатие в возрасте 2 сут к средней прочности на сжатие в возрасте 28 сут. По динамике набора прочности определяют период выдержки бетона (отрезок времени, за который бетонная смесь, уложенная в опалубку, переходит в твердофазное состояние, т.е. бетон приобретает вполне конкретные и стабильные физико-механические свойства) и продолжительность последующей обработки.

В последующем интенсивность набора прочности снижается, но при достаточной влажности окружающей среды нарастание прочности продолжается годами и даже десятилетиями. Через 2 мес. твердения в нормально-влажностных условиях прочность бетона повышается (по сравнению с 28-суточной) примерно на 25%, 3 мес. – 35...38%, 6 мес. – 50...55%, через 1 год – 75%, 2 года – до 200%, 3 года  $\approx$  200...250%. Рост прочности бетона во времени обусловлен снижением его пористости за счет повышения степени гидратации цемента и развития ряда процессов, приводящих к росту плотности и прочности цементного камня и сил сцепления его с зернами заполнителя в бетоне.

В среднем нарастание прочности бетона во времени можно определить (прогнозировать) по логарифмической зависимости

$$R_n = R_{28} \cdot \lg n / \lg 28,$$

где  $R_n$  и  $R_{28}$  – предел прочности бетона при сжатии в возрасте соответственно  $n$  и 28 сут;  $n$  – срок твердения бетона (сут) (при  $n > 3$ ).

Уход за бетоном во время твердения и эксплуатации конструкций заключается в создании нормальных температурно-влажностных условий, способствующих процессам гидратации цемента, включая контроль за температурой и влажностью, особенно на ранних стадиях твердения, когда бетон интенсивно набирает прочность. Способ и режимы ухода за бетоном определяются видом конструкции, требованиями, предъявляемыми к бетону, типом цемента, климатическими условиями и др. Открытые поверхности конструкций из свежесуложенного бетона защищают от испарения влаги – покрывают пленками, песком, опилками, мешковиной, периодически увлажняя их.

Продолжительность ухода зависит от типа цемента и климатических условий. За бетонами на медленно твердеющих цементах продолжительность ухода должна составлять не менее 14 сут, на обычных портландцементов – до 7 сут, быстротвердеющих – 2...3 сут. В сухую погоду открытые поверхности поддерживают во влажном состоянии до достижения бетоном 50...70% проектной прочности.

Уход за бетоном в зимнее время заключается в создании положительной температуры твердения, исключающей замерзание бетона в раннем возрасте до достижения им к моменту замерзания 50% и более проектной прочности. Для ускорения процессов твердения применяют цементы с повышенным выделением тепла и быстротвердеющие, химические добавки (ускорители твердения, противоморозные), тепловую обработку (электропрогрев, контактный обогрев, метод термоса) и др.

#### 4.8. Свойства затвердевшего бетона

При проектировании бетонных и железобетонных конструкций основными расчетными характеристиками являются прочность на сжатие и растяжение, морозостойкость, водонепроницаемость и др. При этом немаловажными качественными показателями, определяющими как прочность, так и долговечность конструкций из бетона, являются усадка, набухание, плотность и пористость.

**Усадка и набухание.** Процесс твердения большинства вяжущих, а следовательно, и композиционных материалов на их основе (бетонов), сопровождается изменениями объема. Эти изменения, в том числе линейные деформации, сопровождаются возникновением значительных напряжений в бетоне, которые становятся (особенно, в начальные сроки твердения) больше предела прочности при растяжении и вызывают образование микро- и макротрещин.

Изменение объема вызывается физико-химическими процессами, развивающимися в бетоне при твердении и изменении влажности, и зависит от состава бетона, свойств составляющих и условий твердения. Наиболее существенным является уменьшение объема при твердении в атмосферных условиях или при недостаточной влажности окружающей среды, получившего название – *усадка бетона*, состоящая из влажностных, контракционных и карбонизационных деформаций, названных так по виду определяющих это явление факторов. Наибольшие напряжения возникают при влажностной усадке, которая составляет 0,2...0,4 мм/м к годовичному возрасту.

Усадка поверхностных слоев бетона всегда выше, чем внутри конструкции. Массивный бетон вначале высыхает снаружи, а внутри он еще значительное время остается влажным. Неравномерность высыхания слоев вызывает растягивающие напряжения в наружных слоях конструкции. Если бетон еще не набрал достаточной прочности, будут появляться так называемые усадочные трещины. Они, как правило, появляются при твердении, если скорость испарения влаги с поверхности бетона превышает скорость выделения воды из массы бетона, что приводит из-за уменьшения объема поверхностного слоя к растрескиванию и образованию макротрещин. Усадка цементного камня может вызвать появление трещин и внутри бетона (конструкции) – на контакте с заполнителем, в самом цементном камне. Усадка увеличивается при повышении содержания цемента и воды, применении высокоалюминатных цементов, мелкозернистых и пористых бетонов, использовании мелкозернистых песков, повышенном содержании пылевидных фракций в заполнителях.

Поскольку наибольшую усадку в бетоне имеет цементный камень, то для снижения усадочных напряжений и сохранения монолитности конструкций необходимо стремиться к уменьшению до рационального содержания цементного камня и увеличению доли заполнителя. Увеличение содержания заполнителя не только уменьшает количество цементного камня в единице объема, но и образует своеобразный каркас из зерен заполнителя, препятствующий усадке. Поэтому усадка бетона всегда меньше усадки цементного камня.

При твердении бетона в воде или во влажных условиях уменьшение объема, как правило, не наблюдается, а в ряде случаев происходит его незначительное расширение, называемое *набуханием*. Набухание тоже сопровождается возникновением напряжений в его объеме, но меньшей интенсивности. Поскольку вследствие усадки и набухания бетона в конструкциях возникают напряжения, то с целью предотвращения неконтролируемого образования трещин в изделиях большой протяженности устраивают так называемые деформационные (усадочные) швы.

**Плотность и пористость.** *Истинная плотность* бетона составляет 2,6...2,7 г/см<sup>3</sup>, за исключением особо тяжелых бетонов. *Средняя плотность* бетонов зависит от вида заполнителя, структуры бетона и может находиться в пределах 250...5000 кг/м<sup>3</sup> и более. *Высокой плотности* бетона можно достичь рациональным подбором зернового состава заполнителей (с минимальной пустотностью), применением бетонных смесей с низким В/Ц отношением, интенсивным уплотнением, введением добавок и т.д.

Однако даже выполнение всех этих мероприятий не приведет к получению абсолютно плотного бетона.

Образование *пористости* наблюдается в результате наличия и испарения воды, не вступившей в химическую реакцию с цементом при его твердении. При этом воды химически связывается менее 20% от массы цемента. Фактическое же содержание воды в бетоне для обеспечения его удобоукладываемости составляет порядка 40...70% от массы цемента и более. Излишек воды над требуемым на гидратацию цемента приводит к образованию пор. Они образуются в бетоне также вследствие воздухововлечения при приготовлении (перемешивании) смеси и неполного удаления пузырьков воздуха при уплотнении. Некачественное уплотнение также может вызвать образование дополнительной пористости.

**Прочность бетона.** Различают *прочность* бетона на сжатие и растяжение, но чаще всего подразумевают его прочность на сжатие, так как она является определяющей характеристикой качества. Определяют прочность бетона (СТБ EN 13791, ГОСТ 18105) по результатам испытаний стандартных образцов, твердеющих в нормальных условиях в течение 28 сут (для отдельных видов бетона – в течение 180 сут). По прочности на сжатие, растяжение и другим показателям бетоны подразделяются на классы. В нашей стране наряду с классами используется и прежняя характеристика прочности бетона на сжатие – марка.

На прочность бетона оказывают влияние различные факторы.

*Водоцементное отношение и водосодержание.* Зависимость прочности бетона от водоцементного отношения вытекает из физической сущности формирования структуры бетона. Для получения удобоукладываемой бетонной смеси В/Ц обычно составляет 0,40...0,70, в то время как для химического взаимодействия цемента с водой требуется воды не более 20% от массы цемента. Поэтому с увеличением В/Ц увеличивается содержание воды в бетоне. Избыточная вода, не вступившая в химическое взаимодействие с цементом, испаряется из бетона, образуя в нем капиллярные поры. А это ведет к снижению плотности и соответственно прочности бетона.

Однако зависимость прочности бетона от его водоцементного отношения выполняется лишь в определенных пределах. Для каждой бетонной смеси имеется оптимальное количество воды, которое позволяет получать при данном способе уплотнения бетон плотной структуры с минимальной пористостью и наибольшей прочностью. Снижение В/Ц по сравнению с оптимальным до определенного предела может привести к увеличению прочности при усиленном уплотнении бетонной смеси. Однако излишнее снижение В/Ц может привести к получению очень жесткой неудобоукладываемой бетонной смеси. В результате плотно уложить такую бетонную смесь не представится возможным. В изделиях из такого бетона образуется множество крупных воздушных пустот, полостей, неплотностей, и прочность резко понизится.

*Расход цемента.* Для каждого состава бетона имеется оптимальный (расчетный) расход цемента, обеспечивающий качественное обволакивание зерен заполни-

теля цементным тестом и полное заполнение им межзерновой пустотности. При снижении расхода цемента по отношению к расчетному объема цементного теста окажется недостаточно для получения бетона плотной структуры и прочность бетона понизится. Увеличение расхода цемента сверх расчетного при неизменном В/Ц практически не приводит к увеличению прочности бетона. Наоборот, при значительном увеличении расхода цемента над рациональным, объем цементного камня в бетоне увеличится, что приведет к повышенной усадке, трещинообразованию и возможному снижению не только прочности, но и эксплуатационных свойств бетона (морозостойкости, коррозионной стойкости, истираемости и др.).

*Активность цемента.* С повышением активности цемента прочность цементного камня увеличивается, а следовательно, увеличивается и прочность бетона и наоборот.

*Прочность заполнителей.* Крупный заполнитель создает в бетоне каменный скелет (каркас) и поэтому играет существенную роль в формировании прочности. Мелкий заполнитель (песок), располагаясь между зернами крупного, оказывает дополнительное влияние на поведение бетона под нагрузкой, а следовательно, и на его прочность. В целом же прочность заполнителей из плотных горных пород в определенных пределах оказывается, как правило, заведомо выше проектируемого класса бетона и прочности цементного камня и поэтому не оказывает существенного влияния на прочность бетона. Если же применять низкопрочные заполнители, то это может существенно снизить прочность бетона и потребует увеличения расхода цемента.

*Вид заполнителя.* Важную роль в формировании прочности бетона играет шероховатость поверхности заполнителя. Например, в отличие от гравия, зерна щебня имеют развитую шероховатую поверхность, чем обеспечивается лучшее сцепление с цементным камнем. В результате бетон, приготовленный на щебне при прочих равных условиях, будет иметь большую прочность, чем бетон на гравии. Аналогичное влияние на прочность бетона оказывает и состояние поверхности мелкого заполнителя. Кроме приведенных, значительное влияние на прочность бетона оказывают также качество приготовления (однородность) бетонной смеси, степень уплотнения (характеризуется средней плотностью бетона), условия и продолжительность твердения и другие факторы.

**Марки и классы бетона.** Марка бетона по прочности на сжатие оценивается по среднему арифметическому значению без учета однородности результатов испытания образцов (кубов с ребром 150 мм) данного бетона в возрасте 28 сут нормально-влажностного твердения и является округленным значением прочности (кгс/см<sup>2</sup>), причем округление идет всегда в меньшую сторону. При обозначении марки используется индекс «М». В зависимости от среднего значения прочности бетоны подразделяются на марки:

- *легкие* – М5, М10...М35, М50, М100...М400 и М500;
- *тяжелые* – М50, М100...М500...М800 и выше (через 100 кгс/см<sup>2</sup>).

Например, марка бетона М350 означает, что его средняя прочность составляет не менее 35 и не более 40 МПа. Марка использовалась при подборе состава бетона и контроле его прочности на производстве. Однако с 01.01.1983 г. (СТ СЭВ 1406) марка бетона в старом понятии потеряла физический смысл.

Характерной особенностью бетона является неоднородность его свойств, в том числе и прочности на сжатие. Объясняется это изменением (колебанием) свойств его составляющих (мелкого и крупного заполнителей и цемента), отклоне-

ниями в режимах приготовления, транспортирования, укладки (степени уплотнения) и в условиях твердения. Всего насчитывается более 50 факторов, которые могут повлиять на прочность бетона, учесть которые при проектировании состава бетона и изготовлении образцов или конструкций практически невозможно. Все это и приводит к разбросу значений при определении прочности даже одного и того же состава и не позволяет абсолютно достоверно оценить качество бетона только показателем его средней прочности. Известно, что чем выше культура производства (лучше качество подготовки составляющих, приготовления и укладки бетонной смеси), тем меньше будут возможные колебания прочности бетона.

Следовательно, для нормирования прочности необходимо использовать такую стандартную характеристику, которая гарантировала бы получение бетона заданной прочности с учетом возможных ее колебаний. Показателем, который учитывает возможные колебания качества бетона (однородность), является класс прочности бетона, соответствующий значениям гарантированной прочности с обеспеченностью не менее 95%. Для выполнения гарантированной обеспеченности требуемую прочность назначают в зависимости от значения фактического коэффициента вариации из условия получения обеспеченности нормативного сопротивления не ниже 95% и одновременно обеспеченности расчетного сопротивления не ниже 99,8%. Коэффициент вариации определяется на основе данных статистического анализа и равен отношению среднеквадратического отклонения отдельных результатов испытаний к средней прочности бетона. Чем меньше значение коэффициента вариации, тем более однороден по свойствам бетон, а следовательно, и выше его качество. В идеальном случае коэффициент вариации может быть равен нулю. Считается, что если коэффициент вариации не превышает 10%, то бетон достаточно однороден.

В производственных условиях значения коэффициента вариации могут изменяться от 5...7% (на предприятиях с хорошей организацией технологического процесса) до 20...25%. Строительными нормами и действующими стандартами принят нормативный коэффициент вариации прочности бетона равный 13,5%, характеризующий технологию бетонных работ как удовлетворительную (СНиП 52-01-2003). При превышении значения в 16% следует останавливать производство и принимать меры по налаживанию его технологии.

Таким образом, *класс* бетона по прочности на сжатие – это нормативная прочность (МПа), задаваемая с гарантированной обеспеченностью (доверительной вероятностью) 0,95 (при нормативном коэффициенте вариации 13,5%). Это значит, что установленная классом прочность бетона при сжатии обеспечивается не менее чем в 95 случаях из 100. В соответствии с действующими нормативными документами в Республике Беларусь различают классы конструкционных бетонов (СТБ 1544. Бетоны конструкционные тяжелые) и классы других видов бетона (ГОСТ 26633, ГОСТ 25485, СТБ 1187).

Класс конструкционных бетонов по прочности на сжатие (СТБ 1544-2005, СТБ EN 206-1-2009) обозначается буквой С (от англ. *concrete* – бетон) и числами: над чертой – выражающими значение нормативного сопротивления осевому сжатию ( $f_{ck}$ , МПа), под чертой – гарантированной прочности на осевое сжатие ( $f_{c-cube}^G$ , МПа), т.е.

$$C_{f_{ck} / f_{c-cube}^G}$$

где  $f$  – прочность;  $c$  – бетон, сжатие;  $k$  – нормативное значение;  $G$  – гарантированное.

Нормативное сопротивление осевому сжатию ( $f_{ck}$ , МПа) устанавливается при испытании призм или цилиндров размером 150×300 мм с учетом статистической изменчивости при обеспеченности 0,95, которое допускается принимать равным

$f_{ck} = 0,8 f_{c-cube}^G$  (СТБ EN 12390). Гарантированная прочность бетона на осевое сжатие ( $f_{c-cube}^G$ , МПа) определяется при осевом сжатии кубов размером 150×150×150 мм с учетом статистической изменчивости при обеспеченности 0,95, гарантируемая производителем в соответствии с действующими стандартами. В настоящее время соответствие требуемому классу бетона по прочности на сжатие устанавливают, определяя гарантированную прочность бетона  $f_{c-cube}^G$  обработкой результатов испытаний по ГОСТ 18105.

Точность вычисления составляет 0,1 МПа при испытании на сжатие и 0,01 МПа – на растяжение каждого образца.

Класс по прочности на сжатие других видов бетона обозначается латинской буквой В, справа от которой записывают его прочность на сжатие (МПа) (ГОСТ 26633). Например, у класса бетона В15 значение предела прочности на сжатие не ниже 15 МПа с гарантированной обеспеченностью 0,95, т.е. при определении предела прочности бетона при сжатии при испытании образцов или на любом произвольно взятом участке конструкции будет получен результат 15 МПа и выше, и лишь в 5% случаев можно ожидать значения менее 15 МПа. Следовательно, соотношение между классами и марками бетона неоднозначно и зависит от однородности бетона, оцениваемого коэффициентом вариации.

Для перехода от класса бетона (В) к средней прочности (R) при нормативном коэффициенте вариации 13,5% (принимаемом при проектировании конструкций из тяжелого и легкого бетонов) можно использовать формулу

$$R = B / (1 - t \nu), \text{ или } R = B / 0,778,$$

где  $t$  – коэффициент Стьюдента (равный 1,64), характеризующий принятую при проектировании обеспеченность 0,95;  $\nu$  – коэффициент вариации прочности бетона, который принимается равным 0,135.

Таким образом, класс бетона одной и той же марки существенно увеличивается, если снижать коэффициент вариации. Например, при марке по прочности на сжатие М300 и коэффициенте вариации 18% получают бетон класса В15, а при коэффициенте вариации 5% – класса В20, т.е. на целую ступень выше. С уменьшением коэффициента вариации уменьшается и величина средней прочности бетона. Для обеспечения класса В10 при коэффициенте вариации 13,5% требуется средняя прочность бетона 12,85 МПа, а при коэффициенте вариации 7% – средняя прочность может составить 11,3 МПа. Все это указывает на необходимость при производстве бетонных работ тщательного выполнения всех технологических рекомендаций, повышения технического уровня и культуры производства.

Прочность бетонов на осевое растяжение и растяжение при изгибе значительно меньше, чем прочность на сжатие. Численное значение прочности возрастает при повышении класса бетона по прочности на сжатие, однако увеличение сопротивления растяжению замедляется в области высокопрочных бетонов. Как правило, предел прочности при растяжении составляет 1/10...1/17, а предел прочности при изгибе – 1/6...1/10 предела прочности при сжатии. Для повышения несущей способности, в особенности при изгибе и растяжении, бетон сочетают со стальной арматурой, изготавливая железобетонные конструкции, в которых растягивающие усилия воспринимает арматура.

*Морозостойкость* бетона зависит главным образом от его структуры и качества применяемых материалов. Морозостойкими оказываются, как правило, бетоны высокой плотности, а структура их должна содержать минимум капиллярных сообщающихся пор. Повышению морозостойкости способствует сокращение водопотребности бетонной смеси, увеличение интенсивности уплотнения, применение пластифицирующих добавок. Цемент не должен содержать тонкомолотых добавок, повышающих его водопотребность (трепел, опока); тонкость помола находится в пределах  $2800 \dots 3300 \text{ см}^2/\text{г}$ , а содержание трехкальциевого алюмината ограничивается  $5 \dots 8\%$ . Необходимо применять чистые с минимальным количеством примесей заполнители, а морозостойкость их должна быть не ниже требуемой для бетона в целом. Повышению морозостойкости способствует создание в бетоне с помощью воздухововлекающих добавок резервного объема воздушных пор, не заполняемых при обычном водонасыщении бетона, но доступных для проникновения воды под давлением, возникающем при замерзании. Повышает морозостойкость бетона и создание необходимых температурно-влажностных условий для более полной гидратации цемента.

Для бетонов конструкций установлены следующие марки по морозостойкости: F25, F35, F50, F75, F100, F150, F200, F250, F300, F400, F500, F600, F800, F1000.

Марка бетона по морозостойкости характеризуется количеством циклов попеременного замораживания и оттаивания, которое выдерживают образцы в условиях стандартных испытаний по ГОСТ 10060, сохраняя первоначальные физико-механические свойства в нормированных пределах (допустимые потери массы и прочности), т.е. в соответствии с требованиями нормативных документов на конкретный вид бетона. Морозостойкость бетона может быть определена и ускоренными методами: по накоплению остаточных деформаций, замораживанию при температуре  $50 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  и компенсационному фактору.

Плотный бетон при мелкопористой структуре и достаточной толщине конструкции оказывается практически водонепроницаемым. *Водонепроницаемость* бетона зависит от проницаемости цементного камня, заполнителя и контактной зоны, т.е. основными путями фильтрации воды через толщу бетона могут быть зоны контакта между заполнителем и цементным камнем, микротрещины в цементном камне, дефекты в зоне сцепления бетона со стальной арматурой.

Для бетонов конструкций, к которым предъявляются требования по ограничению проницаемости воды или повышенной плотности и коррозионной стойкости, установлены марки по водонепроницаемости: W2, W4, W6, W8, W10, W12, W14, W16, W18, W20 (ГОСТ 26633).

Марка бетона по водонепроницаемости характеризуется максимальной величиной давления воды (в атмосферах или  $\text{кгс}/\text{см}^2$ ), при которой не наблюдается ее просачивания через образцы, изготовленные в соответствии с требованиями ГОСТ 12730.5 (образец-цилиндр диаметром и высотой 15 см). Повысить водонепроницаемость можно как на стадии приготовления, укладки и твердения бетонной смеси, так и у затвердевшего бетона. К способам повышения водонепроницаемости можно отнести применение бездобавочных цементов более высокой активности и качественных заполнителей, снижение В/Ц отношения, интенсивных способов уплотнения бетона, создание благоприятных условий твердения, применение высококачественных пластифицирующих и специальных (цементирующих структуру) химических добавок и др. Основным способом повышения водонепроницаемости затвер-

девшего бетона является обработка его поверхности гидрофобизирующими веществами, а также пропитка мономерами с последующей их полимеризацией в порах бетона.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ РАЗДЕЛЫ

### 5. БИТУМНЫЕ И ДЕГТЕВЫЕ КРОВЕЛЬНЫЕ И ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Кровельные, гидроизоляционные и герметизирующие материалы позволяют надежно и длительный период эксплуатировать сооружения. От их долговечности во многих случаях зависит и долговечность конструкций. *Кровельные материалы* должны обладать не только прочностью, но и атмосферостойкостью, водостойкостью, водонепроницаемостью и теплостойкостью.

*Гидроизоляционные материалы* подвергаются часто значительному напору воды, в том числе содержащей примеси. Кроме свойств, присущих кровельным материалам, они должны иметь повышенную прочность и водонепроницаемость, химическую стойкость, а также достаточную эластичность, чтобы не могли возникнуть трещины и разрывы вследствие возможных усадочных, температурных и других деформаций, изолируемых конструкций.

Указанным требованиям в значительной степени удовлетворяют кровельные и гидроизоляционные материалы, получаемые на основе битумов и дегтей.

Битумные и дегтевые рулонные кровельные материалы, несмотря на некоторые существенные недостатки по сравнению с асбестоцементными и черепицей (меньшая долговечность и огнестойкость, необходимость устройства для их укладки сплошной обрешетки), широко применяют в строительстве, особенно в промышленном. Они позволяют устраивать кровли с малым уклоном, плоские кровли и крыши сложной конфигурации; при их применении сокращаются расходы на эксплуатацию кровли в условиях агрессивной среды и т. п.

В общем объеме всех видов кровельных материалов около 50 % приходится на долю мягкой кровли.

Кровельные и гидроизоляционные материалы на основе битумов и дегтей делят на *рулонные, листовые и штучные изделия, обмазочные материалы — мастики, эмульсии и пасты, а по виду вяжущих — на битумные, дегтевые, гудрокамовые, резинобитумные, битумо- и дегтеполимерные.*

Рулонные кровельные и гидроизоляционные материалы могут быть двух типов — *основные и безосновные*. Основные материалы изготовляют путем обработки органическим вяжущим основы — кровельного картона, стеклоткани, стекловолока, металлической фольги, асбестового картона и т. п. Безосновные материалы получают в виде полотнищ заданной толщины прокаткой на каландрах термомеханически обработанных смесей из органического вяжущего, порошкового или волокнистого наполнителя и специальных добавок. Наибольшее распространение в строительстве имеют материалы первого типа, некоторые представители их впервые были изготовлены в 1877 г. в России инж. А. А. Летним.

В зависимости от *класса сооружений, климатических и эксплуатационных условий, уклона кровли* рулонные материалы укладывают в *один*, а чаще в *несколько слоев*, которые образуют монолитное покрытие, называемое кровельным ковром.

В соответствии с *назначением* рулонные материалы, имеющие основу, делят на два вида: *покровные* и *беспокровные*. Покровные материалы, применяемые главным образом для верхней части кровельного ковра, получают пропиткой основы органическими вяжущими и нанесением на нее с двух сторон покровного слоя из более тугоплавких органических вяжущих, часто с добавкой в них наполнителей, антисептиков и других компонентов. Покровный слой воспринимает атмосферные воздействия. Беспокровные материалы, предназначенные для нижней и средней частей кровельного ковра, покровного слоя не имеют.

### **Покровные материалы на основе.**

Большую часть мягкой кровли выполняют из рулонных материалов, изготовленных на основе кровельного картона, который вырабатывают из смеси хлопчатобумажного, льняного и шерстяного тряпья, бумажной макулатуры и целлюлозы. Такой картон обладает хорошей впитывающей способностью, обеспечивающей практически полную пропитку его расплавленными битумными или дегтевыми композициями, достаточной прочностью на разрыв. В зависимости от массы 1 м<sup>2</sup> (в г) кровельный картон разделяют на марки: **500, 400, 350, 300, 250**. Чем больше марка картона, тем выше его прочность на разрыв и тем выше качество рулонного материала.

К покровным рулонным материалам на картонной основе относят рубероид, толь, дегтебитумные и гудрокамовые рулонные материалы.

*Рубероид* выпускают в виде полотнищ, обычно по ширине кровельного картона—1000, 1025, 1050 мм, свернутых в рулоны площадью 7,5 и 15 м<sup>2</sup>. Его изготавливают пропиткой кровельного картона расплавленным мягким нефтяным битумом с последующим покрытием материала с обеих сторон тугоплавким битумом. Для повышения тепло-, влаго- и светостойкости кровельного рубероида в битум покровного слоя часто вводят наполнитель в виде тонкого порошка из известняка, доломита, талька, коротковолокнистого асбеста и т. п. Лицевая поверхность кровельного рубероида имеет чешуйчатую слюдяную, крупно- или мелкозернистую посыпку. Посыпки придают материалу повышенную атмосферостойкость, понижают возгораемость, предотвращают слипание в рулонах, улучшают внешний вид кровли. На нижнюю поверхность кровельного и обе поверхности подкладочного рубероида наносят мелкозернистую или пылевидную посыпку, которая предотвращает слипание материала в рулонах.

**В зависимости от назначения, вида посыпки лицевой поверхности и марки кровельного картона рубероид делят на 14 марок: РКК-500А; РКК-400А (Б и В); РКМ-350Б (В); РПМ и РПП-300А (Б и В); РКЧ-350Б (В). Буква Р в марке означает — рубероид; буквы К и П — кровельный или подкладочный. Третьи буквы К, М, П, Ч — вид посыпки — крупнозернистая, мелкозернистая, пылевидная, чешуйчатая, а числа после буквы означают марку картона.**

Для верхнего слоя скатных и пологих кровель рекомендуется применять рубероид марок РКК, РКМ, РКЧ как на горячей, так и на холодной мастиках, а для подкладочных слоев — марок РПМ и РПП, который иногда используют также для оклеечной гидроизоляции.

Для районов с низкой температурой эксплуатации вырабатывают *рубероид с эластичным покровным слоем* (РЭМ-350) путем модификации покровного битума специальными полимерами или применением резинобитумного вяжущего. Этот ру-

бероид обладает повышенной прочностью, погодо- и трещиностойкостью при отрицательных температурах.

Освоено производство так называемого *наплавляемого рубероида*, который в отличие от обычного имеет более толстый покровный слой (0,6...2 мм) с обеих сторон из тугоплавкого битума. Такой рубероид наклеивают расплавлением нижнего покровного слоя пламенем горелки или другими средствами нагрева. При этом не требуется кровельной мастики, обеспечивается повышение производительности и улучшение условий труда при производстве кровельных работ, снижается стоимость устройства кровли.

*Толь кровельный покровный* является материалом, аналогичным рубероиду, но для его получения кровельный картон пропитывают и покрывают не битумом, а каменноугольным дегтем и на поверхность наносят слой минеральной посыпки (крупнозернистой или песочной). Толь с крупнозернистой посыпкой (марок ТКК-350, ТКК-400) покрыт с обеих сторон дегтем с более высокой температурой размягчения, чем деготь, которым пропитана его основа — кровельный картон. Он более долговечен, чем толь с песочной посыпкой (марок ТКП-350, ТКП-400), у которого пропиточный и покровный слои из одинаковых дегтепродуктов. Их можно применять для верхнего и нижнего слоев кровельного ковра пологих и плоских кровель на горячих дегтевых мастиках. Толь менее долговечен, чем рубероид, так как дегтевые вяжущие «стареют» быстрее, чем битумные, но более биостоек и дешевле рубероида.

### **Рулонные покровные материалы.**

Эти материалы изготавливают не на картоне, а на более прочной и не подвергающейся гниению основе — стеклоткани, стекловолоке, металлической фольге и т. п.; к ним относятся стеклорубероид, кровельный стекловолок (стеклоизол), гидро-стеклоизол кровельный и подкладочный, фольгоизол.

*Стеклорубероид и стеклоизол* изготавливают путем двустороннего нанесения тугоплавкого, биостойкого битумного, резинобитумного или битумно-полимерного вяжущего на стекловолоконистую основу. При этом толщина слоя вяжущего превышает толщину стеклоосновы. Образующиеся покровные пленки из органических вяжущих покрывают сплошным слоем посыпки (крупнозернистой, чешуйчатой, мелкозернистой). Эти материалы более долговечны, чем рубероид и толь. Их применяют для покрытия многослойных плоских водонепроницаемых кровель, оклеечной гидро- и пароизоляции, укладывая на горячих и холодных битумных мастиках.

*Гидростеклоизол* — кровельный и подкладочный — представляет собой полотно длиной 3...10 м, шириной до 1 м, толщиной 4...6 мм, изготовленные путем покрытия с обеих сторон предварительно пропитанной стеклоткани слоем битума или гидроизоляционной асфальтовой мастики. Их применяют для устройства кровельных ковров плоских кровель, а подкладочный гидростеклоизол — в качестве одного из слоев гидроизоляции железобетонных отделок туннелей метрополитена и других инженерных сооружений.

*Стеклобит* — новый рулонный материал, представляющий собой стеклосетку, покрытую битумно-резиновой мастикой с толщиной покровного слоя до 4 мм. Применяют для уплотнения швов и перекрытия трещин путем приклеивания с разогревом огневыми форсунками. *Фольгоизол* состоит из тонкой рифленой или гладкой алюминиевой фольги толщиной 0,08...0,3 мм, покрытой с одной стороны защитным битумно-резиновым вяжущим толщиной 0,8...4 мм. Толщина фольги и защитного слоя зависит от назначения фольгоизола и класса сооружений. Для предохра-

ния покровного слоя фольгоизола на него иногда наносят полимерную пленку. Фольгоизол отличается высокой прочностью на разрыв, гибкостью, водонепроницаемостью и долговечностью. Не требует ухода в течение всего периода эксплуатации. Применяют фольгоизол для устройства кровель и паро-гидроизоляции ответственных зданий и сооружений, герметизации стыков панелей. Благодаря отражательной способности фольги кровли из этого материала на солнце нагреваются значительно меньше, чем аналогичные кровли черного цвета.

*Фольгопергамин* создан для гидроизоляционной защиты теплоизоляции наружных трубопроводов. Это двухслойный рулонный материал из тонкой рифленой фольги и наклеенного на нее специальным битумным вяжущим пергамина. Такой материал имеет по сравнению с фольгоизолом повышенную жесткость, что делает его более удобным при монтаже и эксплуатации.

*Металлоизол* состоит из алюминиевой фольги толщиной 0,05 и 0,1 мм, покрытой с обеих сторон битумной мастикой. Этот водонепроницаемый и долговечный материал имеет высокую прочность на разрыв и хорошую гибкость. Его применяют для оклеечной гидроизоляции подземных сооружений.

### **Беспокровные рулонные материалы на основе.**

Материалы этой группы имеют основу в виде кровельного картона (пергамин и толь беспокровный) или асбестового картона (гидроизол), но не имеют покровного слоя и минеральной посыпки.

При пропитке кровельного картона нефтяным битумом получают *пергамин* марок П-300 и П-350, а при пропитке дегтепродуктами — *беспокровный* толь марок ТГ-300 и ТГ-350 (толь гидроизоляционный). Пергамин используют в качестве подкладочного слоя под рубероид, а также при устройстве пароизоляции, укладывая на горячих битумных мастиках. Толь беспокровный марок ТГ предназначен для кровель как подкладочный материал под толь с крупнозернистой посыпкой в многослойных плоских кровлях и для пароизоляции, а также для оклеечной гидроизоляции над фундаментами и других целей с укладкой на горячих дегтевых мастиках.

В *гидроизоле* основа — асбестовый картон, пропитан нефтяным окисленным битумом. По физико-механическим свойствам гидроизол бывает двух марок ГИ-Г и ГИ-К. Лучшие показатели по водонепроницаемости, водонасыщению и прочности у марки ГИ-Г. Гидроизол более долговечен, чем рулонные материалы на обычном кровельном картоне. Он нашел широкое применение для оклеечной гидроизоляции в подземных сооружениях, многослойных плоских кровлях, для противокоррозионных покрытий металлических трубопроводов.

### **Безосновные рулонные материалы.**

Эти материалы могут быть резинобитумными и резинодегтевыми, битумно-или дегтеполимерными, гудрокамовыми и гудрокамополимерными. Они обладают способностью к большим пластическим деформациям, не разрываются и не отделяются от основания даже при значительных деформациях изолируемых конструкций. Наибольшее применение получили резинобитумные рулонные материалы — бризол и особенно изол.

*Рулонный изол* изготавливают методом вальцевания и последующего каландрирования смеси резинобитумного вяжущего, асбестовых волокон, пластификатора и антисептика и других добавок, в виде полотнищ шириной 800 и 1000 мм, толщиной 2 мм, которые свертывают в рулоны площадью 10 м<sup>2</sup>. Он обладает незначительным

водопоглощением, эластичен даже при отрицательных температурах, гниlostоек и долговечен. Изол применяют для оклеечной гидроизоляции фундаментов, подвалов, бассейнов, резервуаров, антикоррозионной защиты трубопроводов, для покрытия пологих и плоских кровель. Приклеивают изол горячим битумом или битумной мастикой изол.

*Бризол* — рулонный безосновный гидроизоляционный материал, который изготавливают так же, как и изол, но используют смесь, состоящую из нефтяного битума, резиновой крошки, асбеста и пластификатора. Этот материал эластичен, стоек к некоторым агрессивным средам, погодостоек, гниlostоек. Бризолом защищают от коррозии металлические трубопроводы и подземные сооружения от воздействия грунтовых вод.

### **Обмазочные материалы (мастики, эмульсии и пасты).**

Их используют для приклеивания и склеивания рулонных кровельных и гидроизоляционных материалов, устройства безрулонных кровель, гидроизоляции и других целей.

*Мастиками* называют искусственные пластичные смеси, получаемые смешением органических вяжущих с минеральными (иногда органическими) наполнителями и добавками (пластифицирующими, уплотняющими, антисептирующими и др.).

По виду вяжущего материала мастики разделяют на *битумные, дегтевые, резинобитумные, битумно- или дегтеполимерные, гудрокамовые* и др.

По способу изготовления и применения различают мастики горячие, применяемые с предварительным подогревом (до 160-180 °С — битумные и резинобитумные мастики и до 130-150 °С — дегтевые и гудрокамовые), и *холодные*, используемые без подогрева при температуре окружающего воздуха выше 5°С и подогревом до 60-70°С — при более низких температурах.

*Наполнители*, вводимые в мастики для повышения теплостойкости и уменьшения хрупкости (при пониженных температурах), а также для сокращения расхода вяжущего, разделяют на *пылевидные, волокнистые и комбинированные* (смесь пылевидного и волокнистого наполнителей). Пылевидный наполнитель в виде тонкомолотого порошка изготавливают из известняка, мрамора, кварца, мела, доломита, кирпича, талька, трепела, золы минеральных видов топлива и т. п. Волокнистым наполнителем может быть асбестовая пыль, коротковолокнистые асбест и минеральная вата и др.

*Горячие мастики* подразделяют на кровельные (приклеивающие), *кровельно-гидроизоляционные и гидроизоляционные асфальтовые*.

*Кровельные мастики* могут быть битумными, дегтевыми, резино-битумными и гудрокамовыми. Каждой мастике присвоено условное обозначение (марка), означающее название мастики и ее теплостойкость. Мастики битумные кровельные горячие разделяют на марки МБК-Т-55, 65, 75, 85, 100; дегтевые — на марки МДК-Г-50, 60, 70; резинобитумные — на марки МБР-65, 75, 90, 100 и гудрокамовые — МГ-Г-70. Цифра в марке мастики характеризует ее теплостойкость (в °С). Кровельные мастики используют для склеивания рулонных материалов при устройстве многослойных кровель и гидроизоляции.

*Кровельно-гидроизоляционные мастики* могут быть гудрокамо-полимерные и резинобитумные. Такие мастики по сравнению с горячими битумными и дегтевыми мастиками обладают повышенной эластичностью, гибкостью и морозостойкостью.

Их используют для устройства безрулонных кровель, гидроизоляции, а также в качестве приклеивающего материала.

*Гидроизоляционные асфальтовые мастики* состоят в основном из нефтяного битума и минерального наполнителя. Их выпускают трех категорий (1, 2, 3), различающихся по теплостойкости от 90... ..105 до 60...70°C. Такие мастики предназначены для устройства литой и штукатурной изоляции, а также для изготовления асфальтовых материалов и изделий (например, плит).

Все горячие мастики при температуре  $18 \pm 2^\circ\text{C}$  должны быть однородными, твердыми и не содержать частиц наполнителя, не покрытых связующим. При рабочих температурах мастики должны легко растекаться на ровной поверхности слоем до 2 мм, а при затвердевании давать прочное клеевое соединение.

*Холодные мастики* готовят путем разбавления битумного, битумно-резинового, гудрокамового вяжущего растворителем и добавлением в эту смесь наполнителя и, если требуется, специальных добавок (пластификатора, антисептика и др.). Разбавителями для получения холодных мастик служат жидкие органические вещества, которые делят на летучие (бензин, лигроин, уайт-спирит, керосин, зеленое масло) и нелетучие (нефтяные масла, мазут, масляный гудрон, жидкие нефтяные битумы и т. п.).

Холодные мастики применяют для склеивания рулонных кровельных материалов, для устройства гидро- и пароизоляции. Гудрокамовые и особенно битумно-резино-вые холодные мастики обеспечивают более высокое качество склейки рулонных материалов и гидроизоляционных покрытий на них, чем битумные холодные мастики.

Вследствие сохранения пластичности холодными мастиками, даже при пониженных температурах, слои из них тоньше, чем из горячих мастик, что позволяет сократить расход битума. Кроме того, применение холодных мастик позволяет удлинить сезон кровельных работ и улучшить условия труда рабочих.

Мастики всех видов необходимо хранить в закрытых складах в специальной герметической упаковке. При близких расстояниях от места изготовления до места использования мастики и эмульсии транспортируют в специально приспособленных машинах — автогудронаторах, в других случаях их доставляют в холодном виде в закрытой таре, защищенными от увлажнения и воздействия солнечных лучей.

### **Герметизирующие материалы (герметики) на основе битумов.**

Строительные герметики в основном предназначаются для герметизации стыков наружных стеновых панелей и блоков, усадочных и температурных швов в строительных конструкциях. Герметизирующие материалы должны быть влаго-, паро- и газонепроницаемыми, тепло- и морозостойкими и не должны изменять своих свойств в течение всего времени эксплуатации зданий. Таким требованиям могут удовлетворять как специальные мастики, так и эластичные прокладки, изготавливаемые на основе стойких полимеров. Здесь остановимся только на герметиках, изготавливаемых с применением битумов.

В номенклатуре герметизирующих материалов различают три группы: вулканизирующиеся пасты, пастоэластичные мастики и профильные эластичные прокладки. Герметики, изготавливаемые на основе битумов и широко применяемые в строительстве, выпускают в виде мастики «изол Г-М» и эластичных прокладок — пороизол.

*Мастику «изол Г-М»* изготавливают на основе резино-битумного вяжущего с добавлением высокомолекулярного полиизобутилена, обеспечивающего эластичность даже при отрицательных температурах, канифоли, кумаровой смолы, коротковолокнистого асбеста и антисептика. Такую мастику применяют как в горячем виде (80-100 °С), так и в холодном состоянии с добавкой разбавителя (бензина, лигроина, зеленого масла и др.), вводя ее в стыки методом шприцевания с помощью сжатого воздуха.

*Пороизол* выпускают в виде эластичных пористых полос прямоугольного сечения 30 x 30 и 40 x 40 мм — для герметизации горизонтальных стыков панелей и в виде жгутов диаметром 10...60 мм — для герметизации вертикальных стыков. Его изготавливают путем вулканизации газонаполненной резины, модифицированной нефтяными дистиллятами. Пороизол марки М имеет на поверхности незакрытые поры и применяется только после его покрытия холодной мастикой изол, закрывающей поры. Пороизол марки П имеет на поверхности защитную оболочку, что позволяет использовать этот материал для герметизации без мастики. Пороизол сохраняет эластичность в широком температурном диапазоне от + 80 до – 50 °С. Для придания пороизолу герметизирующих свойств перед установкой в шов его сжимают (марки М - на 30-50 %, марки П – на 15-25 % от первоначального объема).

Кровельные материалы предназначены для устройства верхнего элемента покрытия – кровли, предохраняющей здание от проникновения атмосферных осадков. В процессе эксплуатации кровли материалы, из которых она изготовлена, многократно подвергаются увлажнению и высушиванию, замораживанию и оттаиванию в водонасыщенном состоянии, температурным деформациям, ветровым нагрузкам, а также воздействию прямого солнечного излучения и агрессивных по отношению к некоторым кровельным материалам кислорода и озона воздуха, от чего кровля разрушается быстрее других конструктивных элементов здания.

По форме, размерам и физическому состоянию кровельные материалы можно разделить на пять групп:

- *рулонные* – полотна площадью от 7 до 20 м<sup>2</sup>, поставляемые на строительную площадку в рулонах;

- *мастичные* – вязкие жидкости, образующие после нанесения на поверхность водонепроницаемую пленку и используемые для проклеивания рулонных кровельных материалов или в качестве самостоятельных материалов при устройстве так называемых мастичных бесшовных (мастичных) кровель;

- *штучные* – мелкогабаритные элементы кровли площадью от 0,02 до 2 м<sup>2</sup> (асбестоцементные волнистые листы и плитки, керамическая, цементно-песчаная и битумная черепица и др.);

- *металлические* – листы площадью от 1 до 10 м<sup>2</sup> (листовая сталь, металлочерепица, профилированный настил и др.);

- *мембранные* – большеразмерные полотна площадью от 50 до 500 м<sup>2</sup> (мембраны).

**Рулонные** кровельные материалы классифицируются по следующим основным признакам:

- *по назначению* – для однослойного, верхнего или нижнего слоев многослойного водоизоляционного ковра;

- *по структуре полотна* – на основные и безосновные;

- *по виду основы* – на картонной основе; на стеклянной основе; на основе из полимерных волокон; на комбинированной основе;

- по виду компонента *покровного состава*, *вяжущего или материала* - битумные, битумно-полимерные, полимерные;

- по виду *защитного слоя* – материалы с посыпкой (крупнозернистой, чешуйчатой, мелкозернистой, пылевидной); материалы с фольгой.

**Мастичные кровельные материалы** представляют собой жидковязкую однородную массу, которая после нагнесения на поверхность и твердения превращается в водонепроницаемое покрытие. По составу мастики делятся на битумные, битумно-полимерные и полимерные. В состав мастик могут входить растворитель, разбавитель, наполнители и различные добавки.

Мастичные кровельные материалы классифицируются по следующим основным признакам:

- по назначению – приклеивающие, (для приклеивания рулонных материалов) и для устройства мастичных кровель;

- по виду *основного исходного компонента* – битумные, битумно-эмульсионные, битумно-резиновые, битумно-полимерные, полимерные и др.;

- по виду *разбавителя* – содержащие воду, органические растворители, жидкие органические вещества (нефтяные масла, жидкие нефтяные битумы, гудрон, мазут);

- по *характеру отверждения* – отверждаемые, в том числе вулканизирующиеся (одно- и многокомпонентные); неотверждаемые;

- по *способу применения* – горячие (с предварительным подогревом перед применением); холодные, не требующие подогрева (содержащие растворитель и эмульсионные).

**Штучные кровельные материалы** различают:

- по *материалу* – керамические, асбестоцементные, цементно-песчаные, полимерные и битумные;

- по *форме* – волнистые, пазовые, плоские;

- по *способу крепления* – приклеиваемые, привинчиваемые и (или) прибиваемые (гвоздями), с комбинированным креплением (например, частично приклеиваемая битумная черепица);

- по *гибкости* - гибкие и негибкие.

**Мембранные кровельные материалы** – это кровельные системы, включающие в себя (наряду с собственно мембранами) большое количество готовых элементов, в том числе фасонные элементы, предназначенные практически для устройства любых примыканий, ендов и углов кровли и др.

## 6. ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ НА ИХ ОСНОВЕ

*Пластическими массами* называют материалы, содержащие в качестве важнейшей составной части высокомолекулярные соединения - **полимеры** и обладающие пластичностью на определенном этапе производства, которая полностью или частично теряется после отверждения полимера.

Молекулярная масса высокомолекулярных соединений состоит из нескольких тысяч или даже сотен тысяч атомов. Чаще всего макромолекулы таких соединений построены путем многократного повторения отдельных структурных единиц.

Молекулярная масса низкомолекулярных соединений обычно не превышает 500. Вещества, имеющие промежуточные значения молекулярной массы, называют *олигомерами*.

Пластмассам, как и другим материалам, присущи положительные и отрицательные свойства.

К положительным свойствам относятся: малая плотность, нередко сочетающаяся с высокой прочностью, стойкость к различным агрессивным воздействиям внешней среды, разнообразие декоративных свойств, легкость их технологической переработки, что позволяет получать изделия самой разнообразной формы с полной заводской готовностью. Они являются высокоиндустриальным материалом – их использование позволяет резко сократить сроки проведения строительных работ, Пластмассы хорошо свариваются и склеиваются между собой и с другими материалами (древесиной, металлом и др.).

Вместе с тем пластмассы не лишены недостатков. Большинство пластмасс горючи и обладают низкой теплостойкостью. (предельные рабочие температуры у многих из них 100-150 °С, а некоторые начинают размягчаться уже при 60-80 °С.

Длительное воздействие солнечных лучей, повышенной температуры в сочетании с кислородом воздуха приводит к старению пластмасс, т.е. потере ими эксплуатационных свойств, а в ряде случаев – и их разрушению.

Пластмассы обычно получают из связующего вещества и наполнителя, вводя в состав исходной массы те или иные специальные добавки – пластификаторы, отвердители, стабилизаторы и красители.

*Связующим веществом* в пластмассах служат различные полимеры – синтетические смолы и каучуки, производные целлюлозы. Исходными материалами для получения полимеров являются природный газ и так называемый «попутный» газ, сопровождающий выходы нефти. В газообразных продуктах переработки нефти содержатся этилен, пропилен и др. газы, перерабатываемые на предприятиях в полимеры.

Сырьем для полимеров служит также каменноугольный деготь, получаемый при коксовании угля и содержащий фенол и др. компоненты.

В производстве синтетических материалов применяют также азот, кислород, воду и ряд др. широко распространенных веществ.

*Наполнители* представляют собой разнообразные неорганические или органические порошки и волокна. В виде наполнителей слоистых пластмасс широко применяют также бумагу, ткани, древесный шпон и др. листовые материалы. Наполнители не только уменьшают потребность в дорогом полимере, но и улучшают ряд свойств пластмасс – повышают теплостойкость, а волокнистые и листовые наполнители сильно повышают сопротивление растяжению и изгибу.

*Пластификаторы* – это вещества, добавляемые к полимеру для повышения его эластичности и уменьшения хрупкости. В качестве пластификаторов применяют некоторые низкомолекулярные высококипящие жидкости (глицерин, диоктилфталат и др.).

*Отвердители* вводят в состав пластмасс для ускорения их отверждения.

*Стабилизаторы* способствуют сохранению структуры и свойств пластмасс во времени, предотвращая их раннее старение.

В качестве *красителей* применяют как органические (растворимые в воде или органических растворителях), так и неорганические (минеральные) пигменты.

Для производства пористых пластмасс в полимеры вводят специальные *порообразующие* вещества (порофоры).

Основным компонентом пластмасс, в значительной мере определяющим их свойства, является связующее – *полимер*. Охарактеризуем важнейшие из них.

**Полиэтилен** получают путем полимеризации этилена. Полиэтилен – один из самых легких полимеров: его плотность 0,92-0,97 г/см<sup>3</sup>, в то же время он обладает высокой прочностью на растяжение (12-32 МПа). Однако, его термостойкость ограничена 80-90 °С., а при температуре 100-120 °С он плавится. Он хорошо противостоит действию большинства кислот, щелочей и растворителей. Из него изготавливают трубы для холодного водоснабжения и транспортирования агрессивных жидкостей, трубы для скрытой электропроводки, некоторые санитарно-технические изделия.

**Полипропилен** – близкий по свойствам к полиэтилену, но более прочный, жесткий и термостойкий (температурный диапазон 160-170 °С). Применяется для изготовления отделочных листов, пленок, труб, деталей химической аппаратуры.

**Поливинилхлорид (ПВХ)** – один из самых распространенных полимеров, применяемых в строительстве. Это прозрачный, жесткий и прочный при комнатной температуре полимер. При нагревании до 60-100 °С размягчается, а при температуре 160-200 °С – плавится. Из него получают различные изделия: линолеум, трубы, плинтусы, отделочные пленки, искусственную кожу и др. материалы.

**Полистирол** – продукт полимеризации стирола. Полистирол – прозрачный, довольно прочный, но хрупкий полимер, хорошо окрашивается и легко перерабатывается в изделия. Он водостоек, хорошо сопротивляется действию концентрированных кислот (кроме азотной и ледяной уксусной кислот), противостоит действию растворов щелочей (с концентрацией до 40%). Благодаря этим свойствам полистирольные облицовочные плитки долговечны, их применяют для облицовки стен ванных комнат, санузлов, кухонь, лабораторных помещений и др. При введении в полистирол порофоров из него получают очень распространенный теплоизоляционный материал – пенополистирол.

**Поливинилацетат (ПВА)** – полимер, получаемый полимеризацией винилацетата. Поливинилацетатные смолы бесцветны, светостойки, хорошо прилипают к поверхностям различных материалов. Поэтому их применяют для изготовления эмульсионных красок, клеев, мастик. Водные дисперсии полимера применяют для устройства бесшовных полов, а также в качестве добавок в цементные бетоны с целью увеличения их водонепроницаемости и химической стойкости.

**Полиметакрилат** – полимер, известный под названием органическое стекло. Особенность органического стекла является его исключительная прозрачность, бесцветность, способность пропускать ультрафиолетовые лучи, светостойкость и атмосферостойкость. Оргстекло пропускает 73,5 % ультрафиолетовых лучей, в то время как обычное силикатное – лишь 0,6 %. Поэтому оргстекло применяют для остекления окон больниц, витрин, теплиц, парников, фонарей производственных помещений, декоративных ограждений. Оргстекло при нагревании до температуры выше 90 °С становится эластичным и хорошо формируется, легко обрабатывается резанием, шлифовкой. Обладает высокой прочностью – до 120-140 МПа, однако легко растворяется в органических растворителях (ацетон и т.п.), а при действии огня горит ярким пламенем.

**Полиизобутилен** – продукт полимеризации изобутилена, получаемого из продуктов переработки нефти. Полимер представляет собой эластичный каучукоподобный материал, способный выдерживать относительное удлинение до разрыва 1000-2000 %. Из него изготавливают липкие ленты, линолеумные клеи, гидроизоляционные материалы, герметизирующие пленки, прокладки и мастики, в частности, для герметизации стыков стеновых панелей.

**Фенолформальдегидные** полимеры хорошо совмещаются с наполнителями – древесной стружкой, бумагой, тканью, стеклянным волокном, при этом получают пластики более прочные и менее хрупкие, чем сами полимеры. Поэтому фенолформальдегидные полимеры широко применяют в качестве связующего при изготовлении древесно-стружечных плит, бумажнослоистых пластиков, стеклопластиков и разнообразных изделий из минеральной ваты. Эти же полимеры используют для получения клеев, бакелитового лака, водостойкой фанеры.

**Кремнийорганические** полимеры выгодно сочетают лучшие свойства силикатных материалов (высокую теплостойкость – более 400 °С) и обычных синтетических полимеров (эластичность и др.).

Низкомолекулярные кремнийорганические полимеры в виде жидкостей (ГКЖ-10, ГКЖ-11, ГКЖ-94) используют в качестве водоотталкивающих фасадных красок или добавляют в бетон для придания ему гидрофобных свойств. С их использованием производится гидрофобный портландцемент.

Высокомолекулярные кремнийорганические полимеры применяют для изготовления жароупорных лаков и эмалей, слоистых волокнистых пластиков.

**Эпоксидные** полимеры (смолы) характеризуются высокой химической стойкостью. Материалы на их основе (клеи, краски, мастики, строительные растворы и бетоны) отличаются высокой прочностью и универсальной клеящей способностью к бетону, металлу, керамике, древесине, стеклу и др. Выпускают эпоксидные полимеры в виде смолообразного олигомерного продукта, для отверждения которых необходимо вводить специальные отвердители. В строительстве эпоксидные полимеры применяют для склеивания и ремонта железобетонных элементов, получения полимербетонов

### **Основные способы получения полимерных материалов**

Производство изделий из полимеров складывается из следующих операций: подготовка, дозировка компонентов и приготовление полимерной композиции.

Основными приемами переработки пластмасс являются: вальцевание, каландрирование, экструзия, прессование, вспенивание, литье, промазывание, пропитка. Полив, напыление, сварка, склеивание.

*Вальцевание* – операция, при которой пластмасса формуется в зазоре между вращающимися валками.

*Каландрирование* – процесс образования бесконечной ленты заданной толщины и ширины из размягченной полимерной смеси, однократно пропускаемой через зазор между последовательно расположенными валками. Как правило, каландрирование выполняется в комплексе с вальцеванием в одной технологической линии.

*Экструзией* называется операция, при которой изделиям из пластмасс придают определенный профиль путем продавливания нагретой массы через мундштук. Методом экструзии получают профильные (погонажные) строительные изделия, трубы, листы, пленки, линолеум, пороизол и многие другие.

*Прессованием* называют способ формования в обогреваемых гидравлических прессах. Различают формование в пресс-формах (при изготовлении изделий из пресс-порошков) и плоское прессование в многоэтажных прессах (при изготовлении листовых материалов, плит и панелей).

В пресс-формах изготавливают детали санитарно-технического и электротехнического оборудования. Оконные и дверные приборы, детали строительных машин и механизмов.

Методом плоского прессования формуют древесно-стружечные плиты, бумажные слоистые пластики, текстолиты, древесно-слоистые пластики и др.

**Вспенивание** – метод изготовления пористых звуко теплоизоляционных и упругих герметизирующих пластмасс. Пористая структура получается в результате вспенивания жидких или вязкотекучих композиций под давлением газов, выделяющихся при реакции между компонентами или при разложении специальных добавок (порофоров) от нагревания. Вспенивание может происходить в замкнутом объеме под давлением или без него, а также в открытых формах или на поверхности конструкции (например, при нанесении пенополиуретана).

**Промазыванием** называется операция, при которой пластическая масса в виде раствора, дисперсии или расплава наносится на основание - бумагу, ткань, войлок. После разравнивания для лучшего сцепления с основанием необходима термообработка. Таким способом получают промазанный линолеум, линкруст и др. материалы.

**Пропитка** состоит в окунании основы (ткани, бумаги, волокон) в пропиточный раствор с последующей сушкой. Методом пропитки получают клеящие пленки (бакелитовая), декоративные пленки, а также полотна на основе стеклянных, асбестовых и хлопчатобумажных тканей, из которых в последующем получают текстолиты.

**Полив** – это процесс, при котором пластическая масса распределяется тонким слоем на металлической ленте или барабане и после затвердевания снимается в виде тонкой пленки. Часто этот процесс связан с испарением растворителей. Таким способом получают, например, ацетилцеллюлозные прозрачные пленки (целлофан).

**Литье.** Различают два вида литья: простое в формы и под давлением. При простом литье жидкая композиция или расплав заливаются в формы и отвердевают в результате полимеризации или вследствие охлаждения. Этим способом изготовляют изделия из реактопластов и термопластов: плитки для пола, изделия из органического стекла и др.

Литье под давлением применяют при изготовлении изделий из термопластов. Полимер нагревается до вязкотекучего состояния и плунжером впрыскивается в разъемную форму, охлаждаемую водой. Таким способом изготовляют изделия из полистирола, эфиров целлюлозы, полиэтилена, полиамидов.

**Сварка и склеивание** служат для соединения заготовок из пластмасс для получения изделий заданной формы. Сварку применяют для соединения термопластичных пластмасс – полиэтилена, поливинилхлорида, полиизобутилена и др. Сварка бывает воздушная (нагретым воздухом), высокочастотная, ультразвуковая, контактная.

Склеивание применяют для соединения как термопластичных, так и терморезистивных пластмасс. В простейшем случае клеем для термопластичных пластмасс может служить органический растворитель, вызывающий набухание стыкуемых кромок и их слипание при сжатии. Чаще используют специальные клеи, которые бывают горячего и холодного отверждения.

## 7. ЛАКОКРАСОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Лакокрасочные материалы - вязкие жидкости, которые после нанесения превращаются в твердую пленку на поверхности окрашиваемого материала.

Лакокрасочные материалы (краски, грунтовки и шпатлевки) - сложные многокомпонентные системы. Они состоят из связующего вещества, пигмента, а в грунтовках и шпатлевках - наполнителя. До рабочей консистенции лакокрасочные материалы доводят растворителями или разбавителями. В лакокрасочные материалы вводят различные добавки, обеспечивающие необходимые технологические и эксплуатационные свойства: отвердители и ускорители, загустители, поверхностно-активные добавки, стабилизирующие вещества и т. п.

### **Связующие, растворители и разбавители.**

Пленкообразующие вещества.

Минеральные вяжущие - известь, жидкое стекло, цемент.

Клеи. Чаще других используют близкие по составу водорастворимые эфиры целлюлозы.

Водорастворимые эфиры целлюлозы (метилцеллюлоза - МЦ; карбоксиметилцеллюлоза - КМЦ и др.) используют для внутренних работ, так как атмосферостойкость их невысока. Они образуют вязкие растворы, а после высыхания - пленку, обладающую не очень высокой адгезией.

Нитроцеллюлоза - сложный эфир целлюлозы, получаемый при обработке ее азотной кислотой. Нитроцеллюлоза хорошо растворяется в ацетоне и других полярных растворителях и не растворима в углеводородных растворителях. Стойкость нитроцеллюлозы в кислых и щелочных средах невысокая. Теплостойкость 50...60 °С; при более высоких температурах возгорается. Для улучшения свойств нитроцеллюлозу совмещают с алкидными смолами.

Олифы - традиционные пленкообразующие вещества на основе жидких растительных масел или алкидных (глифталевых или пентафталевых полимеров), модифицированных растительными маслами. Для олиф используют ненасыщенные масла, т.е. имеющие двойные связи в углеводородной цепи. Благодаря двойным связям олифы могут отвердевать (а не высыхать!) за счет окислительной полимеризации, т.е. сшивки кислородом воздуха. Образующиеся эластичные пленки со временем, особенно под действием ультрафиолетового излучения, становятся хрупкими и растрескиваются.

По составу и технологии приготовления олифы могут быть: натуральные, олифы-оксоль и алкидные.

Олифу-оксоль (полунатуральную олифу) получают более глубокой окислительной полимеризацией растительных масел до получения вязкой жидкости. Ее растворяют уайт-спиритом в соотношении 1:1. Олифу-оксоль получают как из льняного или конопляного масла (марка В), так и из подсолнечного, соевого (марки ПВ и СМ) и др.

Краски на олифе марки «В» используют как для наружных, так и для внутренних работ; краски на олифе марки «ПВ» применяют только для внутренних работ. Алкидные олифы представляют собой растворы низковязких жирных алкидных смол (60...65% масла) в уайт-спирите. Их выпускают двух типов: глифталевая (ГФ) и пентафталевая (ПФ). Получают их путем олигомеризации глицерина (или пентаэритрита), фталевого ангидрида и ненасыщенных растительных масел.

По атмосферостойкости алкидная олифа почти не уступает натуральной, а по физико-механическим показателям пленки во многом превосходит ее. Синтетические полимерные связующие - эпоксидные, полиэфирные, полиуретановые. Лучшие краски и лаки получают на полиуретановых связующих путем регулирования их состава.

Перхлорвиниловые полимеры, продукт ограниченного хлорирования поливинилхлорида - ПВХ. Перхлорвинил содержит 62,5...64,5 % связанного хлора. В отличие от ПВХ перхлорвинил хорошо растворяется во многих органических растворителях (хлорсодержащих, ароматических, ацетоне). Пленки, получаемые из раствора перхлорвинила, атмосферостойкие, теплостойкие (до 100 °С) и морозостойкие (до -45 °С). Перхлорвинил широко используют для получения фасадных красок.

Полиакрилаты - группа полимеров сложных эфиров акриловой кислоты. В зависимости от состава полиакрилаты могут иметь вид от клейких каучукоподобных продуктов до твердых стеклообразных полимеров. Полиакрилаты используют в производстве лакокрасочных материалов высокого качества.

Водные дисперсии полимеров представляют собой мельчайшие частицы полимера (1...100 мкм), взвешенные в воде. Концентрация полимера 40...50 %. От слипания частицы полимера защищены тонкой пленкой эмульгатора (стабилизирующего поверхностно-активного вещества) ПАВ.

Растворители - летучие жидкости, образующие со связующими истинные растворы, стабильные во времени. Разбавители - хорошо совмещающиеся с красочным составом жидкости, образующие с ним устойчивые смеси (суспензии или эмульсии).

От растворителей и разбавителей требуется химическая инертность к связующему и другим компонентам лакокрасочного материала. В некоторых случаях, наоборот, растворителем выбирают вещество, входящее при твердении в состав лаковой пленки (например, стирол в лаках на основе ненасыщенных полиэфиров).

Органические растворители токсичны, поэтому при работе с ними необходимо соблюдать меры безопасности: проветривать помещение и одевать перчатки, респираторы и противогазы. По степени повышения токсичности растворители располагаются в такой последовательности: скипидар > уайт-спирит > этилацетат > ацетон > бензол > толуол > ксилол > дихлорэтан.

Недостаток органических растворителей - горючесть. Их пары при определенных концентрациях с воздухом образуют взрывоопасные смеси. В помещениях, где хранят материалы с растворителями или работают с ними, необходимо строго соблюдать противопожарные правила.

Спирты - кислородсодержащие растворители. Используются низшие одноатомные спирты: бутиловый, этиловый и метиловый (метанол). Из-за высокой токсичности применение последнего ограничено.

Сложные и простые эфиры - кислородсодержащие растворители. Чаще всего используют эфиры низших спиртов и уксусной кислоты (ацетаты): этилацетат ( $T_{\text{кип}} = 75\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и бутилацетат ( $T_{\text{кип}} = 125\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) - прозрачные жидкости с фруктовым запахом. Они хорошо растворяют большинство синтетических эмалей.

Правильный выбор вида и количества растворителя - во многом определяет качество лакокрасочного покрытия. Как правило, для конкретных материалов применяют не один растворитель, а специально подобранную смесь растворителей.

Пожароопасность и токсичность органических растворителей, присутствие которых в лакокрасочном материале необходимо только на стадии нанесения, делает использование материалов с такими растворителями крайне нерациональным. Лучший растворитель - вода. Но и у нее есть недостатки: с ней нельзя работать при температуре ниже 0 °С и она не способна растворять большинство масляных красок и эмалей. Последний недостаток преодолим путем замены растворов полимеров на их водные дисперсии, в которых вода является не растворителем, а разбавителем.

Современные тенденции развития лакокрасочной промышленности связаны именно с разработкой материалов, не содержащих органических растворителей, например, водоразбавляемых или порошковых.

### **Пигменты и наполнители.**

Пигменты. Качество пигментов характеризуется комплексом технологических и эксплуатационных свойств.

Красящая способность пигмента - способность передавать свой цвет при смешивании с белым пигментом. Чем больше красящая способность, тем меньше требуется пигмента для получения окраски нужного тона, и он может быть частично заменен наполнителем.

Кроющая способность (укрывистость) - способность пигмента, перекрывать цвет подложки. Это свойство обусловлено рассеянием света частицами пигмента и зависит от разности показателей светопреломления пигмента ( $n_{\text{пиг}}$ ) и пленкообразующего вещества ( $n_{\text{пл}}$ ). Чем она больше, тем больше укрывистость пигмента. Поскольку у органических пленкообразующих (олиф, полимеров)  $n < 1,5 \dots 1,6$ , то укрывистыми будут пигменты с  $n > 1,6$ . Укрывистость зависит также от дисперсности пигмента. Она оценивается расходом пигмента (г) на  $1 \text{ м}^2$  окрашиваемой поверхности, необходимым для закрытия контрастной окраски этой поверхности.

Безвредность пигментов. Эта проблема связана с тем, что некоторые пигменты содержат ядовитые вещества: соединения свинца, хрома и других тяжелых металлов; это необходимо учитывать при окраске интерьеров.

Природные минеральные пигменты. Их получают механическим обогащением, помолом или отмучиванием окрашенных горных пород (главным образом, глин). Эти пигменты имеют приглушенную окраску, но свето- и атмосферостойкость их очень высока.

Охра (желтый цвет), сурик железный (кирпично-красный цвет), мумия (коричневато-красный), умбра (коричневый, после прокаливания - красно-коричневый), сиена (темно-желтый, после прокаливания - каштановый).

Черные пигменты - перекись марганца ( $\text{MnO}_2$ ) - марганцевая руда пиролюзит и графит - модификация чистого углерода - дают красивую гамму тонов от серебристо-серого до черного; исключительно термо-, химически- и атмосферостойкий пигмент.

Белый пигмент - мел ( $\text{CaCO}_3$ ) применяется как наполнитель в шпатлевках.

Искусственные неорганические пигменты получают химической обработкой минерального сырья. Свето- и атмосферостойкость их ниже, чем у природных.

Белила титановые ( $\text{TiO}_2$ ) - диоксид титана самый распространенный белый пигмент высокого качества ( $n = 2,72$ ; укрывистость -  $15 \dots 25 \text{ г/м}^2$ ); свето- и атмосферостоек; применяется для всех видов красок.

Пигменты на основе оксидов железа: желтый, железистоокисный, красный железистоокисный (редоксайд). Они отличаются высокой укрывистостью, атмосферо- и светостойкостью.

Свинцовые и цинковые пигменты: крон свинцовый (лимонный, желтый и оранжевый), крон цинковый (лимонный и желтый) и сурик свинцовый (оранжево-красный). Эти пигменты (кроме сурика) менее стойки, чем железистоокисные, и ядовиты (в особенности свинцовые).

Железная лазурь (милори) - ферроцианид железа и калия - пигмент синего цвета, применяется в смеси с белыми и желтыми (для получения зеленого цвета) пигментами; не щелочестоек.

Ультрамарин - алюмосиликат натрия, содержащий серу; щелоче- и светостоек; в кислых средах обесцвечивается.

Кобальт синий - пигмент очень высокого качества; из-за высокой стоимости применяется редко, как краска для керамики.

Оксид хрома ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), оливково-зеленого цвета, обладающий высокой свето- и атмосферостойкостью. Его применяют в смеси с наполнителями; используется для приготовления всех видов красок и эмалей.

Медянка (основная уксуснокислая медь) - интенсивно окрашенный зеленый пигмент; применяется в смеси с титановыми белилами для получения светло-зеленых красок. Недопустимо смешение с пигментами, содержащими цинк или сернистые соли (например, цинковыми белилами и литопоном). Светостойкость медянки ниже, чем у оксида хрома.

Зеленые пигменты можно получить смешиванием синих пигментов с желтыми; например, зелень цинковую - смесь цинкового крона с лазурью, применяют в красках для деревянных поверхностей; из-за низкой щелочестойкости не рекомендуется для окраски бетонных и оштукатуренных поверхностей и полностью не пригодна для известковых и силикатных красок.

Для красок используют газовую сажу, имеющую минимальное количество примесей. Сажа абсолютно свето- и химически стойка. Кроме сажи, особенно для цветных штукатурок, применяется щелочестойкий пигмент железная черная (закись - окись железа -  $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

Металлические пигменты - это тонкодисперсные металлические порошки (алюминиевая, бронзовая пудра) с защитным покрытием; используют для защитных окрасок металлоконструкций и как второй пигмент в красках типа - металлик. В водных красках не применяется.

Органические пигменты - это органические красители, переведенные в нерастворимую форму. От неорганических они отличаются большей интенсивностью окраски, разнообразием и чистотой тонов, но меньшей свето-, атмосферо- и химической стойкостью. Наибольшее распространение получили азокпигменты, фталоцианиновые и полициклические пигменты.

Азокпигменты имеют непрерывную гамму цветов от зеленовато-желтого до бордо. Они устойчивы к действию щелочей.

Фталоцианиновые пигменты имеют синий, голубой и зеленый цвета. Это одна из самых устойчивых к ультрафиолетовому излучению, нагреву и химическим воздействиям группа органических пигментов, используемых для строительных целей.

Наполнители - минеральные порошки, нерастворимые в связующем, более дешевые и доступные вещества. Их используют для экономии дорогостоящих пигментов, а также для улучшения малярно-технических и эксплуатационных свойств покрытий. В большом количестве их используют в шпатлевках. В зависимости от способа получения различают наполнители:

природно-дисперсные наполнители: каолин, мел, бентонит, диатомит;

механически диспергированные: асбест хризотилковый пылеватый, барит, тальк, слюда, мусковит, гипс;

синтетические: аэросил; белая сажа; бланфикс - синтетический барит; окись и гидроокись алюминия и др.

Совместное применение пигментов и наполнителей с частицами разной формы и размера позволяет получить более плотную упаковку, благодаря чему уменьшается расход связующего и, как следствие, повышается атмосферостойкость и

твердость пленки. Так, у красок на титановых белилах ( $\text{TiO}_2$ ) атмосферостойкость покрытия резко возрастает при введении 25% слюды или 35...50% талька (от массы  $\text{TiO}_2$ ).

Наполнители с высокой маслосемкостью (аэросил, каолин, мел и т. п.) снижают блеск эмалей, делая поверхность матовой. С помощью подбора наполнителей могут быть решены и другие задачи.

### **Лаки и краски.**

Лаки - растворы пленкообразующих веществ в органических растворителях, образующих твердые прозрачные пленки, прочно удерживающиеся на подложке.

Лаки можно разделить на две группы:

высыхающие, образующие растворимые пленки;

твердеющие, образующие нерастворимые пленки. К высыхающим лакам относятся шеллачные, битумные, нитроцеллюлозные.

Шеллачные - классические мебельные лаки, получаемые растворением природной смолы шеллака в спирте. Водостойкость этих лаков низкая.

Битумные лаки получают растворением битумов, модифицированных канифолью (для повышения адгезионных свойств), в сольвенте или уайт-спирите. Битумные лаки характеризуются хорошей атмосферостойкостью, водо- и кислотостойкостью, электроизоляционными свойствами. Цвет лаковой пленки - темно-коричневый; в толстых слоях - черный. Применяют битумные лаки для антикоррозионных покрытий металлоконструкций.

Нитроцеллюлозные лаки - растворы нитроцеллюлозы (коллоксилина) в смеси растворителей (ацетон + сложный эфир + ароматический растворитель). Нитролаки быстро высыхают (15...30 мин) при комнатной температуре. Водостойкость лаков не очень высока, но они устойчивы к бензину и минеральным маслам. При совмещении нитроцеллюлозы с алкидными смолами получают лак твердеющего типа с повышенной водостойкостью. Нитролаки вытесняются лаками на основе синтетических полимеров.

К твердеющим лакам, относятся все лаки на основе реакционноспособных олигомеров (смол): алкидных, полиуретановых, полиэфирных, эпоксидных и т. п.

Алкидные лаки - самый распространенный вид лаков, используемый в основном для получения эмалевых красок. Алкидные лаки твердеют необратимо за счет сшивки кислородом воздуха. Отверждение длится в течение 24...48 ч при 18...20°C.

Мочевино- и меламиноалкидные лаки дают стойкие и твердые пленки при горячей сушке или при введении отвердителей. Применяют их для покрытия по металлу и древесине и для получения эмалей.

Эпоксидные лаки - двухкомпонентные материалы, состоящие из эпоксидного олигомера, разжиженного растворителем и аминного отвердителя. После смешивания компонентов лак твердеет через 6...12 часов. Покрытия из эпоксидных лаков характеризуются высокой химической стойкостью, твердостью и водонепроницаемостью. В твердом состоянии эпоксидные лаки биологически инертны.

Полиуретановые лаки состоят из реакционноспособного олигомера и растворителя. Отверждение этих лаков идет за счет испарения растворителя и последующей сшивки молекул олигомера влагой воздуха. Эти лаки отличаются очень высокими физико-механическими показателями и химической стойкостью.

Краски на минеральных связующих. Известковые краски - простейший и самый дешевый вид красок, в котором пленкообразующий компонент, наполнитель и часто единственный пигмент - одно вещество - гашеная известь. Для приготовления

известковой краски берут 1 масс. ч. извести и 2 масс. ч. воды, перемешивают и процеживают сквозь мелкое сито; краска готова. Для улучшения укрывистости добавляют 0,3...0,6 масс. ч. мела, а для придания желаемого оттенка - щелочестойкий пигмент.

Известковые краски не водостойки. Их применяют для наружной окраски кирпичных, бетонных и оштукатуренных стен. Срок их службы невелик (1...3 года), но из-за низкой стоимости и простоты применения их использование рационально. Для повышения долговечности рекомендуется эмульгировать в краску олифу (около 5% от массы извести). Фреска (итал. fresco - свежий) - роспись водными суспензиями пигментов (с небольшим количеством животного клея или яичного белка) по свежештукатуренной известковой штукатурке. При этом пигмент внедряется в верхний слой известкового раствора и после карбонизации последнего прочно закрепляется на поверхности штукатурки. Долговечность фресок общеизвестна благодаря старинным росписям, сохранившимся до нашего времени.

Силикатные краски получают, используя в качестве вяжущего жидкое калийное стекло - раствор  $K_2O \cdot nSiO_2$  в воде. Жидкое натриевое стекло для красок не применяется, так как оно дает выцветы. Характер связующего требует от пигментов высокой щелочестойкости.

Силикатные краски выпускают в виде сухой пигментной смеси, в которой добавляют необходимое количество жидкого калийного стекла. Примерный состав силикатной краски (в масс. ч.): сухая пигментная смесь - 1; раствор калийного стекла плотностью 1,15 г/см<sup>3</sup> - 1,5.

После смешивания компонентов краску необходимо сразу же использовать.

Силикатные краски образуют прочное, атмосферостойкое покрытие, «сросшееся» с подложкой, так как со многими силикатными материалами (например, с бетоном, кирпичом) образуют прочные воздухо- и паропроницаемые покрытия. На каменных материалах и древесине они могут давать долговечные покрытия. Эти краски не рекомендуются применять для металлоконструкций.

Водорастворимые клеевые краски представляют собой суспензии пигментов и наполнителей в водных растворах органических клеев (казеина, животных клеев, эфиров целлюлозы, поливинилового спирта и др.). Клеевые краски - один из самых старых видов красок.

Благодаря паро- и газопроницаемости такие покрытия обеспечивают влаго- и газообмен в помещении, т. е. создают нормальные условия обитания в нем. Эти же свойства обеспечивают долговечность такой окраски. Для фасадов клеевые краски практически не применяют.

Масляные краски. К этой группе красок относят краски, в которых связующим служат олифы. В зависимости от типа использованной олифы краски могут быть для внутренних и наружных работ.

Производят краски густотертые - пигмент, перетертый с небольшим количеством олифы и готовые к употреблению (жидкотертые). Густотертые краски доводят до малярной консистенции, количество олифы 20...40% от массы густотертой краски.

Олифа в масляных красках играет также роль разбавителя, т.е. регулятора реологических свойств краски. Масляные краски на воздухе не высыхают, а твердеют в результате взаимодействия олифы с кислородом воздуха. Ускоряют твердение олифы с помощью веществ-сиккативов. Образующаяся пленка масляной краски

гладкая и блестящая, стойкая к воде и моющим средствам, водо- и паронепроницаема.

Расход масляной краски зависит от укрывистости пигмента. Так, укрывистость готовой к употреблению охры – 180 г/м<sup>2</sup>, а железного сурика – всего 35 г/м<sup>2</sup>.

Масляные краски применяют для защиты стальных конструкций от коррозии, для предохранения деревянных конструкций от увлажнения.

Эмали - краски, получаемые введением пигментов и наполнителей в лаки. Четкой границы между масляными красками и эмалями нет.

Глифталевые краски (марка ГФ) являются промежуточным звеном между масляными красками и эмалями. Глифталевое связующее представляет собой полимер глицерина и фталевого ангидрида, модифицированный ненасыщенными растительными маслами. Глифталевые краски с успехом заменяют масляные для наружной и внутренней отделки.

Пентафталевые краски (марка ПФ) аналогичны глифталевым, но при синтезе связующего вместо глицерина используют пентаэритрит. Свойства и области применения пентафталевых красок аналогичны глифталевым.

Нитроцеллюлозные эмали (марки НЦ) - быстросохнущие краски, применяемые для окраски металлоконструкций, реже дерева.

Нитроглифталевые эмали (марка НГ) - краски высокого качества, объединившие в себе достоинства глифталевых и нитроцеллюлозных красок.

Перхлорвиниловые краски (марка ПХВ) получают растворением перхлорвинилового полимера в органических растворителях и введением в образовавшийся лак пигментов. Эти краски применяют для наружных работ по штукатурке, бетону, кирпичу при температуре до -16° С. Перхлорвиниловые краски дают насыщенные тона, при этом сохраняется фактура поверхности окрашиваемого материала. Высокая атмосферостойкость делает окраску долговечной (они служат 10...15 лет). Окрашенные фасады можно мыть водой с моющими средствами.

Перхлорвиниловые покрытия практически непроницаемы по отношению к капельножидкой воде, но, в то же время, пропускают водяные пары. Что способствует долговечности красочного слоя.

Вододисперсионные краски, в которые кроме пленкообразующего полимера и пигмента входят пластификаторы, эмульгаторы (соли жирных кислот, поливиниловый спирт и т. п.), диспергаторы пигментов и наполнителей, загустители (водорастворимые эфиры целлюлозы), структурирующие добавки (бентонит и т. п.), консерванты, пеногасители и др. В вододисперсионных красках доля пигмента и наполнителя по отношению к пленкообразующему примерно в 1,5 раза ниже, чем в эмалях (т.е. смачиваемость водой), отсутствие водорастворимых примесей и др.

Вододисперсионные краски наносят на поверхность распылением, валиком или кистью.

Использовать вододисперсионные краски можно при температурах не ниже 5 °С.

Для приготовления вододисперсионных красок используют пленкообразующие трех типов:

сополимеры акрилатов - полиакрилатные краски

сополимеры на основе винилацетата - поливинилацетатные краски;

сополимеры стирола с бутадиеном - бутадиенстирольные краски.

В меньшей степени используются дисперсии на основе сополимеров винилхлорида, алкидных и эпоксидных смол. Наиболее перспективны полиакрилатные

краски, используемые как, для внутренних, так и для наружных работ. Вододисперсионные краски нельзя использовать для окраски металлоконструкций с целью защиты от коррозии, так как из-за паропроницаемости пленки из этих красок коррозия возникнет неизбежно.

Порошковые краски - тонкодисперсные пигментированные композиции на основе полимеров для получения защитно-декоративных покрытий методом высокотемпературного напыления. В качестве пленкообразующего компонента применяют термопластичные полимеры (полиакрилаты, насыщенные полиэфир, ПВХ и др.) и термореактивные олигомеры (полиэпоксиды, полиуретаны и др.).

### **Грунтовки и шпатлевки.**

Грунтовка - материал, образующий нижний слой лакокрасочного покрытия и модифицирующий поверхность подложки с целью обеспечения прочного сцепления лакокрасочного покрытия с подложкой. По виду связующего грунтовки делятся на: клеевые, масляные и синтетические (алкидные, акрилатные, полиэфирные и т. п.). Для вододисперсионных красок применяют вододисперсионные грунтовки, часто в виде разбавленной водой дисперсии полимера. Обычно грунтовки менее вязкие, чем краски и эмали; содержание пигмента в них 50...80 % от массы связующего (в красках 100...120 %).

В грунтовках по металлу используют пигменты и наполнители, а также специальные добавки, предотвращающие коррозию. Например, фосфатирующие грунтовки и грунтовки-преобразователи ржавчины. Под окраску водорастворимыми красками (например, клеевыми) оштукатуренные и бетонные поверхности обрабатывают специальными грунтовками на основе железного купороса, алюмокалиевых квасцов и т. п. Такие грунтовки антисептируют подложку и уплотняют ее, закрывая поры, и предохраняя красочный слой от появления выцветов. С этой же целью возможно грунтование олифой или жидкой масляной краской.

Шпатлевки - пастообразные лакокрасочные материалы, применяемые для выравнивания поверхности перед нанесением на нее красок. Пигмент в них не обязателен. Количество минеральной части по отношению к связующему в шпатлевках 200...300 %. Используют шпатлевки с различным связующим: лаковые, масляные, клеевые и вододисперсионные.

Вязкость шпатлевок значительно выше, чем красок. Они наносятся шпателем тонким слоем (до 3,0 мм) и после высыхания или затвердевания выравниваются абразивным материалом (шкуркой, куском пемзы). Разбавленные растворителем шпатлевки можно наносить распылением. В случае больших неровностей шпатлевка наносится несколько раз.

## **8. АКУСТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ**

Совокупность многочисленных звуков, быстро меняющихся по частоте и силе, принято называть шумом. Шум в помещениях относится к категории санитарно-гигиенических вредностей, так как длительное его воздействие вредно для здоровья человека и понижает его работоспособность. Различают шумы воздушные и ударные. Воздушный шум возникает и распространяется в воздушной среде. Звуковые волны воздействуют на ограждающие конструкции зданий, приводят их в колебательное движение и тем самым передают звук в соседние помещения, отражаются и частично поглощаются ограждениями. Ударный шум возникает и передается в

ограждающих конструкциях при ударных, вибрационных и других воздействиях непосредственно на конструкцию.

Вредное действие шумов стремятся уменьшить путем разработки рациональных планировочных и конструктивных решений зданий, осуществляемых с применением акустических материалов и изделий.

Акустическими называют материалы, способные поглощать звуковую энергию, а также снижать уровень силы и громкости проходящих через них звуков, возникающих как в воздухе, так и в материале ограждения. По назначению акустические материалы разделяют на звукоизоляционные и звукопоглощающие.

Звукоизоляционными называют материалы, применяемые в основном для ослабления ударного шума. Звукопоглощающие материалы обладают свойством преимущественно поглощать энергию падающих на них звуковых волн (воздушные шумы).

Звукоизоляционная способность материала в ограждении оценивается по разности уровней звука с обеих сторон ограждения и выражается в децибелах. Предельные (максимально допустимые) уровни шума устанавливаются в зависимости от назначения помещения и частотной характеристики звука. Нормальное ухо человека воспринимает звуковые колебания частотой 16... 20 000 Гц, причем особо чувствительными являются частоты 1500...3000 Гц. Звукоизоляционная способность ограждения прямо пропорциональна десятичному логарифму его массы. Однако увеличение массы конструкций делает их слишком тяжелыми, громоздкими и дорогими. Гораздо эффективнее конструкции, изготовленные из пористых материалов, или многослойные конструкции, имеющие воздушные прослойки. В этом случае используются упругие свойства воздуха, который гасит звуковые колебания и прерывает распространение звука. По этой же причине и звукопоглощающие материалы стремятся изготавливать высокопористыми (пористость 40... 90 %), т. е. как и теплоизоляционные материалы. Однако в отличие от теплоизоляционных материалов, где выгодны замкнутые воздушные поры, эффективность звукопоглощающих материалов возрастает при наличии сквозных пор или специально предусмотренной перфорации.

Акустические материалы должны сохранять свои свойства в процессе длительной эксплуатации и вместе с тем удовлетворять общим строительно-техническим требованиям по огнестойкости, био- и влагостойкости, механической прочности и экономичности.

Звукопоглощающие материалы снижают энергию падающих на них звуковых колебаний и поэтому служат для борьбы с воздушным шумом. При применении для акустической отделки внутри помещений они выполняют также декоративную роль (декоративно-акустические материалы).

Основной акустической характеристикой звукопоглощающих материалов является коэффициент звукопоглощения  $\alpha$ , равный отношению количества энергии звуковых колебаний, поглощенной материалом или конструкцией, к общему количеству звуковой энергии, падающей на изолируемую поверхность в единицу времени.

Все строительные материалы обладают в той или иной мере звукопоглощением. К звукопоглощающим материалам принято относить только те, которые имеют коэффициент звукопоглощения на средних частотах больше 0,2. Эти материалы характеризуются высокой, преимущественно открытой, пористостью. Для усиления поглощения звуковой энергии звукопоглощающие материалы часто дополнительно перфорируют. Перфорация облегчает доступ звуковых волн к материалу и в зависи-

мости от размера и формы отверстий, их наклона и глубины, а также процента перфорации (отношение площади, занимаемой отверстиями, к общей площади изделия) увеличивает коэффициент звукопоглощения на 10...20 % и более. Для этой же цели фактуру поверхности изделий делают трещиноватой, бороздчатой или рельефной и окрашивают эмульсионными или клеевыми красками, образующими пористое покрытие.

Звукопоглощающие плиты целесообразно располагать в конструкции с воздушным зазором — «на отnose». При этом используются упругие свойства воздуха, что также увеличивает звукопоглощение конструкции.

Звукопоглощающие материалы применяют в виде однослойного однородного пористого материала с офактуренной поверхностью, двух- и многослойных пористых материалов с жестким перфорированным покрытием, а также в виде штучных одно- и многослойных изделий разнообразных размеров и формы.

Однослойные пористые звукопоглощающие материалы и изделия могут иметь волокнистую, конгломератную и ячеистую структуру. Из звукопоглощающих материалов с волокнистой структурой наибольшее значение имеют минераловатные и древесноволокнистые плиты.

Минераловатные плиты изготавливают из минерального, в том числе стеклянного или асбестового, волокна на синтетическом или битумном связующем. Эти плиты отличаются от теплоизоляционных более жестким скелетом, сквозной пористостью и внешней отделкой. Эффективными отделочными звукопоглощающими материалами на основе минеральных волокон являются плиты «акмигран» и «акминит». Для производства «акмиграна» применяют минеральную или стеклянную гранулированную вату и связующее, состоящее из крахмала, карбоксилцеллюлозы и бентонита. Из приготовленной смеси связующего и гранул ваты формируют плиты толщиной 20 мм, которые после сушки подвергают отделке (их калибруют, шлифуют и окрашивают). Лицевая поверхность плит имеет «трещиноватую» фактуру. Плиты «акминит» имеют несколько измененный состав (в частности, вместо бентонита используют каолин), а формируют их путем отливки в формах. Коэффициент звукопоглощения обоих видов плит в среднем и высоком диапазоне частот составляет 0,8...0,9. Плиты предназначены для акустической отделки потолков и верхней части стен общественных и административных зданий с относительной влажностью воздуха не более 75 %.

Для звукопоглощающих облицовок используют пористые (мягкие) древесноволокнистые плиты с плотностью 200...300 кг/м<sup>3</sup>. Плиты перфорируют обычно на 2/3 толщины круглыми отверстиями или пазами и окрашивают клеевой краской. К материалам с конгломератной структурой относят акустические бетоны и растворы в виде плит, блоков, изготавливаемые на пористых заполнителях (вспученные перлит и вермикулит, легкие виды керамзита, природной или шлаковой пемзы) и белом, цветном или обычном портландцементе.

Среди материалов с ячеистой структурой наибольшее распространение получили плиты и блоки из ячеистых бетонов, пеностекла и поропласты (ячеистые пластмассы, содержащие сообщающиеся между собой поры).

Звукопоглощающие изделия из пористых материалов с перфорированным покрытием представляют собой пористый материал плотностью не более 100...140 кг/м<sup>3</sup>. Изготавливают их в виде минераловатных плит, рулонов, акустических бетонных плит или полиуретанового поропласта. С внешней стороны пористый материал закрывают перфорированным экраном, который изготавливают из слоистого пластика, дюра-

люминия, оцинкованной листовой стали, асбестоцементных листов, гипсовых акустических плит и т.д. Такие конструкции применяют для акустической отделки потолков и стен в общественных и культурно-бытовых зданиях.

Наибольший эффект звукопоглощения достигается при расположении звукопоглотителя в непосредственной близости от источника звука. В этом случае часть звуковой энергии гасится до того, как она проникает в помещение. Поэтому в общественных и особенно в промышленных зданиях большое практическое значение имеют штучные звукопоглотители в виде отдельных щитов, кубов, призм., конусов, шаров, подвешиваемых к потолкам шумных помещений или устанавливаемых на полу вблизи источника звука (станка, механизма и т.д.). Стенки штучных поглотителей имеют перфорацию, а полости между ними заполнены или облицованы изнутри пористыми материалами.

Высокого звукопоглощения при низких частотах достигают применением резонирующих панелей. Такие панели состоят из каркаса, на котором крепится мембрана из листов фанеры, жестких древесно-волоконистых плит или плотной ткани типа клеенки. Панели монтируют на потолке и стенах с определенным откосом от ограждающей конструкции. Эффект звукопоглощения обуславливается активным сопротивлением системы, совершающей вынужденные колебания под действием падающей звуковой волны.

Акустические материалы являются родственными по отношению к теплоизоляционным. И тем и другим материалам необходима высокая пористость. Однако в связи с тем, что природа воздействия теплового и звукового потока различна, характер оптимальной структуры у них различается. Так, наиболее эффективными теплоизоляционными материалами являются те, которые обладают замкнутой мелкопористой структурой, исключающей конвекцию воздуха. Акустические, в частности звукопоглощающие, материалы должны иметь открытую пористую структуру, способную поглощать звуковую энергию. Для усиления этого эффекта поверхность изделий дополнительно перфорируют или же придают ей рельефный характер.

В зависимости от источника звуковых волн материалы подразделяют на звукопоглощающие, препятствующие отражению и наложению шумового звука, и звукоизоляционные, исключающие прохождение и распространение ударного звука по строительным конструкциям.

Таким образом, *основными показателями*, характеризующими эффективность материалов, являются: для звукопоглощающих — открытая пористость, для звукоизоляционных — низкий динамический модуль упругости.

*Звукопоглощающие* материалы должны обладать большой пористостью и декоративностью, малой гигроскопичностью, огне- и биостойкостью.

Предельно допустимый уровень шума (ПДУ) для производственных помещений составляет 80...85 дБ, для административных — до 51 дБ. За единицу звукопоглощения условно принимают звукопоглощение 1 м<sup>2</sup> открытого окна. Для эффективных материалов коэффициент звукопоглощения, т.е. отношение поглощенной энергии звука к энергии падающего звука, не должен быть меньше 0,4 при частоте 1000 Гц. С этой целью используют материалы пористой, волокнистой, ячеистой и смешанной структуры. К ним относятся гипсовые плиты с рельефным рисунком, гипсокартонные и асбестоцементные многослойные перфорированные плиты, минераловатные на крахмальном связующем («Акминит», «Акмигран») с шероховатой декоративной поверхностью и перфорированные.

Акустические мягкие, полужесткие, жесткие плиты (стекло-ватные, минераловатные или с использованием супертонкого базальтового волокна на полимерном связующем) выпускают с облицовкой листовыми перфорированными материалами: гипсовыми, асбестоцементными, слоистым пластиком, алюминием, сталью. Площадь перфорации составляет 15...20 % . Для повышения гигиеничности и улучшения сцепления звукопоглощающего слоя с лицевым экраном между ними прокладывают слой из редкой ткани. Акустические панели на основе минеральной или стеклянной ваты покрывают специальной полиэтиленовой пленкой или стеклотканью. Древесноволокнистые акустические двухслойные плиты выполняют из мягкой и жесткой ДВП с перфорированной лицевой поверхностью. Для повышения огнестойкости их покрывают огнезащитными красками.

К звукопоглощающим изделиям полной заводской готовности также относятся:

- плиты звукопоглощающие ячеистобетонные плотностью до  $350 \text{ кг/м}^3$  с пористой структурой и неглубокой перфорацией цветного лицевого слоя;
- блоки керамзитобетонные мелкозернистые звукопоглощающие;
- плиты перлитовые звукопоглощающие на жидком стекле или синтетическом связующем плотностью  $250...350 \text{ кг/м}^3$ ;
- плиты поливинилхлоридные полужесткие со средне- и мелкопористой структурой плотностью  $100...120 \text{ кг/м}^3$ .

Наибольший эффект достигается при полном покрытии потолка звукопоглощающими материалами. Если такой возможности нет, то их располагают ближе к стенам, где энергетическая плотность звука наибольшая.

Кроме штучных материалов, для обеспечения звукопоглощения используют монолитные покрытия стен и потолков, выполняемые из акустических растворов, и бетон на пористых заполнителях и декоративных цементах. Как правило, эти материалы представляют собой сухие смеси, затворяемые водой непосредственно на строительной площадке.

*Звукоизоляционные* материалы предотвращают распространение и проникновение ударного звука. Они представляют собой пористые прокладочные материалы с небольшим модулем упругости, обуславливающим малую скорость распространения звука. Так, скорость распространения звуковых волн в стали — 5050 м/с, железобетоне — 4100, древесине — 1500, пробке — 50, поризованной резине — 30 м/с. Для устранения передачи ударного звука применяют конструкцию «плавающего» пола. С этой целью упругие прокладки укладывают между несущей плитой перекрытия и верхним покрытием пола, а также по периметру помещения для отделения пола от стен.

В качестве звукоизоляционных используют как традиционные материалы (мягкие древесноволокнистые плиты, асбестовый картон, минераловатные и стекло-ватные полосы толщиной 12...24 мм), так и современные (рулонные из прессованной пробки, листовые и рулонные пенополиэтиленовые, пенополистирольные, пенополиуретановые прокладки на бумажной основе, полиэстерные и пенополиуретановые маты, рулонные материалы и прокладки из синтепона, поризованной синтетической резины, а также вспученный вермикулит в полиэтиленовых мешках).

## 9. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

К теплоизоляционным относятся неорганические и органические материалы и изделия, предназначенные для тепловой изоляции строительных конструкций зданий и сооружений, технологического оборудования, трубопроводов и др.

Теплоизоляционные материалы должны:

- при температуре 25 °С обладать коэффициентом теплопроводности не более 0,175 Вт/м · К;
- иметь среднюю плотность не более 500 кг/м<sup>3</sup>;
- обладать стабильными физико-механическими и теплотехническими свойствами;
- не выделять токсичных веществ и пыли сверх предельно допустимой концентрации.

Одним из основных показателей назначения теплоизоляционных материалов является марка по средней плотности. Различают 17 марок по этому показателю: от 15 до 500 кг/м<sup>3</sup>. По состоянию структуры ТИМ подразделяются на жесткие (плиты, блоки, кирпич, скорлупы, сегменты и др.), гибкие (маты, матрацы, жгуты, шнуры и др.), сыпучие (зернистые, порошкообразные, волокнистые). По виду основного сырья они подразделяются на органические, неорганические, смешанные.

Таблица - Общая характеристика свойств ТИМ

Показатель	Классификация	Количественная характеристика
Сжимаемость	По величине деформации при давлении 2кПа: - мягкие (М) - полужесткие (ПЖ) - жесткие (Ж)	более 30% от 6 до 30% менее 6%
Плотность	По величине средней плотности: - особо легкие - легкие -средней плотности - плотные	15-75 кг/м <sup>3</sup> 100-175 кг/м <sup>3</sup> 200-350 кг/м <sup>3</sup> 400 и более кг/м <sup>3</sup>
Теплопроводность	По величине коэффициента теплопроводности при 25°С: - малотеплопроводные - средней теплопроводности -повышенной теплопроводности	менее 0,058 Вт/мК 0,058-0,116 Вт/м · К более 0,016 Вт/м · К
Предельная температура применения	- пластмассы (органические) - минеральные (неорганические) -ячеистые бетоны -зернистые (перлит, вермикулит)	60-180 °С  до 600 °С 400-700 °С до 900 °С

Прочность мягких и полужестких ТИМ определяют по величине давления, вызывающего деформацию 10 %. Для большинства ТИМ этот показатель находится в пределах 0,2-2,5 МПа.

Предел прочности при изгибе жестких ТИМ составляет 0,15-0,5 МПа, а некоторых органических – 0,4-2 МПа

*Теплоизоляционными* называют материалы и изделия, препятствующие перемещению тепловых потоков через строительные ограждающие конструкции (стены, крыша, полы), технологическое оборудование, трубопроводы, тепловых и холодильных установок. Для них характерна высокая пористость, низкие средняя плотность и теплопроводность. Чем выше содержание воздуха в теплоизоляционном материале, тем он эффективнее. Применение этих материалов позволяет сократить расход топлива на отопление здания, снизить массу ограждающих конструкций, обеспечить комфортные условия проживания и работы.

Основными *показателями качества* теплоизоляционных материалов являются:

- интервал температур применения  $\Delta T$ , °С;
- средняя плотность  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>;
- отклонение от средней плотности  $\Delta\rho$ , кг/м<sup>3</sup>;
- теплопроводность  $\lambda$ , Вт/(м • К);
- группа горючести;
- предельно допустимая концентрация вредных веществ и пыли, выделяемых изделиями при их хранении и эксплуатации — ПДК, мг/м<sup>3</sup>;
- удельная эффективная активность естественных радионуклидов, Бк/кг.

Теплоизоляционные материалы по виду исходного сырья *классифицируют* на органические и неорганические. В зависимости от структуры, формы и внешнего вида *неорганические* материалы подразделяют на штучные волокнистые и ячеистые изделия, рулонные, рыхлые волокнистые и сыпучие зернистые материалы; *органические* — на волокнистые изделия, ячеистые и рыхлые сыпучие материалы.

В России выпуск теплоизоляционных материалов распределяется следующим образом: минераловатные шлаковые — 65 %, стекловатные — 9,3 %, пенопласты — 6,6 %, ячеистые бетоны — 6,6 %, базальтовые, перлитовые и вермикулитовые изделия — 12,5 %. Большой объем производства шлаковых минераловатных изделий, имеющих такие недостатки, как относительно высокий коэффициент теплопроводности, токсичность, способность впитывать воду, сжимаемость (слеживаемость), увеличивающуюся со временем, связан с их низкой стоимостью. За рубежом преобладают материалы на основе базальтового и стеклянного волокон, трудногорючие пенопласты, влагостойкие пеностирольные плиты, ячеистый бетон плотностью до 400 кг/м<sup>3</sup>.

Наряду со штучными, рулонными, рыхлыми сыпучими материалами в строительстве применяют *монолитную теплоизоляцию*. Для ее изготовления используют специальные напыляемые пенополиуретановые и полистиролбетонные смеси, гипсовые штукатурки, в которые в качестве мелкого заполнителя (наполнителя) входят неорганические или органические волокнистые материалы (минераловатные, асбест, отходы растительного сырья, синтетические волокна).

Эффекта теплозащиты можно достигнуть не только за счет создания высокопористой волокнистой или замкнутой ячеистой структуры, но и путем отражения инфракрасного излучения (до 90 %). Именно на этом основано применение лакокрасочного долговечного термоизоляционного покрытия «Термо-Шилд», представля-

ющего собой водную дисперсию акриловых и латексных смол, в которой содержится до 2 млрд/л керамических вакуумированных шариков диаметром 8 мкм. При толщине слоя до 1 мм покрытие обладает паропроницаемостью, водонепроницаемостью, декоративностью, что позволяет применять его как для теплозащиты крыш, фасадов, так и внутри помещения.