



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Технология вяжущих веществ, бетонов
и строительной керамики»

Курс лекций
по дисциплине
**«Технология бетонов
и растворов»**

Автор
Касторных Л.И.

Ростов-на-Дону, 2019

Аннотация

Курс лекций предназначен для студентов очной и заочной форм обучения направления 27.03.01 «Стандартизация и метрология» профиль бакалавриата «Метрология, стандартизация и сертификация в строительстве» в качестве основного учебного материала.

Автор



доцент, канд. техн. наук,
доцент кафедры «Технологии
вяжущих веществ, бетонов и
строительной керамики»
Касторных Любовь Ивановна



Оглавление

Лекция 1	Классификация бетонов, растворов и сухих строительных смесей	4
Лекция 2	Материалы для бетона и раствора	26
Лекция 3	Добавки для бетонов и строительных растворов	54
Лекция 4	Виды и свойства бетонных и растворных смесей	88
Лекция 5	Основные свойства бетонов и растворов	106
Лекция 6	Структурообразование, деформации и прочность бетона	122
Лекция 7	Проектирование состава бетона	142

Лекция 1

КЛАССИФИКАЦИЯ БЕТОНОВ, РАСТВОРОВ И СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

- **Строительство – отрасль экономики Российской Федерации, в которой объединены работы и услуги материального производства:**
- **производство строительных материалов и изделий;**
- **строительство зданий (в т. ч. разработка строительных проектов);**
- **строительство инженерных сооружений;**
- **специализированные строительные работы;**
- **а также работы в непроизводственной сфере:**
 - **деятельность в области архитектуры;**
 - **инженерно-техническое проектирование;**
 - **технические испытания,**
 - **научные исследования и анализ.**

НОРМАТИВНАЯ БАЗА

ГОСТ 25192-2012 Бетоны. Классификация и общие технические требования

ГОСТ 26633-2015 Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия

ГОСТ 31914-2012 Бетоны высокопрочные тяжелые и мелкозернистые для монолитных конструкций. Правила контроля и оценки качества

ГОСТ 31384-2017 Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Общие технические требования

Классификация бетонов

Классификацион-ный признак	Виды бетонов
Основное назначение:	- конструкционные;
	- специальные (теплоизоляционные, радиационностойкие, декоративные и др.)
Стойкость к видам коррозии:	А - бетоны, эксплуатируемые в среде без риска коррозионного воздействия (ХО);
	Б - бетоны, эксплуатируемые в среде, вызывающей коррозию под действием карбонизации (ХС);
	В - бетоны, эксплуатируемые в среде, вызывающей коррозию под действием хлоридов (ХД и ХS);
	Г - бетоны, эксплуатируемые в среде, вызывающей коррозию под действием попеременного замораживания и оттаивания (ХF);
	Д - бетоны, эксплуатируемые в среде, вызывающей химическую коррозию (ХА).
	Среда эксплуатации бетона по ГОСТ 31384-2017

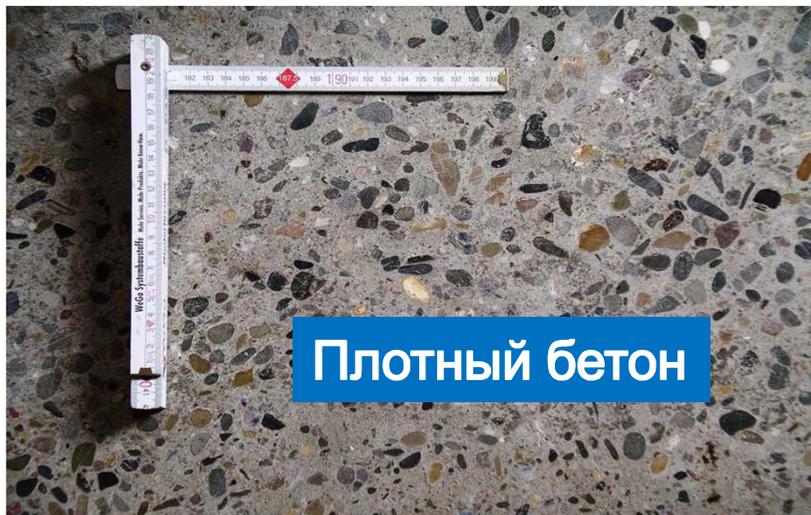
Классификация бетонов

Классификационный признак	Виды бетонов
Вид вяжущего	- цементные;
	- известковые;
	- шлаковые;
	- гипсовые;
	- специальные (например, полимербетоны, бетоны на магнезиальном вяжущем).
Вид заполнителей	- на плотных заполнителях;
	- на пористых заполнителях;
	- на специальных (например, металлическая дробь, вспененный гранулированный полистирол).

Классификация бетонов

Классификационный признак	Виды бетонов
Структура	- плотной;
	- поризованной;
	- ячеистой;
	- крупнопористой.
Условия твердения	- в естественных условиях;
	- в условиях тепловой обработки при атмосферном давлении;
	- в условиях тепловой обработки при давлении выше атмосферного (бетоны автоклавного твердения).
Прочность бетона	- средней прочности (класс прочности при сжатии $B \leq B50$);
	- высокопрочные (класс прочности при сжатии $B \geq B55$).

Виды бетонов по структуре



Плотный бетон



**Ячеистый бетон
(газобетон и пенобетон)**



Поризованный бетон



Крупнопористый бетон

Классификация бетонов

Классификационный признак	Виды бетонов
Скорость набора прочности в нормальных условиях твердения	<ul style="list-style-type: none">- быстротвердеющие (R_2/R_{28} более 0,4);- медленнотвердеющие ($R_2/R_{28} \leq 0,4$).
Средняя плотность	<ul style="list-style-type: none">- особо легкие (марки менее D800);- легкие (марки от D800 до D2000);- тяжелые (марки более D2000 до D2500);- особо тяжелые (марки более D2500).
Морозостойкость	<ul style="list-style-type: none">- низкой морозостойкости (марки F_{150} и менее);- средней морозостойкости (марки $> F_{150}$ до F_{300});- высокой морозостойкости (марки $> F_{300}$).

Классификация бетонов

Классификационный признак	Виды бетонов
Водонепроницаемость	- низкой водонепроницаемости (марки менее W4);
	- средней водонепроницаемости (марки от W4 до W12);
	- высокой водонепроницаемости (марки более W12).
Истираемость	- низкой истираемости (марка по истираемости G1);
	- средней истираемости (марка по истираемости G2);
	- высокой истираемости (марка по истираемости G3)

Специальные виды бетонов по их свойствам

- **Напрягающий бетон:** бетон, содержащий расширяющийся цемент или расширяющую добавку, обеспечивающие расширение бетона в процессе его твердения.
- **Быстротвердеющий бетон:** бетон, имеющий быстрый темп набора прочности.
- **Высокофункциональный бетон:** бетон, соответствующий специальным требованиям к функциональности, которые не могут быть достигнуты путем использования традиционных компонентов, методов смешивания, укладки, ухода и твердения.
- **Декоративный бетон:** бетон, получаемый путем обработки окрашиванием, полировкой, текстурированием, тиснением, гравировкой, использованием топпингов и другими приемами для достижения требуемых эстетических свойств.
- **Дренирующий бетон:** бетон, содержащий подобранный крупный заполнитель при отсутствии или минимальном содержании мелкого заполнителя, а также недостаточное для заполнения пор и пустот количество цементного теста.
- **Жаростойкий бетон:** бетон предназначенный для работы в условиях воздействия температур от 800°C до 1800°C.

Виды бетонов по составу

- **Арболит:** бетон, в котором в качестве заполнителя используют органические материалы растительного происхождения.
- **Армоцемент:** бетон мелкозернистый, в массе которого равномерно распределены тканые или сварные проволочные металлические или неметаллические сетки (также может армироваться стержневой или проволочной арматурой)
- **Бетнополимер:** бетон, пропитанный мономерами или жидкими олигомерами с последующей их полимеризацией (отвержением) в порах бетона.
- **Полимербетон:** бетон, изготовленный из бетонной смеси, содержащей полимер или мономер.
- **Грунтобетон:** бетон, полученный из смеси размолотого или гранулированного грунта, вяжущего и заполнителя.
- **Золобетон:** Легкий бетон, заполнителем которого является зола.
- **Особо тяжелый бетон:** бетон средней плотности в сухом состоянии более 2500 кг/м^3 , в состав которого входят специальные заполнители.
- **Тяжелый бетон:** бетон на цементном вяжущем с плотным крупным и мелким заполнителем.
- **Мелкозернистый бетон:** бетон на цементном вяжущем с плотным мелким заполнителем.
- **Реакционный порошковый бетон:** бетон, изготовленный из тонкоизмельченных реакционно-способных материалов с размером зерна от 0,2 до 300 мкм и характеризующейся высокой прочностью
- **Силикатобетон:** бетон, в котором в качестве вяжущего применяют известь.
- **Рециклированный бетон:** бетон, изготовленный с применением утилизированных вяжущих, заполнителей, воды.
- **Фибробетон:** бетон, содержащий рассредоточенные, беспорядочно ориентированные волокна.

Виды бетонов по технологии изготовления

Автоклавный бетон

Торкрет-бетон

Укатанный бетон

Литой бетон

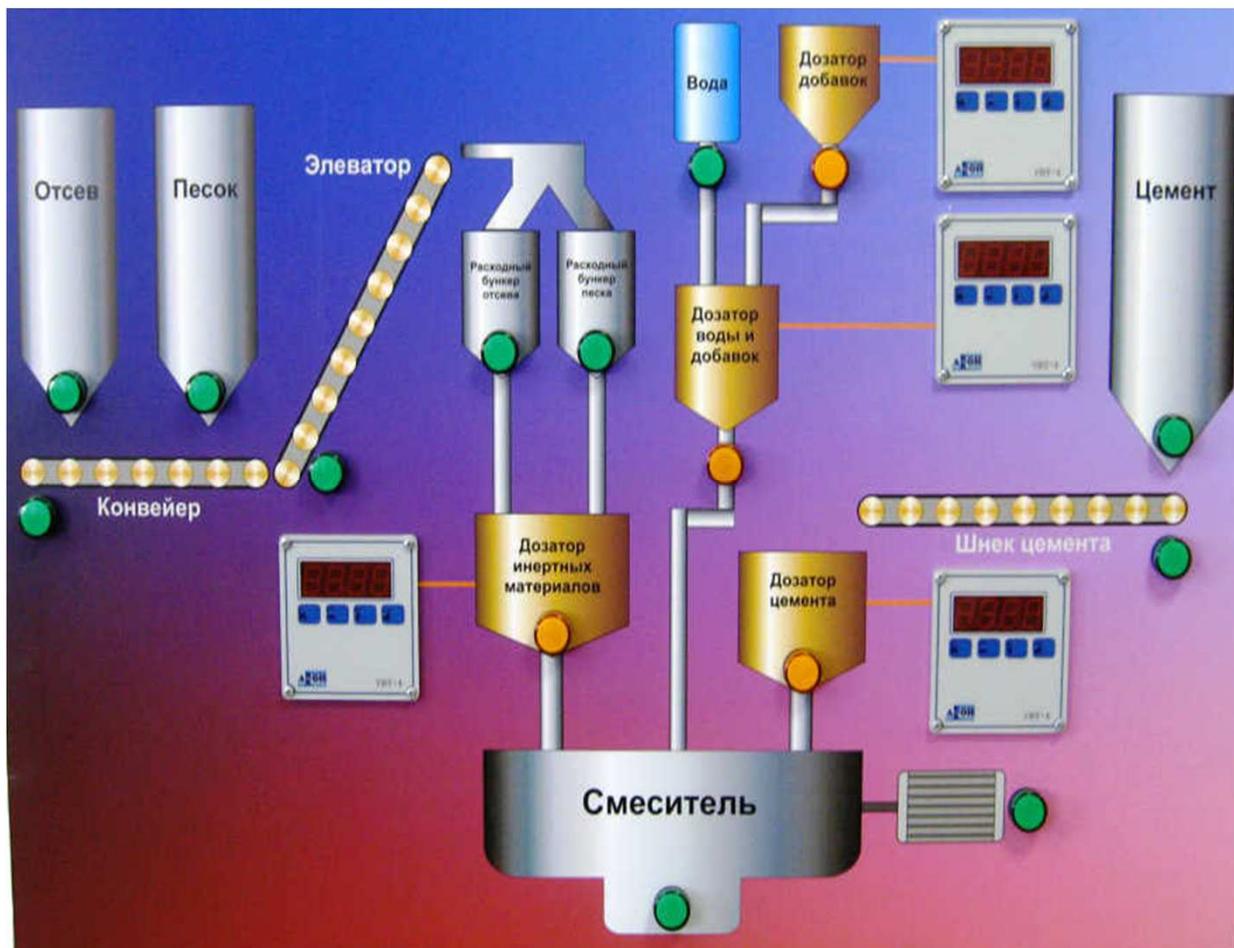
Особо жесткий бетон

Вакуумированный бетон

Бетон подводной укладки

Самоуплотняющийся бетон

Бетон роликового формования



Классификация строительных растворов и сухих строительных смесей

НОРМАТИВНАЯ БАЗА

**ГОСТ 28013-98 Растворы строительные. Общие
технические условия**

**ГОСТ 5802-86 Растворы строительные. Методы
испытаний**

**ГОСТ 25328-82 Цемент для строительных растворов.
Технические условия**

НОРМАТИВНАЯ БАЗА

ГОСТ 31189-2015 Смеси сухие строительные. Классификация

ГОСТ 31357-2007 Смеси сухие строительные на цементном вяжущем.

Общие технические условия

ГОСТ 31358-2007 Смеси сухие строительные **напольные на цементном вяжущем. Технические условия**

ГОСТ 33083-2014 Смеси сухие строительные на цементном вяжущем **для штукатурных работ. Технические условия**

ГОСТ 33699-2015 Смеси сухие строительные **шпатлевочные на цементном вяжущем. Технические условия**

ГОСТ Р 56387-2018 Смеси сухие строительные **клеевые на цементном вяжущем. Технические условия**

ГОСТ Р 56686-2015 Смеси сухие строительные **штукатурные на цементном вяжущем **с использованием керамзитового песка**. Технические условия**

ГОСТ Р 56703-2015 Смеси сухие строительные **гидроизоляционные проникающие капиллярные на цементном вяжущем. Технические условия**

НОРМАТИВНАЯ БАЗА

ГОСТ Р 57796-2017 Смеси сухие строительные на цементном вяжущем с использованием керамзитового песка для кладочных растворов. Технические условия

ГОСТ Р 58271-2018 Смеси сухие затирочные. Технические условия

ГОСТ Р 58272-2018 Смеси сухие строительные кладочные. Технические условия

ГОСТ Р 58275-2018 Смеси сухие строительные клеевые на гипсовом вяжущем. Технические условия

ГОСТ Р 58278-2018 Смеси сухие строительные шпатлевочные на гипсовом вяжущем. Технические условия

ГОСТ Р 58279-2018 Смеси сухие строительные штукатурные на гипсовом вяжущем. Технические условия

Классификация строительных растворов

Классификационный признак	Виды растворов
Основное назначение:	а) кладочные (в том числе и для монтажных работ);
	б) облицовочные;
	в) штукатурные.
Вид вяжущего	а) простые (на вяжущем одного вида);
	б) сложные (на смешанных вяжущих).
Средняя плотность	а) тяжелые;
	б) легкие.

Классификация сухих строительных смесей

Классификационный признак	Виды смесей
Условия применения:	а) для наружных работ;
	б) для внутренних работ.
Наибольшая крупность зерен заполнителя $D_{з, макс}$	а) растворные с зернами размером менее 5 мм: <ul style="list-style-type: none">- тонкодисперсные ($0 \text{ мм} < D_{з, макс} < 0,2 \text{ мм}$),- мелкозернистые ($0 \text{ мм} < D_{з, макс} < 1,25 \text{ мм}$),- крупнозернистые ($0 \text{ мм} < D_{з, макс} < 5 \text{ мм}$);
	б) бетонные с зернами размером более 5 мм.
Вид вяжущего	<ul style="list-style-type: none">- цементные;- гипсовые;- известковые;- магнезиальные;- полимерные;- смешанные.

Классификация сухих строительных смесей

Классификационный признак	Виды смесей
Функциональное назначение	а) кладочные: <ul style="list-style-type: none">- толстослойные (толщина слоя более 5 мм),- тонкослойные (толщина слоя до 5 мм);
	б) штукатурные: <ul style="list-style-type: none">- особо тяжелые (ср. плотн. > 2300 кг/м³),- тяжелые (ср. плотностью > 1300 кг/м³),- легкие (средней плотностью < 1300 кг/м³)
	в) шпаклевочные: <ul style="list-style-type: none">- выравнивающие,- финишные;
	г) клеевые: <p>предназначенные для укладки:</p> <ul style="list-style-type: none">- облицовочных материалов (облицов. плитка),- листовых материалов (гипсокартон. листы);

Классификация сухих строительных смесей

Классификационный признак	Виды смесей
Функциональное назначение	д) затирочные (шовные): <ul style="list-style-type: none">- для узких швов (до 6 мм включительно),- для широких швов (более 6 мм);
	е) напольные: <ul style="list-style-type: none">- по назначению для устройства: стяжек, выравнивающих слоев, финишных покрытий;- по способу укладки: выравниваемые, самовыравнивающиеся;
	ж) ремонтные: <ul style="list-style-type: none">- поверхностно-восстановительные,- объемно-восстановител. конструкционные,- инъекционные;

Классификация сухих строительных смесей

Классификацион-ный признак	Виды смесей
Функциональное назначение	и) изоляционные: <ul style="list-style-type: none">- гидроизоляционные:<ol style="list-style-type: none">1) поверхностные,2) инъекционные,3) проникающие;
	<ul style="list-style-type: none">- тепло-звукоизоляционные:<ol style="list-style-type: none">1) теплоизоляционные (ср. плотностью $< 500 \text{ кг/м}^3$),2) теплоизоляционно-конструкционные (ср. плотностью $> 500 \text{ кг/м}^3$),3) звукоизоляционные;
	к) специальные: <ul style="list-style-type: none">- защитные: огнезащитные, огнеупорные и жаростойкие, ингибирующие, коррозионно-защитные, радиационно-защитные, биоцидные;

Классификация сухих строительных смесей

Классификацион-ный признак	Виды смесей
Функциональное назначение	<ul style="list-style-type: none">- реставрационные, обеспечивающие:<ol style="list-style-type: none">1) соответствие механическим свойствам реставрируемого объекта,2) аутентичность состава смеси,3) соответствие внешнему виду реставрируемого объекта;
	<ul style="list-style-type: none">- санирующие для устройства:<ol style="list-style-type: none">1) базового сцепляющего слоя,2) выравнивающего влаго- и солеаккумулирующего слоя,3) отделочного паропроницаемого слоя;
	<p>л) для фасадных теплоизоляционных композиционных систем с наружными штукатурными слоями (для клеевого слоя, армированного базового штукатурного слоя, выравнивающего слоя, декоративно-защитного финишного слоя)</p>

Классификация сухих строительных смесей

Классификационный признак	Виды смесей
Способ нанесения	- механизированного нанесения,
	- ручного нанесения

ЛЕКЦИЯ 2

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ БЕТОНА И РАСТВОРА

Содержание

1 Вяжущие вещества

2 Заполнители

3 Вода для приготовления бетонных и растворных смесей

ЦЕМЕНТЫ. Нормативная база

ГОСТ 10178-85. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия (С Изменениями N 1, 2)

ГОСТ 30515-2013 Цементы. Общие технические условия

ГОСТ 31108-2016 Цементы общестроительные. Технические условия

ГОСТ 22266-2013 Цементы сульфатостойкие. Технические условия

ГОСТ Р 55224-2012 Цементы для транспортного строительства. Технические условия

ГОСТ 33174-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Цемент. Технические требования

ГОСТ 310.1 – ГОСТ 310.5 Цементы. Методы испытания

ГОСТ 30744-2001 Цементы. Методы испытаний с использованием полифракционного песка

ЛЕКЦИЯ 2: МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ БЕТОНА И РАСТВОРА

Классификация цементов

Признак	По ГОСТ 10178	По ГОСТ 30515
Вещественный состав	- портландцемент (без минеральных добавок)	- тип I - портландцемент, содержащий только портландцементный клинкер
	- портландцемент с добавками (с активными минеральными добавками не более 20 %)	- тип II/A - портландцемент с минеральными добавками, содержащий портландцементный клинкер и минеральную добавку или смесь минеральных добавок в количестве от 6 % до 20 %; - тип II/B - портландцемент с минеральными добавками, содержащий портландцементный клинкер и шлак в количестве от 21 % до 35 %
	- шлакопортландцемент (с добавками гранулированного шлака более 20 %)	- тип III/A - шлакопортландцемент, содержащий портландцементный клинкер и доменный гранулированный, электротермофосфорный или топливный шлак в количестве от 36 % до 65 %;

ЛЕКЦИЯ 2: МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ БЕТОНА И РАСТВОРА

Классификация цементов

Признак	По ГОСТ 10178	По ГОСТ 30515
Вещественный состав	-	- тип III/B - шлакопортландцемент, содержащий портландцементный клинкер и доменный гранулированный, электротермофосфорный или топливный шлак в количестве от 66 % до 80 %;
	-	- тип III/C - шлакопортландцемент, содержащий портландцементный клинкер и доменный гранулированный, электротермофосфорный или топливный шлак в количестве от 81 % до 95 %.
	-	- тип IV/A - пуццолановый цемент, содержащий портландцементный клинкер и пуццолану в количестве от 11 % до 35 %;
	-	- тип IV/B - пуццолановый цемент, содержащий портландцементный клинкер и пуццолану в количестве от 36 % до 55 %.

ЛЕКЦИЯ 2: МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ БЕТОНА И РАСТВОРА

Классификация цементов

Признак	По ГОСТ 10178	По ГОСТ 30515
Вещественный состав	-	- тип V/A - композиционный цемент, содержащий портландцементный клинкер и смесь шлака в количестве от 18 % до 30 % и пуццоланы и/или золы-уноса в количестве от 18 % до 30 %;
	-	- тип V/B - композиционный цемент, содержащий портландцементный клинкер и смесь шлака в количестве от 31 % до 49 % и пуццоланы и/или золы-уноса в количестве от 31 % до 49 %.
Прочность на сжатие в 28-сут. возрасте	Марки по прочности: портландцемент - 400, 500, 550 и 600; шлакопортландцемент - 300, 400 и 500; портландцемент быстротвердеющий - 400 и 500; шлакопортландцемент быстротвердеющий - 400	Классы по прочности: 32,5; 42,5; 52,5.

ЛЕКЦИЯ 2: МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ БЕТОНА И РАСТВОРА

Классификация цементов

Признак	По ГОСТ 10178	По ГОСТ 30515
Вид клинкера	на основе: - портландцементного клинкера	на основе: - портландцементного клинкера; - глиноземистого (высокоглиноземистого) клинкера; - смеси портландцементного и сульфоалюминатного (сульфоферритного) клинкера.
Назначение	- общестроительные	- общестроительные; - специальные.
Скорость твердения	- нормальнотвердеющие без нормирования прочности в промежуточ. возрасте; - быстротвердеющие (Б) с нормированием прочности в возрасте 3 сут. и 28 сут.	- нормальнотвердеющие (Н) с нормиров. прочности в возрасте 2 (7) и 28 сут.; - быстротвердеющие (Б) с нормиров. прочности в воз. 2 сут., повышенной по сравнению с нормальнотверд., и 28 сут.; - медленнотвердеющие (М) с нормир. нач. прочн. в воз. 7 (2) сут., пониженной по сравнению с нормальнотвердеющ. цементами, и 28 сут.

ЛЕКЦИЯ 2: МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ БЕТОНА И РАСТВОРА

Классификация цементов

Признак	По ГОСТ 10178	По ГОСТ 30515
Сроки схватывания	-	<ul style="list-style-type: none">- медленносхватывающиеся<ul style="list-style-type: none">- с нормируемым сроком начала схватывания более 2 ч;- нормальносхватывающиеся<ul style="list-style-type: none">- с нормируемым сроком начала схватывания от 45 мин до 2 ч;- быстр�схватывающиеся<ul style="list-style-type: none">- с нормируемым сроком начала схватывания менее 45 мин.
Содержание в клинкере трехкальциевого алюмината (С ₃ А)	клинкер нормированного состава с содержанием С ₃ А в кол-ве не более 8 % по массе:	-
	для бетона дорожных и аэродромных покрытий, железобетонных напорных и безнапорных труб, железобетонных шпал, мостовых конструкций, стоек опор высоковольтных линий электропередач, контактной сети железнодорожного транспорта.	

ЛЕКЦИЯ 2: МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ БЕТОНА И РАСТВОРА

Пример условного обозначения портландцемента по ГОСТ 10178:

марки по прочности 400, с минеральными добавками до 20 %, быстротвердеющего, пластифицированного:

**Портландцемент 400-Д20-Б-ПЛ ГОСТ 10178-85
(ПЦ 400-Д20-Б-ПЛ ГОСТ 10178-85);**

портландцемента марки по прочности 500, без минеральных добавок, на основе клинкера нормированного состава для бетона дорожных покрытий:

ПЦ 500-ДО-Н.

Пример условного обозначения портландцемента по ГОСТ 31108:

типа ЦЕМ I класса прочности 42,5 быстротвердеющий:

Портландцемент ЦЕМ I 42,5Б ГОСТ 31108-2016;

портландцемент типа ЦЕМ II, подтипа В со шлаком (Ш) от 21 % до 35 %, класса прочности 32,5, нормальнотвердеющий:

ЦЕМ II/В-Ш 32,5Н ГОСТ 31108-2016

ЛЕКЦИЯ 2: МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ БЕТОНА И РАСТВОРА

СНиП 82-02-95 Федеральные (типовые) элементные нормы расхода цемента при изготовлении бетонных и железобетонных изделий и конструкций

Вид и минимальный расход цемента для производства изделий и конструкций, эксплуатируемых в агрессивных условиях, следует выбирать по ГОСТ 31384.

Для высокопрочных бетонов следует применять портландцемент без минеральных добавок марки не ниже ПЦ 500 по ГОСТ 10178 или класса не ниже ЦЕМ I 42,5 по ГОСТ 31108 с содержанием СзА не более 8 %.

Минимальный расход цемента для тяжелых бетонов, эксплуатируемых в неагрессивных условиях:

Вид конструкции	Расход цемента вида, кг/м ³		
	ПЦ-Д0, ПЦ-Д5, ЦЕМ I, ЦЕМ I СС	ПЦ-Д20, ЦЕМ II, ЦЕМ II СС	ШПЦ, ЦЕМ III, ЦЕМ III/A СС, ЦЕМ IV, ЦЕМ V
Неармированные (эксплуатация без замораживания и оттаивания)	Не нормируется		
Армированные с ненапрягаемой арматурой	150	170	180
Армированные с предварительно напряженной арматурой	220	240	270

ЛЕКЦИЯ 2: МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ БЕТОНА И РАСТВОРА

Формы поставок цемента: в мешках, биг-бэгах, навалом в вагонах.



ЛЕКЦИЯ 2: МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ БЕТОНА И РАСТВОРА

ЗАПОЛНИТЕЛИ. Нормативная база

**ГОСТ 26633-2015 Бетоны тяжелые и мелкозернистые.
Технические условия**

ГОСТ 8736-2014 Песок для строительных работ. Технические условия

ГОСТ 31424-2010 Материалы строительные нерудные из отсевов дробления плотных горных пород при производстве щебня. Технические условия

ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия (с Изменениями N 1-4)

ГОСТ 32495-2013 Щебень, песок и песчано-щебеночные смеси из дробленого бетона и железобетона. Технические условия

ГОСТ 32496-2013 Заполнители пористые для легких бетонов. Технические условия

ГОСТ 8735-88 Песок для строительных работ. Методы испытаний (с Изменениями N 1, 2, с Поправкой)

ГОСТ 8269.0-97 Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний

МЕЛКИЙ ЗАПОЛНИТЕЛЬ

ПЕСОК: природный неорганический сыпучий материал с крупностью зерен до 5 мм, образовавшийся в результате естественного разрушения скальных горных пород;

ПЕСОК ОБОГАЩЕННЫЙ: природный неорганический сыпучий материал с крупностью зерен до 5 мм, с улучшенным зерновым составом и меньшим содержанием пылевидных и глинистых частиц;

ПЕСОК ФРАКЦИОНИРОВАННЫЙ: природный неорганический сыпучий материал, разделенный на две или более фракций.

ПЕСОК ИЗ ОТСЕВОВ ДРОБЛЕНИЯ: неорганический сыпучий материал с крупностью зерен до 5 мм, полученный при производстве щебня;

ОБОГАЩЕННЫЙ ПЕСОК ИЗ ОТСЕВОВ ДРОБЛЕНИЯ: неорганический сыпучий материал с крупностью зерен до 5 мм, улучшенным зерновым составом и меньшим содержанием зерен слабых пород и пылевидных и глинистых частиц;

ФРАКЦИОНИРОВАННЫЙ ПЕСОК ИЗ ОТСЕВОВ ДРОБЛЕНИЯ: песок, разделенный на две или более фракции;

ПЕСОК ИЗ ДРОБЛЕННОГО БЕТОНА: неорганический сыпучий материал с крупностью зерен до 5 мм, получаемый из дробленого бетона .

Выбор мелкого заполнителя для бетона:

- по зерновому составу,**
- плотности,**
- содержанию пылевидных и глинистых частиц (ПГЧ), в т. ч. глины в комках,**
- наличию и содержанию вредных и посторонних загрязняющих примесей,**
- радиационно-гигиенической характеристике,**
- другим показателям качества, указанным в технической документации.**

ЛЕКЦИЯ 2: МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ БЕТОНА И РАСТВОРА

В зависимости от зернового состава и содержания пылевидных и глинистых частиц песок природный подразделяют на два класса:

- класс I;**
- класс II.**

В зависимости от крупности зерен (модуля крупности) песок классов I и II подразделяют на группы:

- песок класса I:

повышенной крупности, крупный, средний и мелкий;

- песок класса II:

повышенной крупности, крупный, средний, мелкий, очень мелкий, тонкий и очень тонкий.

ЛЕКЦИЯ 2: МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ БЕТОНА И РАСТВОРА

Зерновой состав песка определяют путем отсева песка на стандартном наборе сит, а модуль крупности рассчитывают по формуле:

$$M_K = \frac{A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16}}{100}$$

Группа песка	Модуль крупности M_K			
Повышенной крупности	Св.	3,0	до	3,5
Крупный	"	2,5	до	3,0
Средний	"	2,0	"	2,5
Мелкий	"	1,5	"	2,0
Очень мелкий	"	1,0	"	1,5
Тонкий	"	0,7	"	1,0
Очень тонкий	До 0,7			

ЛЕКЦИЯ 2: МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ БЕТОНА И РАСТВОРА

Содержание пылевидных и глинистых частиц (ПГЧ) в мелком заполнителе бетона класса В55 и ниже должно быть не более 3 %, а бетона класса В60 и выше не более 2 % по массе.

Песок, обогащенный песок и фракционированный песок должны обладать стойкостью к химическому воздействию щелочей цемента.

Песок в зависимости от значений удельной эффективной активности естественных радионуклидов $A_{эфф}$ применяют:

- $A_{эфф}$ до 370 Бк/кг - во вновь строящихся жилых и общественных зданиях;
- $A_{эфф}$ св. 370 до 740 Бк/кг - для дорожного строительства в пределах территории населенных пунктов и зон перспективной застройки, а также при возведении производственных зданий и сооружений;
- $A_{эфф}$ св. 740 до 1500 Бк/кг - в дорожном строительстве вне населенных пунктов.

КРУПНЫЙ ЗАПОЛНИТЕЛЬ

ЩЕБЕНЬ ИЗ ГОРНЫХ ПОРОД: неорганический зернистый сыпучий материал с зернами крупностью св. 5 мм, получаемый дроблением горных пород, гравия и валунов, попутно добываемых вскрышных и вмещающих пород или некондиционных отходов горных предприятий по переработке руд и последующим рассевом продуктов дробления;

ГРАВИЙ ИЗ ГОРНЫХ ПОРОД: неорганический зернистый сыпучий материал с зернами крупностью св. 5 мм, получаемый рассевом природных гравийно-песчаных смесей;

ЩЕБЕНЬ ИЗ ОТСЕВОВ ДРОБЛЕНИЯ: неорганический зернистый сыпучий материал с крупностью зерен более 5 мм, извлекаемый из отсевов дробления горных пород, гравия и валунов путем отсева;

ЩЕБЕНЬ ИЗ ДРОБЛЕННОГО БЕТОНА: Неорганический зернистый сыпучий материал с зернами крупностью свыше 5 мм, получаемый из дробленого бетона при разрушении зданий и сооружений, мостовых конструкций, покрытий из бетона в дорожном строительстве

ЛЕКЦИЯ 2: МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ БЕТОНА И РАСТВОРА

Выбор крупного заполнителя для бетона:

- по зерновому составу,
- прочности,
- истираемости,
- морозостойкости,
- плотности,
- форме зерен;
- содержанию зерен слабых пород.
- содержанию пылевидных и глинистых частиц,
- устойчивости структуры,
- наличию и содержанию вредных и посторонних загрязняющих примесей,
- радиационно-гигиенической характеристике,
- другим показателям качества.

ЛЕКЦИЯ 2: МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ БЕТОНА И РАСТВОРА

Щебень и гравий выпускают в виде фракций:

- от 5(3) до 10 мм;
- св. 10 до 15 мм;
- св. 10 до 20 мм;
- св. 15 до 20 мм;
- св. 20 до 40 мм;
- св. 40 до 80(70) мм.

Допускается выпуск фракций:

- от 80(70) до 120 мм,
- св. 120 до 150 мм;
- смеси фракций от 5(3) до 20 мм;
- смеси, составленные из других фракций.

ЛЕКЦИЯ 2: МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ БЕТОНА И РАСТВОРА

Наибольшая крупность зерен заполнителя должна быть менее: $1/2$ наименьшей толщины конструкции;

- $2/3$ наименьшего расстояния между стержнями арматуры,**
- $1/3$ внутреннего диаметра бетоновода при перекачивании бетононасосом.**

При приготовлении бетонной смеси крупный заполнитель следует применять в виде отдельно дозируемых фракций.

Зерновой состав крупного заполнителя для приготовления бетона

Наибольшая крупность зерен, мм	Содержание фракций, %, размером, мм				
	5...10	10...20	20...40	40...80	80...120
10	100	-	-	-	-
20	25-40	60-75	-	-	-
40	15-25	20-35	40-65	-	-
80	10-20	15-25	20-35	35-55	-
120	5-10	10-20	15-25	20-30	25-35

ЛЕКЦИЯ 2: МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ БЕТОНА И РАСТВОРА

Прочность щебня и гравия характеризуют маркой по дробимости при сжатии (раздавливании) в цилиндре.

Марки по дробимости щебня из изверженных пород:
600, 800, 1000, 1200, 1400.

Марка по дробимости щебня из осадочных и метаморфических пород:
200, 300, 400, 600, 800, 1000, 1200.

Для бетона классов по прочности на сжатие В60 и выше следует применять щебень из плотных горных пород марки по дробимости не ниже 1200.

Щебень и гравий, предназначенные для строительства автомобильных дорог, характеризуют маркой по дробимости при сжатии (раздавливании) в цилиндре и **маркой по истираемости**, определяемой испытанием в полочном барабане:

И1, И2, И3, И4 (по потере массы при испытании от 25 % до 60 %).

Щебень из дробленого бетона не следует применять в бетонах класса по прочности на сжатие выше В35.

ЛЕКЦИЯ 2: МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ БЕТОНА И РАСТВОРА

Морозостойкость щебня и гравия характеризуют числом циклов замораживания и оттаивания, при котором потери в процентах по массе щебня и гравия не превышают установленных значений.

Марки по морозостойкости щебня и гравия:

F15, F25, F50, F100, F150, F200, F300, F400.

Марка по морозостойкости крупного заполнителя в зависимости от температуры эксплуатации конструкций:

Среднемесячная температура наиболее холодного месяца, °С	От 0 °С до минус 10 °С	От минус 10 °С до минус 20 °С	Ниже минус 20 °С
Марка по морозостойкости щебня и гравия	F100	F200	F300

ЛЕКЦИЯ 2: МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ БЕТОНА И РАСТВОРА

Форму зерен щебня и гравия характеризуют содержанием зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы.

Щебень в зависимости от содержания зерен пластинчатой и игловатой формы подразделяют на пять групп:

Группа щебня	Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы, % по массе
1	До 10 включ.
2	Св. 10 до 15 включ.
3	Св. 15 до 25 включ.
4	Св. 25 до 35 включ.
5	Св. 35 до 50 включ.

Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм в крупном заполнителе не должно превышать 35 % массы.

Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм в щебне для бетонов классов по прочности на сжатие В60 и выше не должно превышать 15 % массы.

ЛЕКЦИЯ 2: МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ БЕТОНА И РАСТВОРА

Содержание зерен слабых пород в щебне и гравии в зависимости от вида горной породы и марки по дробимости не должно превышать:

Вид породы и марка по дробимости щебня и гравия	Содержание зерен слабых пород, % по массе
Щебень из изверженных, метаморфических и осадочных пород марок:	
1400; 1200; 1000	5
800; 600; 400	10
300	15
Щебень из гравия и валунов и гравий марок:	
1000; 800; 600	10
400	15

Содержание зерен слабых пород в щебне для бетона классов В60 и выше не должно превышать 5 % массы.

ЛЕКЦИЯ 2: МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ БЕТОНА И РАСТВОРА

Содержание пылевидных и глинистых частиц (ПГЧ) в щебне из изверженных и метаморфических пород, щебне из гравия и в гравии для бетонов классов по прочности на сжатие В25 и выше не должно превышать 1,0 % массы.

Содержание пылевидных и глинистых частиц в щебне из осадочных пород для бетонов класса В25 и выше не должно превышать 2,0 % массы.

Содержание глины в комках не должно превышать:

Марка по дробимости щебня и гравия	Содержание глины в комках, % по массе
Щебень из изверженных, метаморфических и осадочных пород марок:	
400 и выше	0,25
300, 200	0,5
Щебень из гравия и гравий марок:	
1000, 800, 600, 400	0,25
Щебень из валунов марок:	
1200, 1000, 800, 600	0,25

ЛЕКЦИЯ 2: МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ БЕТОНА И РАСТВОРА

Устойчивость структуры крупного заполнителя против всех видов распадов, определяемая потерей массы при распаде, должна соответствовать требованиям:

Марка по дробимости щебня	Потеря массы при распаде, %, не более
1000 и выше	3
800, 600	5
400 и ниже	7

Стойкость щебня и гравия определяют по минералого-петрографическому составу исходной горной породы и содержанию вредных компонентов и примесей, снижающих долговечность бетона и вызывающих коррозию арматуры железобетонных изделий и конструкций.

Щебень и гравий, предназначенные для применения в качестве заполнителей для бетонов, должны обладать стойкостью к химическому воздействию щелочей цемента.

ЛЕКЦИЯ 2: МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ БЕТОНА И РАСТВОРА

Крупный заполнитель в зависимости от значений удельной эффективной активности естественных радионуклидов $A_{эфф}$ применяют:

- $A_{эфф}$ до 370 Бк/кг - во вновь строящихся жилых и общественных зданиях;**
- $A_{эфф}$ св. 370 до 740 Бк/кг - для дорожного строительства в пределах территории населенных пунктов и зон перспективной застройки, а также при возведении производственных зданий и сооружений;**
- $A_{эфф}$ св. 740 до 1500 Бк/кг - в дорожном строительстве вне населенных пунктов.**

При проектных требованиях к бетону марки по морозостойкости $F_{1,200}$ ($F_{2,100}$) и выше должен применяться крупный заполнитель из изверженных и метаморфических пород с водопоглощением не более 1,0 %, из осадочных пород - с водопоглощением не более 2,5 %.

ЛЕКЦИЯ 2: МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ БЕТОНА И РАСТВОРА

ВОДА ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БЕТОННЫХ И РАСТВОРНЫХ СМЕСЕЙ

Нормативная база - ГОСТ 23732-2011 Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия

Для затворения бетонной смеси и приготовления растворов химических добавок, а также для ухода за твердеющим бетоном и промывки заполнителей, может применяться вода следующих видов:

- питьевая вода по ГОСТ 2874;
- естественная поверхностная и грунтовая вода;
- техническая вода;
- морская и засоленная вода;
- вода после промывки оборудования для приготовления и транспортирования бетонных и растворных смесей.

Вода не должна содержать химических соединений и примесей в количествах, которые могут повлиять на сроки схватывания цемента, скорость твердения, прочность, морозостойкость и водонепроницаемость бетона, коррозию арматуры в пределах, превышающих нормы.

Не допускается применение сточной, болотной и торфяной воды.

ЛЕКЦИЯ 3

ДОБАВКИ ДЛЯ БЕТОНОВ И СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ

Содержание

- 1 Классификация добавок**
- 2 Добавки, регулирующие свойства бетонных и растворных смесей**
- 3 Добавки, регулирующие свойства бетонов и растворов**
- 4 Добавки, придающие бетонам и растворам специальные свойства**
- 5 Минеральные добавки и органо-минеральные модификаторы**

Нормативная база

ГОСТ 24211-2008 Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия,

ГОСТ 30459-2008 Добавки для бетонов и строительных растворов. Определение и оценка эффективности,

ГОСТ Р 56592-2015 Добавки минеральные. Технические условия,

ГОСТ Р 56593-2015 Добавки минеральные. Методы испытаний,

ГОСТ Р 56178-2014 Модификаторы органо-минеральные типа МБ для бетонов, строительных растворов и сухих смесей. Технические условия.

Классификация добавок

Добавки в зависимости от основного эффекта действия подразделяют на 4 класса:

1 Добавки, регулирующие свойства бетонных и растворных смесей

2 Добавки, регулирующие свойства бетонов и растворов

3 Добавки, придающие бетонам и растворам специальные свойства

4 Минеральные добавки и органические минеральные модификаторы

1 Добавки, регулирующие свойства бетонных и растворных смесей:

- **пластифицирующие:**
 суперпластифицирующие,
 пластифицирующие;
- **водоредуцирующие (водопонижающие):**
 суперводоредуцирующие,
 водоредуцирующие;
- **стабилизирующие (водоудерживающие);**
- **регулирующие сохраняемость подвижности;**
- **увеличивающие воздухо- (газо) содержание:**
 - **поризующие.**

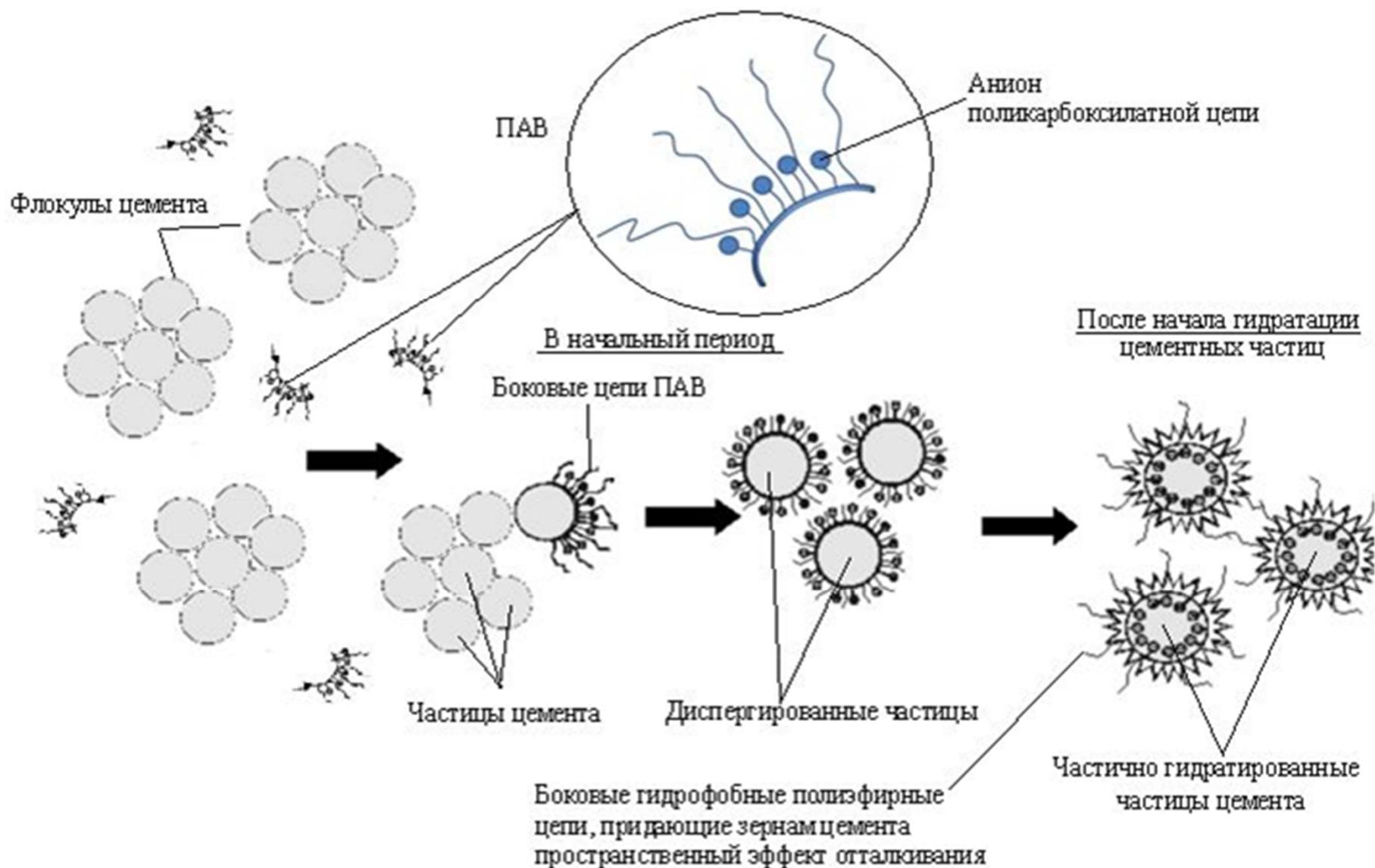
Механизм действия пластифицирующих добавок

Пластифицирующий эффект определяется изменением воды сольватных оболочек частиц новообразований цемента.

При адсорбции ПАВ на поверхности твердой фазы количество воды сольватных оболочек уменьшается, а количество свободной воды возрастает. Это ведет к улучшению реологических характеристик смеси, но несколько замедляет процессы структурообразования и твердения цемента.

Механизм действия новых суперпластификаторов (гиперразжижителей) заключается в том, что частицы поликарбоксилатов, адсорбируясь на поверхности цементных зерен, сообщают им отрицательный заряд. После адсорбции на поверхности зерен полимеры начинают отталкиваться друг от друга – диспергировать частицы цемента.

Механизм действия гиперпластификаторов



Механизм действия стабилизирующих добавок

Добавки-стабилизаторы применяют для повышения стабильности и сохраняемости бетонных и растворных смесей. Механизм действия и технический эффект стабилизаторов заключается в повышении водоудерживающей способности смеси. Их использование для бетононасосной технологии обеспечивает высокую однородность смеси и улучшает её перекачиваемость по трубопроводу.

При введении стабилизаторов в систему “цемент-вода-заполнитель” изменяются свойства поверхности частиц твердой фазы (цемента, в первую очередь) и происходит изменение соотношения между пленочной и свободной водой.

В результате пептизирующего действия добавок и вследствие увеличения количества пленочной воды наступает стабилизация системы, приводящая к сохраняемости свойств смеси и её хорошей перекачиваемости по трубам.

Механизм действия стабилизирующей добавки Sika Stabilizer 4R

- Молекула стабилизирующей добавки



- Водоудерживающий эффект стабилизирующей добавки



Механизм действия поризующих добавок

Поризующие добавки – это вещества, способствующие целенаправленному образованию в теле бетона воздушных или других газообразных пор.

Поризующие добавки в зависимости от основного эффекта действия подразделяются на:

- воздухововлекающие,**
- пенообразующие,**
- газообразующие.**

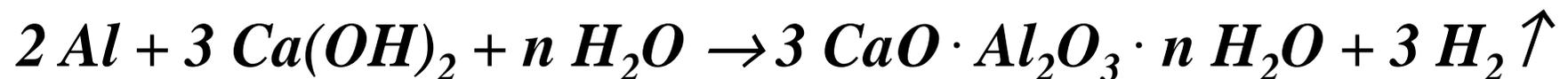
Поризующие добавки используются для производства ячеистых бетонов, а также при изготовлении легкого конструкционного, конструкционно-теплоизоляционного и теплоизоляционного бетона на пористых заполнителях.

Механизм действия поризующих добавок

При производстве газобетонов поризация основана на образовании в тесте вяжущих газовых пузырьков, создающих ячеистую структуру цементного или известково-силикатного теста.

Источником газообразования является свободный водород, который образуется в результате химического взаимодействия газообразующих добавок (порошки алюминия, магния, цинка и др.) с гидроксидом кальция, выделяющимся при гидролизе трехкальциевого силиката.

Высокодисперсный порошок алюминия окисляется и превращается в гидроалюминат кальция с выделением молекулярного водорода:



2 Добавки, регулирующие свойства бетонов и растворов:

- регулирующие кинетику твердения:
ускорители,
замедлители;**
- повышающие прочность;**
- снижающие проницаемость;**
- повышающие защитные свойства по отношению к стальной арматуре;**
- повышающие морозостойкость;**
- повышающие коррозионную стойкость;**
- расширяющие.**

Механизм действия добавок-замедлителей схватывания и твердения бетона заключается в торможении процессов гидратации и гидролиза клинкерных минералов, т. е. обуславливает замедленное выделение свободной извести в раствор и замедляет процессы коагуляции и сближения зерен цемента и его гидратных новообразований. Вследствие этого интенсивность схватывания затворенных водой клинкерных цементов замедляется.

Механизм действия ускорителей твердения заключается в активизации процесса гидратации цемента, приводящей к ускоренному образованию гелей, которые захватывают в свои ячейки большое количество жидкой фазы и вследствие этого вызывают быстрое схватывание и интенсивное упрочнение цементного камня.

ЛЕКЦИЯ 3: ДОБАВКИ ДЛЯ БЕТОНОВ И СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ

По механизму действия добавки-ускорители разделяют на два класса:

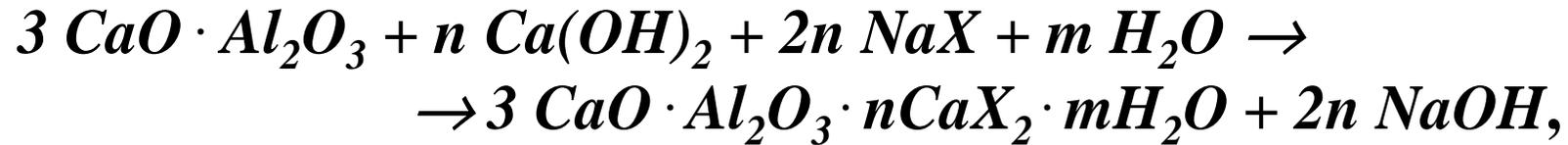
- **добавки электролитов 1 класса** (ХК, НК, ННК, ННХК), содержащие одноименные с вяжущими веществами кальций-ионы, повышают их растворимость и ускоряют процессы гидратации и твердения;

- **добавки электролитов 2 класса** (П, СН, ХН, НН₁, ТН, ТНФ), реагируя с минеральными вяжущими материалами, образуют труднорастворимые или малодиссоциированные комплексные соединения.

При взаимодействии добавок второго класса с клинкерными минералами в основном получают двойные соли-гидраты.

Соли натрия и калия, при условии поступления в жидкую фазу гидроксида кальция, в результате реакции присоединения образуют наряду с основным продуктом и побочный - щелочь:

ЛЕКЦИЯ 3: ДОБАВКИ ДЛЯ БЕТОНОВ И СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ



где $n = 1$ или 3 ;

$m = 10...12$ или $14...31$;

X - однозарядный анион (Cl^- , NO_3^- , NO_2^- , CH_3COO и т. д.) или

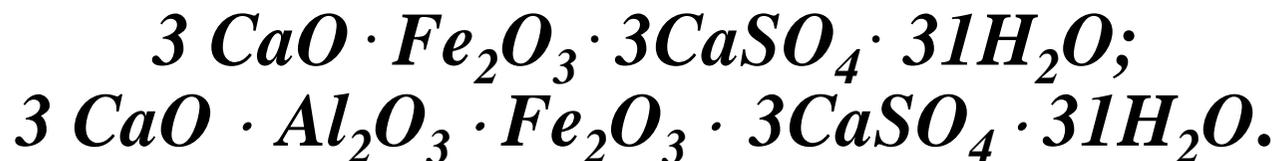
$0,5$ двухзарядного аниона (SO_4^{--} , CO_3^{--} и т. п.)

В зависимости от X -аниона двойные соли называются: гидрохлоралюминат кальция (ГХАК), гидронитроалюминат кальция (ГНАК), гидронитриалюминат кальция (ГНиАК) и т. п.

**Добавки, повышающие прочность
и снижающие проницаемость бетона**

Кольматирующие (уплотняющие) добавки – это вещества, способствующие заполнению пор в бетоне водонерастворимыми продуктами. В качестве кольматирующих добавок используют тонкодисперсные минеральные вещества, обладающие гидравлической или пуццоланической активностью, а также водорастворимые добавки.

Добавки СЖ, ХЖ, НЖ ускоряют схватывание цемента и улучшают структурные характеристики и морозостойкость бетона. В результате реакций, протекающих между ними и составляющими цемента и продуктами их гидратации, образуются труднорастворимые двойные соли-гидраты типа:



В результате возникновения высокодисперсных эластичных труднорастворимых железосодержащих новообразований происходит кольматация пор цементного камня, что способствует повышению непроницаемости бетона, а, следовательно, и его долговечности.

Добавки, повышающие защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре (ингибиторы коррозии стали)

Механизм действия добавок-ингибиторов коррозии стали заключается в том, что в их присутствии происходит быстрое окисление растворимого оксида двухвалентного железа с образованием на поверхности стали пассивирующих защитных пленок из гидроксида железа. Постепенно из области действия коррозии исключаются новые участки поверхности стали и процесс коррозии прекращается. Эффективное замедление обеспечивается только при достаточном количестве добавки, отвечающем необходимому для данной системы отношению ингибитор : хлорид (сульфат).

Применение добавок-ингибиторов коррозии стали снижает диффузионную проницаемость бетона, увеличивает электропроводность бетона, позволяет твердеть бетону при отрицательных температурах.

Добавки, повышающие морозостойкость бетона

Микрогазообразующие добавки (для тяжелых бетонов), также как и **воздухововлекающие**, способствуют получению более стабильной и мелкодисперсной структуры условно замкнутых пор, что обеспечивает повышение морозостойкости и водонепроницаемости бетона.

Для поризации тяжелых бетонов и строительных растворов используются:

- **Полигидросилоксаны 136-41 и 136-157М** - полимеры этилгидросилоксана, образующиеся при гидролизе этилдихлорсилана;
- **Этилгидридсесквиоксан ПГЭН.**

Механизм действия микрогазообразующих добавок сводится к образованию в бетонных или растворных смесях до 2 % газовых микропузырьков в единице объема бетона или раствора и частичной гидрофобизации внутренней поверхности пор.

Расширяющие добавки

Для компенсации усадки портландцементов, для создания расширяющих и напрягающих цементов, торкрет-бетонов, тампонажных бетонов, безусадочных смесей (самовыравнивающие полы, ремонтные составы) используют расширяющую добавку для цемента - DENKA CSA20®. Химический состав DENKA CSA 20 - моноссульфоалюминат кальция.

Механизм действия расширяющей добавки:

в процессе гидратации цемента DENKA CSA 20 увеличивает количество химически связанной воды и активизирует образование двойных солей кристаллогидратов - гидросульфоалюминатов кальция ГСАК, которые заполняют образующиеся пустоты. В результате, химическая усадка материала уменьшается, а прочностные показатели увеличиваются.

3 Добавки, придающие бетонам и растворам специальные свойства:

- **противоморозные:**

 - для «холодного» бетона,
 - для «теплого» бетона;

- **гидрофобизирующие (водоотталкивающие);**
- **фотокаталитические (пылеотталкивающие);**
- **биоцидные.**

Противоморозные добавки

В холодный период года в бетонные и растворные смеси целесообразно вводить противоморозные добавки – вещества, понижающие температуру замерзания воды и способствующие твердению бетона при отрицательных температурах.

По механизму действия противоморозные добавки разделяются на три группы:

- **антифризы,**
- **сильные ускорители твердения бетона,**
- **ускорители схватывания бетонной смеси и хорошие антифризы.**

ЛЕКЦИЯ 3: ДОБАВКИ ДЛЯ БЕТОНОВ И СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ

1 группа – антифризы – вещества, понижающие температуру замерзания жидкой фазы бетона и являющиеся либо слабыми ускорителями, либо слабыми замедлителями схватывания и твердения бетона, то есть практически не влияют на скорость структурообразования.

К этой группе относятся ХН, НН, НН₁, ФНС, М и другие.

Ко 2-ой группе относятся добавки, обладающие слабыми антифризными свойствами, но являющиеся сильными ускорителями твердения бетона – сульфаты железа СЖ, сульфаты алюминия СА и некоторых других металлов.

Такие добавки на ранней стадии твердения бетонной смеси обеспечивают создание достаточно плотной микрокапиллярной структуры цементного камня, что обусловлено протеканием обменных реакций с образованием труднорастворимых соединений.

ЛЕКЦИЯ 3: ДОБАВКИ ДЛЯ БЕТОНОВ И СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ

К 3-ей группе относятся такие добавки, которые сильно ускоряют схватывание бетонной смеси и твердение бетона и обладают хорошими антифризными свойствами.

К ним относятся: поташ П, хлористый кальций ХК, хлорное железо ХЖ, ННХК, ННХК+М и другие.

Ускорение твердения бетона вызывается тем, что эти добавки повышают растворимость силикатных составляющих цемента и образуют с продуктами его гидратации двойные или основные соли.

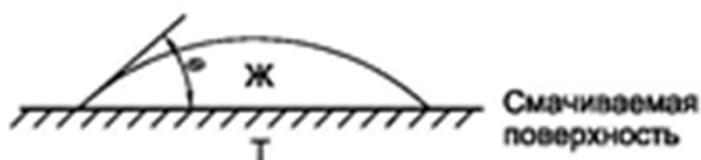
Выбор противоморозных добавок

Вид противоморозной добавки выбирается в зависимости от типа и условий эксплуатации конструкций, темпа строительства, метеорологических условий (температуры наружного воздуха и скорости ветра) и технико-экономических показателей.

Гидрофобизирующие добавки

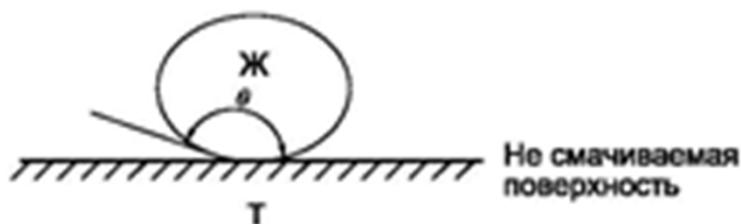
Гидрофобизирующие добавки – это вещества, придающие стенкам пор и капилляров в бетоне гидрофобные (водоотталкивающие) свойства.

Механизм действия гидрофобизирующих добавок состоит в том, что они при взаимодействии с продуктами гидратации цемента осаждаются в виде мельчайших капелек на стенках мелких пор и капилляров, образуя гидрофобные покрытия. В результате этого возникает контакт, имеющий обратный угол, при котором силы поверхностного натяжения выталкивают воду из пор.



Ж - жидкость

θ - краевой угол смачивания

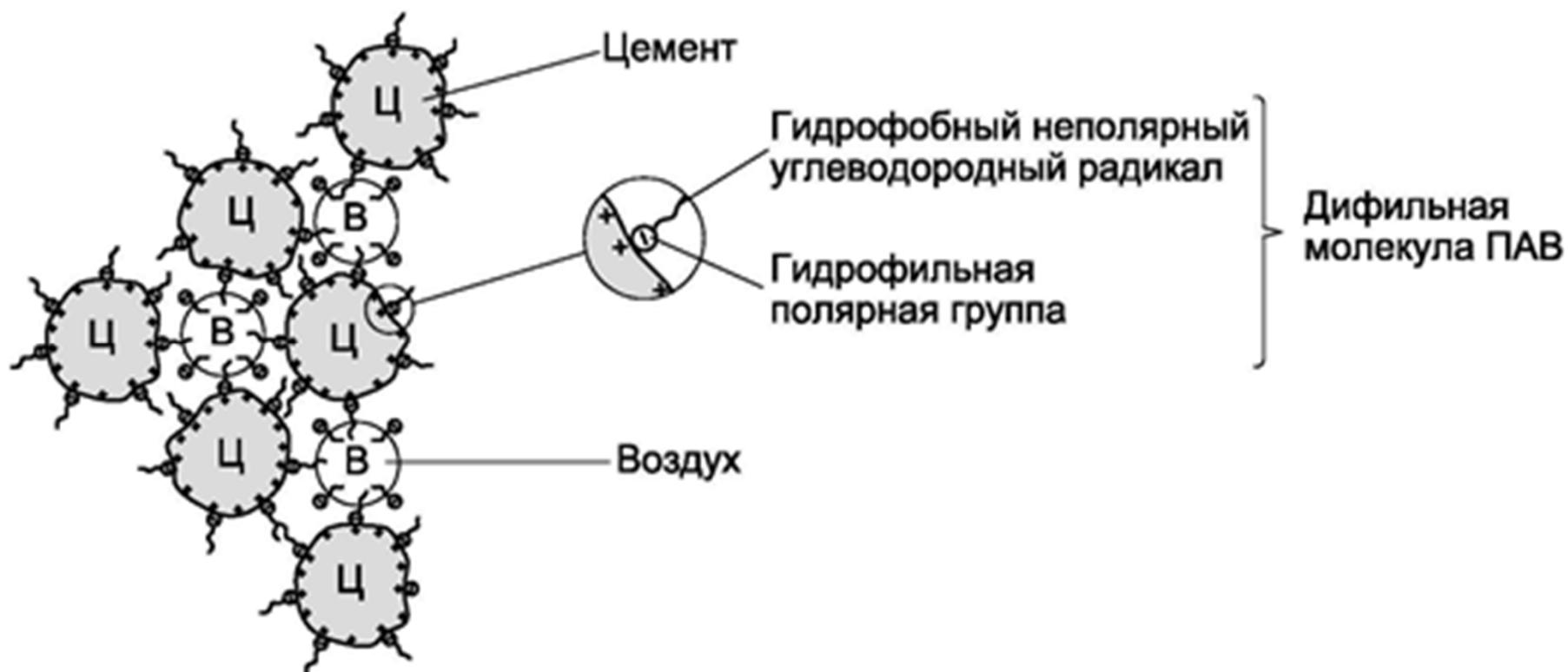


1) $\theta < 90^\circ$, $\cos\theta > 0$ - поверхность смачивается жидкостью;

2) $\theta > 90^\circ$, $\cos\theta < 0$ - поверхность не смачивается жидкостью;

3) краевой угол не устанавливается и капля растекается в пленку.

Механизм действия гидрофобизирующих добавок



Фотокаталитические добавки

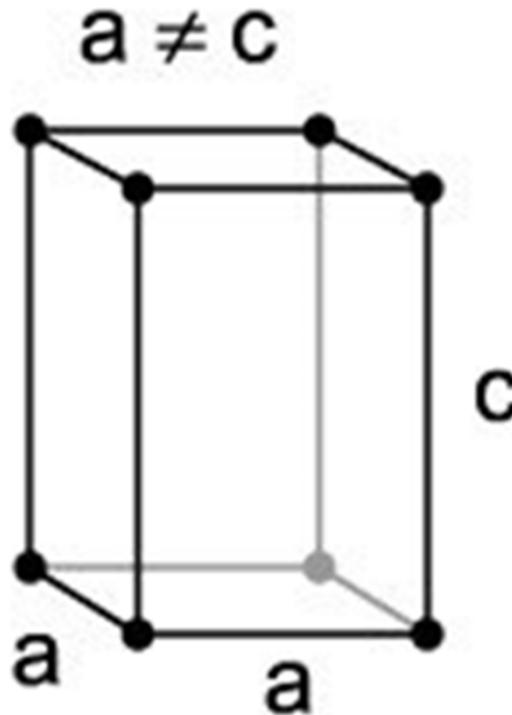
Фотокаталитический бетон – бетон, в который или на поверхность которого внесен фотокатализатор путем перемешивания при приготовлении бетонной смеси, пропитки, нанесения покрытия и другим аналогичным образом (ГОСТ Р 57255-2016 Бетоны фотокаталитические активные самоочищающиеся. Технические условия).

Фотокатализатор – вещество, которое при фотооблучении проявляет одну или больше функций, основанных на окислительно-восстановительных реакциях, включая самоочищение, разложение и удаление загрязняющих веществ, устранение нежелательных запахов, антибактериальное и противотуманное действие.

Под действием фотокатализа органические соединения, летучие химические вещества, запахи, вирусы и бактерии, формальдегид, ацетальдегид и другие могут разлагаться до безопасных молекул воды (H_2O) и углекислого газа (CO_2).

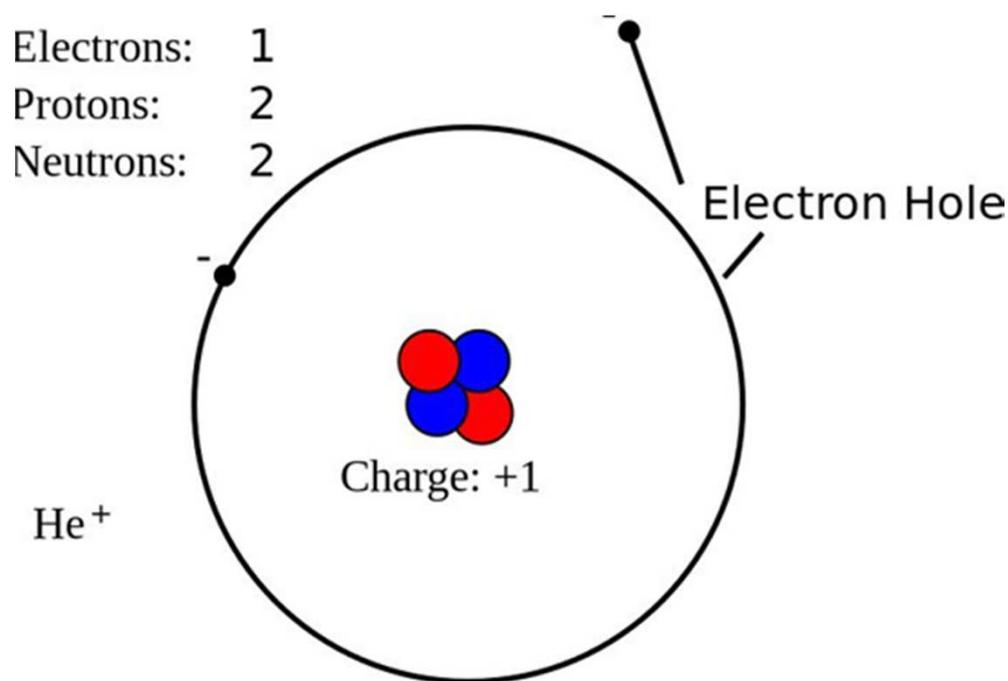
Фотокаталитические добавки

Наибольшее распространение в качестве фотокатализатора в силу относительной дешевизны и высокой эффективности получил диоксид титана с тетрагональной сингонией (анатаз) TiO_2 .



ЛЕКЦИЯ 3: ДОБАВКИ ДЛЯ БЕТОНОВ И СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ

Действие самоочищающихся бетонов с физико-химической точки зрения основано на процессе фотокатализа, а также образования процесса «электрон-дырка» внутри данной химической реакции. «Электрон-дырка» - физический процесс, при котором электрон, покидая атом гелия, оставляет на своём месте пустое пространство. При этом сам атом становится положительно заряженным.



ЛЕКЦИЯ 3: ДОБАВКИ ДЛЯ БЕТОНОВ И СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ

При использовании диоксида титана в составе бетона процесс самоочищения поверхности изделия базируется на двух явлениях:

окисление и гидрофилизация поверхности.

При окислении фотокатализаторы разлагают органические материалы, которые загрязняют поверхность.

К таким загрязнителям можно отнести: сажу, копоть, масла, грибки, плесень, некоторые бактерии, аллергены, бензол, формальдегид, табачный дым, различного рода красители, смог.

Катализируемые соединения распадаются на кислород, углекислый газ, воду, сульфаты и нитраты.

При гидрофилизации поверхности продукты каталитической реакции легко удаляются с обрабатываемой поверхности из-за приобретения ей гидрофильных свойств.

Биоцидные добавки

В строительных конструкциях повышенной пористости и гидрофильности поселяются бактерии, способствующие выщелачиванию из цементного камня ионов кальция. При этом снижается величина pH, что приводит к повышению степени карбонизации бетона и его разрушению.

Бактерии могут активно разрушать не только бетон, но и стальную арматуру, либо непосредственно влияя на сталь, либо образуя в аэробных условиях сначала азотистую, а затем азотную кислоту.

Для повышения стойкости против биохимической коррозии в состав бетона или раствора на стадии их приготовления вводят специальные добавки:

**бактерицидные – от бактерий,
фунгицидные – от грибов,
альгицидные – от водорослей.**

Биоцидные добавки

В качестве химических средств защиты бетона могут применяться:

- неорганические соединения – оксиды и соли бора, меди, хрома, цинка, мышьяка и другие;**
- органические соединения – фенолы и хлорфенолы, производные карбоновых, оксикарбоновых, карбаминовых и тиокарбаминовых кислот и другие;**
- элементоорганические и комплексные соединения олова, меди, свинца, мышьяка, кремния, ртути и другие.**

По агрегатному состоянию биоциды бывают твердыми (порошки), жидкими и газообразными (фумиганты, летучие фунгициды и другие);

по признакам растворимости – водорастворимыми, малорастворимыми и растворимыми в органических растворителях.

4 Минеральные добавки

В зависимости от характера взаимодействия с продуктами гидратации цемента подразделяют на типы:

- тип I – активные;**
- тип II – инертные.**

Активные минеральные добавки (АМД) вступают в химическое взаимодействие с продуктами гидратации цемента и могут быть заменителями цемента.

АМД подразделяют на следующие группы:

- обладающие вяжущими свойствами;**
- обладающие пуццолановой активностью;**
- обладающие одновременно вяжущими свойствами и пуццолановой активностью.**

Инертные минеральные добавки не вступают в химическое взаимодействие с продуктами гидратации цемента и являются наполнителями.

Механизм действия активных минеральных добавок обусловлен их химическим взаимодействием с известью, образующейся в результате гидролиза C_3S при гидратации цемента. При этом в основном образуются низкоосновные гидросиликаты кальция типа C-S-H (B), гидроалюминаты- и гидроферриты кальция, которые увеличивая гелевую составляющую цементного камня, улучшают прочностные и деформативные свойства бетона.

Пуццоланический эффект действия тонкодисперсных добавок в бетонах проявляется в химическом взаимодействии активного кремнезема с известью по схеме:



Органо-минеральный модификатор типа МБ (модификатор) - поликомпонентный порошкообразный материал с размером гранул не более 0,5 мм, включающий в себя минеральную и органическую части и предназначенный для одновременного улучшения технологических и физико-механических свойств цементных систем.

Минеральная часть модификатора - дисперсный порошок неорганического природного (метакаолин, гипс) и/или техногенного (микрокремнезем, зола-уноса) происхождения.

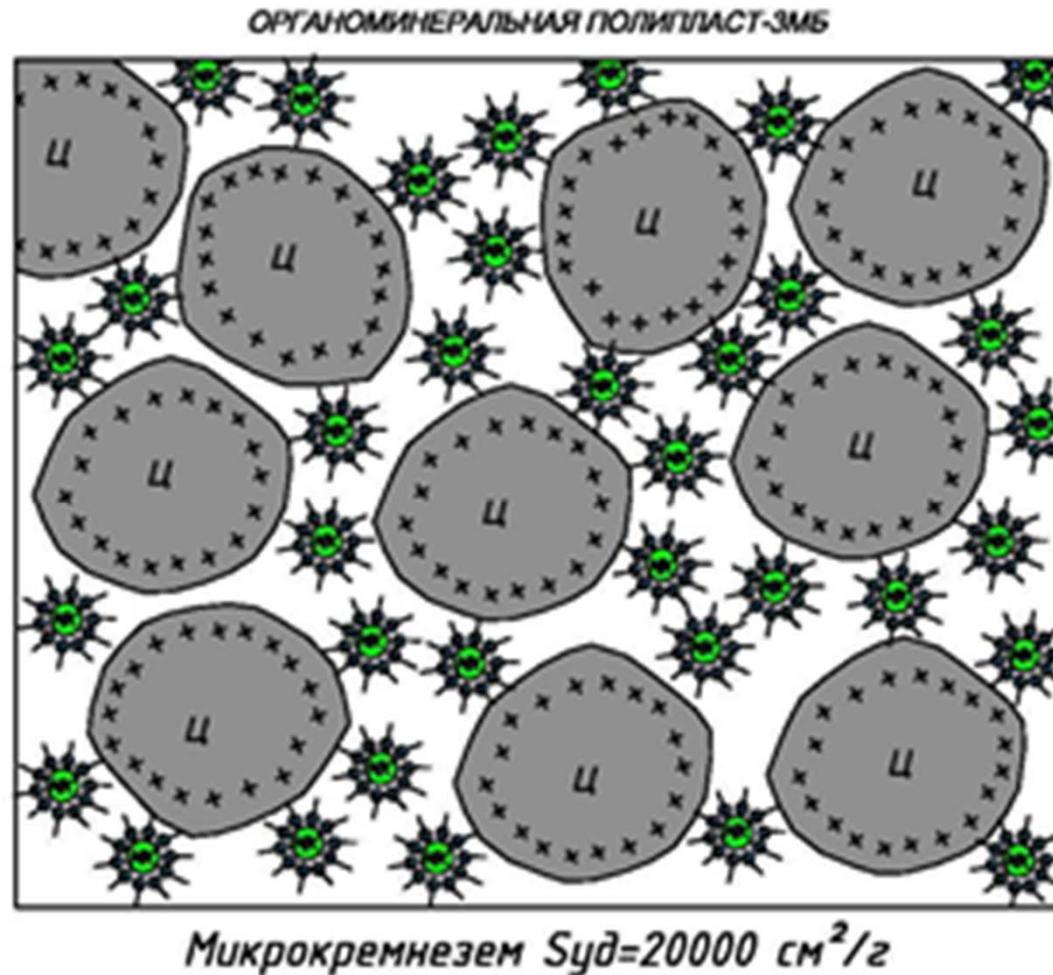
Органическая часть модификатора - химические добавки органического происхождения.

Органо-минеральные модификаторы типа МБ

применяют для получения:

- бетонных смесей улучшенных технологических свойств, в том числе высокоподвижных и самоуплотняющихся, обладающих высокой степенью сохраняемости, удобоукладываемости и сегрегационной устойчивости (водоотделения, расслаиваемости),**
- высокопрочных, непроницаемых, коррозионно-стойких, напрягающих, расширяющихся, с частично компенсированной усадкой бетонов и растворов, применяемых в промышленном, гражданском, транспортном и других видах строительства, включая системы питьевого водоснабжения.**

Механизм действия модификатора типа МБ



Ц – частицы цемента; МК – частицы минеральной добавки с закрепленными на них молекулами суперпластификатора

ЛЕКЦИЯ 4

ВИДЫ И СВОЙСТВА БЕТОННЫХ И РАСТВОРНЫХ СМЕСЕЙ

Содержание

- 1 Виды бетонных смесей**
- 2 Основные свойства бетонных смесей**
- 3 Виды и свойства растворных смесей**
- 4 Контроль качества материалов и готовых смесей**

ЛЕКЦИЯ 4: ВИДЫ И СВОЙСТВА БЕТОННЫХ И РАСТВОРНЫХ СМЕСЕЙ

Нормативная база

ГОСТ 7473-2010 Смеси бетонные. Технические условия

ГОСТ 10181-2014 Смеси бетонные. Методы испытаний

ГОСТ 31357-2007 Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Общие технические условия

ГОСТ 31356-2007 Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Методы испытаний

ГОСТ 28013-98 Растворы строительные. Общие технические условия

ГОСТ 5802-86 Растворы строительные. Методы испытаний

СП 82-101-98 Приготовление и применение растворов строительных

СТО НОСТРОЙ 2.6.54-2011 Конструкции монолитные бетонные и железобетонные. Технические требования к производству работ, правила и методы контроля

ЛЕКЦИЯ 4: ВИДЫ И СВОЙСТВА БЕТОННЫХ И РАСТВОРНЫХ СМЕСЕЙ

СМЕСЬ БЕТОННАЯ – готовая к применению рационально подобранная, тщательно перемешанная смесь вяжущего, заполнителей и воды с добавлением или без добавления химических и минеральных добавок, которая после уплотнения, схватывания и твердения превращается в бетон.

СМЕСЬ СУХАЯ СТРОИТЕЛЬНАЯ БЕТОННАЯ – смесь сухих компонентов вяжущего, заполнителей и добавок, дозированных и перемешанных на заводе, затворяемая водой перед употреблением.

ТОВАРНАЯ БЕТОННАЯ СМЕСЬ – бетонная смесь, поставляемая в пластичном состоянии лицами или организациями, не являющимися потребителями.

БЕТОННАЯ СМЕСЬ, ПРИГОТОВЛЕННАЯ НА СТРОЙПЛОЩАДКЕ – смесь, приготовленная в месте строительства производителем работ для собственного использования.

БЕТОННАЯ СМЕСЬ ЗАДАННОГО КАЧЕСТВА – бетонная смесь, требуемые свойства которой задаются производителю, несущему ответственность за обеспечение этих требуемых свойств и дополнительных характеристик.

БЕТОННАЯ СМЕСЬ ЗАДАННОГО СОСТАВА – бетонная смесь, состав которой и используемые при ее приготовлении составляющие задаются производителю, несущему ответственность за обеспечение этого состава.

БЕТОННАЯ СМЕСЬ ЗАДАННОГО НОРМИРОВАННОГО СОСТАВА – бетонная смесь заданного состава, который определен конкретным стандартом или техническим документом, например, производственными нормами.

КЛАССИФИКАЦИЯ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ПО ТИПУ БЕТОНА:

- **бетонные смеси тяжелого бетона (БСТ);**
- **бетонные смеси мелкозернистого бетона (БСМ);**
- **бетонные смеси легкого бетона (БСЛ).**

ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА БЕТОННОЙ СМЕСИ:

- **удобоукладываемость;**
- **расслаиваемость (водоотделение и растворотделение);**
- **сохраняемость свойств во времени;**
- **объем вовлеченного воздуха;**
- **средняя плотность;**
- **пористость;**
- **температура.**

ЛЕКЦИЯ 4: ВИДЫ И СВОЙСТВА БЕТОННЫХ И РАСТВОРНЫХ СМЕСЕЙ

Удобоукладываемость – это способность бетонной смеси заполнять форму бетонируемого изделия под действием сил тяжести или вибрации.

В зависимости от показателя удобоукладываемости бетонные смеси подразделяют на группы:

- жесткие (Ж),
- подвижные (П),
- растекающиеся (Р),
- самоуплотняющиеся (СУ) (СТО НОСТРОЙ 2.6.54-2011).

Группы подразделяют на марки по удобоукладываемости.

Жесткие смеси характеризуются жесткостью – временем вибрации в секундах, которое необходимо для выравнивания бетонной смеси и появления цементного теста в отверстиях прибора.

Подвижные смеси оцениваются осадкой конуса (ОК), отформованного из бетонной смеси.

Растекающиеся смеси определяются величиной расплыва на встряхивающем столе.

Самоуплотняющиеся смеси оцениваются диаметром расплыва конуса (ДР), отформованного из бетонной смеси.

Уплотняемость смеси характеризуется степенью уплотняемости, которую оценивают по разности высот бетонной смеси в форме до и после её уплотнения.

ЛЕКЦИЯ 4: ВИДЫ И СВОЙСТВА БЕТОННЫХ И РАСТВОРНЫХ СМЕСЕЙ

Марки по удобоукладываемости

Для жестких смесей:

Марки по жесткости

Марка	Жесткость, с
Ж1	5 – 10
Ж2	11 – 20
Ж3	21 – 30
Ж4	31 – 50
Ж5	Более 50

Для подвижных смесей:

Марки по осадке конуса

Марка	Осадка конуса, см
П1	1 – 4
П2	5 – 9
П3	10 – 15
П4	16 – 20
П5	Более 20

Для растекающихся смесей:

Марки по расплыву конуса

Марка	Диаметр расплыва, см
Р1	Менее 35
Р2	35 – 41
Р3	42 – 48
Р4	49 – 55
Р5	56 – 62
Р6	Более 62

Оценка уплотняемости:

Марки по уплотнению

Марка	Коэффициент уплотнения
КУ1	Более 1,45
КУ2	1,45 – 1,26
КУ3	1,25 – 1,11
КУ4	1,10 – 1,04
КУ5	Менее 1,04

ЛЕКЦИЯ 4: ВИДЫ И СВОЙСТВА БЕТОННЫХ И РАСТВОРНЫХ СМЕСЕЙ

Для самоуплотняющихся смесей:

Марки по растекаемости

Марка	Диаметр расплыва, см
СУ1 (SF-1)*	55 – 65
СУ2 (SF-2)*	66 – 75
СУ3 (SF-3)*	76 – 85

Примечание – * - маркировка по методике EN 12350.5-2000.

Условное обозначение бетонной смеси **заданного качества:**

бетонной смеси тяжелого бетона класса по прочности на сжатие В35, марки по удобоукладываемости П3, марок бетона по морозостойкости F₁₂₀₀ и водонепроницаемости W8:

БСТ В35 П3 F₁₂₀₀ W8 ГОСТ 7473-2010;

бетонной смеси мелкозернистого бетона класса по прочности на сжатие В25, марки по удобоукладываемости П2, марок бетона по морозостойкости F₁₁₀₀ и водонепроницаемости W4:

БСМ В25 П2 F₁₁₀₀ W4 ГОСТ 7473-2010;

бетонной смеси легкого бетона класса по прочности на сжатие В12,5, марки по удобоукладываемости П1, марок бетона по морозостойкости F₁₁₀₀, водонепроницаемости W2, средней плотности D900:

БСЛ В12,5 П1 F₁₁₀₀ W2 D900 ГОСТ 7473-2010.

ЛЕКЦИЯ 4: ВИДЫ И СВОЙСТВА БЕТОННЫХ И РАСТВОРНЫХ СМЕСЕЙ

При заказе **товарной бетонной смеси заданного качества** потребитель должен указывать требования к прочности бетона по проектному классу и, при необходимости, по минимальной средней прочности бетона в каждой поставляемой партии, а требования по удобоукладываемости – по маркам и, при необходимости, по конкретным значениям.

Условное обозначение товарной бетонной смеси заданного качества:

бетонной смеси тяжелого бетона класса по прочности на сжатие $B25$ с минимальной требуемой прочностью бетона 33 МПа, марки по удобоукладываемости П1, с осадкой конуса 3 см, марок бетона по морозостойкости F_{1200} и водонепроницаемости $W4$:

БСТ $B25$ ($R_m^T \geq 33$ МПа) П1 (ОК 3 см) F_{1200} $W4$ ГОСТ 7473-2010

бетонной смеси тяжелого бетона класса по прочности на сжатие $B30$ с минимальной требуемой прочностью бетона 40 МПа, марки по удобоукладываемости СУ1, с диаметром расплыва 58 см, марок бетона по морозостойкости F_{1200} и водонепроницаемости $W6$:

БСТ $B30$ ($R_m^T \geq 40$ МПа) СУ1 (ДР 58 см) F_{1200} $W6$ СТО НОСТРОЙ 2.6.54-2011

При заказе **бетонной смеси заданного состава** ее условное обозначение не приводят, а указывают состав смеси и качество используемых при ее приготовлении составляющих.

ЛЕКЦИЯ 4: ВИДЫ И СВОЙСТВА БЕТОННЫХ И РАСТВОРНЫХ СМЕСЕЙ

Показатели расслаиваемости бетонной смеси (водоотделение и раствороотделение) характеризуют способность смеси сохранять однородность при транспортировании, перегрузке, укладке и уплотнении.

Требования к расслаиваемости бетонной смеси

Марка по удобоукладываемости	Расслаиваемость бетонной смеси, %, не более		
	Водоотделение	Раствороотделение	
		тяжелых и мелко-зернистых бетонов	легких бетонов
Ж1 - Ж5	0,2	3	4
П1 - П2	0,4	3	4
П3 - П5 и Р1 - Р6	0,8	4	6

Сохраняемость свойств во времени характеризует способность смеси сохранять свои свойства в течение требуемого времени от момента приготовления.

Объем вовлеченного воздуха – показатель, отражающий содержание в составе бетонной смеси вовлеченного воздуха в виде равномерно распределенных воздушных пузырьков размером 10 – 15 мкм.

Бетонные смеси для бетонов марки по морозостойкости **F₁₂₀₀ (F₂₁₀₀)** и выше должны изготавливаться с применением воздухововлекающих (микрогазообразующих) добавок. Содержание вовлеченного воздуха в бетонной смеси должно быть не менее 4 %.

ЛЕКЦИЯ 4: ВИДЫ И СВОЙСТВА БЕТОННЫХ И РАСТВОРНЫХ СМЕСЕЙ

Температуру бетонной смеси измеряют термометром, погружая его в смесь на глубину не менее 5 см.

Марка по средней плотности, пористость, температура и сохраняемость свойств во времени должны соответствовать значениям, **указанным в договоре на поставку бетонной смеси.**

Для бетонных смесей, транспортируемых и укладываемых с помощью бетононасосов, важной характеристикой является **перекачиваемость.**

Требования к материалам перекачиваемой бетонной смеси

Наименование показателей, единица измерения	Величина
Относительное водосодержание цемента	1,2 – 2,4
Степень заполнения пустот в песке цементным тестом	1,1 – 1,9
Степень заполнения пустот в крупном заполнителе раствором	1,2 – 1,9
Минимально допустимый расход вяжущего $V_{ж_{min}}$, кг	300
Объем тонкодисперсных фракций, л/м ³	170 – 200
Наибольшая крупность заполнителя HK , мм	20
Расход крупного заполнителя $Щ$, л/м ³	≤ 340
Содержание мелкого заполнителя в смеси заполнителей $П/(П+Щ)$	0,4 – 0,7

ЛЕКЦИЯ 4: ВИДЫ И СВОЙСТВА БЕТОННЫХ И РАСТВОРНЫХ СМЕСЕЙ

РАСТВОР СТРОИТЕЛЬНЫЙ - рационально составленная, однородно перемешанная смесь вяжущего вещества (цемент, известь, гипс и др.), воды, песка и добавок, приобретающая с течением времени камневидное состояние.

Свойства строительных растворов включают:

- свойства растворных смесей;
- свойства затвердевшего раствора.

Основные свойства растворных смесей:

- подвижность;
- водоудерживающая способность;
- расслаиваемость;
- температура применения;
- средняя плотность.

Основные свойства затвердевшего раствора:

- прочность на сжатие;
- морозостойкость;
- средняя плотность.

ЛЕКЦИЯ 4: ВИДЫ И СВОЙСТВА БЕТОННЫХ И РАСТВОРНЫХ СМЕСЕЙ

Растворные смеси в зависимости от подвижности подразделяют на марки.

Марки растворных смесей по подвижности

Марка	Норма подвижности по погружению конуса, см
П_к 1	От 1 до 4 вкл.
П_к 2	Св. 4 до 8 вкл.
П_к 3	Св. 8 до 12 вкл.
П_к 4	Св. 12 до 14 вкл.

Водоудерживающая способность растворных смесей должна быть не менее 90 %, глинодержащих растворов - не менее 93 %.

Расслаиваемость свежеприготовленных смесей не должна превышать 10 %.

Температура растворных смесей зависит от температуры наружного воздуха и в момент использования должна быть в пределах 10 – 25 °С.

ЛЕКЦИЯ 4: ВИДЫ И СВОЙСТВА БЕТОННЫХ И РАСТВОРНЫХ СМЕСЕЙ

Условное обозначение строительного раствора при заказе должно состоять из сокращенного обозначения с указанием:

- назначения,
- вида применяемого вяжущего,
- марки по прочности,
- марки по подвижности,
- средней плотности (для легких растворов) и обозначения стандарта.

Пример условного обозначения тяжелого раствора, готового к употреблению, кладочного, на известково-гипсовом вяжущем, марки по прочности М100, марки по подвижности П_к2:

Раствор кладочный, известково-гипсовый, М100, П_к2 ГОСТ 28013-98.

Пример условного обозначения легкого раствора, готового к употреблению, штукатурного, на цементном вяжущем, марки по прочности М50, марки по подвижности П_к3, средней плотности D900:

Раствор штукатурный, цементный, М50, П_к3, D900 ГОСТ 28013-98.

ЛЕКЦИЯ 4: ВИДЫ И СВОЙСТВА БЕТОННЫХ И РАСТВОРНЫХ СМЕСЕЙ

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛОВ И ГОТОВЫХ СМЕСЕЙ

Виды контроля:

- входной контроль** качества материалов;
- операционный контроль** приготовления бетонной смеси;
- приемочный контроль** готовой бетонной смеси,
который включает **приемо-сдаточные**
и периодические испытания.

ЛЕКЦИЯ 4: ВИДЫ И СВОЙСТВА БЕТОННЫХ И РАСТВОРНЫХ СМЕСЕЙ

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛОВ И ГОТОВЫХ СМЕСЕЙ

Карта входного контроля качества материалов

Объект контроля	Технологическая операция	Контролируемый показатель	Метод и средства контроля	Периодичность контроля
Цемент	Прием	Вид, марка (класс), объем партии	По документам поставщиков (контрольное взвешивание при необходимости)	Каждая партия
		Прочность, сроки схватывания, нормальная густота цементного теста, равномерность изменения объема	По ГОСТ 310.1 - 310.4 или ГОСТ 30744, определение прочности путем испытания в бетоне.	Каждая партия
		Удельная эффективная активность естественных радионуклидов $A_{эфф}$	По документам поставщиков По ГОСТ 30108	Каждая партия Один раз в год
	Разгрузка и транспортирование	Соблюдение правил, обеспечивающих предотвращение потерь и смешивания различных цементов	Осмотр и наблюдение	Каждая партия
	Хранение	Исправность бункеров для хранения	Осмотр и наблюдение	Ежемесячно
		Сохранение свойств и отсутствие слеживания	Осмотр, контрольные испытания при необходимости	
	Щебень	Прием	Вид, объем партии	По документам поставщиков (контрольное взвешивание при необходимости)
Зерновой состав, наибольшая крупность, содержание пылевидных и глинистых частиц, глины в комках			По ГОСТ 8269.0	Каждая партия, не реже одного раза в неделю
Прочность (марка по дробимости)				Каждая партия
Наличие зерен слабых пород и зерен пластинчатой и игловатой формы				Каждая партия
Морозостойкость				Один раз в шесть месяцев
Удельная эффективная активность естественных радионуклидов $A_{эфф}$			По документам поставщиков По ГОСТ 30108	Каждая партия Один раз в год
Разгрузка и транспортирование		Соблюдение правил выгрузки, недопущение засорения, сегрегации	Осмотр и наблюдение	Каждая партия
Хранение		Исправность бункеров для хранения		Ежемесячно

ЛЕКЦИЯ 4: ВИДЫ И СВОЙСТВА БЕТОННЫХ И РАСТВОРНЫХ СМЕСЕЙ

Карта входного контроля качества материалов

Объект контроля	Технологическая операция	Контролируемый показатель	Метод и средства контроля	Периодичность контроля
Песок	Прием	Вид, объем партии	По документам поставщиков (контрольное взвешивание)	Каждая партия
		Зерновой состав, модуль крупности, содержание пылевидных и глинистых частиц, глины в комках, наличие органических примесей в природном песке	По ГОСТ 8735	Каждая партия
		Удельная эффективная активность естественных радионуклидов $A_{эфф}$	По документам поставщиков По ГОСТ 30108	Каждая партия Один раз в год, а также при каждой смене поставщика
	Разгрузка и транспортирование	Соблюдение правил выгрузки, недопущение засорения	Осмотр и наблюдение	Каждая партия
	Хранение	Исправность бункеров для хранения		Ежемесячно
Химические добавки	Прием	Наличие паспорта, объем партии	По документам поставщиков (контрольное взвешивание)	Каждая партия
		Плотность раствора жидкого продукта	Определение ареометром по ГОСТ 18481	Каждая партия
		Качество по показателю эффективности их действия	По ГОСТ 30459	Один раз в год, а также при каждой смене поставщика
	Разгрузка, транспортирование	Соблюдение правил выгрузки, герметичность «еврокубов»	Осмотр и наблюдение	Каждая партия
	Хранение	Герметичность емкостей для хранения, исправность насосов		Ежемесячно
Минеральные добавки	Прием	Наличие паспорта, вид, объем партии	По документам поставщиков (контрольное взвешивание при необходимости)	Каждая партия
	Разгрузка, транспортирование	Соблюдение правил выгрузки, герметичность биг-бэгов	Осмотр и наблюдение	Каждая партия
	Хранение	Исправность бункеров для хранения, исправность компрессора		Ежемесячно
Вода техническая	Подача на повторное использование	Водородный показатель pH, содержание примесей	По ГОСТ 23732	Каждая порция воды, прошедшая полный цикл очистки

ЛЕКЦИЯ 4: ВИДЫ И СВОЙСТВА БЕТОННЫХ И РАСТВОРНЫХ СМЕСЕЙ

Карта операционного контроля приготовления бетонной смеси

Объект контроля	Технологическая операция	Контролируемый показатель	Метод и средства контроля	Периодичность контроля
Бетонная смесь	Приготовление	Влажность заполнителей	Автоматическая система управления	Постоянно
		Точность дозирования компонентов		
		Длительность перемешивания		
Бетоносмеситель	Контрольная проверка	Состояние бетоносмесителя, полнота выгрузки смеси	Осмотр и наблюдение	В конце каждой смены
	Мойка	Полнота очистки после мойки		
Бункер выгрузки смеси	Контрольная проверка	Состояние бункера, полнота выгрузки смеси	Осмотр и наблюдение	В начале каждой смены

ЛЕКЦИЯ 4: ВИДЫ И СВОЙСТВА БЕТОННЫХ И РАСТВОРНЫХ СМЕСЕЙ

Карта приемочного контроля товарной бетонной смеси

Объект контроля	Контролируемый показатель	Метод и средства контроля	Периодичность контроля
ПРИЕМО-СДАТОЧНЫЕ ИСПЫТАНИЯ			
Бетонная смесь	Удобоукладываемость	По ГОСТ 10181	Первые три загрузки в смену и далее каждую 10-ю загрузку в течение 15 мин после выгрузки смеси из смесителя и у потребителя не позже чем через 20 мин после доставки смеси
	Температура	Измерение термометром	В холодное время года каждый замес
Контрольные образцы бетона	Прочность бетона в проектном возрасте	По ГОСТ 10180 с оценкой результатов по правилам ГОСТ 18105	Для каждой партии
	Прочность бетона в промежуточном возрасте (при необходимости)		
	Средняя плотность	По ГОСТ 12730.1	
Правила изготовления контрольных образцов	Для определения прочности и средней плотности	По ГОСТ 10180	По ГОСТ 18105
Условия хранения контрольных образцов	Температура	Измерение термометром	Ежедневно
	Влажность	Измерение психрометром	
ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ			
Бетонная смесь	Сохраняемость удобоукладываемости	По ГОСТ 10181, ГОСТ 30459	При подборе состава бетонной смеси
	Показатели расслаиваемости	По ГОСТ 10181	При подборе состава бетонной смеси
	Объем вовлеченного воздуха	Визуально	
По ГОСТ 10181			Первая загрузка в смену (при необходимости)
Контрольные образцы бетона	Морозостойкость	По ГОСТ 10060	При подборе состава бетонной смеси и далее один раз в шесть месяцев, а также при каждой смене поставщика материалов (при необходимости)
	Водонепроницаемость	По ГОСТ 12730.5	
	Истираемость	По ГОСТ 13087	
Правила изготовления контрольных образцов	Для определения морозостойкости	По ГОСТ 10060	При подборе состава бетонной смеси и далее один раз в шесть месяцев
	Для определения водонепроницаемости	По ГОСТ 12730.5	
	Для определения истираемости	По ГОСТ 13087	
Условия хранения контрольных образцов	Температура	Измерение термометром	Ежедневно
	Влажность	Измерение психрометром	

ЛЕКЦИЯ 5

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА БЕТОНОВ И РАСТВОРОВ

Содержание

- 1 Основные показатели качества конструкционных бетонов**
- 2 Показатели качества напрягающих бетонов**
- 3 Основные свойства строительных растворов**

ЛЕКЦИЯ 5: ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА БЕТОНОВ И РАСТВОРОВ

Нормативная база

ГОСТ 26633-2015 Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия

ГОСТ 25820-2014 Бетоны легкие. Технические условия

ГОСТ 32803-2014 Бетоны напрягающие. Технические условия

СТО НОСТРОЙ 2.6.54-2011 Конструкции монолитные бетонные и железобетонные. Технические требования к производству работ, правила и методы контроля

ГОСТ 28013-98 Растворы строительные. Общие технические условия

ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам

ГОСТ 10060-2012 Бетоны. Методы определения морозостойкости

ГОСТ 12730.1-78 Бетоны. Методы определения плотности

ГОСТ 12730.4-78 Бетоны. Методы определения показателей пористости

ГОСТ 12730.5-2018 Бетоны. Методы определения водонепроницаемости

ГОСТ 13087-2018 Бетоны. Методы определения истираемости

ГОСТ 24452-80 Бетоны. Методы определения призмной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона

ГОСТ 24544-81 Бетоны. Методы определения деформаций усадки и ползучести

ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА БЕТОНА:

- **Прочность R , МПа** – свойство материала сопротивляться разрушению под действием напряжений, возникающих под воздействием внешних сил ;
- **Морозостойкость F** – способность материала в насыщенном водой состоянии выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание без видимых признаков разрушения и без значительного понижения прочности;
- **Водонепроницаемость W** – характеристика материала, показывающая, при достижении каких значений гидростатического давления этот материал теряет способность не пропускать через себя воду;
- **Истираемость G** – способность материала изменяться в объёме и массе под действием истирающих усилий;
- **Средняя плотность (для легкого бетона) D , кг/м³;**
- **Теплопроводность (коэффициент теплопроводности) в сухом состоянии (для легкого бетона) λ_0 , Вт/(м·°С).**

ПОКАЗАТЕЛИ ДЕФОРМАТИВНОСТИ БЕТОНА:

- **Модуль упругости** (при повторных и ударных нагрузках, температурных воздействиях) E , МПа – способность материала упруго деформироваться (то есть не постоянно) при приложении к нему силы;
- **Коэффициент Пуассона** μ – величина отношения относительного поперечного сжатия к относительному продольному растяжению ;
- **Коэффициент поперечной деформации** ν ;
- **Относительная деформация ползучести** при сжатии и растяжении, C , МПа⁻¹;
- **Усадка** ε_u ;
- **Набухание** $\varepsilon_{наб}$;
- **Предельная сжимаемость** ε_r ;
- **Предельная растяжимость** ε_p ;
- **Характеристика ползучести** φ .

ЛЕКЦИЯ 5: ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА БЕТОНОВ И РАСТВОРОВ

Класс бетона – одно из нормируемых значений унифицированного ряда данного показателя качества бетона, принимаемое с гарантированной обеспеченностью 0,95.

Марка бетона – одно из нормируемых значений унифицированного ряда данного показателя качества бетона, принимаемое по его среднему значению.

Проектный возраст бетона назначается по нормам проектирования с учетом:

- условий твердения бетона,
- способов возведения,
- сроков фактического нагружения конструкций.

Если проектный возраст не указан, технические требования к бетону должны быть обеспечены **в возрасте 28 суток**.

Значения нормируемых показателей прочности бетона железобетонных конструкций в промежуточном возрасте устанавливают в технологической документации.

ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА КОНСТРУКЦИОННЫХ БЕТОНОВ

ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА	КЛАССЫ	
	тяжелых и мелкозернистых бетонов	легких бетонов
- ПРОЧНОСТЬ		
классы по прочности на сжатие:	B3,5; B5; B7,5; B10; B12,5; B15; B20; B22,5; B25; B27,5; B30; B35; B40; B45; B50; B55; B60; B70; B80; B90; B100; B110; B120	B0,75; B1; B1,5; B2; B2,5; B3,5; B5; B7,5; B10; B12,5; B15; B20; B22,5; B25; B30; B35; B40
классы по прочности на осевое растяжение:	B_t0,8; B_t1,2; B_t1,6; B_t2,0; B_t2,4; B_t2,8; B_t3,2; B_t3,6; B_t4,0; B_t4,4; B_t4,8	B_t0,8; B_t1,2; B_t1,6; B_t2; B_t2,4; B_t2,8; B_t3,2
классы по прочности на растяжение при изгибе:	B_{tb}1,2; B_{tb}1,6; B_{tb}2,0; B_{tb}2,4; B_{tb}2,8; B_{tb}3,2; B_{tb}3,6; B_{tb}4,0; B_{tb}4,4; B_{tb}4,8; B_{tb}5,2; B_{tb}5,6; B_{tb}6,0; B_{tb}6,4; B_{tb}6,8; B_{tb}7,2; B_{tb}7,6; B_{tb}8,0; B_{tb}8,4; B_{tb}8,8; B_{tb}9,2; B_{tb}9,6; B_{tb}10,0	B_{tb}0,4; B_{tb}0,8; B_{tb}1,2; B_{tb}1,6; B_{tb}2,0; B_{tb}2,4; B_{tb}2,8; B_{tb}3,2; B_{tb}3,6; B_{tb}4,0

ЛЕКЦИЯ 5: ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА БЕТОНОВ И РАСТВОРОВ

ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА	МАРКИ	
	тяжелых и мелко- зернистых бетонов	легких бетонов
- МОРОЗОСТОЙКОСТЬ		
марки по первому базовому методу: Марка по морозостойкости бетона, испытанного в водонасыщенном состоянии, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий, а также бетонов, эксплуатируемых при воздействии минерализованной воды.	F₁50; F₁75; F₁100; F₁150; F₁200; F₁300; F₁400; F₁500; F₁600; F₁800; F₁1000	F₁25; F₁35; F₁50; F₁75; F₁100; F₁150; F₁200; F₁300; F₁400; F₁500
марки по второму базовому методу: Марка по морозостойкости бетона дорожных и аэродромных покрытий и бетона, эксплуатируемого при воздействии минерализованной воды, и определенная при испытании образцов, насыщенных 5%-ным водным раствором хлорида натрия.	F₂100; F₂150; F₂200; F₂300; F₂400; F₂500	-
- ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТЬ		
марки по водонепроницаемости	W2, W4, W6, W8, W10, W12, W14, W16, W18, W20	W2, W4, W6, W8, W10, W12
- ИСТИРАЕМОСТЬ		
марки по истираемости при испытании на круге истирания	G1, G2, G3	-

ЛЕКЦИЯ 5: ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА БЕТОНОВ И РАСТВОРОВ

ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА	МАРКИ	
	тяжелых и мелко- зернистых бетонов	легких бетонов
- СРЕДНЯЯ ПЛОТНОСТЬ В СУХОМ СОСТОЯНИИ		
марки по средней плотности теплоизоляционных бетонов	-	D200, D250, D300, D350, D400, D450
конструкционно- теплоизоляционных бетонов	-	D500, D550, D600, D700, D800, D900, D1000, D1100, D1200, D1300, D1400, D1500, D1600
конструкционных бетонов	D2000, D2100, D2200, D2300, D2400, D2500	D1100, D1200, D1300, D1400, D1500, D1600, D1700, D1800, D1900, D2000
- ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ (КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ λ_0) В СУХОМ СОСТОЯНИИ		
теплопроводность теплоизоляционных бетонов	-	не более 0,14 Вт/(м·°С)
конструкционно- теплоизоляционных бетонов	-	по проекту

НАПРЯГАЮЩИЕ БЕТОНЫ

предназначены для создания предварительного напряжения (самонапряжения) в конструкциях зданий и сооружений за счет расширения в процессе твердения для повышения трещиностойкости, водонепроницаемости и долговечности конструкций.

Напрягающий бетон – это бетон, содержащий напрягающий цемент или расширяющую добавку, обеспечивающие расширение бетона в процессе его твердения.

Напрягающий цемент НЦ – минеральное вяжущее вещество, обеспечивающее при твердении бетонов в условиях упругого ограничения деформаций регулируемое самонапряжение (ГОСТ Р 56727-2015).

Расширяющая добавка РД – минеральная добавка, применяемая для приготовления напрягающих бетонов.

Напрягающие цементы в зависимости от значения самонапряжения подразделяют на 4 типа:

- с низкой энергией самонапряжения (менее 0,7 МПа);**
- с малой энергией самонапряжения (от 0,7 до 2,0 МПа);**
- со средней энергией самонапряжения (от 2,0 до 3,0 МПа);**
- с высокой энергией самонапряжения (более 3,0 МПа).**

ЛЕКЦИЯ 5: ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА БЕТОНОВ И РАСТВОРОВ

Самонапряжение и линейное расширение цемента в возрасте 28 суток:

Показатель	Значение для цемента типа			
	НЦ-5	НЦ-10	НЦ-20	НЦ-30
Самонапряжение, МПа (кгс/см ²), не менее	-	0,7 (7)	2,0 (20)	3,0 (30)
Линейное расширение, %, не более	0,3	1,0	1,5	2,0

Условное обозначение напрягающего цемента со средней энергией самонапряжения, класса прочности 42,5, нормальнотвердеющего:

Цемент напрягающий НЦ-20-42,5Н - ГОСТ Р 56727-2015.

Для изготовления напрягающего цемента в качестве расширяющихся добавок используют: глиноземистый шлак, сульфатированный клинкер и другие добавки по согласованию с потребителем.

ВИДЫ НАПРЯГАЮЩЕГО БЕТОНА:

- тяжелые;**
- легкие.**

Напрягающие бетоны в зависимости от значения контролируемого самоупрежжения подразделяют на:

- БЕТОН С НОРМИРУЕМОЙ МАРКОЙ ПО САМОНАПРЕЖЕНИЮ – БН,** изготовленный на основе напрягающего цемента;
- БЕТОН С КОМПЕНСИРОВАННОЙ УСАДКОЙ – БК,** изготовленный на основе портландцемента и расширяющей добавки.

САМОНАПРЕЖЕНИЕ БЕТОНА – величина предварительного напряжения бетона, создаваемого в результате расширения бетона в условиях упругого ограничения деформаций.

ЛЕКЦИЯ 5: ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА БЕТОНОВ И РАСТВОРОВ

Условное обозначение бетонных смесей, предназначенных для напрягающих бетонов:

Бетонная смесь для бетона с нормируемой маркой по самоупрежнению $S_{p1,2}$, класса прочности на сжатие В40, марки по удобоукладываемости П4, марки по морозостойкости $F_{,300}$, марки по водонепроницаемости W18:

БСТ БН В40 П4 $F_{,300}$ W18 $S_{p1,2}$ ГОСТ 32803-2014.

Бетонная смесь для бетона с компенсированной усадкой, класса прочности на сжатие В35, марки по удобоукладываемости П3, марки по морозостойкости $F_{,200}$, марки по водонепроницаемости W16:

БСТ БК В35 П3 $F_{,200}$ W16 ГОСТ 32803-2014.

Марка напрягающего бетона по самоупрежнению – среднее значение предварительного напряжения сжатия (самоупрежнения) напрягающего бетона, МПа, в возрасте 28 суток, создаваемого в результате его расширения в условиях упругого ограничения деформаций, с жесткостью, соответствующей жесткости стальной арматуры при коэффициенте осевого продольного армирования $\rho_l = 0,01$ и модуле упругости $E_s = 2 \cdot 10^5$ МПа.

ЛЕКЦИЯ 5: ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА БЕТОНОВ И РАСТВОРОВ**ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА
НАПРЯГАЮЩИХ БЕТОНОВ**

ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА	КЛАССЫ / МАРКИ	
	тяжелых бетонов	легких бетонов
- ПРОЧНОСТЬ		
классы по прочности на сжатие:	B20; B25; B30; B35; B40; B45; B50; B55; B60; B70; B80; B90	B10; B12,5; B15; B20; B25; B30; B35; B40
классы по прочности на осевое растяжение:	B_t0,8; B_t1,2; B_t1,6; B_t2,0; B_t2,4; B_t2,8; B_t3,2; B_t3,6; B_t4,0	B_t0,8; B_t1,2; B_t1,6; B_t2,0; B_t2,4; B_t2,8; B_t3,2
классы по прочности на растяжение при изгибе:	B_{tb}2,0; B_{tb}2,4; B_{tb}2,8; B_{tb}3,2; B_{tb}3,6; B_{tb}4,0; B_{tb}4,4; B_{tb}4,8; B_{tb}5,2; B_{tb}5,6; B_{tb}6,0; B_{tb}6,4; B_{tb}6,8	-
- СРЕДНЯЯ ПЛОТНОСТЬ		
марки по средней плотности	D2000, D2100, D2200, D2300, D2400, D2500	D1200; D1300; D1400; D1500; D1600; D1700; D1800; D1900; D2000

ЛЕКЦИЯ 5: ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА БЕТОНОВ И РАСТВОРОВ

ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА	МАРКИ	
	тяжелых бетонов	легких бетонов
- МОРОЗОСТОЙКОСТЬ		
марки по морозостойкости	F _{1,200} ; F _{1,300} ; F _{1,400} ; F _{1,500} ; F _{1,600} ; F _{1,800}	F _{1,100} ; F _{1,200} ; F _{1,300} ; F _{1,400} ; F _{1,500}
- ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТЬ		
марки по водонепроницаемости	W12, W14, W16, W18, W20	W8, W10, W12, W14
- САМОНАПРЯЖЕНИЕ БЕТОНА		
марки напрягающего бетона с компенсированной усадкой	Sp0,6; Sp0,8; Sp1,0	
марки напрягающего бетона с нормируемым самоупрочением	Sp1,2; Sp1,5; Sp2,0; Sp3,0; Sp4,0	

Самоупрочение бетона S_p определяют по трем контрольным образцам-призмам 50x50x200 мм (при использовании щебня фр. < 10 мм) или 100x100x400 мм, отформованных и твердеющих в специальных динамометрических кондукторах, создающих в процессе расширения бетона упругое ограничение деформаций, эквивалентное продольному армированию образцов-призм, равному 1%.

$$S_p = \frac{\Delta}{l_{\text{обр}}} \mu_n E_s$$

Δ - полная деформация образца-призмы;

$l_{\text{обр}}$ - длина образца;

μ_n - приведенный коэффициент армирования образца, принимаемый равным 0,01;

E_s - модуль упругости стали, принимаемый равным $2 \cdot 10^5$ МПа.

Основные свойства строительных растворов

Нормируемые показатели качества затвердевшего раствора:

- прочность на сжатие;**
- морозостойкость;**
- средняя плотность.**

Нормируемые показатели качества затвердевшего раствора должны быть обеспечены в проектном возрасте.

Проектный возраст раствора – 28 суток на всех видах вяжущих, кроме гипсовых и гипсосодержащих.

Для растворов на гипсовых и гипсосодержащих вяжущих проектный возраст - 7 сут.

Основные свойства строительных растворов

Прочность растворов на сжатие в проектном возрасте характеризуют марками:

M4, M10, M25, M50, M75, M100, M150, M200.

Морозостойкость растворов характеризуют марками:

F10, F15, F25, F35, F50, F75, F100, F150, F200.

Средняя плотность затвердевших растворов *D* в проектном возрасте должна быть:

- для легких растворов **менее 1500 кг/м³;**
- для тяжелых растворов **1500 кг/м³ и более.**

ЛЕКЦИЯ 6

СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ, ДЕФОРМАЦИИ И ПРОЧНОСТЬ БЕТОНА

Содержание

- 1 Структура бетона**
- 2 Пористость бетона**
- 3 Деформации бетона**
- 4 Основной закон прочности бетона**

СТРУКТУРА БЕТОНА

Структура бетона рассматривается на трех уровнях:

- **микроструктура** (структура цементного камня – «микробетона»: кристаллический сросток – цементный гель – поры);
- **мезоструктура** (структура затвердевшего раствора: матрица (цементный камень) – контактная зона – мелкий заполнитель);
- **макроструктура**: матрица (затвердевший раствор) – контактная зона – крупный заполнитель).

Структура бетона определяется:

- составом (соотношение между компонентами);
- условиями уплотнения;
- условиями твердения (уход за бетоном);
- продолжительностью твердения;
- условиями агрессивности среды.

Структура бетона формируется длительное время в результате химических, физических и физико-химических процессов.

ЛЕКЦИЯ 6: СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ, ДЕФОРМАЦИИ И ПРОЧНОСТЬ БЕТОНА

СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ МИКРОБЕТОНА

Формирование структуры микробетона происходит в результате твердения цемента и состоит из ряда элементарных процессов: затворения, коллоидации, коагуляции, кристаллизации, высыхания и перекристаллизации.

Схема процесса структурообразования										
	Время	0	0,5	1	4	7	20ч	2	7	28сут
Схема элементов структуры										
Процессы	Затворение		Коллоидация		Коагуляция		Кристаллизация		Высыхание	
Периоды	Формирование структуры					Упрочнение структуры				
Стадии	Подготовительная		Становление структуры		Образование каркаса		Прорастание каркаса			
	Накопление гидратных новообразований в промежуточной зоне. Начало образования коагуляционной структуры, возникновение контактов		Развитие коагуляционной структуры субмикроструктур с адсорбированными водными пленками. Проявление тиксотропии		Развитие процесса кристаллизационного структурообразования. Рост прочности, возникновение напряжений в кристаллизационной структуре		Наращивание основной прочности за счет уплотнения геля и роста кристаллов. Спады упругости и прочности при кристаллических внутренних напряжениях			

ЛЕКЦИЯ 6: СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ, ДЕФОРМАЦИИ И ПРОЧНОСТЬ БЕТОНА

ПОРИСТОСТЬ БЕТОНА

Поры – важнейший элемент структуры цементного камня и бетона, играющий большую роль при формировании физико-механических свойств бетона: прочности, морозостойкости, плотности, теплопроводности и др.

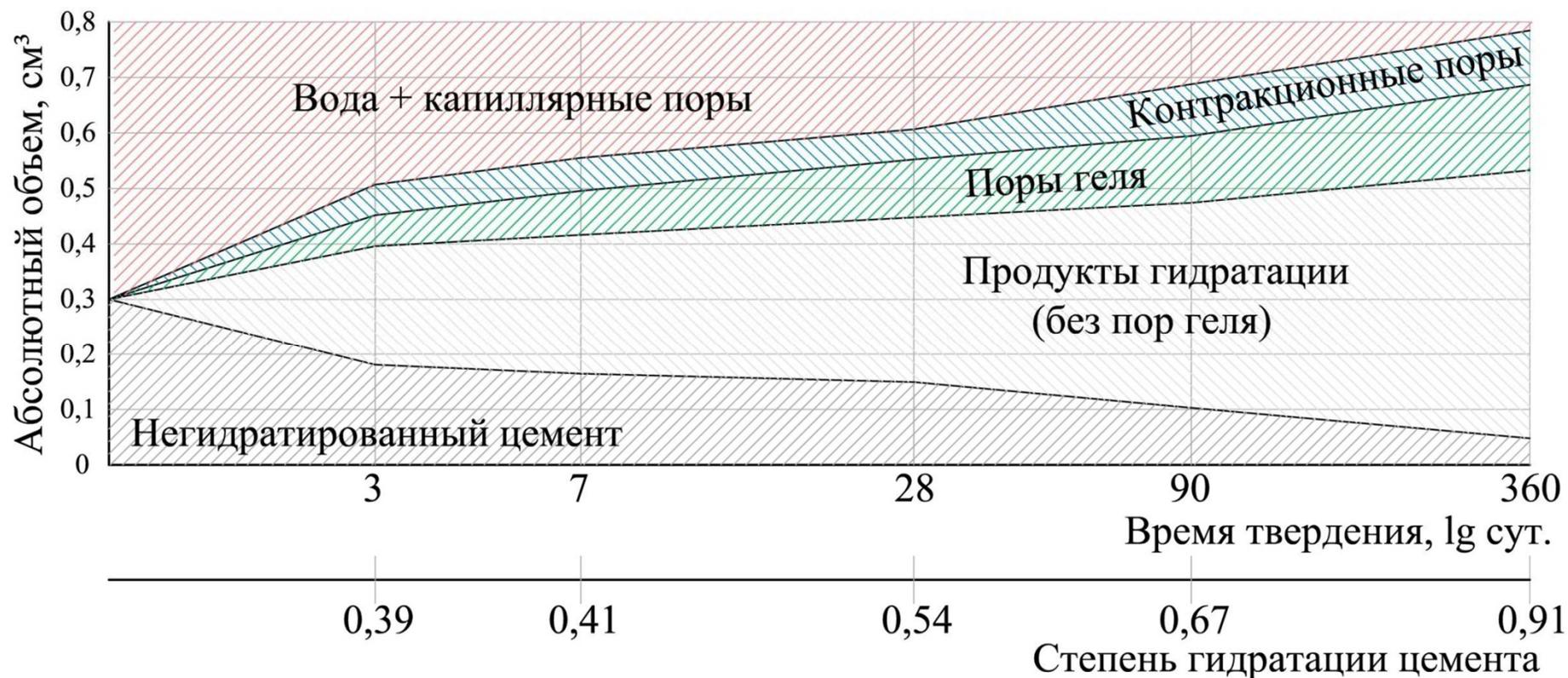
Виды пор	Время образования	Условия образования	Размер пор, мм	Размер относительный	Содержание, %	Влияние на свойства бетона
Поры цементного геля	Процесс твердения вяжущих	Испарение адсорбционно-связанной воды, находящейся в геле	$10^{-6} \dots 10^{-5}$	1	1...5	Не снижают морозостойкость
Контракционные	Твердение вяжущих	Уменьшение системы «цемент-вода» в ходе физико-химических процессов	$10^{-5} \dots 10^{-4}$	10	0,5...2	Повышение морозостойкости
Капиллярные	Твердение вяжущих	Испарение избыточной воды	$10^{-4} \dots 10^{-3}$	100	5...10	Увеличение проницаемости, понижение морозостойкости
Воздушные «условно-замкнутые»	Приготовление бетонной смеси	Воздухововлечение (воздухововлекающие и микрогазообразующие добавки)	$10^{-3} \dots 10^{-2}$	1000	4...8	Снижение средней плотности, повышение морозостойкости

ЛЕКЦИЯ 6: СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ, ДЕФОРМАЦИИ И ПРОЧНОСТЬ БЕТОНА

ПОРИСТОСТЬ БЕТОНА

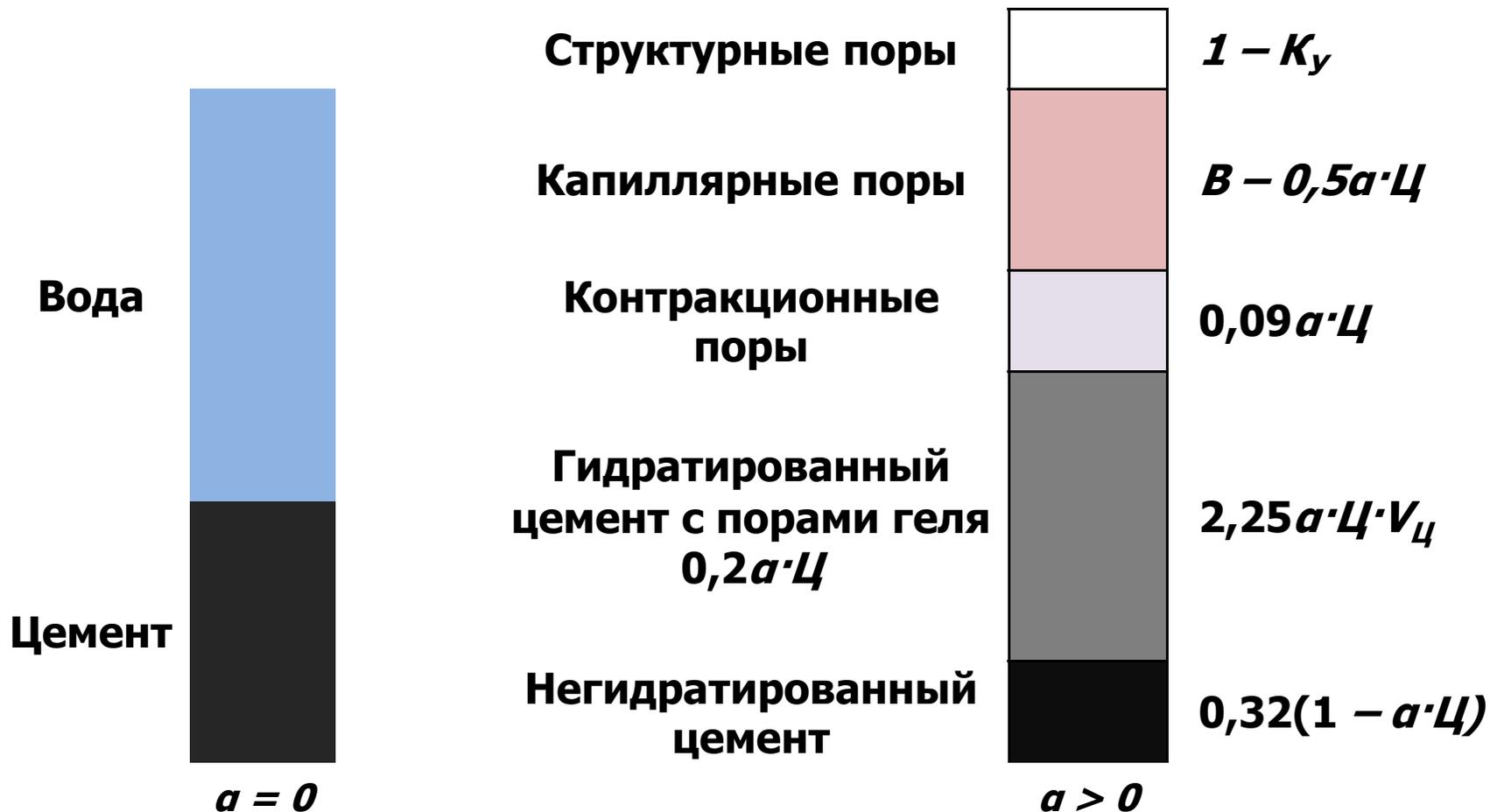
Виды пор	Время образования	Условия образования	Размер пор, мм	Размер относительный	Содержание, %	Влияние на свойства бетона
Структурные (дефектные) в тяжелом бетоне	После укладки смеси, до начала схватывания	Расслоение бетонной смеси	0,1...1	10000	До 2	Снижение прочности бетона, уменьшение сцепления с арматурой
	Бетонирование конструкций	Недостаточное уплотнение смеси, защемление воздуха	0,5...5	100000	1...3	Снижение прочности
Структурные в легком бетоне	Приготовление бетонной смеси, до начала схватывания	Применение пористых заполнителей; пенообразование; газообразование	1...5	1000000	20...50; 30...80; 10...60	Снижение средней плотности, уменьшение теплопроводности

ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ В ПРОЦЕССЕ ТВЕРДЕНИЯ (В/Ц = 0,5)



ЛЕКЦИЯ 6: СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ, ДЕФОРМАЦИИ И ПРОЧНОСТЬ БЕТОНА

Изменение объемов составных частей цементного камня от степени гидратации цемента



V, C – расход воды и цемента, кг/м³;

a – степень гидратации цемента ($a = C_r/C$);

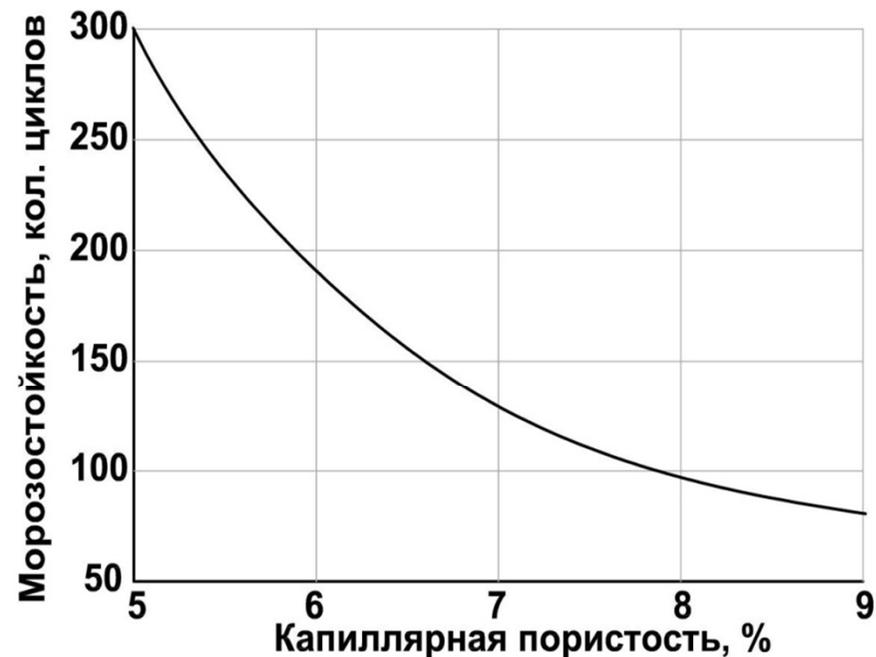
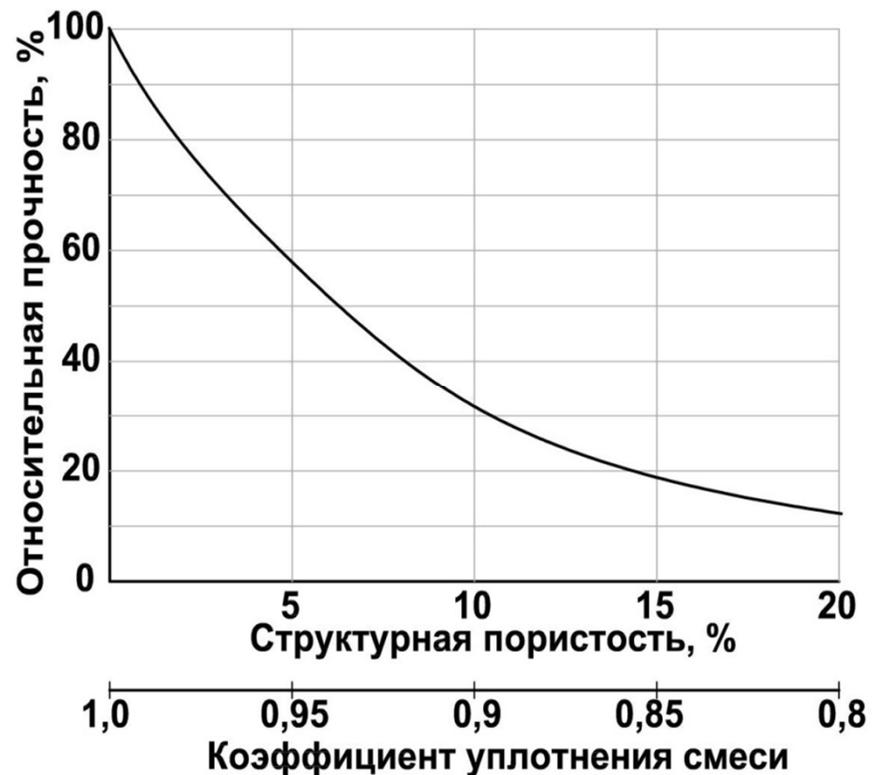
$V_{\text{ц}}$ – удельный объем цемента;

K_y – коэффициент уплотнения свежееуложенного бетона ($K_y = \rho_{\phi}/\rho_T$).

ЛЕКЦИЯ 6: СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ, ДЕФОРМАЦИИ И ПРОЧНОСТЬ БЕТОНА**Расчет пористости цементного камня и бетона**

Вид пористости	Пористость цементного камня	Пористость бетона
Поры геля Π_1	$\Pi_1 = \frac{0,2\alpha}{В/Ц + 0,32}$	$\Pi_1 = \frac{0,2\alpha Ц}{1000}$
Контракционные поры Π_2	$\Pi_2 = \frac{0,09\alpha}{В/Ц + 0,32}$	$\Pi_2 = \frac{0,09\alpha Ц}{1000}$
Капиллярные поры Π_3	$\Pi_3 = \frac{В/Ц - 0,5\alpha}{В/Ц + 0,32}$	$\Pi_3 = \frac{В - 0,5\alpha Ц}{1000}$
ОБЩАЯ ПОРИСТОСТЬ Π_0	$\Pi_0 = \frac{В/Ц - 0,21\alpha}{В/Ц + 0,32}$	$\Pi_0 = \frac{В - 0,21\alpha Ц}{1000} + (1 - K_y)$

ВЛИЯНИЕ ПОРИСТОСТИ НА ПРОЧНОСТЬ И МОРОЗОСТОЙКОСТЬ БЕТОНА



ДЕФОРМАЦИИ БЕТОНА

Деформация – изменение взаимного расположения точек тела под воздействием внутренних процессов и внешних факторов.

Деформации бетона – разнообразные, относительно малые и разнозначные изменения размеров элементов структуры, происходящие под воздействием физико-химических процессов твердения и взаимодействия материала с окружающей средой.

Деформации бетона развиваются во времени:

- на стадии формообразования – усадочные деформации свежееуложенного бетона;**
- на начальной стадии структурообразования (до достижения проектного возраста) – усадочные деформации твердеющего бетона;**
- на стадии эксплуатации (после достижения проектного возраста) – деформации влажностного типа, температурные и механические деформации.**

ЛЕКЦИЯ 6: СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ, ДЕФОРМАЦИИ И ПРОЧНОСТЬ БЕТОНА**ДЕФОРМАЦИИ БЕТОНА**

Описание процесса	Усадка свежееуложенного бетона (пластическая усадка)	Контракционная усадка	Карбонизационная усадка
Природа сил, определяющих процесс	Гравитационные	Атомно-молекулярные силы гидратации	Молекулярные силы взаимодействия углекислого газа с гидроксидом кальция: $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{CaCO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$
Время протекания процесса	До момента начала кристаллизации	Всё время при наличии достаточного увлажнения	Всё время при концентрации углекислого газа в атмосфере выше 0,04 %
Вероятный механизм процесса	Седиментация и распад взвеси	Разрыхление твердой фазы и сжатие общего объема продуктов новообразований с уплотнением воды при физико-химическом связывании	Сжатие объема продуктов новообразований. Разложение гидросиликатов кальция C-S-H
Основное выражение процесса	Наружное и внутреннее отслаивание воды и цементного клея	Уменьшение размеров системы. Образование внутренних пустот (контракционных пор)	Уменьшение размеров системы
Обратимость	Необратимы	Необратимы	Частично обратимы

ЛЕКЦИЯ 6: СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ, ДЕФОРМАЦИИ И ПРОЧНОСТЬ БЕТОНА

ДЕФОРМАЦИИ БЕТОНА

Описание процесса	Усадка и набухание влажностного типа	Температурные деформации	Механические деформации
Природа сил, определяющих процесс	Поверхностно-молекулярные, капиллярные	Тепловое движение атомов или ионов	Внешние механические
Время протекания процесса	Начальная усадка – на стадии становления структуры, основная – при изменении влажности	В периоды изменения температуры	В зависимости от момента приложения внешнего воздействия
Вероятный механизм процесса	Сближение частиц водными менисками при высушивании. Расклинивание частиц тонкими водными прослойками при увлажнении	Увеличение или уменьшение беспорядочного движения атомов или ионов	Упругая и пластические деформации. Возникновение и увеличение микротрещин
Основное выражение процесса	Образование капиллярных пор. Изменение объема. Образование и закрытие внутренних и наружных трещин	Изменение объема. Образование и закрытие внутренних и наружных трещин	Изменение размеров. Образование микротрещин
Обратимость	В основном обратимы	В основном полностью обратимы	Частично обратимы

МОДУЛЬ УПРУГОСТИ БЕТОНА

Модуль упругости – коэффициент пропорциональности между величиной напряжения и соответствующей этому напряжению величиной упругой деформации.

ГОСТ 24452-80 БЕТОНЫ. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИЗМЕННОЙ ПРОЧНОСТИ, МОДУЛЯ УПРУГОСТИ И КОЭФФИЦИЕНТА ПУАССОНА

Модуль упругости, призмленную прочность и коэффициент Пуассона определяют на образцах-призмах квадратного сечения или цилиндрах круглого сечения с отношением высоты к ширине (диаметру), равным 4. Ширина (диаметр) образцов - 70, 100, 150, 200, 300 мм. Базовый образец - 150x150x600 мм.

Призмленную прочность $R_{\text{пр}}$

вычисляют для каждого образца по формуле:

$$R_{\text{пр}} = \frac{P_p}{F}$$

где P_p - разрушающая нагрузка, измеренная по шкале силоизмерителя пресса;

F - среднее значение площади поперечного сечения образца-призмы.

МОДУЛЬ УПРУГОСТИ E_σ

вычисляют для каждого образца при уровне нагрузки, составляющей 30 % от разрушающей:

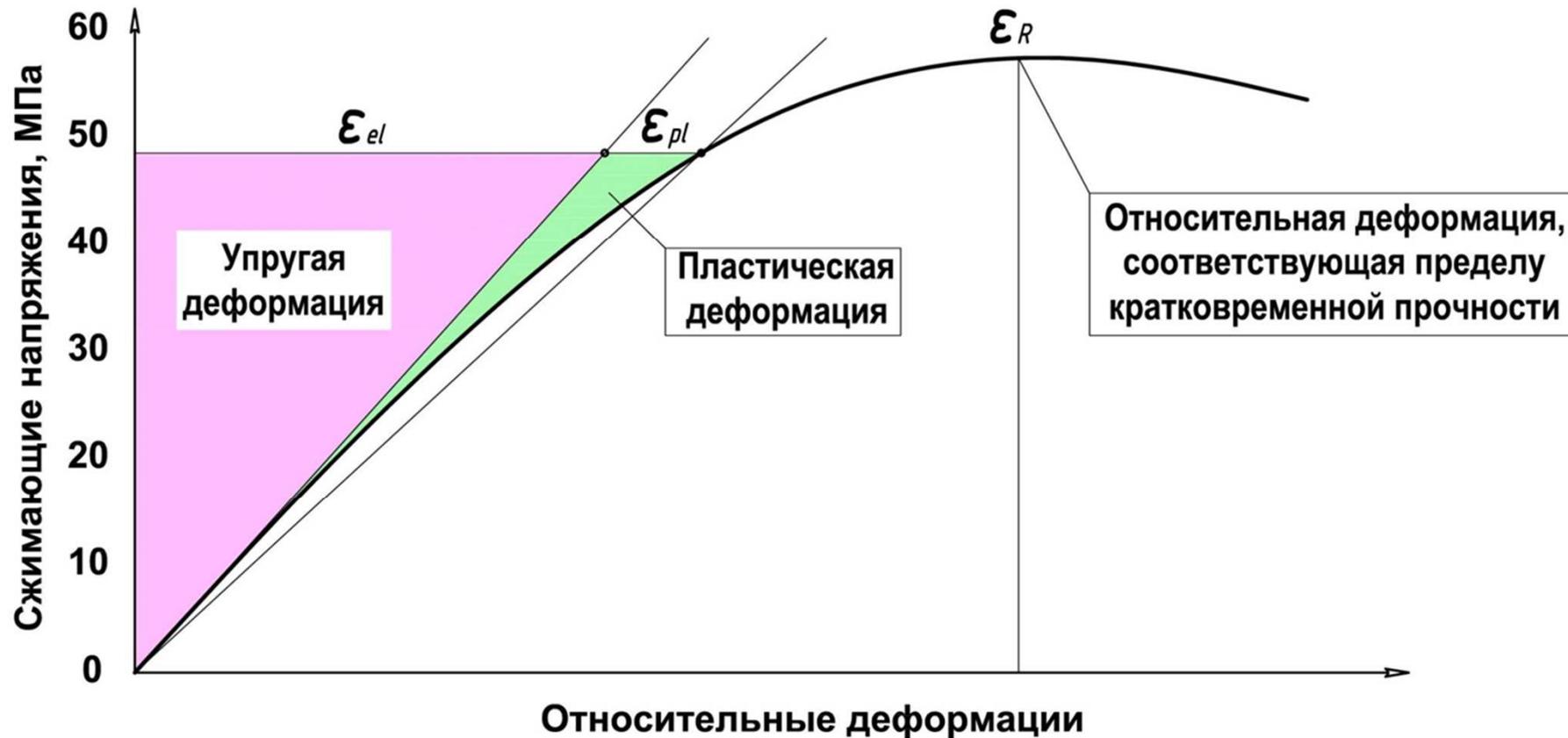
$$E_\sigma = \frac{\sigma_1}{\varepsilon_{1y}}$$

где $\sigma_1 = \frac{P_1}{F}$ - приращение напряжения от условного нуля до уровня внешней нагрузки, равной 30 % от разрушающей (здесь: P_1 - соответствующее приращение внешней нагрузки);

ε_{1y} - приращение упругомгновенной относительной продольной деформации образца, соответствующее уровню нагрузки $P_1 = 0,3P_p$ и измеренное в начале каждой ступени её приложения.

МОДУЛЬ УПРУГОСТИ БЕТОНА

**Зависимость «НАПРЯЖЕНИЯ-ДЕФОРМАЦИИ» бетона
при центральном осевом сжатии**



КОЭФФИЦИЕНТ ПУАССОНА БЕТОНА μ

вычисляют для каждого образца при уровне нагрузки, составляющей 30 % разрушающей:

$$\mu = \frac{\varepsilon_{2y}}{\varepsilon_{1y}}$$

ε_{2y} - приращение упругомгновенной относительной поперечной деформации образца, соответствующее уровню нагрузки $P_1 = 0,3P_p$ и измеренное в начале каждой ступени её приложения.

$$\varepsilon_{1y} = \varepsilon_1 - \sum \varepsilon_{1п}$$

$$\varepsilon_{2y} = \varepsilon_2 - \sum \varepsilon_{2п}$$

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – приращения полных относительных продольных и поперечных деформаций образца, соответствующие уровню нагрузки $P_1 = 0,3P_p$ и замеренные в конце ступени её приложения.

ЛЕКЦИЯ 6: СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ, ДЕФОРМАЦИИ И ПРОЧНОСТЬ БЕТОНА

$\Sigma \varepsilon_{1\Pi}, \Sigma \varepsilon_{2\Pi}$ – приращения относительных продольных и поперечных деформаций быстроснатекающей ползучести, полученные при выдержках нагрузки на ступенях нагружения до уровня нагрузки $P_1 = 0,3P_p$.

Значения относительных деформаций ε_1 и ε_2 :

$$\varepsilon_1 = \Delta l_1 / l_1$$
$$\varepsilon_2 = \Delta l_2 / l_2$$

где $\Delta l_1, \Delta l_2$ – абсолютные приращения продольной и поперечной деформаций образца, вызванные соответствующим приращением напряжений;

l_1, l_2 – фиксированные базы измерения продольной и поперечной деформации образца.

ОСНОВНОЙ ЗАКОН ПРОЧНОСТИ БЕТОНА

Основным нормируемым показателем качества бетона монолитных конструкций является предел прочности на сжатие (при расчете на прочность по первой группе предельных состояний).

Предел прочности бетона на сжатие – это временное сопротивление, установленное в результате стандартных испытаний серии образцов.

Физический смысл закона прочности бетона – зависимость прочности от качества применяемых материалов и пористости бетона:

- качество заполнителя характеризуется коэффициентом A (A'),**
- качество вяжущего – прочностью на сжатие в возрасте 28 сут. – R_c ,**
- пористость косвенно определяется величиной водоцементного отношения B/C .**

Зависимость прочности от B/C является в сущности зависимостью прочности от объема пор, образованных водой, не вступающей в химическое взаимодействие с цементом.

ОСНОВНОЙ ЗАКОН ПРОЧНОСТИ БЕТОНА

На практике широко используется зависимость прочности бетона от цементно-водного отношения, предложенная И. Боломеем, Б.Г. Скрамтаевым и уточненная Ю.М. Баженовым:

$$R_b = A \cdot R_{ц}(\frac{Ц}{В} - 0,5) \text{ при } \frac{Ц}{В} < 2,5 \text{ (} \frac{В}{Ц} > 0,4 \text{);}$$

$$R_b = A' \cdot R_{ц}(\frac{Ц}{В} + 0,5) \text{ при } \frac{Ц}{В} > 2,5 \text{ (} \frac{В}{Ц} < 0,4 \text{).}$$

A – коэффициент, учитывающий качество заполнителя при $\frac{Ц}{В} < 2,5$:

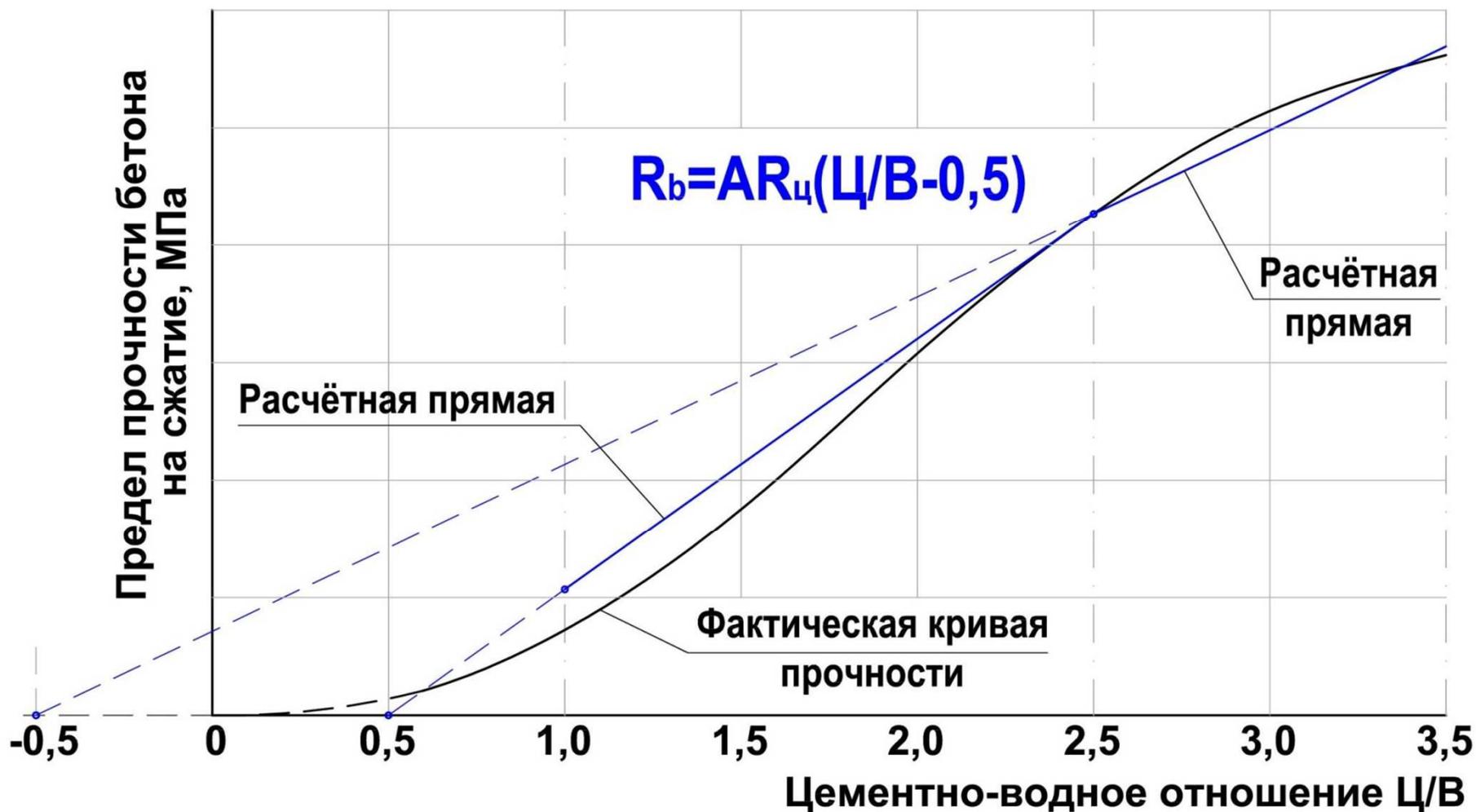
- 0,65** – для заполнителей высокого качества;
- 0,6** – для заполнителей рядового качества;
- 0,55** – для заполнителей низкого качества.

A' – коэффициент, учитывающий качество заполнителя при $\frac{Ц}{В} > 2,5$:

- 0,43** – для заполнителей высокого качества;
- 0,4** – для заполнителей рядового качества;
- 0,37** – для заполнителей низкого качества.

ОСНОВНОЙ ЗАКОН ПРОЧНОСТИ БЕТОНА

$$R_b = A' R_{ц} (\frac{Ц}{В} + 0,5)$$



ЛЕКЦИЯ 7

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА БЕТОНА

Содержание

- 1 Основные положения по проектированию состава бетона**
- 2 Расчет состава бетона специального назначения**
- 3 Расчет состава мелкозернистого бетона**

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ СОСТАВА БЕТОНА

Нормативная база

ГОСТ 27006-2019 Бетоны. Правила подбора состава

Методическое пособие. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДБОРУ СОСТАВОВ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ТЯЖЕЛЫХ И МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ. Федеральное автономное учреждение «Федеральный центр нормирования, стандартизации и оценки соответствия в строительстве». Москва, 2016.

Свод правил. СП 82-101-98 ПРИГОТОВЛЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ РАСТВОРОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ.

ЛЕКЦИЯ 7: ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА БЕТОНА

Подбор состава бетона общестроительного назначения (конструкционного) на цементном вяжущем выполняется с учетом требований к бетонам в зависимости от классов сред эксплуатации по **ГОСТ 31384 Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии.**

1 этап. Определение водопотребности для получения смеси требуемой удобоукладываемости:

$$V = V_0 + \sum_i^n \Delta V_i$$

V_0 - ориентировочный расход воды на 1 м³ смеси,

ΔV_i - поправки к расходу воды при изменении характеристик сырья.

ЛЕКЦИЯ 7: ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА БЕТОНА

Ориентировочный расход воды на 1 м³ бетонной смеси В₀ на плотных заполнителях при температуре смеси 20 °С

Марка смеси	Показатели		Расход воды, л/м ³ , при крупности заполнителя, мм							
	Жесткость, с	Подвижность, см	гравия				щебня			
			10	20	40	70	10	20	40	70
Ж4	31 и >	-	150	135	125	120	160	150	135	130
Ж3	21...30	-	160	145	130	125	170	160	145	140
Ж2	11...20	-	165	150	135	130	175	165	155	150
Ж1	5...10	-	175	160	145	140	185	175	160	155
П1	1...4	4 и <	190	175	160	155	200	190	175	170
П2	-	5...9	200	185	170	165	210	200	185	180
П3	-	10...15	215	205	190	180	225	215	200	190
П4	-	16 и >	225	220	205	195	235	230	215	205

Примечания. 1. Данные для смесей на портландцементе с нормальной плотностью цементного теста 26...28 % и песке с модулем крупности $M_k = 2,0$.

2. При изменении нормальной плотности теста на каждый процент в меньшую сторону расход воды следует уменьшать на 3...5 л/м³, а в большую – увеличивать на то же значение.

3. При изменении модуля крупности песка в меньшую сторону на каждые 0,5 его значения необходимо увеличивать, а в большую сторону – уменьшать расход воды на 3...5 л/м³.

ЛЕКЦИЯ 7: ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА БЕТОНА

2 этап. Определение цементно-водного отношения Ц/В и расхода цемента для обеспечения требуемой прочности бетона R_T :

$$\frac{Ц}{В} = \frac{R_T}{AR_{Ц}} + 0,5 \quad \text{при } Ц/В < 2,5;$$

$$\frac{Ц}{В} = \frac{R_T}{A'R_{Ц}} - 0,5 \quad \text{при } Ц/В > 2,5.$$

$$Ц = В \cdot (Ц/В)$$

Требуемая прочность бетона R_T :

$$R_T = K_T \cdot B_{\text{норм}}$$

K_T – коэффициент требуемой прочности, принимаемый по ГОСТ 18105-2018 в зависимости от величины коэффициента вариации прочности бетона,

$B_{\text{норм}}$ – проектный класс прочности бетона, МПа.

ЛЕКЦИЯ 7: ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА БЕТОНА

3 этап. Определение расхода заполнителей для обеспечения плотности и слитности бетона (по методу абсолютных объёмов):

$$\text{1-ое условие: } 1000 = \frac{Ц}{\rho_{Ц}} + В + \frac{П}{\rho_{П}} + \frac{Щ}{\rho_{Щ}}$$

$$\text{2-ое условие: } \frac{Щ \cdot V_{ПЩ} \cdot \alpha}{\rho_{НЩ}} = \frac{Ц}{\rho_{Ц}} + В + \frac{П}{\rho_{П}}$$

Решая совместно два уравнения, можно определить Щ и П:

$$Щ = \frac{1000}{\frac{\alpha V_{ПЩ}}{\rho_{НЩ}} + \frac{1}{\rho_{Щ}}}, \quad П = \left(1000 - \frac{Ц}{\rho_{Ц}} - В - \frac{Щ}{\rho_{Щ}}\right) \rho_{П}$$

ЛЕКЦИЯ 7: ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА БЕТОНА

ТРЕБОВАНИЯ ГОСТ 31384 Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии к бетонам в зависимости от классов сред эксплуатации

Требования к бетонам	Классы сред эксплуатации																	
	Не-агрессивная	Карбонизация				Хлоридная коррозия						Замораживание-оттаивание				Химическая коррозия		
						Морская вода			Прочие хлоридные воздействия									
	Индексы сред эксплуатации																	
ХО	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3	
Максимальное В/Ц	-	0,65	0,6	0,55	0,5	0,5	0,45	0,45	0,55	0,55	0,45	0,55	0,55	0,5	0,45	0,55	0,5	0,45
Минимальный класс по прочности на сжатие В	15	25	30	35	35	30	35	45	35	45	45	20	35	35	35	35	35	45
Минимальный расход цемента Ц, кг/м ³	-	260	280	280	300	300	320	340	300	300	320	300	300	320	340	300	320	360
Минимальное воздухововлечение ВВ, %	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,0	4,0	4,0	-	-	-
Прочие требования	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Заполнитель с необходимой морозостойкостью				Сульфатостойкий цемент		

ЛЕКЦИЯ 7: ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА БЕТОНА

РАСЧЕТ СОСТАВА БЕТОНА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Бетон для дорожных и аэродромных покрытий

Цементно-водное отношение определяется в зависимости от требуемого класса бетона по прочности на растяжение при изгибе по одной из формул:

$$\frac{Ц}{В} = \frac{R_T^{РИ}}{A' R_{Ц}^{И}} + 0,2$$

$$\frac{Ц}{В} = \frac{R_T^{РИ}}{0,39 R_{Ц}^{И} (1 - 0,025 V_B)} + 0,1$$

$$R_T^{РИ} = K_T \cdot B_{tb \text{ норм}}$$

V_B - объем вовлеченного воздуха, %.

Из двух значений Ц/В для расчетов принимают наибольшее.

ЛЕКЦИЯ 7: ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА БЕТОНА

РАСЧЕТ СОСТАВА БЕТОНА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Напрягающий бетон

Расчет состава производится из условия обеспечения марки по самоупрежнению и класса бетона по прочности на сжатие.

Расход цемента принимается по максимальному значению при расчете по двум формулам:

$$Ц = 550 \left(\frac{S_P^B}{S_P^Ц} \right)^2 + 450$$

$$Ц = \left(\frac{R_T}{AR_Ц} + 0,5 \right) B$$

$$R_T = K_T \cdot B_{норм}$$

S_P^B – требуемая марка бетона по самоупрежнению, кгс/см²;

$S_P^Ц$ – величина самоупрежнения цемента, кгс/см².

ЛЕКЦИЯ 7: ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА БЕТОНА

РАСЧЕТ СОСТАВА МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА

Расчет состава производится из условия обеспечения класса бетона по прочности на сжатие.

Требуемая прочность мелкозернистого бетона определяется по условию:

$$R_b = A \cdot R_{\text{ц}} \left(\frac{\text{Ц}}{\text{В} + \text{ВВ}} - 0,8 \right) \quad (1)$$

A – коэффициент, учитывающий качество мелкого заполнителя:

0,8 – для заполнителей высокого качества (крупного песка);

0,75 – для заполнителей рядового качества (среднего песка);

0,65 – для заполнителей низкого качества (мелкого песка).

R_ц – прочность цемента на сжатие в возрасте 28 сут.;

ВВ – объем вовлеченного воздуха, л/м³, принимается

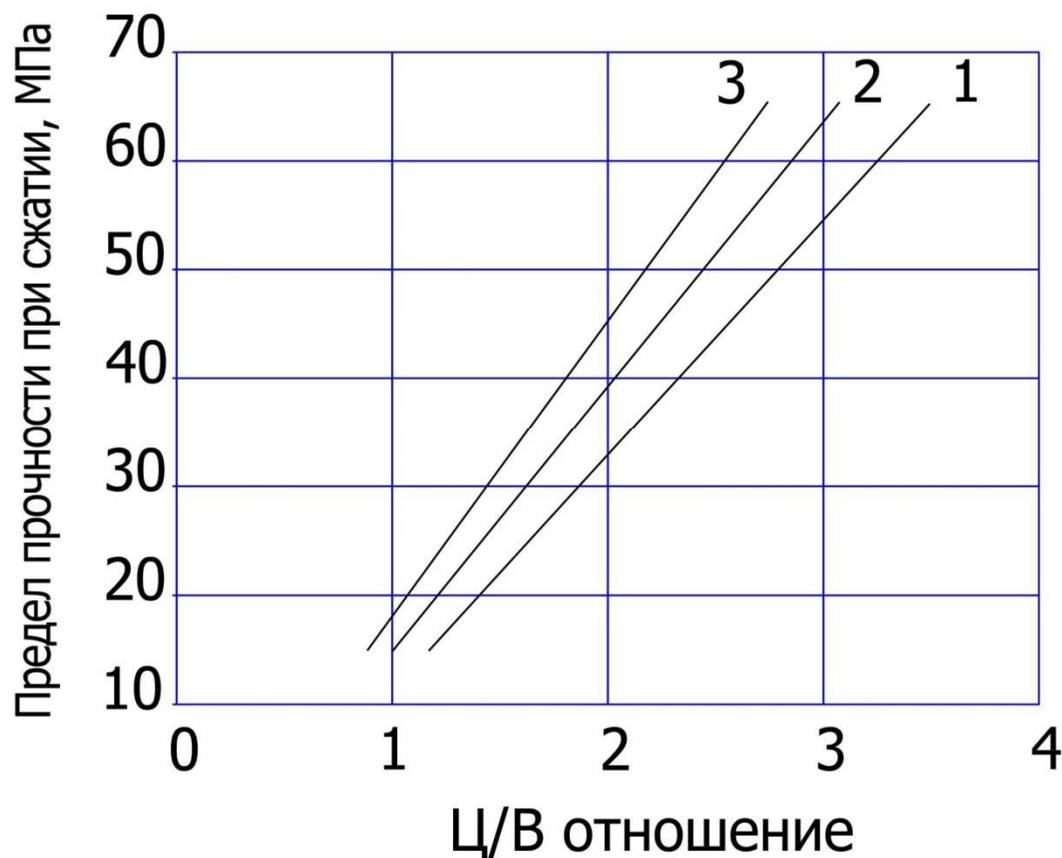
для подвижной смеси на среднем и крупном песке – 20 л/м³,

то же на мелком песке – 30 л/м³

ЛЕКЦИЯ 7: ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА БЕТОНА

Ц/В отношение, обеспечивающее требуемую прочность мелкозернистого бетона, определяется либо по формуле (1), либо по зависимости $R_b = f(C/V)$

Зависимость прочности мелкозернистого бетона через 28 сут. норм. твердения от Ц/В отношения



**1, 2, 3 – цементы
класса прочности
ЦЕМ 32,5; ЦЕМ 42,5
и ЦЕМ 52,5
соответственно**

ЛЕКЦИЯ 7: ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА БЕТОНА

Для дальнейших расчетов определяется В/Ц отношение и соотношение масс песка и цемента $n = П/Ц$

Соотношение П/Ц зависит от В/Ц отношения

Удобоукладываемость бетонной смеси (ОК, см)	Соотношение П/Ц		
	при В/Ц = 0,4	при В/Ц = 0,5	при В/Ц = 0,6
16 – 20	1,2	2,5	3,5
11 – 15	1,4	2,6	3,6
5 – 10	1,6	2,7	3,8
1 – 4	1,8	2,9	4,0

Значения П/Ц в таблице приведены для песка с модулем крупности $M_k = 2,5$.

В/Ц отношение и соотношение П/Ц для обеспечения необходимой удобоукладываемости бетонной смеси следует уточнять экспериментально.

ЛЕКЦИЯ 7: ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА БЕТОНА

Расход цемента принимается по формуле:

$$Ц = \frac{1000 - ВВ}{\frac{1}{\rho_{ц}} + \frac{В}{Ц} + \frac{n}{\rho_{п}}}$$

$\rho_{ц}, \rho_{п}$ – истинная плотность цемента и песка, г/см³.

Расход песка принимается по формуле:

$$П = \left(1000 - \frac{Ц}{\rho_{ц}} - В - ВВ \right) \cdot \rho_{п}$$

$$\text{или } П = Ц \cdot n$$

Для обеспечения слитности структуры мелкозернистого бетона должно выполняться условие:

$$V_{цт} > 1,05V_{пп}$$

$V_{цт}$ - объем цементного теста;

$V_{пп}$ - межзерновая пустотность песка.