

ЛЕКЦИЯ 3

БЕТОНЫ И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

Учебные вопросы:

1. Тяжелые бетоны
 - 1.1 Классификация бетонов и отличительные свойства
 - 1.2 Сырьевые материалы для тяжелого бетона, их свойства, нормативные требования
 - 1.3 Свойства бетонной смеси и бетона
 - 1.4 Расчет состава тяжелого бетона
 - 1.5 Укладка и уплотнение бетонной смеси
 - 1.6 Методы формования бетонных конструкций в зависимости от тиксотропии бетонной смеси и ее удобоукладываемости
 - 1.7 Твердение бетона
 - 1.8 Тепловлажностная обработка бетона. Особенности зимнего бетонирования
 - 1.9 Добавки для бетонов

Бетон – искусственный каменный материал, получаемый путем затвердевания рационально подобранной смеси минерального или органического вяжущего вещества, заполнителей, воды и добавок.

Бетон - один из основных строительных материалов. Он ценен тем, что ему можно придавать самые разнообразные свойства, изменяя в широких пределах прочность, плотность, теплопроводность, и изготавливать из него сборные конструкции, изделия и монолитные сооружения различной формы и назначения. Бетон широко используют в гражданском, промышленном, гидротехническом, теплоэнергетическом, дорожном и других видах строительства.

Классификация бетонов



В зависимости от применения различают бетоны:

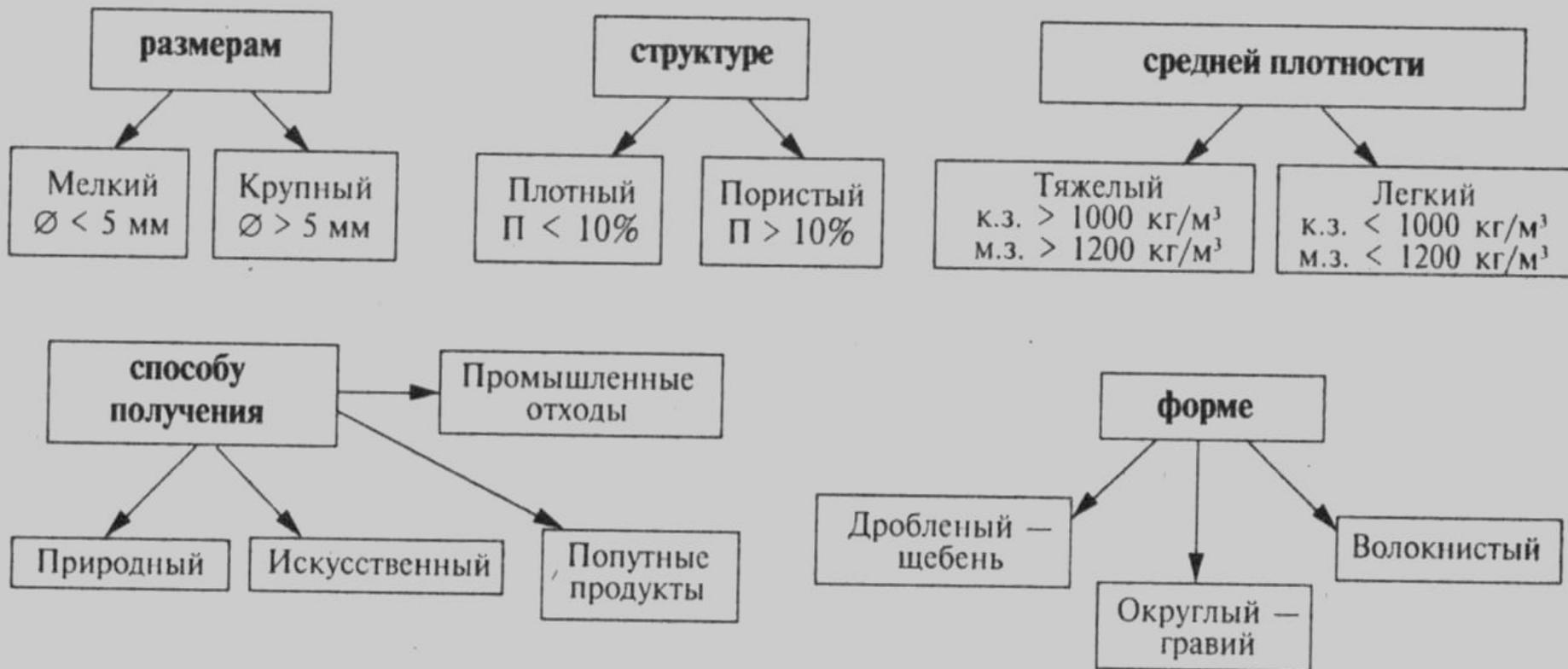
- **обычный** - для железобетонных конструкций (фундаментов, колонн, балок, перекрытий, сводов, мостов и т. п.);
- **специального назначения**, например кислотоупорный, жароупорный...
- **гидротехнический** - для плотин, шлюзов, облицовки каналов, водопроводно-канализационных сооружений и т. п.;
- **бетон для стен зданий** (главным образом, легкий бетон) **и легких перекрытий**;
- **теплоизоляционный особо легкий** (пено- и газобетон);
- **бетон для полов, тротуаров, дорожных и аэродромных покрытий.**

Сырьевые материалы для тяжелого бетона, их свойства

- **Вода** для приготовления бетонной смеси. Для приготовления бетонной смеси используют любую воду, отвечающую согласно ГОСТ 23732 определенным требованиям.
- **Вяжущее вещество.** Для изготовления обычного бетона наиболее широко применяют минеральные вяжущие вещества, прежде всего портландцемент и его разновидности
- **Заполнители** часто называют инертными материалами. Однако они существенно влияют на структуру и свойства бетона.

Классификация заполнителей

Классификация заполнителей по



В зависимости от происхождения пески бывают:

- - морские,
- - речные (содержат мало пыли, имеют окатанную форму),
- - овражные (горные) пески (содержат много пыли и глины).

• В зависимости от модуля крупности $M_{кр}$ пески бывают:

- - повышенной крупности с модулем 3-3,5,
- - крупные 2,5-3,
- - средние 2-2,5,
- - мелкие 1,5-2,
- - очень мелкие 1-1,5

Качество заполнителей оценивают:

- - по зерновому или гранулометрическому составу,
- - насыпной плотности,
- - пустотности,
- - содержанию вредных примесей,
- - влажности.

Песок в зависимости от значений нормируемых показателей качества (зернового состава, содержания пылевидных и глинистых частиц) подразделяют на два класса: I и II.

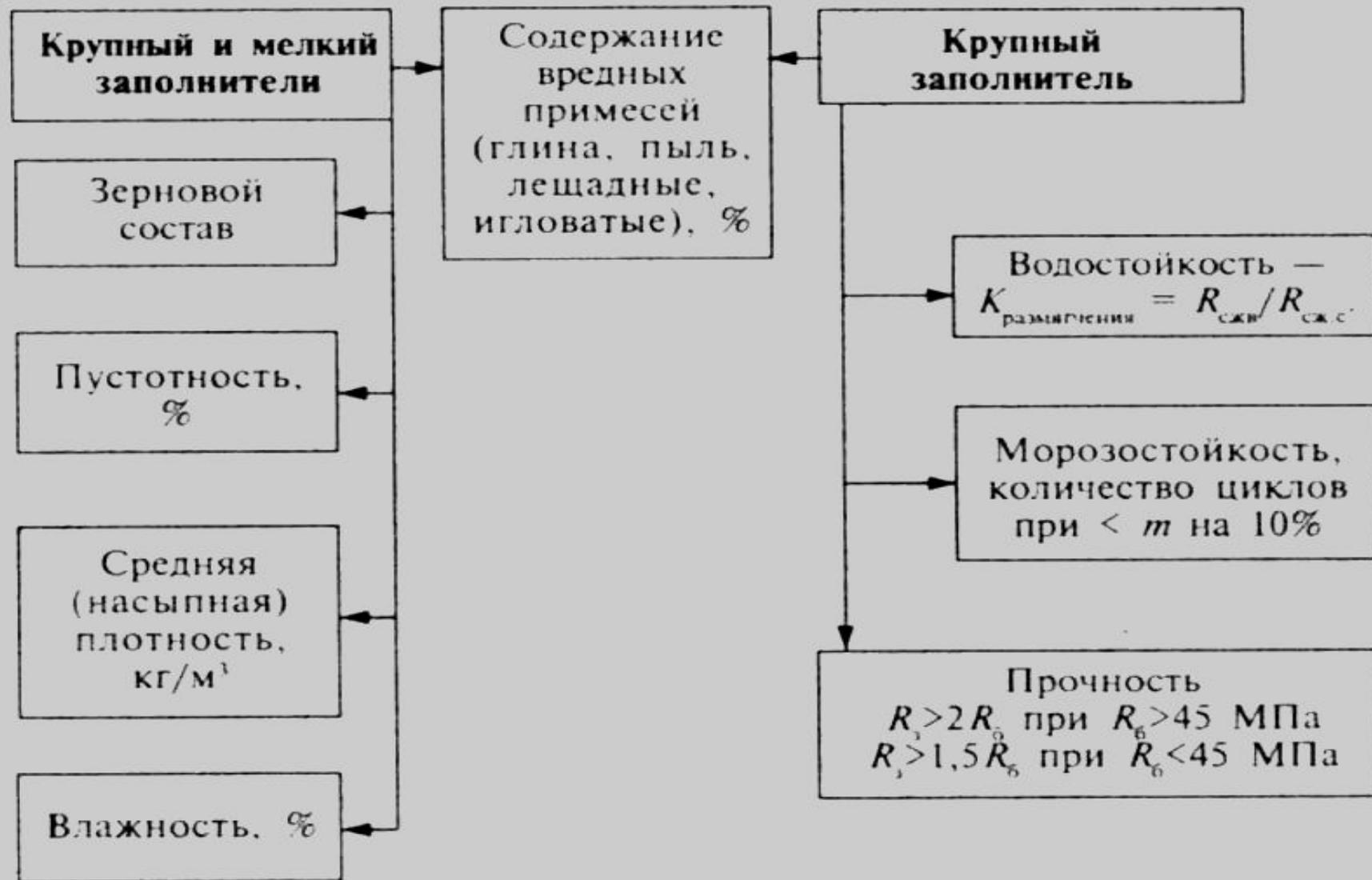
По крупности песок (I класс) подразделяют на группы:

- - очень крупный,
- - повышенной крупности,
- - крупный,
- - средний,
- - мелкий;

а во II классе выделяют еще:

- - очень мелкий,
- - тонкий,
- - очень тонкий.
-

Показатели качества заполнителей



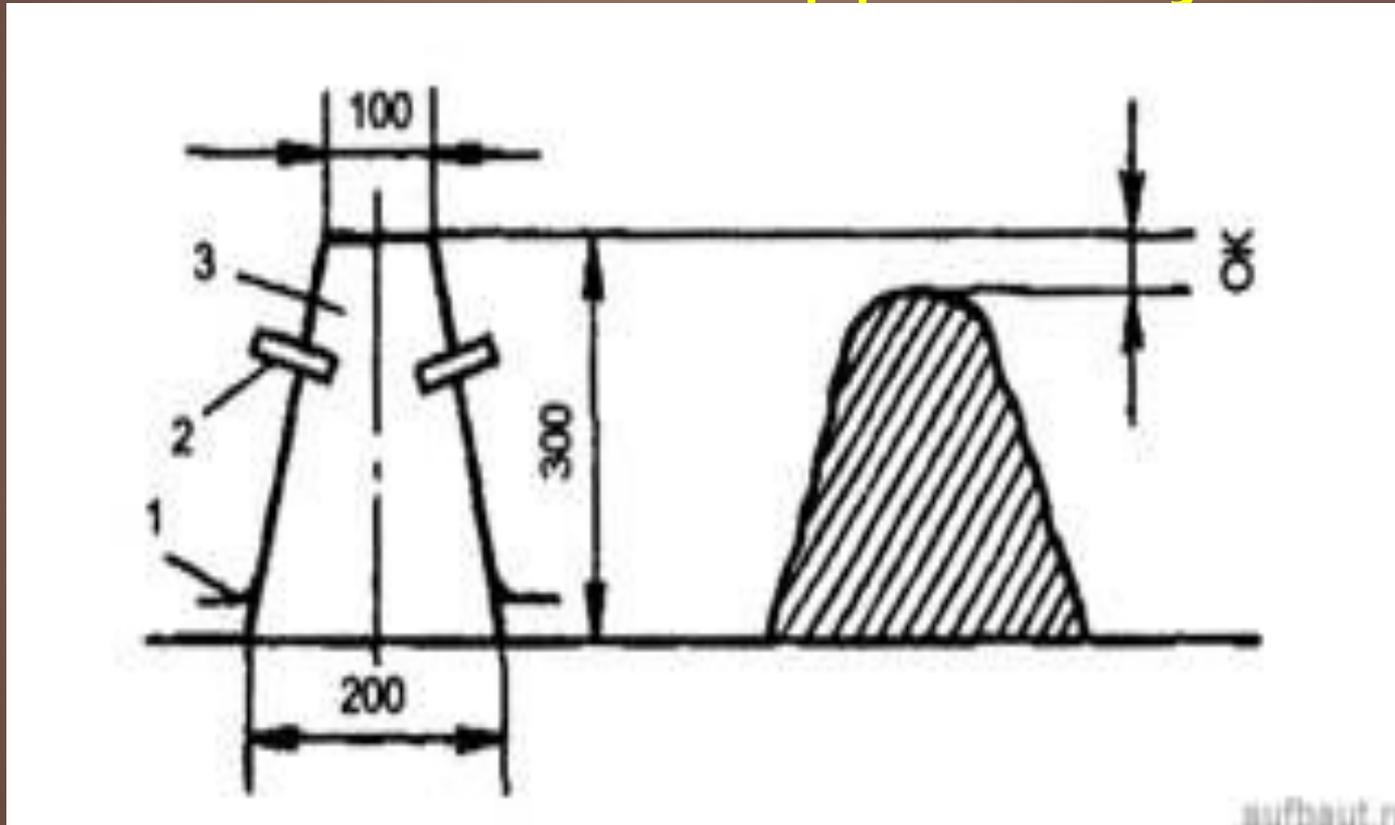
Под действием внешних напряжений, например в результате вибрации, преодолевается предельное напряжение сдвига, система начинает течь с вязкостью, зависящей от внешних напряжений. После окончания их действия восстанавливается начальная структурная прочность смеси. Это явление получило название **тиксотропии**.

- *способность разжижаться при периодически повторяющихся механических воздействиях (например, вибрации) и вновь загустевать при прекращении этого воздействия.*
- **Механизм тиксотропного разжижения** заключается в том, что при вибрировании силы внутреннего трения и сцепления между частицами уменьшаются и бетонная смесь становится текучей. Это свойство широко используют при укладке и уплотнении бетонной смеси.

Технологические свойства

- Для производства работ и обеспечения высокого качества бетона в конструкциях и изделиях необходимо, чтобы бетонная смесь имела консистенцию, соответствующую условиям ее укладки и уплотнения, т.е. определенную **удобоукладываемость**.
- Под **удобоукладываемостью** понимают способность бетонной смеси под действием определенных приемов и механизмов легко укладываться в форму и уплотняться, не расслаиваясь.

Определение удобоукладываемости бетонной смеси по осадке конуса



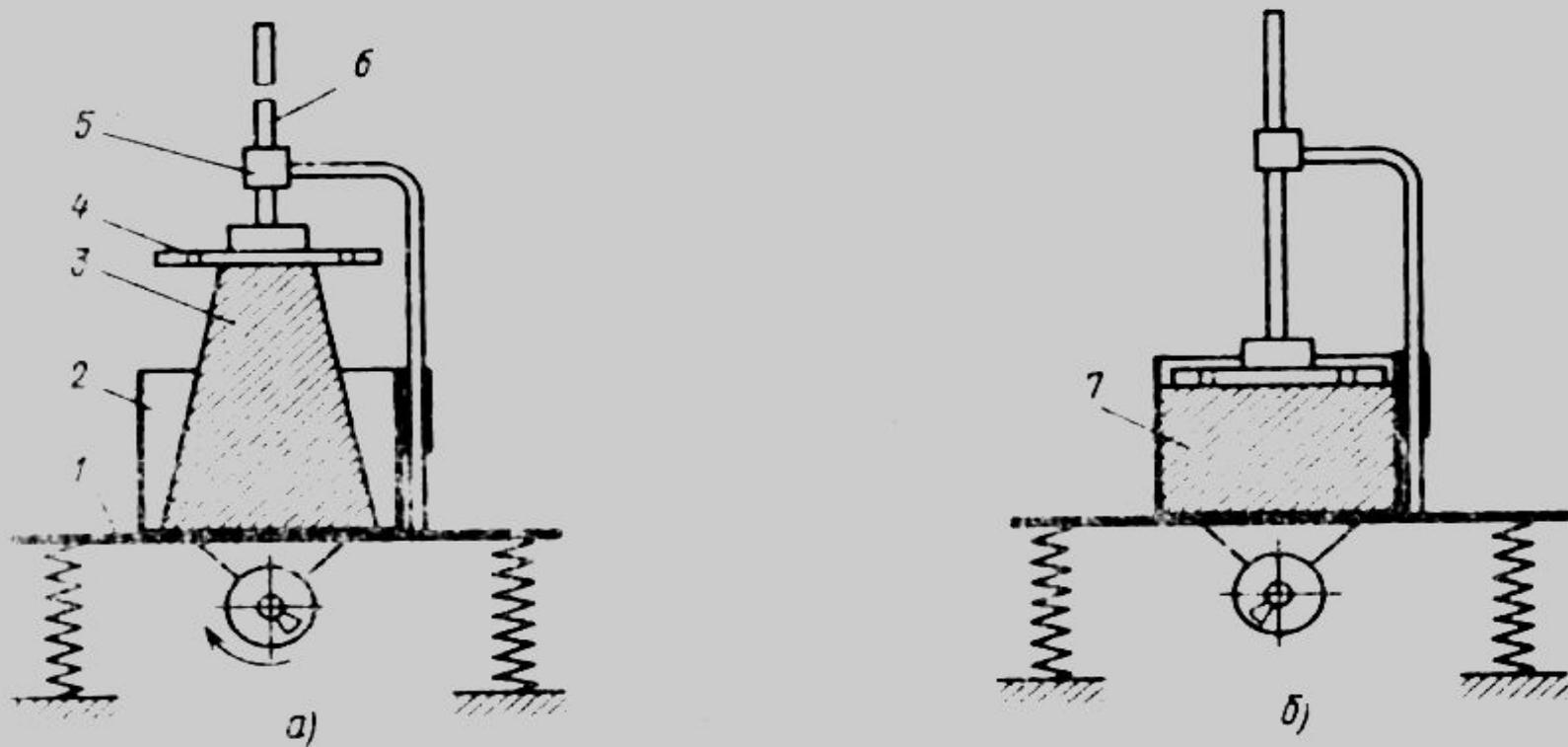
1 - опоры; 2 - ручки; 3 - конус; ОК - осадка конуса

Основное технологическое свойство бетонной смеси оценивают

показателями:

- - **подвижности** – характеристика удобоукладываемости пластичных смесей, способных деформироваться под действием собственного веса.
- Характеризуется осадкой стандартного конуса, отформированного из испытуемой бетонной смеси (осадкой под действием собственного веса сформованного из бетонной смеси конуса ОК, в сантиметрах, рисунок 4);
- - **жесткости** – характеристика удобоукладываемости бетонных смесей, у которых не наблюдается осадки конуса ($ОК = 0$), (временем вибрирования, в секундах, необходимым для требуемого растекания смеси при испытании на стандартном приборе

Схема определения жесткости (Ж) бетонной смеси



а — прибор в начальном положении; **б** — то же в момент окончания испытаний; **1** — виброплощадка; **2** — цилиндрическая форма; **3** — бетонная смесь; **4** — диск с отверстиями; **5** — втулка; **6** — штанга; **7** — бетонная смесь после вибрирования

Классификация бетонных смесей по удобоукладываемости

Марка по удобоукладываемос ти	Норма удобоукладываемости по показателю	
	жесткости, с	подвижности, см
Ж4	31 и более	-
Ж3	21...30	-
Ж2	11...20	-
Ж1	5...10	-
П1	1...4	4 и менее
П2	-	5...9
П3	-	10...15
П4	-	16 и более

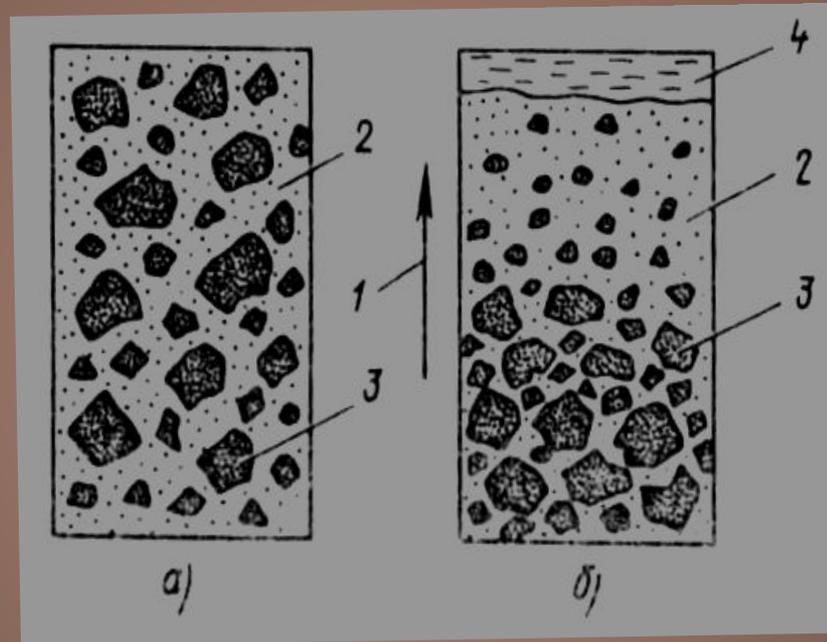
бетонные смеси подразделяют на группы

- - сверхжесткие,
- - жесткие смеси (для которых $OK = 0$),
- - подвижные смеси (которые имеют осадку конуса)

Помимо удобоукладываемости бетонные смеси характеризуются :

- - *средней плотностью,*
 - - *объемом вовлеченного воздуха,*
 - - *расслаиваемостью,*
 - - *сохраняемостью во времени свойств:*
 - удобоукладываемости,*
 - расслаиваемости,*
 - объема вовлеченного*
- воздуха.*

Связность – способность бетонной смеси сохранять однородную структуру, т.е. не расслаиваться в процессе транспортирования, укладки и уплотнения.



а — свежеприготовленная смесь; **б** — расслоившаяся смесь; **1** — направление движения воды; **2** — цементно-песчаный раствор; **3** — крупный заполнитель; **4** — вода

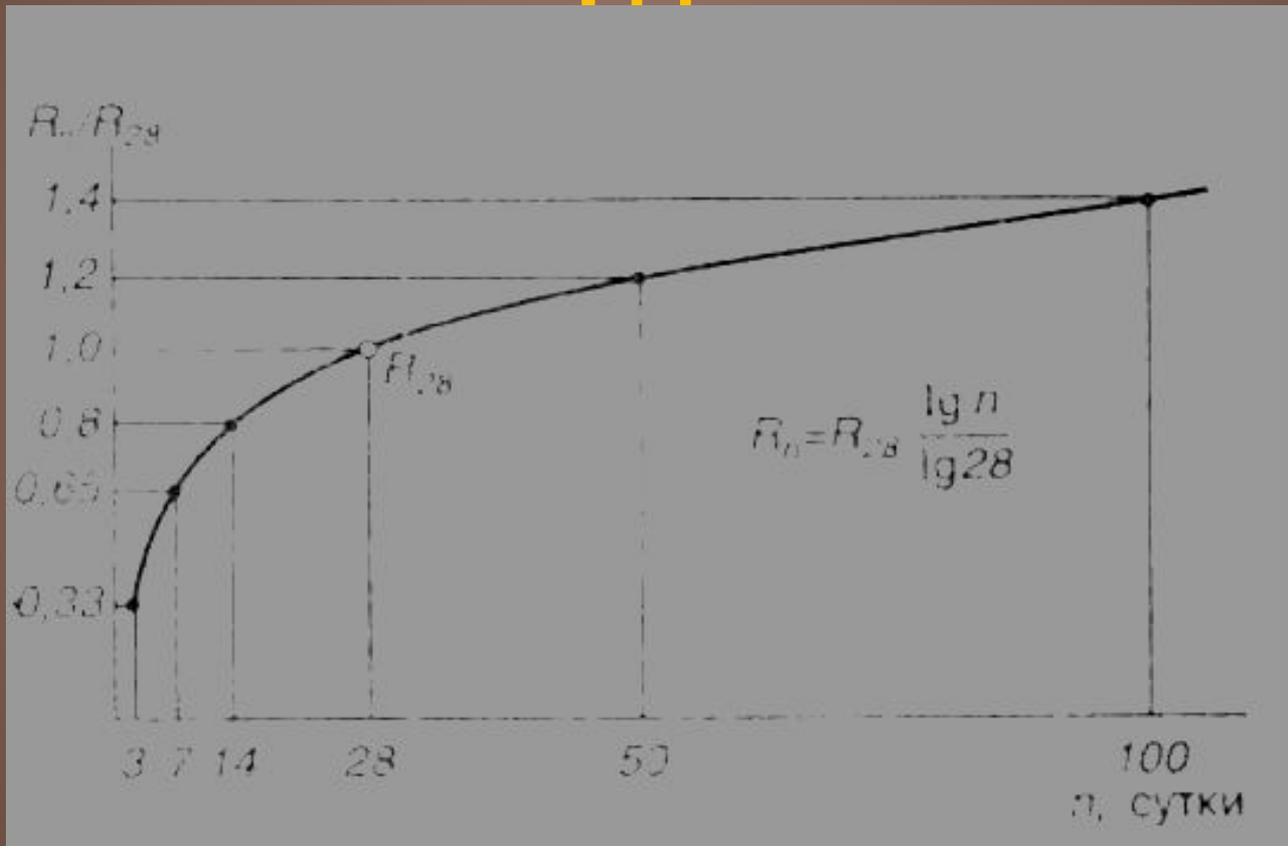
Основными эксплуатационными свойствами бетона, обеспечивающим долговечность его службы, являются:

- - прочность,
- - деформативность,
- - проницаемость,
- - морозостойкость,
- - стойкость к химической и другим видам коррозии.

Прочность

- Как и у всех каменных материалов, **предел прочности бетона при сжатии** значительно (в 10... 15 раз) выше, чем при растяжении и изгибе. Поэтому **в строительных конструкциях бетон, как правило, работает на сжатие.**
- Когда говорят о прочности бетона, подразумевают его **прочность на сжатие.**
- **Бетон на портландцементе набирает прочность постепенно.** При нормальной температуре и постоянном сохранении влажности рост прочности бетона продолжается длительное время, но скорость набора прочности со временем затухает

Изменение прочности бетона во времени в условиях нормального твердения



- R — марочная прочность бетона;
- n — время твердения, суток.

Марки бетона

- По среднему арифметическому значению прочности бетона устанавливают его марку — округленное значение прочности (причем округление идет всегда в нижнюю сторону).
- Для тяжелого бетона установлены следующие марки по прочности на сжатие: 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 700 и 800 кгс/см².
- При обозначении марки используют индекс «М»

Класс бетона

- **Класс бетона** — это численная характеристика какого-либо его свойства (в том числе и прочности), принимаемая с гарантированной обеспеченностью (обычно 0,95). Это значит, что установленное классом свойство, например прочность бетона, достигается не менее чем в 95 случаях из 100.
- **ГОСТ 26633—85 устанавливает следующие классы тяжелого бетона по прочности на сжатие (МПа): 3,5; 5; 7,5; 10; 12,5; 15; 20; 25; 30; 32,5; 40; 45; 50; 55 и 60.**
- **Класс по прочности на сжатие обозначают латинской буквой «В»**

Соотношение между марками и классами тяжелого бетона по прочности при коэффициенте 13,5%

Класс бетона	Средняя прочность данного класса, кгс/см ²	Ближайшая марка бетона	Класс бетона	Средняя прочность данного класса, кгс/см ²	Ближайшая марка бетона
B3,5	46	M50	B30	393	M400
B5	65	M75	B35	458	M450
B7,5	98	M100	B40	524	M550
B10	131	M150	B45	589	M600
B12,5	164	M150	B50	655	M600
B15	196	M200	B55	720	M700
B20	262	M250	B60	786	M800
B25	327	M350	-	-	-

Усадка

- **Усадка** — процесс сокращения размеров бетонных элементов при их нахождении в воздушно-сухих условиях.
- **Основная причина усадки** — сжатие гелевой составляющей при потере воды. Усадка бетона тем выше, чем больше объем цементного теста в бетоне.
- **В среднем усадка тяжелого бетона составляет 0,3...0,4 мм/м.** Вследствие усадки бетона в бетонных и железобетонных конструкциях могут возникнуть большие усадочные напряжения, поэтому элементы большой протяженности разрезают усадочными швами во избежание появления трещин.
- При усадке бетона 0,3 мм/м в конструкции длиной 30 м общая усадка составит 10 мм. Усадочные трещины в бетоне на контакте с заполнителем и в самом цементном камне могут снизить морозостойкость и послужить очагами

Пористость

- пористость бетона можно определить по формуле:
-
- $$P = [(V - \omega * C) / 1000] * 100,$$
-
- Где,
- V и C — расходы воды и цемента на 1 м^3 (1000 дм^3);
- ω — количество химически связанной воды в долях от массы цемента.

Водопоглощение

- характеризует способность бетона впитывать влагу в капельножидком состоянии; оно зависит, главным образом, от характера пор.
- Водопоглощение тем больше, чем больше в бетоне капиллярных сообщающихся между собой пор. Максимальное водопоглощение тяжелых бетонов на плотных заполнителях достигает 4...8% по массе (10...20% по объему). У легких и ячеистых бетонов этот показатель значительно выше.

Водопроницаемость

- **Водопроницаемость бетона** определяется в основном проницаемостью цементного камня и контактной зоны «цементный камень — заполнитель»; кроме того, путями фильтрации жидкости через бетон могут быть микротрещины в цементном камне и дефекты сцепления арматуры с бетоном. Высокая водопроницаемость бетона может принести его к быстрому разрушению из-за коррозии цементного камня.
- **По водонепроницаемости бетон делят на марки** W0,2; W0,4; W0,6; W0,8 и W1,2..
- **Марка обозначает давление воды (МПА), при котором образец-цилиндр высотой 15 см не пропускает воду при стандартных**

Морозостойкость

- **главный показатель, определяющий долговечность бетонных конструкций в нашем климате.**
- **Морозостойкость бетона оценивается** путем попеременного замораживания при минус $(18 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ и оттаивания в воде при $(18 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ предварительно насыщенных водой образцов испытуемого бетона.
Продолжительность одного цикла — 5... 10 ч в зависимости от размера образцов.
- **За марку по морозостойкости принимают** наибольшее число циклов «замораживания — оттаивания», которое образцы выдерживают без снижения прочности на сжатие более 5% по сравнению с прочностью контрольных образцов в начале испытаний.
- **Установлены следующие марки бетона по морозостойкости: F25; F35; F50; F75; F100...F1000.**

Теплофизические свойства

- **Из них важнейшими являются:**
 - - теплопроводность,
 - - теплоемкость,
 - - температурные деформации.
 -
- **Теплопроводность** тяжелого бетона даже в воздушно-сухом состоянии велика — около 1,2...1,5 Вт/(мК), т. е. в 1,5...2 раза выше, чем у кирпича.
- Поэтому использовать тяжелый бетон в ограждающих конструкциях можно только совместно с эффективной теплоизоляцией.
- **Теплоемкость** тяжелого бетона, как и других каменных материалов, находится в пределах 0,75...0,92 Дж/(кгК); в среднем - 0,84 Дж/(кгК).
- **Температурные деформации.** Температурный коэффициент линейного расширения тяжелого бетона $(10...12) \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$. Это значит, что при увеличении температуры бетона на 50°C расширение составит примерно 0,5 мм/м. Поэтому во избежание растрескивания сооружения большой протяженности разрезают температурными швами.
- Большие колебания температуры могут вызвать внутреннее растрескивание бетона из-за различного теплового расширения крупного заполнителя и цементного камня.

Расчет состава тяжелого бетона

- **Подбор состава бетона.** Состав бетона должен быть таким, чтобы бетонная смесь и затвердевший бетон имели заданные значения свойств (удобоукладываемости, прочности, морозостойкости и т. п.), а стоимость бетона при этом была возможно более низкой.
- **Требуемая прочность бетона достигается:**
 - 1) выбором марки цемента (она, как правило, принимается в 1,5...2,5 раза выше марки бетона);
 - 2) расчетом требуемого соотношения цемента и воды (Ц/В) по формуле основного закона прочности бетона.

**Количество цемента
определяется по известным
значениям В и В/Ц:**

$$\mathbf{Ц = В : (В / Ц)}$$

Полученный состав бетона может быть выражен двумя способами:

- **количеством составляющих** (кг) для получения 1 м³ бетона (например, цемент — 300, вода — 200, песок — 650 и щебень — 1250);
- **соотношением компонентов в частях по массе или по объему**; при этом количество цемента принимают за 1 (например, запись 1:2:4 при В/Ц = 0,7 означает, что на 1 ч. цемента берется 0,7 ч. воды, 2 ч. песка и 4 ч. крупного заполнителя).

Приготовление бетонной смеси

Приготовление бетонной смеси осуществляют в специальных агрегатах — бетоносмесителях разных конструкций и различной вместимости (от 75 до 4500 дм³).

При перемешивании, мелкие компоненты смеси входят в межзерновые пустоты более крупных - (песок в пустоты между зерен крупного заполнителя, цемент — в пустоты песка).

В результате объем готовой бетонной смеси составляет не более 0,6...0,7 от объема исходных сухих компонентов.

Этот показатель, называемый **коэффициент выхода бетонной смеси β** , рассчитывают по формуле:

$$\beta = V_{\text{бс}} / (V_{\text{ц}} + V_{\text{п}} + V_{\text{к}}),$$

- Где, $V_{\text{бс}}$ — объем бетонной смеси;
 $V_{\text{ц}}$, $V_{\text{п}}$ и $V_{\text{к}}$ — объемы цемента, песка и крупного заполнителя соответственно.

Укладка и уплотнение бетонной смеси

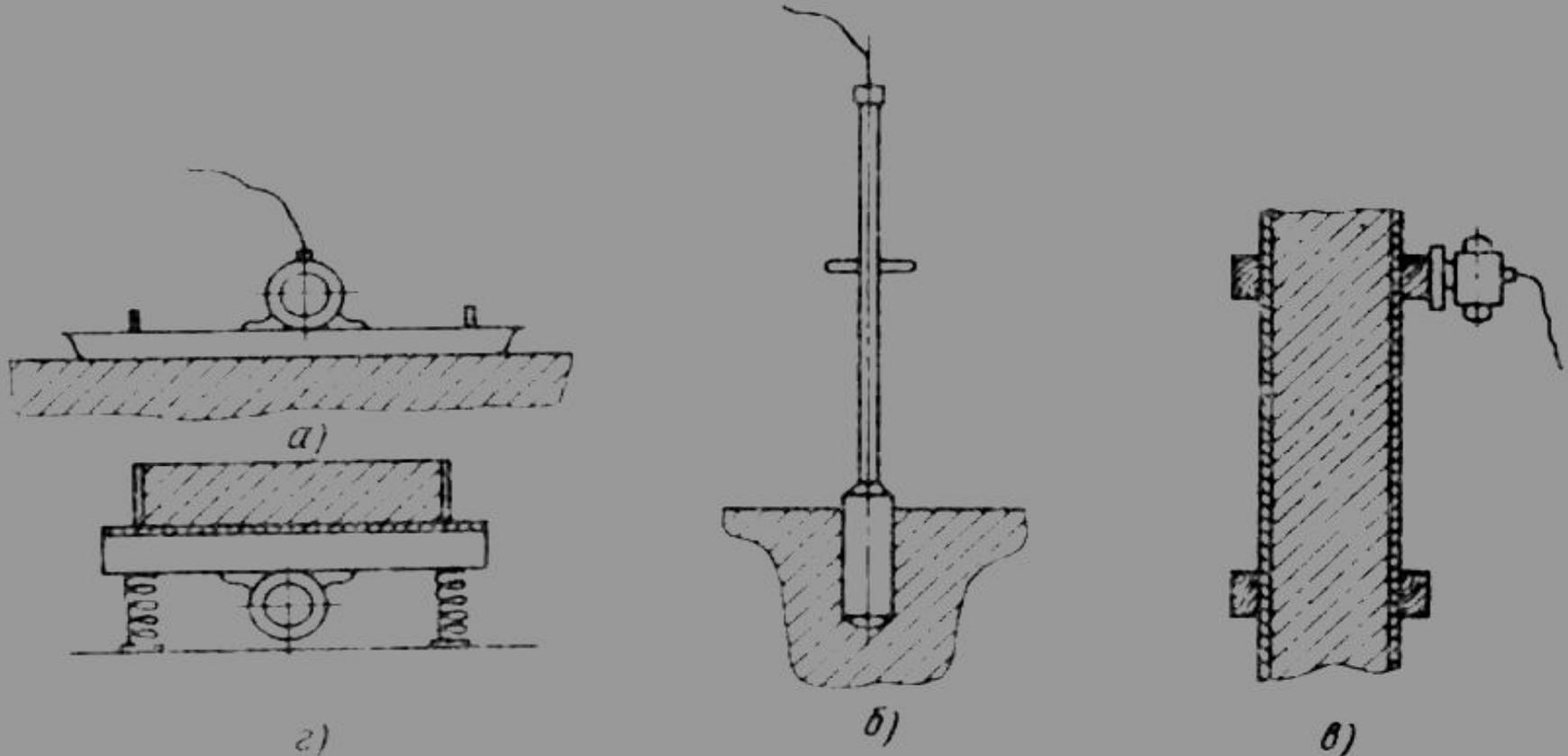
Изготовление бетонных и железобетонных конструкций включает в себя следующие технологические операции:

- - подбор состава бетона,
- - приготовление и транспортирование бетонной смеси,
- - укладку и уплотнение бетонной смеси,
- - обеспечение требуемого режима твердения бетона.

Укладка бетонной смеси

- **Укладка должна обеспечивать** максимальную плотность бетона (отсутствие пустот) и неоднородность состава по сечению конструкции.
- **Пластичные текучие смеси уплотняются** под действием собственного веса или путем штыкования, **более жесткие смеси** — вибрированием.

В зависимости от вида и формы бетонируемой конструкции применяют различные типы вибраторов



- Вибраторы: а — поверхностный; б — глубинный; в — навесной;
- г — стационарная виброплощадка

Методы формирования бетонных

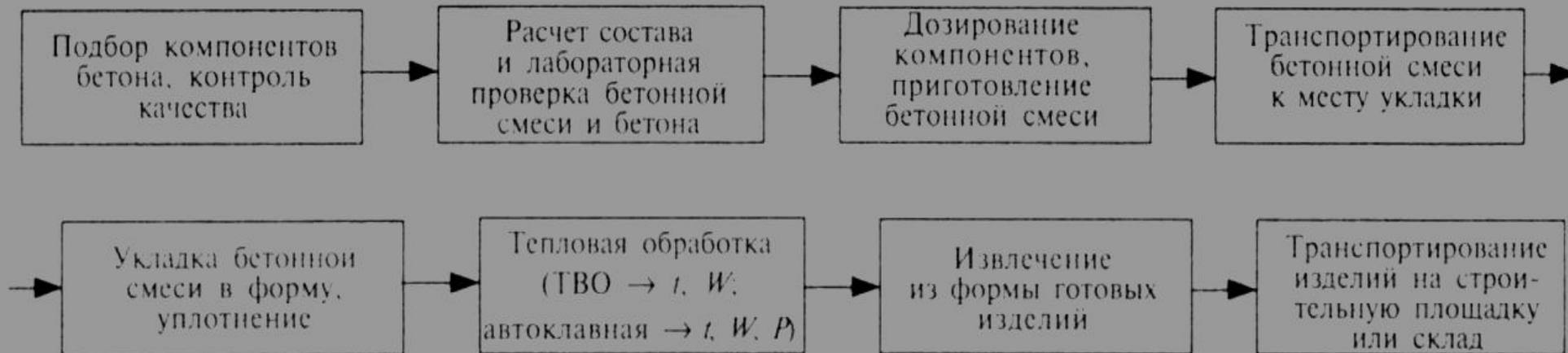
конструкций

Получение бетонных и железобетонных изделий и конструкций включает следующие технологические этапы:

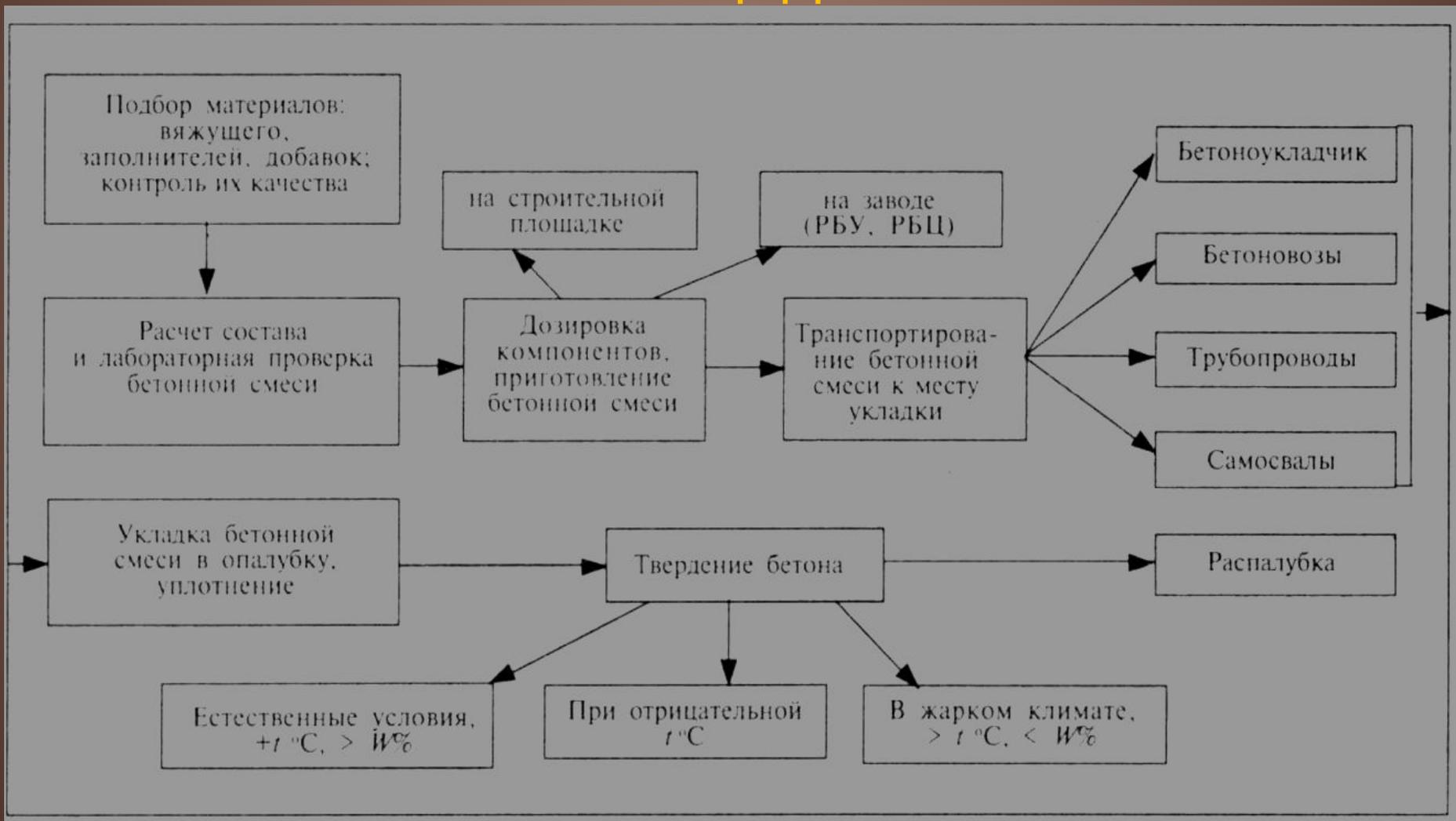
- - **входной контроль качества всех используемых материалов** (минерального вяжущего, заполнителей, добавок, воды, арматуры и т.д.);
- - **расчет состава бетонной смеси согласно ГОСТ 27006 и его лабораторную проверку;**
- - **приготовление заданной бетонной смеси;**
- - **транспортировку ее к месту изготовления конструкции;** укладку в форму (опалубку) и уплотнение;
- - **твердение бетона;**
- - **раскрытие формы и извлечение готового изделия.**

Технология получения сборных железобетонных (ЖБ)

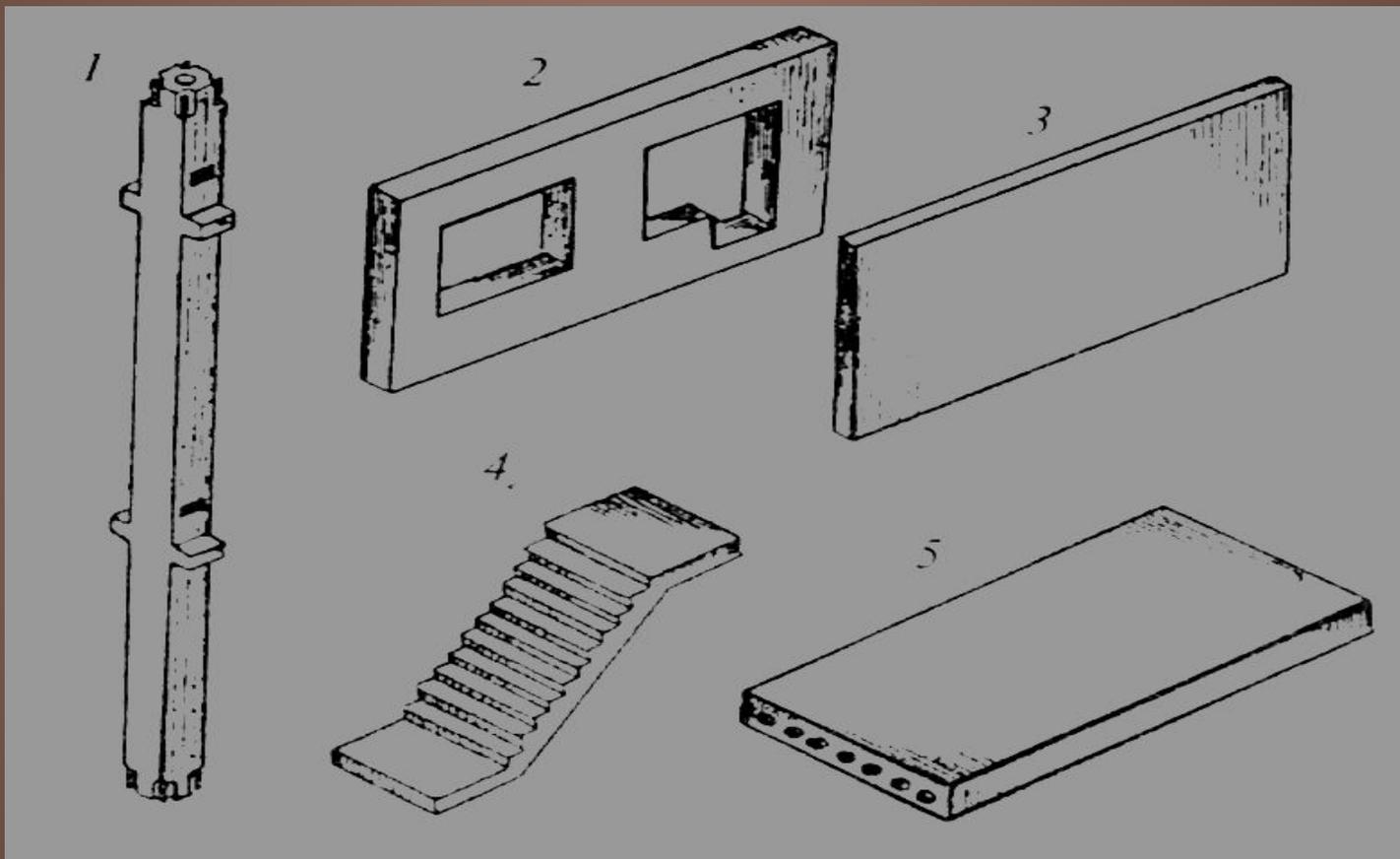
конструкций на заводе



Технология получения монолитных железобетонных конструкций на строительной площадке



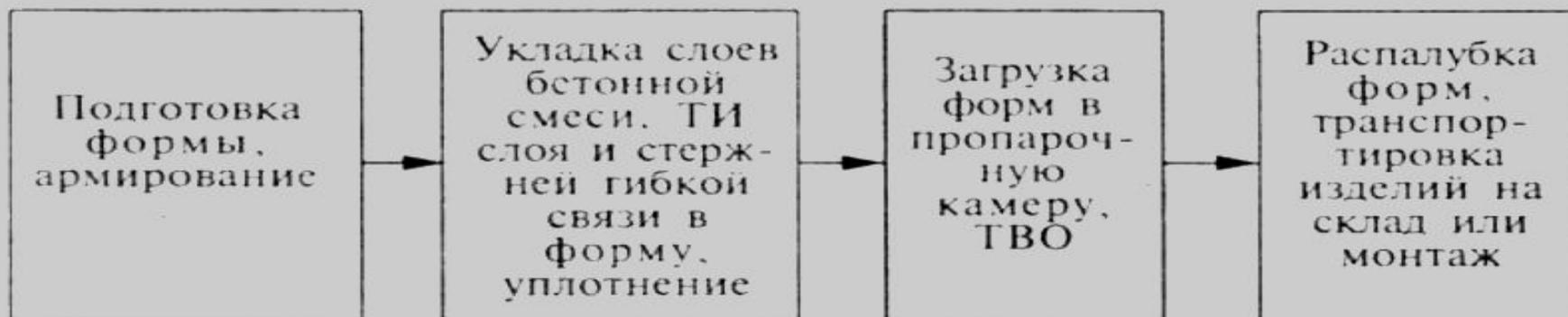
Сборные железобетонные конструкции



1 — колонна; 2 — наружная стеновая панель; 3 — панель перегородки; 4 — лестничный марш; 5 — плита перекрытия многопустотная

Технологические схемы производства сборных железобетонных конструкций

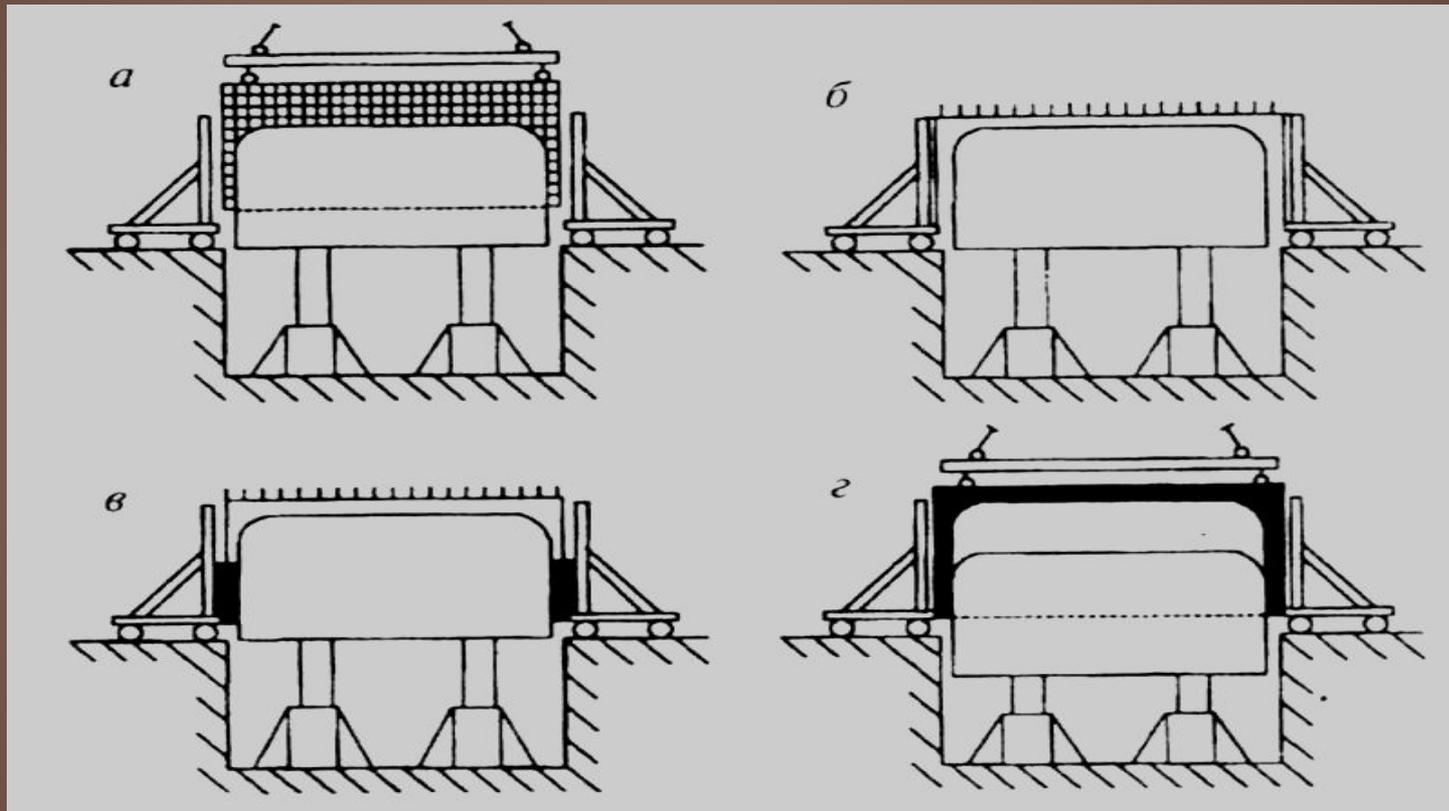
1. Поточно-агрегатная (многослойные стеновые панели)



2. Поточно-конвейерная (плиты перекрытия, перегородки)



Схема формования объемных блоков



а — установка арматуры;

б — сборка формы перед бетонированием;

в — бетонирование стен блока;

г — съём готового блока

Твердение бетона

- Нормальный рост прочности бетона происходит при положительной температуре (15...25°C) и постоянной влажности.
- Соблюдение этих условий особенно важно в первые 10... 15 суток твердения, когда бетон интенсивно набирает прочность.
- Что бы поверхность бетона предохранить от высыхания, ее покрывают песком, опилками, периодически увлажняя их. Эффективна защита поверхности бетона от испарения влаги полимерными пленками, битумными и полимерными эмульсиями.
- **В зимнее время твердеющий бетон предохраняют от замерзания различными методами:**
- **методом термоса**, когда подогретую бетонную смесь защищают теплоизоляционными материалами,
- **подогревом бетона во время твердения** (в том числе и электропрогрев).

Тепловлажностная обработка

бетона

- Для набора «критической» прочности, которая составляет в зависимости от марки бетона 25 - 50%, применяют комплекс мер:
- использование высокоэффективных быстротвердеющих портландцементов;
- снижение расхода воды затворения;
- введение специальных противоморозных добавок, обеспечивающих гидратацию вяжущего за счет понижения температуры замерзания воды;
- теплоизоляцию поверхности свежеложенного бетона, приготовленного на подогретых заполнителях или с применением противоморозных добавок (метод термоса);
- тепловую обработку с использованием энергии пара, нагретого воздуха или электрического тока.

Тепловлажностная обработка бетона

- **Тепловую обработку применяют** и при нормальных условиях твердения, когда хотят получить заданную прочность бетона в более короткий срок.

Наибольшее распространение получили следующие методы:

- - термовлажностная обработка при нормальном и повышенном давлении,
 - - электрообогрев,
 - - гелиообработка.
-
- ***Весь процесс можно разделить на четыре основных этапа:***
 - - предварительная выдержка бетона до начала схватывания;
 - - медленный подъем температуры до максимальной заданной;
 - - выдержка при этой температуре и последующее медленное охлаждение бетонных изделий.

Добавки для бетонов

- **Химические добавки вводят с целью целенаправленного изменения свойств бетонной смеси и бетона. Они могут быть органическими и неорганическими.**

По эффекту действия добавки классифицируют на:

- **регулирующие процесс гидратации цемента** (ускорители и замедлители твердения);
- **улучшающие пластичные свойства цементных смесей** (пластификаторы и суперпластификаторы);
- **вовлекающие воздух при перемешивании бетонных смесей и придающие цементному камню водоотталкивающие свойства** (воздухововлекающие и гидрофобные);
- **создающие ячеистую структуру в бетоне** (пено- и газообразующие);
повышающие плотность цементного камня (уплотняющие);
- **препятствующие разрушению арматуры в бетоне** (ингибиторы коррозии стали);
- **защищающие бетон от разрушения микроорганизмами** (биоцидные);
- **обеспечивающие твердение цемента при отрицательной температуре без обогрева — противоморозные.**

Классификация химических добавок

Вид добавки	Назначение
Ускорители твердения (NaCl , Na_2SO_4)	Ускорение набора прочности при естественном твердении и ТВО
Замедлители твердения (СДБ)	Замедление твердения при длительной перевозке бетонной смеси и « / воздуха
Гидрофильные — пластификаторы и суперпластификаторы (СП) - СДБ, С-3	Повышение подвижности бетонной смеси; при < расхода воды и сохранении заданной подвижности » R, F, W бетона
Гидрофобные (асидол, мылонафт)	Повышение водостойкости и водонепроницаемости бетона за счет придания водоотталкивающих свойств
Воздухововлекающие (СНВ)	Повышение морозостойкости бетона за счет > объема замкнутых пор
Пено- и газообразующие (мыльный корень, А1-пудра)	Снижение средней плотности бетона за счет создания ячеистой, пористой структуры
Ингибиторы коррозии стальной арматуры (NaNO_2 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)	Повышение стойкости арматуры при эксплуатации ЖБ конструкций в условиях действия кислотосодержащих и хлорсодержащих сред
Уплотняющие (FeCl_3 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$)	Повышение плотности и водонепроницаемости бетона за счет заполнения пор нерастворимыми продуктами реакции цемент + добавка
Противоморозные (CaCl_2 , NaCl , K_2CO_3 , NaNO_2 , НК, НКХ)	Обеспечение твердения бетона при $-t$ °С воздуха за счет понижения t замерзания воды затвердения и > растворимости минерального вяжущего

В качестве противоморозных добавок используют

однокомпонентные:

- - хлорид натрия и кальция,
- - карбонат калия (поташ),
- - нитрит натрия,
- - мочевины,

так и комплексные:

- - нитрит - нитрат Са (ННК),
- - нитрит – нитрат - хлорид Са (ННХК).

Контрольные вопросы

- Классификация бетонов
- Основные требования к заполнителям для тяжелого бетона
- Что такое тиксотропия бетонной смеси
- Что такое подвижность бетонной смеси, как она определяется
- Что такое жесткость бетонной смеси, как она определяется
- Условия твердения бетона
- Структура бетона, влияние на нее уплотнения и условий твердения, виды добавок
- Тепловлажностная обработка бетона: виды, режимы
- Что такое марка и класс бетона по прочности
- Методы формования в зависимости от тиксотропии бетона
- Виброобработка бетонной смеси
- Невибрационные методы уплотнения бетонной смеси
- Способы зимнего бетонирования, виды противоморозных добавок
- Разновидности тяжелого бетона и их применение
- Маркировка бетонных смесей