

Материалы для тяжелого

I. Вяжущее бетона

- выбор типа вяжущего обусловлен условиями приготовления бетонной смеси и эксплуатации бетона;
- выбор марки вяжущего обусловлен классом (маркой) бетона по прочности – как правило марка цемента должна в 1,5-2 раза превышать марку бетона.

II. Заполнители

- Мелкий заполнитель (0,14-5,0 мм) – песок природный и искусственный.
- Крупный заполнитель (5,0-70 (120) мм) – щебень или гравий

Максимальная крупность заполнителя – менее $\frac{1}{2}$ минимального размера конструкции и менее $\frac{3}{4}$ расстояния между стержнями арматуры.

Прочность крупного заполнителя – в 1,5 раза выше марки бетона (для бетонов марки ниже «300») и в 2 раза выше марки бетона (для бетонов марки выше «300»)

III. Вода

Чистая водопроводная вода.

IV. Добавки



Минеральные добавки - природные или техногенные тонкодисперсные вещества, содержащие аморфный SiO_2 .

(вулканический пепел, молотые вулканический туф, диатомит, трепел, опока, цемянка, метакаолин, микрокремнезем, аэросил)

Органо-минеральные добавки - добавки, получаемые совместным измельчением кремнеземосодержащих веществ и поверхностно-активных веществ (ПАВ).

(микрокремнезем и суперпластификатор С-3 – добавка МБ-1)

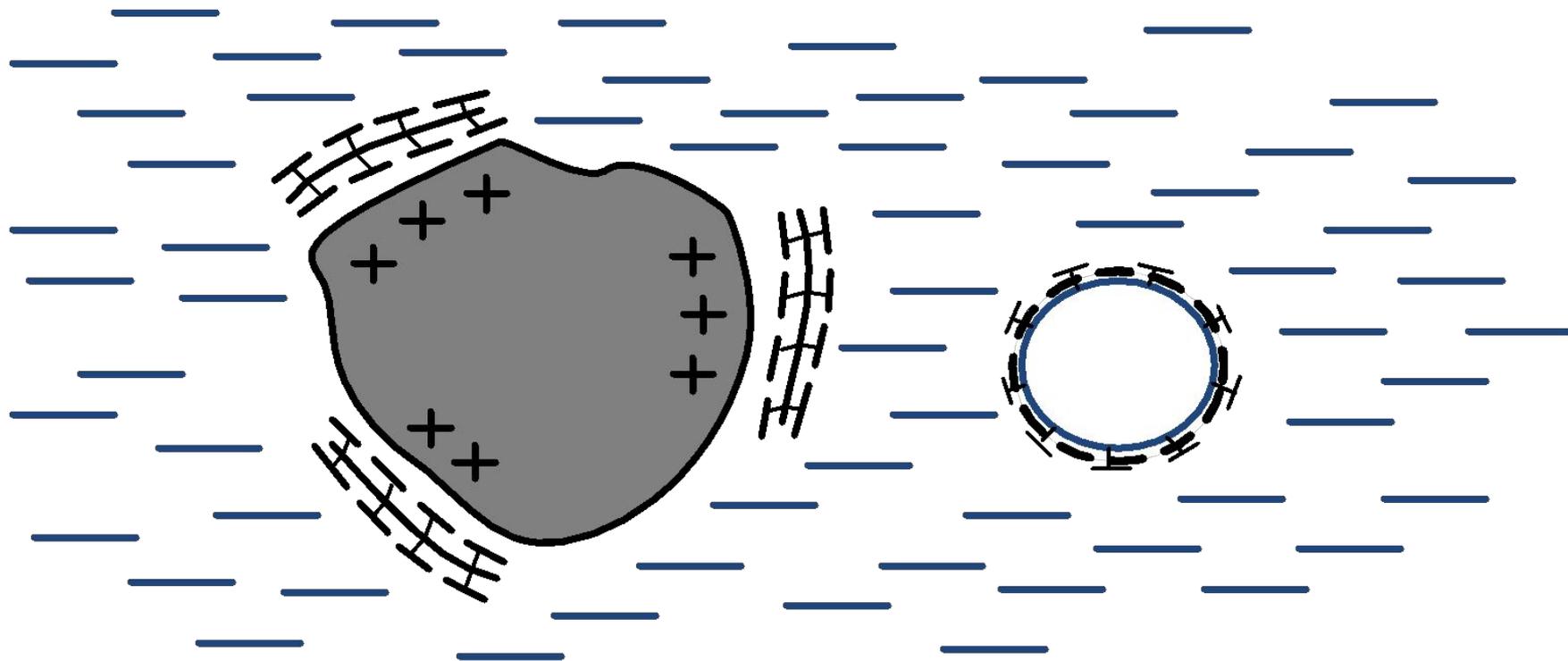
КЛАССИФИКАЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК

- 1) регулирующие свойства бетонных смесей (пластифицирующие) – ЛСТ, СДБ, С-3 (СП1);
- 2) регулирующие схватывание бетонных смесей и твердение бетона (ускорители и замедлители схватывания и твердения, противоморозные) – CaCl_2 , нитрит натрия, формиат натрия, карбид лития, сахараты, мочевины;
- 3) регулирующие плотность и пористость бетонной смеси и бетона (воздухововлекающие, газообразующие, уплотняющие) – СНВ, алюминиевая пудра, сульфат железа;
- 4) регулирующие деформации бетона (расширяющие) – алюминат кальция, сульфат алюминия;
- 5) повышающие защитные свойства бетона к стали (ингибиторы коррозии стали);
- 6) стабилизаторы (снижающие водоотделение и растворотделение) - эфиры целлюлозы;
- 7) придающие бетону специальные свойства (гидрофобизирующие, антикоррозионные, красящие, электроизоляционные, повышающие бактерицидные и инсектицидные свойства)

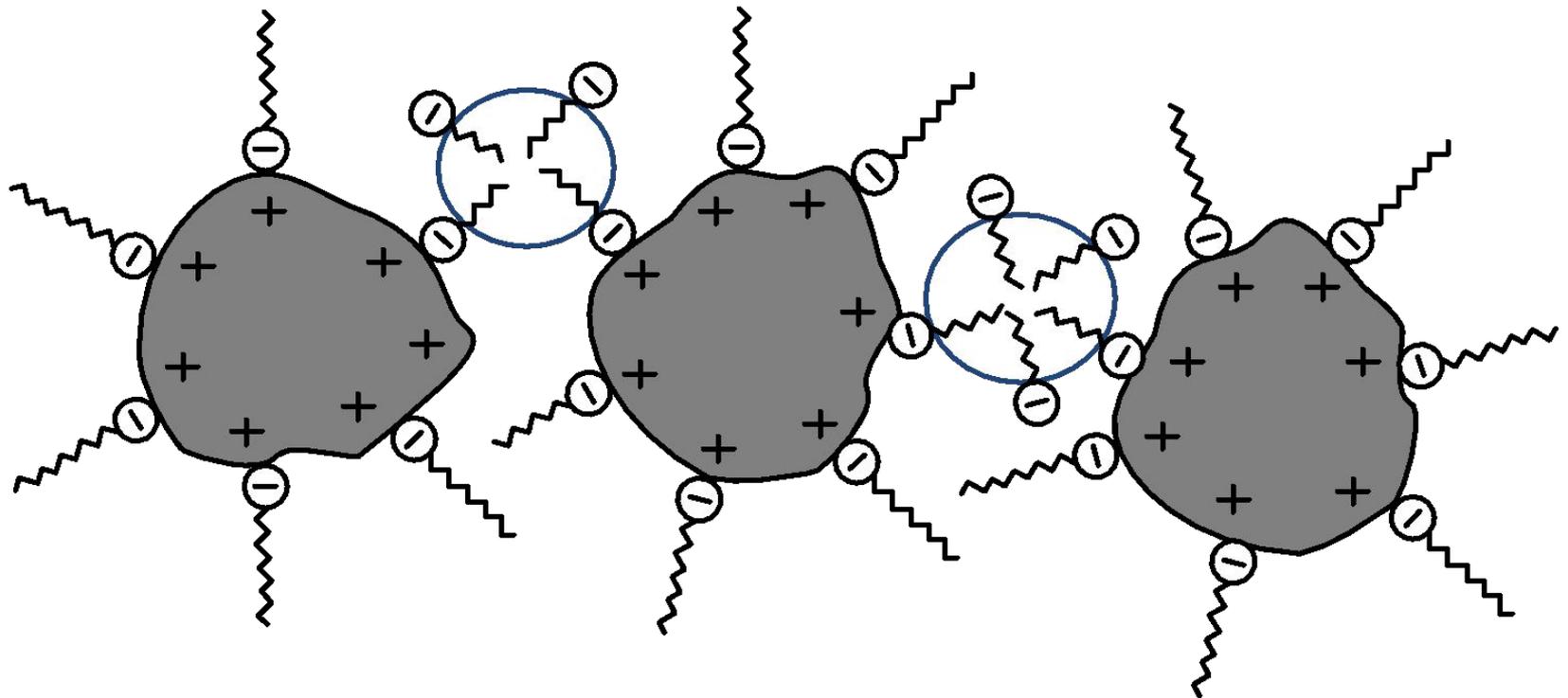
КЛАССИФИКАЦИЯ ПЛАСТИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК

Категори я	Группа	Эффективность действия	
		ОК, см	Водоредуцирующ ий эффект, %
I	Суперпластификато р	от 2-3 до 20	≥ 20
II	Сильный пластификатор	от 2-3 до 14-20	≥ 10
III	Средний пластификатор	от 2-3 до 8-14	≥ 5
IV	Слабый пластификатор	от 2-3 до 6-8	< 5

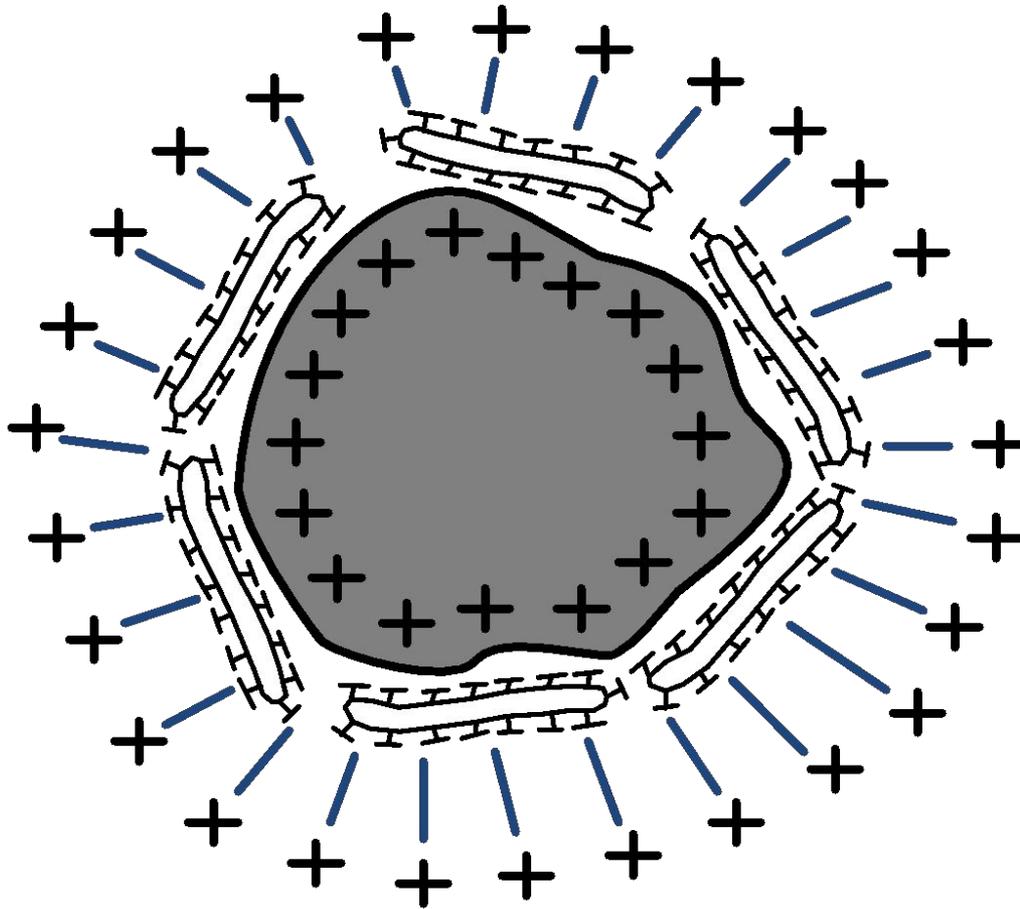
ДЕЙСТВИЕ ГИДРОФИЛЬНОЙ ДОБАВКИ (ЛСТ, СДБ)



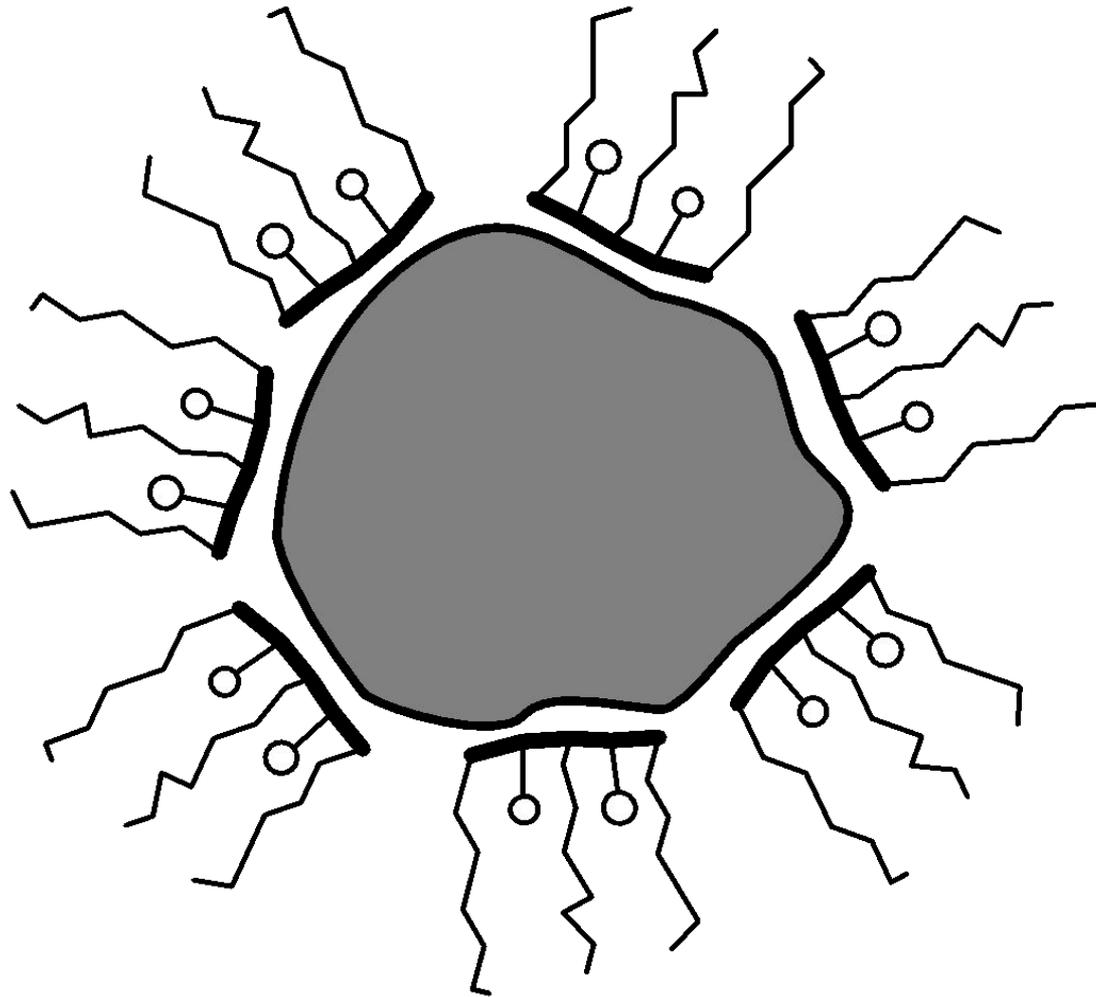
ДЕЙСТВИЕ ГИДРОФОБИЗИРУЮЩЕЙ ДОБАВКИ



ДЕЙСТВИЕ СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРА



Взаимодействие поликарбоксилатных добавок с зерном цемента



Добавки		Технический эффект
Вид	Тип	
Суперпластификаторы	Поликарбоксилаты	Снижение водопотребности 20-25%
		Сокращение расхода цемента 15-20%
	Полинафталинсульфаты	Снижение водопотребности 15-20%
		Сокращение расхода цемента 10-15%
		Снижение водопотребности 15-20%
Сульфированные меламинаформальдегидные смолы	Сокращение расхода цемента 15-20%	
Регуляторы твердения	Соли оксикарбоновых кислот	Увеличение сохраняемости бетонной смеси, 8-36 час
	Соли минеральных кислот	Увеличение ранней прочности 10-30%
Регуляторы структуры бетона	Смолы соляных кислот (воздухововлекающие)	Повышение морозостойкости 50-150
	Полигидроксилаксаны (микрогазообразующие)	Повышение морозостойкости 50-200
	Наносиликаты	Повышение морозостойкости 50-200
Органо-минеральные добавки	Суперпластификаторы и микрокремнезем	Повышение прочности 60-120%
		Уменьшение проницаемости 100-250%

СВОЙСТВА БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Реологические свойства бетонных смесей.

Вследствие коагуляционного структурообразования в цемент-ном тесте бетонная смесь приобретает такие свойства твердого тела, как **упругость** и **эластичность**. Эти свойства проявляются при напряжениях, меньших критических значений, необходимых для разрушения пространственной сетки коагуляционной структуры.

Деформативные свойства бетонной смеси позволяют определить ее как **упруго-эластично-вязко-пластичное** тело.

При дальнейшем структурообразовании и твердении бетон сохраняет эти свойства. Однако если в бетонной смеси наиболее ярко выражены пластично-вязкие свойства, то при твердении бетона их роль уменьшается и начинают превалировать упругие свойства вследствие уплотнения

Коагуляционные структуры образуются уже в начальный период после затворения цемента водой даже при незначительном количестве коллоидных частиц в твердой фазе.

Прочность коагуляционной структуры определяется расстоянием между узлами структурной сетки и толщиной прослоек дисперсионной среды между частицами в местах их контактов. Чем больше число коллоидных частиц в единице объема и меньше их размер, тем тоньше прослойки среды и ближе расстояние между узлами, следовательно, тем прочнее структура.

В индукционный период твердения цементного теста и бетона прочность структуры еще сравнительно мала, что позволяет производить технологические операции, применяя небольшое силовое воздействие, которое может оказывать вес самой смеси.

ТИКСОТРОПИЯ – способность бетонной смеси

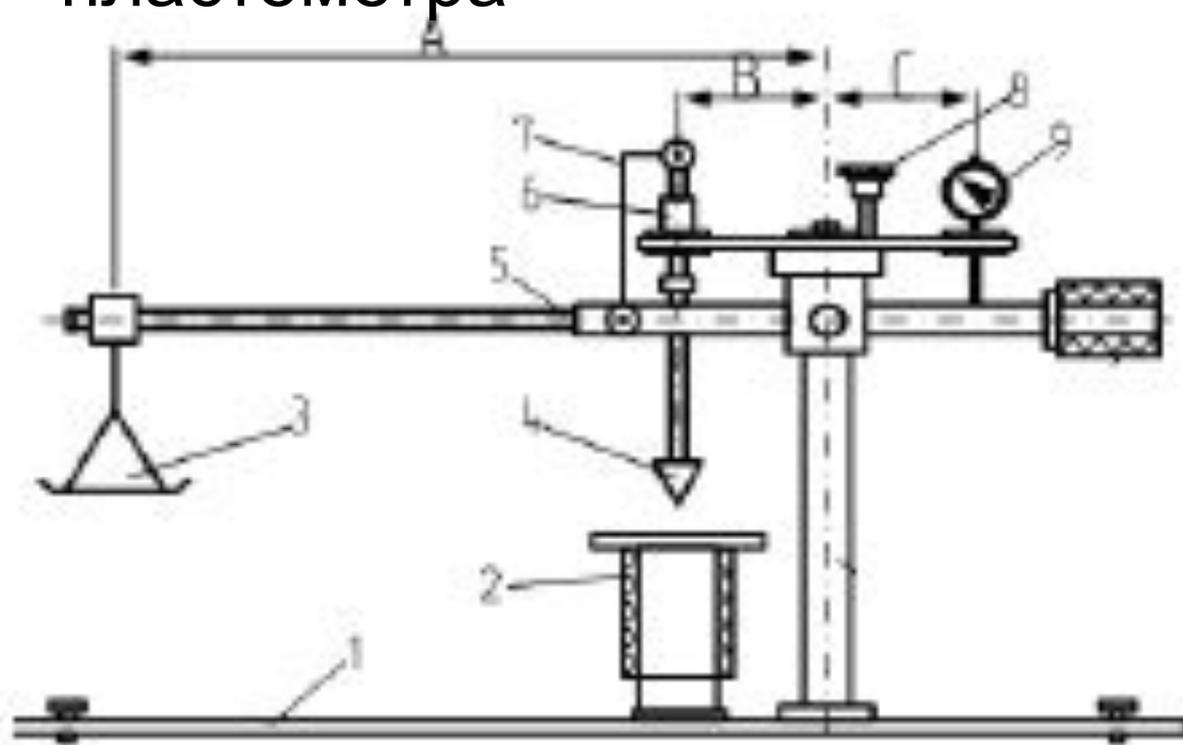
В последующий период структурообразования для обеспечения тиксотропного разжижения смеси необходимы уже более сильные, увеличивающиеся во времени воздействия. Приложенные к бетонной смеси нагрузки вызывают в ней напряжения сдвига, разрушающие структурные связи и обеспечивающие ее течение с определенной вязкостью.

При вибрировании подвижных и умеренно жестких бетонных смесей предельное напряжение сдвига уменьшается до нуля и смесь течет под действием собственного веса, имея определенный коэффициент вязкости.

Наиболее полно закономерность течения каждой бетонной смеси может быть охарактеризована реологическими кривыми, связывающими величины градиента скорости течения и вязкости при изменении напряжения сдвига.

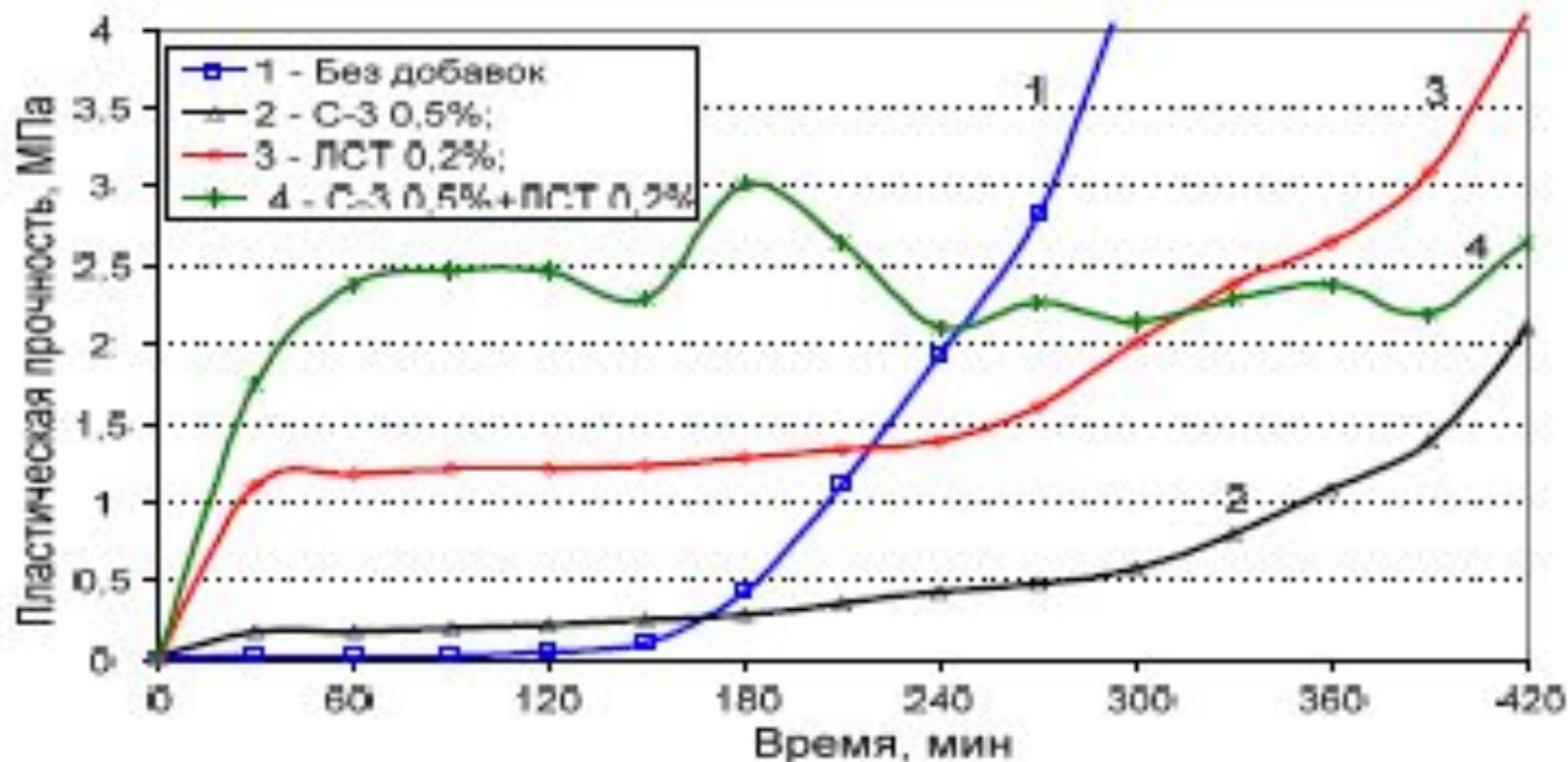
Для определения реологических кривых течения бетонной смеси применяют сложные приборы — **пластометры и вискозиметры**

Схема конического пластометра



- 1 – плита прибора; 2 – подъемный столик; 3 – площадка для груза; 4 – конус;
5 – рычаг; 6 – втулка; 7 – скоба соединения штока конуса с рычагом;
8 – площадка крепления втулки; 9 - индикатор погружения конуса.

Влияние добавок ЛСТ, С-3 и их комплекса на длительность индукционного периода и раннюю потерю пластичности



Бетонные смеси должны обладать **пластичностью** — способностью к течению без нарушения оплошности. Непластичные смеси расслаиваются, т. е. отделяют воду или крупный заполнитель при транспортировке и укладке.

Водоудерживающая способность цементов примерно равна 65% их нормальной плотности, водоудерживающая способность песка и крупного заполнителя может быть оценена по их водопотребности.

Водопотребность крупного заполнителя из плотных пород можно принимать равной 1-2% для гравия и 2-4% для щебня.

При механических воздействиях на цементное тесто его водоудерживающая способность снижается и составляет около 35% нормальной плотности, что вызывает расслоение смеси.

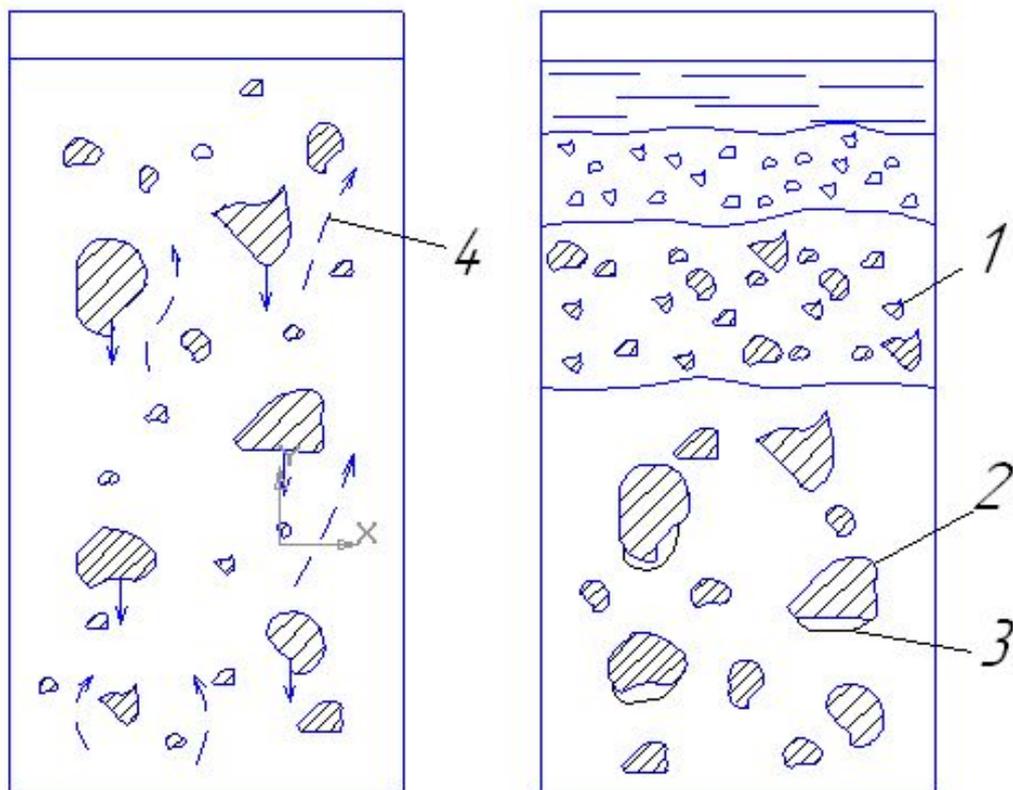
Для предотвращения расслаивания бетонной смеси должно быть обеспечено определенное значение предельного сопротивления сдвига растворной части.

Если предельное сопротивление сдвига раствора не обеспечивает нерасслаиваемости бетонной смеси, что может произойти в условиях ее транспортирования или вибро-обработки, то необходимо замедлить скорость расслаивания.

Обеспечив соответствующую эффективную вязкость раствора, можно получить практически нераслаивающуюся смесь для принятой технологии ее транспортировки и укладки.

Вязкость раствора при постоянном водосодержании определяется содержанием в нем песка и цемента: чем меньше в растворе цемента, тем больше требуется песка, и наоборот, при больших количествах цемента (т. е. малых В/Ц) вязкость теста уже достаточно высока и песка может содержаться меньше.

Условия нерасплаиваемости обеспечиваются оптимальным соотношением составляющих бетонной смеси, которое определяет как необходимую вязкость раствора, так и достаточное сцепление между зернами заполнителя.



1 – мелкий заполнитель; 2 – крупный заполнитель;
3 – скопление воды; 4 – направление, по которому
отжимается вода.

Удобоукладываемость бетонных смесей – способность бетонной смеси заполнять форму при данном способе уплотнения, сохраняя однородность.

Показатели удобоукладываемости:

- подвижность бетонной смеси (характеризует структурную прочность);
- жесткость (показатель динамической вязкости);
- связность.

При оценке удобоукладываемости бетонной смеси необходимо учитывать, что по **осадке стандартного конуса** определяется предельное напряжение сдвига, а жесткость в техническом вискозиметре характеризует эффективную вязкость вибрируемой бетонной смеси.

Поскольку строгой корреляционной зависимости между этими величинами нет, оценка виброуплотняемых бетонных смесей по осадке конуса может оказаться неточной.

a.)

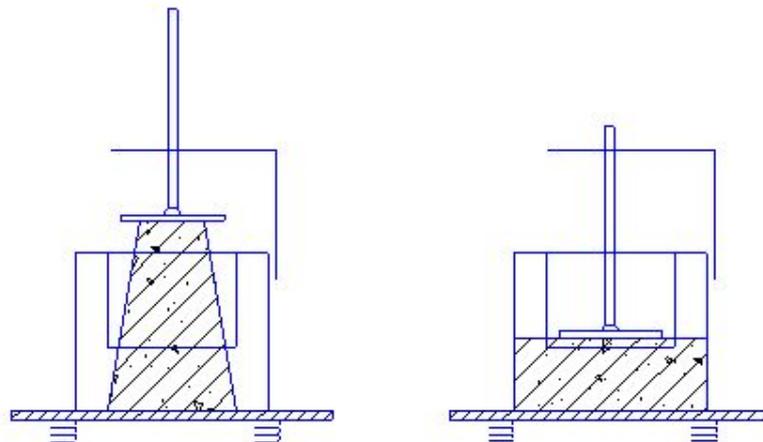
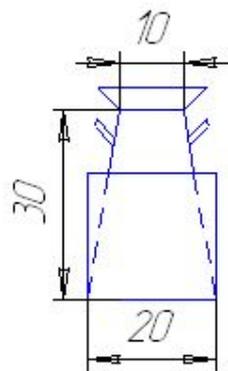


Схема испытания

б.)



Общий вид

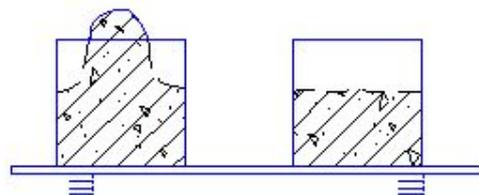
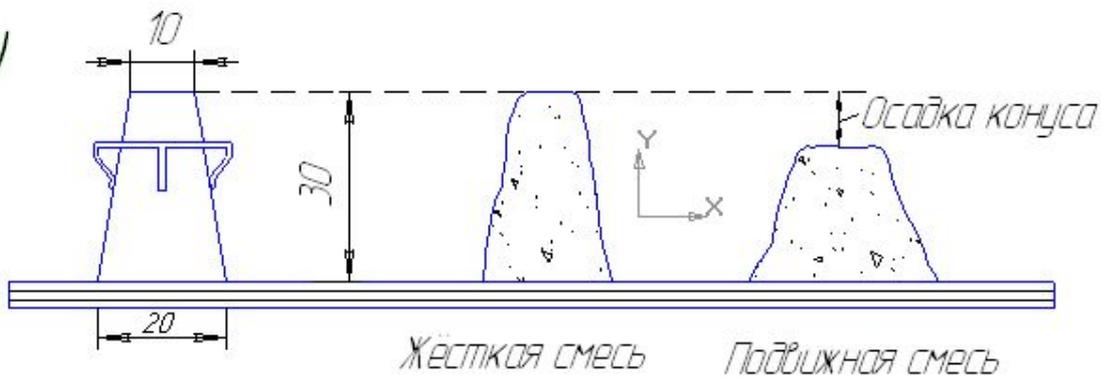


Схема испытания

в.)



Жесткая смесь

Подвижная смесь

Классификация бетонных смесей по показателям жесткости и подвижности

Вид бетонной смеси	Жесткости в сек	Осадка конуса в см
Особо жёсткая	более 200	0
Жёсткая	60-150	0
Малоподвижная	45-15	0-2
Подвижная	10 и менее	3-8
Весьма подвижная	-	10-12
Литая	-	15-18

Марка по удобоуклад ы-ваемости	Норма удобоукладываемости		
	Жесткость, с	Подвижность, см	
		Осадка конуса	Распływ конуса
Сверхжесткие смеси			
СЖ3	Более 100	-	-
СЖ2	51-100	-	-
СЖ1	50 и менее	-	-
Жесткие смеси			
Ж4	31-60	-	-
Ж3	21-30	-	-
Ж2	11-20	-	-
Ж1	5-10	-	-
Подвижные смеси			
П1	4 и менее	1-4	-
П2	-	5-9	-
П3	-	10-15	-
П4	-	16-20	26-30
П5	-	21 и более	31 и более

Вид конструкций и методы изготовления	Показатель жесткости, сек	Осадка конуса, см
Кольца канализационные, трубы, блоки, формуемые с немедленной распалубкой	80-100	0
Стеновые панели, пустотелые элементы перекрытий, формуемые в горизонтальном положении с вибропригрузом	60-80	0
Железобетонные конструкции: колонны, ригели, прогоны, балки, плиты, фундаментные башмаки, формуемые на виброплощадках без пригруза	45-60	0
Плоские или ребристые плиты покрытий, стеновые блоки, формуемые на одночастотных виброплощадках	15-30	0-2
Плоские или ребристые плиты покрытий, стеновые блоки, формуемые на двухчастотных виброплощадках	50-60	0
Тонкостенные конструкции, сильно насыщенные арматурой	15 и менее	2-6

Согласно п. 3.3. ГОСТ 7473-94 «Смеси бетонные. Технические условия», обозначение бетонной смеси должно содержать:

- степень готовности;
- класс по прочности;
- марки по удобоукладываемости, морозостойкости, водо-непроницаемости, средней плотности (для легкого бетона)
обозначение стандарта.

Например, готовая к употреблению бетонная смесь тяжелого бетона класса по прочности на сжатие В25, марок по удобоукладываемости П3, морозостойкости F200 и водонепроницаемости W6 должна обозначаться:

БСГ В25 П3 F200 W6 ГОСТ 7473-94

Свойства бетона

I. Прочность бетона

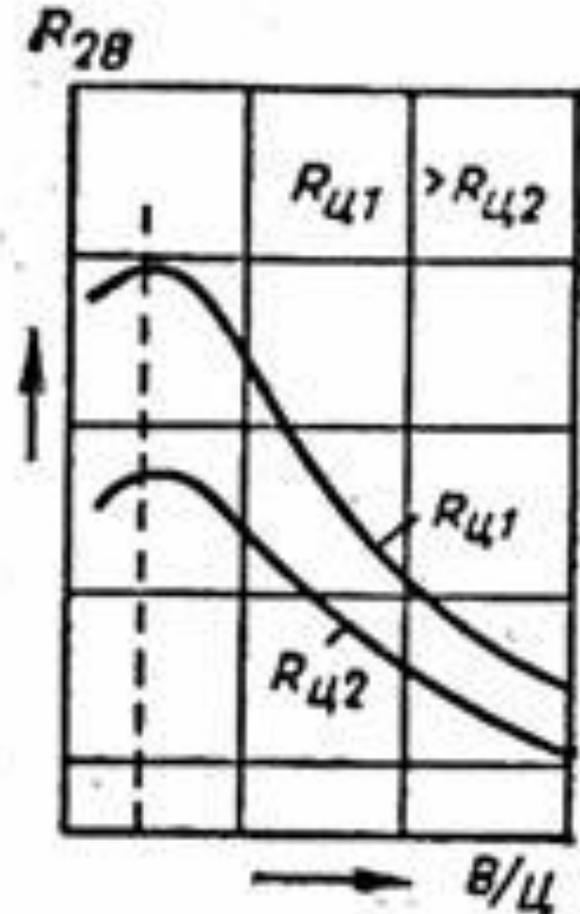
Закон прочности:

Для бетонов с Ц/В менее 2,5

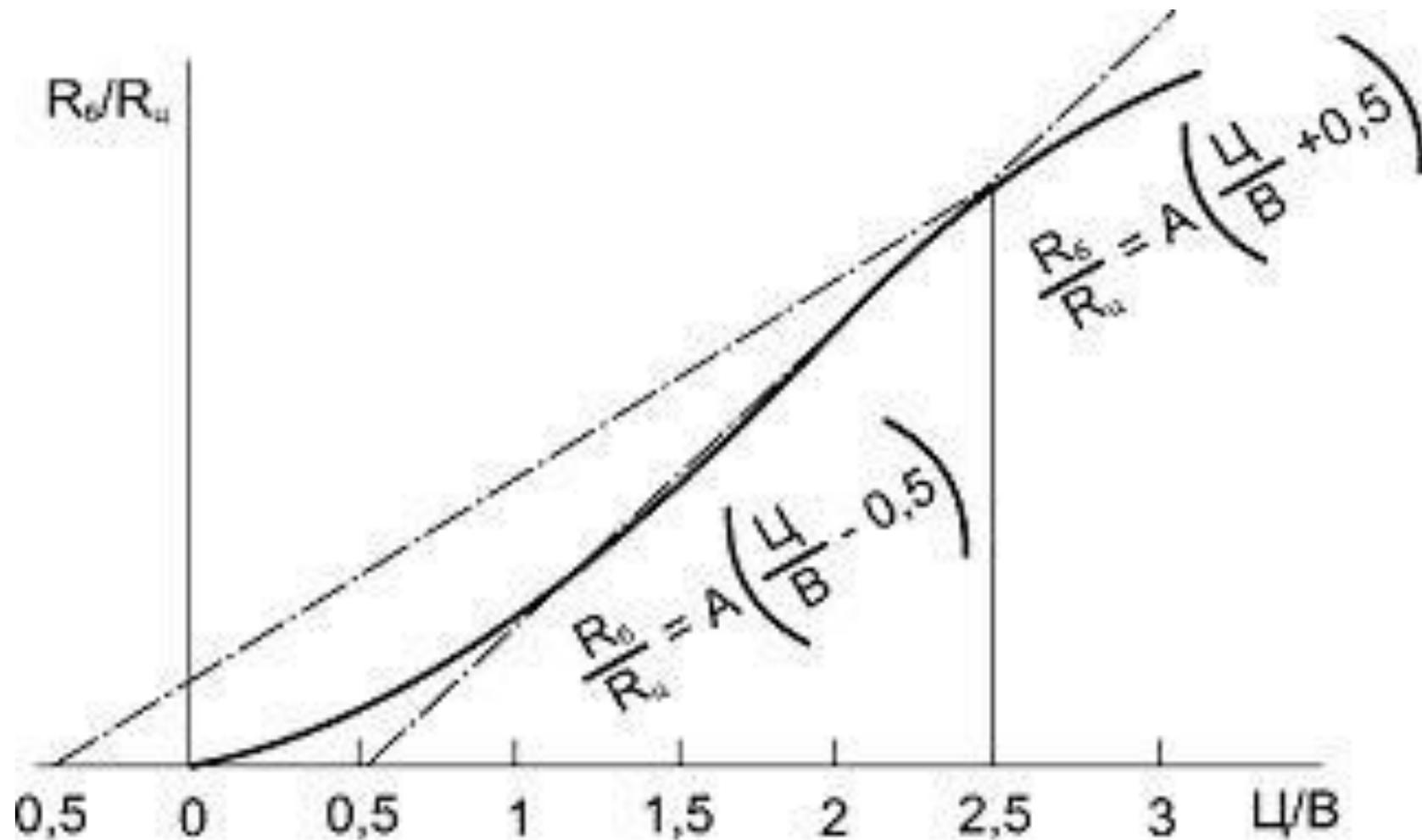
$$R_b = A R_{ц} \left(\frac{Ц}{В} - 0,5 \right)$$

Для бетонов с Ц/В более 2,5

$$R_b = A_1 R_{ц} \left(\frac{Ц}{В} + 0,5 \right)$$



Зависимость прочности бетона от В/Ц



Класс бетона – числовая характеристика какого-либо свойства, принимаемая с гарантированной обеспеченностью 0,95.

Классы бетона по прочности при сжатии – В1; В1,5; В2; В2,5; В3,5; В5; В7; В10; В15; В20;.....В60.

$$B = R_6 \cdot (1 - 1,64v), \quad v - \text{где коэффициент вариации}$$
$$R_6 = B / 0,778 \quad (\text{при коэффициенте вариации } 13,5\%)$$

Прочность бетона в возрасте n :

$$R_n = R_{28} \cdot (Lg n / Lg 28), \quad \text{где } 90 > n \geq 3 \text{ суток.}$$

Пористость бетона плотной структуры:

$$P = (B - wЦ) / 1000,$$

где B и $Ц$ – расход воды и цемента на 1 м³ бетона, w – количество химически связанной воды.

II. Деформативность бетона

В бетоне различают деформации двух видов:

- **объемные**, развивающиеся во всех направлениях под влиянием усадки, изменения температуры и влажности;
- **силовые**, развивающиеся главным образом вдоль направления действия сил.

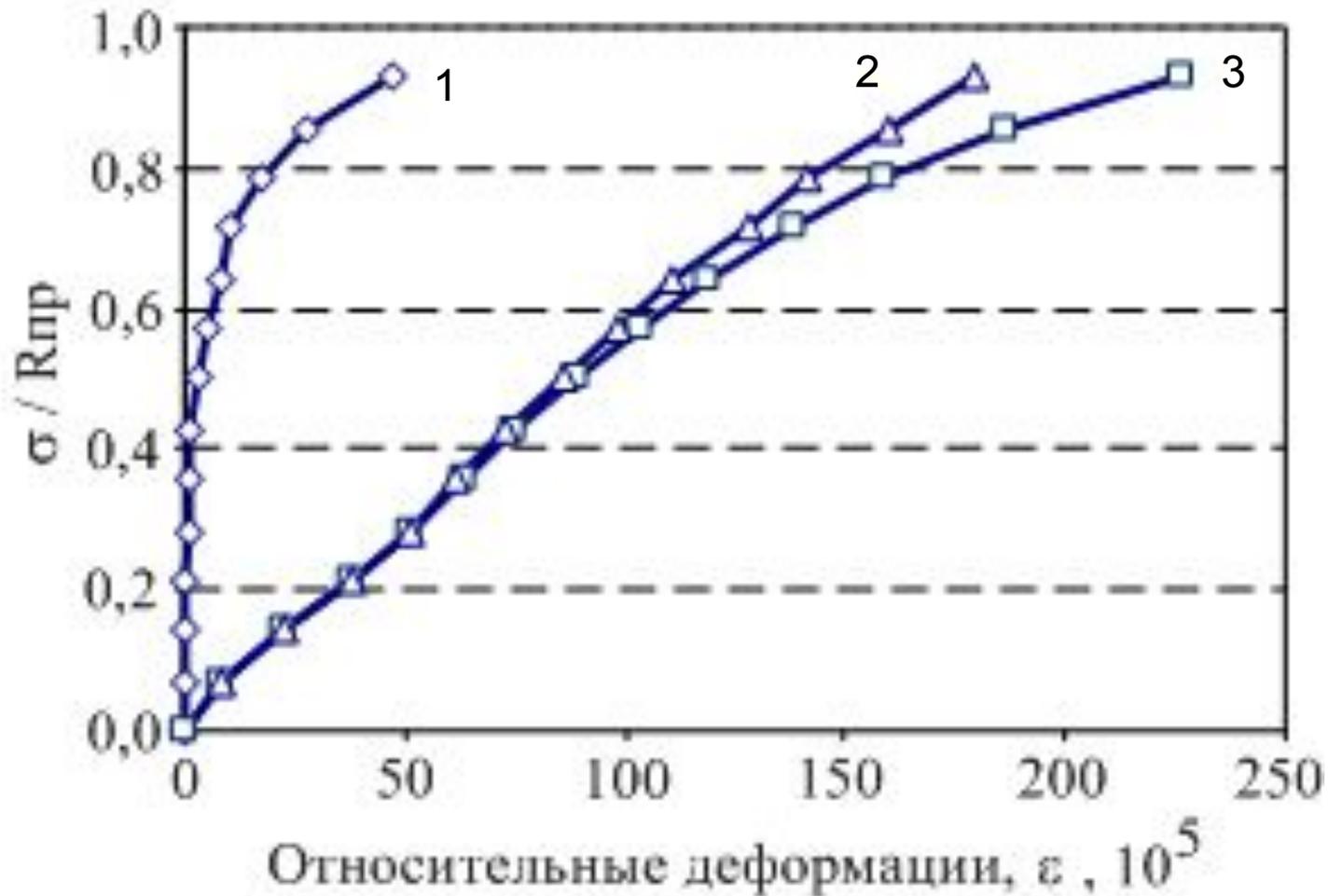
Бетон представляет собой упругопластический материал. Начиная с малых напряжений, в нем помимо упругих восстанавливающихся деформаций развиваются неупругие остаточные или пластические деформации. Поэтому силовые деформации в зависимости от характера приложения нагрузки и длительности ее действия подразделяют на три вида: при однократном загрузении кратковременной нагрузкой, при длительном действии нагрузки и при многократно повторном действии нагрузки.

При однократном загрузке бетона кратковременно приложенной нагрузкой деформация бетона образуется из упругой и неупругой пластической деформаций.

Небольшая доля неупругих деформаций в течение некоторого периода времени после разгрузки восстанавливается (около 10 %). Эта доля называется **деформацией упругого последствия**.

Если испытываемый образец загружать по этапам и измерять деформации на каждой ступени дважды (сразу после приложения нагрузки и через некоторое время после выдержки под нагрузкой), то на диаграмме напряжения-деформации получим ступенчатую линию.

Относительные деформации бетона при осевом сжатии



- 1 – продольная относительная деформация быстронатекающей ползучести;
- 2 – продольная относительная упруго-мгновенная деформация;
- 3 – продольная относительная полная деформация

Свойство бетона, характеризующееся нарастанием неупругих деформаций при длительном действии нагрузки, называют **ползучестью** бетона.

Деформации ползучести могут в 3-4 раза превышать упругие деформации.

Ползучесть бетона в сухой среде значительно больше, чем во влажной. Технологические факторы также влияют на ползучесть бетона:

- с увеличением В/Ц и количества цемента на единицу объема бетонной смеси ползучесть возрастает;
- с повышением прочности зерен заполнителей ползучесть уменьшается;
- с повышением прочности бетона, его класса ползучесть уменьшается.

Бетоны на пористых заполнителях обладают несколько большей ползучестью, чем тяжелые бетоны.

Ползучесть и усадка бетона развиваются совместно. Поэтому **полная** деформация бетона представляет собой сумму деформаций: **упругой, ползучести и усадки**.

Однако усадка носит характер объемной деформации, а ползучесть развивается главным образом в направлении действия усилия.

Деформации бетона при многократно повторяющемся действии нагрузки.

Многократное повторение циклов загрузки и разгрузки бетона приводит к постепенному накоплению неупругих деформаций. После достаточно большого числа циклов эти неупругие деформации, соответствующие данному уровню напряжений, постепенно выбираются, ползучесть достигает своего предельного значения, бетон начинает работать упруго.

Такой характер деформирования наблюдается лишь при напряжениях, не превышающих предел выносливости.

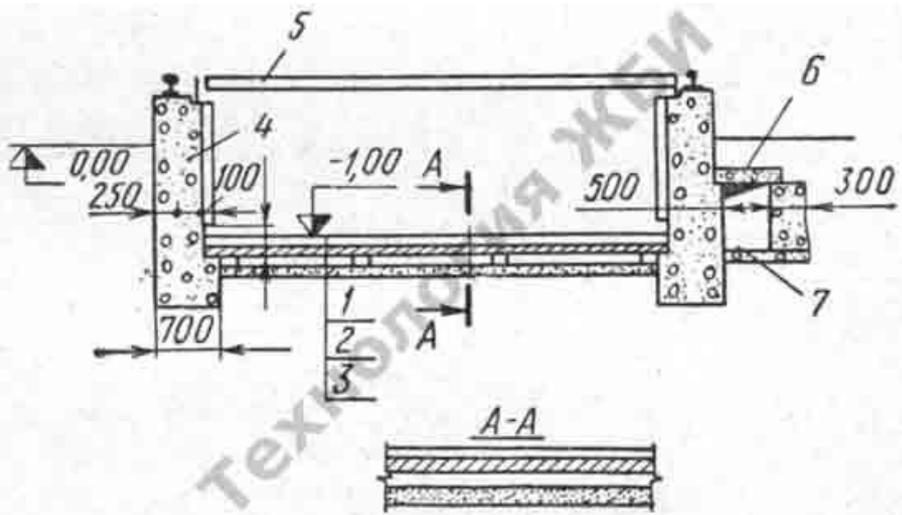
При больших напряжениях после некоторого числа циклов неупругие деформации начинают неограниченно расти, что приводит к разрушению образца.

При вибрационных нагрузках с большим числом повторений в минуту (200-600) наблюдается ускоренное развитие ползучести бетона, называемое **виброползучестью**, или динамической ползучестью.

Методы ускорения твердения бетона

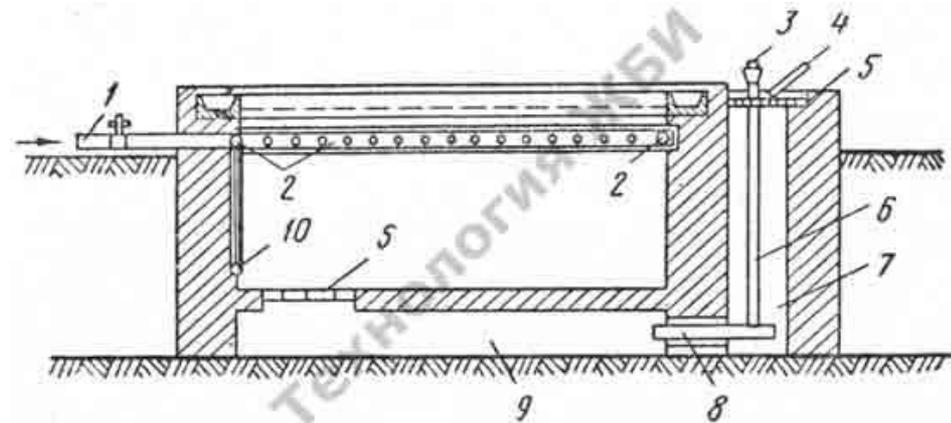
1. Автоклавная обработка ($t=170-200$ °С, $W=100\%$, $P=7-8$ атм)
2. Тепловлажностная обработка ($t=60-85$ °С, $W=100\%$)
3. Добавки-ускорители твердения (CaCl_2 , NaNO_3 , K_2CO_3 , $\text{Al}_2(\text{SO})_4$)

Ямная камера

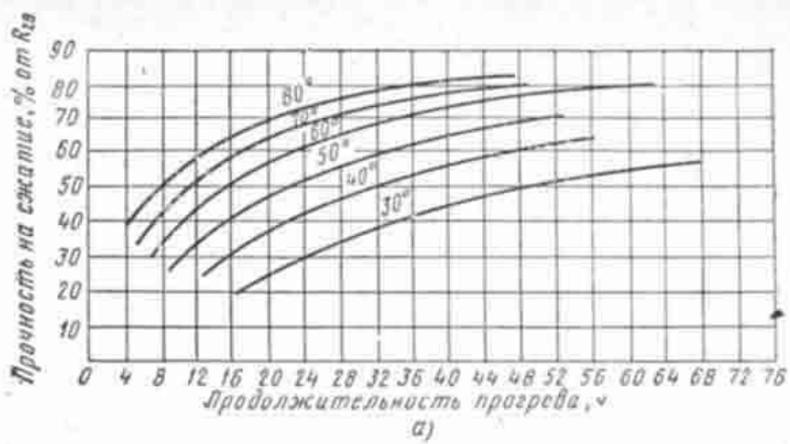


1 - цементный пол с железнением, 2 - железобетонная плита, 3 - бетонная или железобетонная подготовка, 4 - стена из монолитного бетона, 5 - крышка, 6 - сборная железобетонная плита, 7 - каналы для подачи пара и отвода конденсата

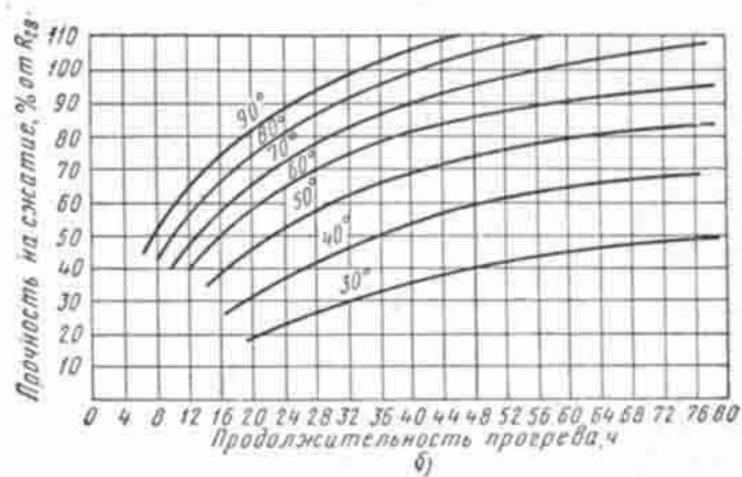
Конструкция полуавтоматической пропарочной камеры



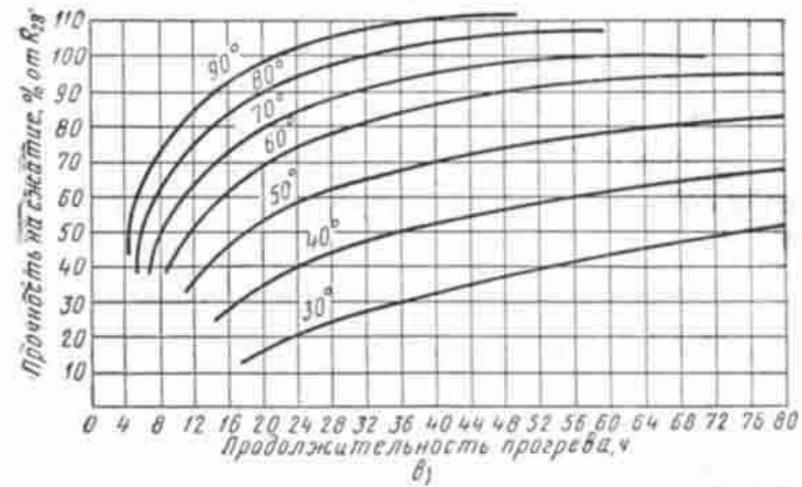
1 - труба для подачи пара в камеру, 2 - верхние перфорированные трубы, 3 - клапан, 4 - крышка колодца, 5 - металлическая решетка, 6 - труба для выпуска паровоздушной смеси, 7 - колодец, 8 - обратная выходная труба, 9 - поддонное пространство, 10 - нижняя перфорированная труба



Портландцемент



Пуццолановый
портландцемент



Шлакопортландцемент

Критическая прочность бетона при зимнем бетонировании

Класс бетона	Критическая прочность к моменту заморзания, % от R_M	
	без добавок	с противоморозными добавками
B7.5-B10	50	30
B12.5-B25	40	25
B30 и выше	30	20
Для преднапряженных конструкций	80	
Для конструкций, подвергающихся попеременному замораживанию и оттаиванию	70	

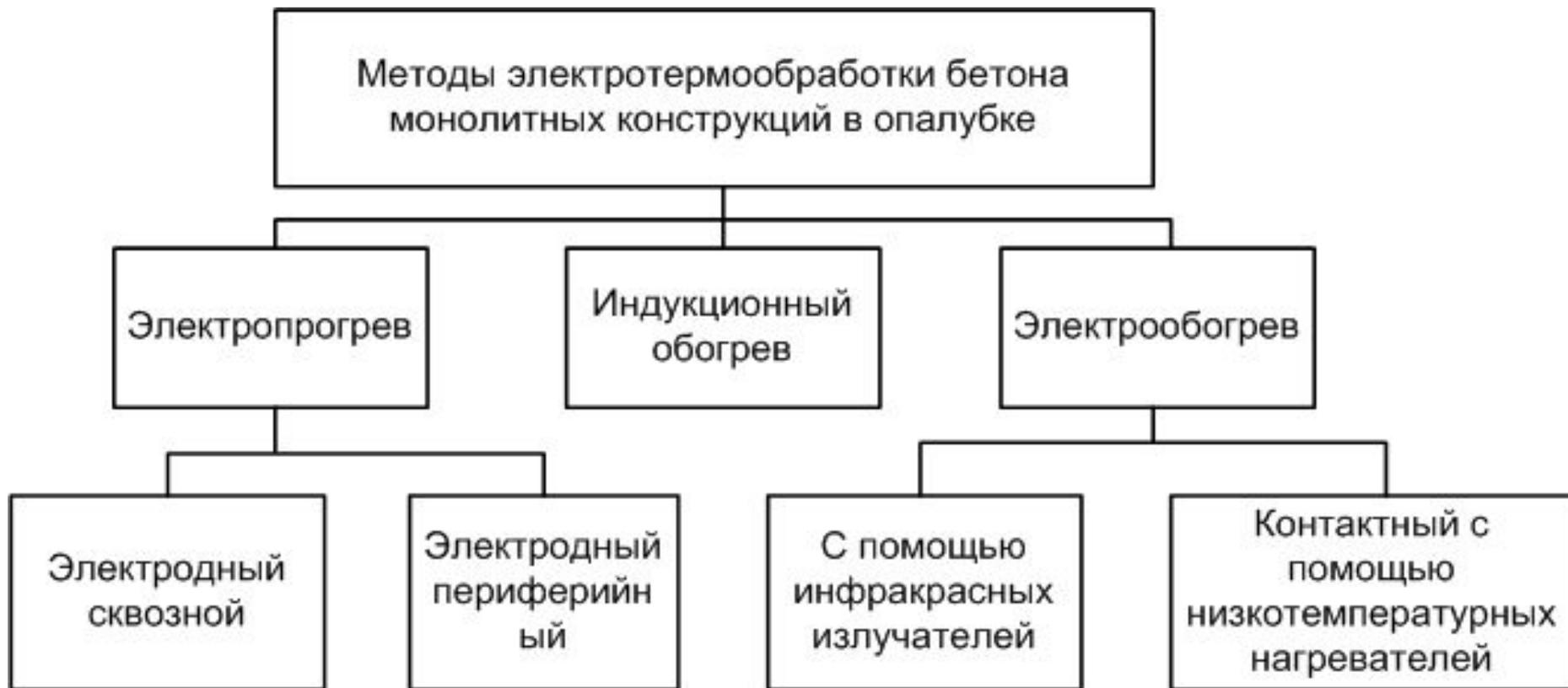
ВАРИАНТЫ ОБОГРЕВА БЕТОНА

- термос;
- термос с противоморозными добавками и ускорителями твердения;
- предварительный разогрев бетонной смеси;
- электродный прогрев;
- обогрев в греющей опалубке;
- инфракрасный обогрев;
- индукционный нагрев;
- обогрев нагревательными проводами

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВНУТРЕННЕГО ЗАПАСА ТЕПЛА

- высокопрочные, быстротвердеющие, тонкомолотые портландцементы;
 - ВНВ;
 - добавки-ускорители твердения;
 - уменьшение В/Ц за счет применения водоредуцирующих добавок
- (температура смеси перед укладкой в массивные конструкции – не ниже 5 °С, а в тонкостенные – не ниже 20 °С)

МЕТОДЫ ЭЛЕКТРОТЕРМООБРАБОТКИ БЕТОНА МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ОПАЛУБКЕ



В качестве противоморозных добавок применяют:

- **нитрит натрия (НН) NaNO_2 (ГОСТ 19906-74);**
- **хлорид кальция (ХК) CaCl_2 (ГОСТ 450-77) + хлорид натрия (ХН) NaCl (ГОСТ-13830-68);**
- **хлорид кальция (ХК) + нитрит натрия (НН);**
- **нитрат кальция (НК) $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (ГОСТ 4142-77) + мочеви́на (М) $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ (ГОСТ 2081-75E);**
- **комплексное соединение нитрата кальция с мочевиной (НКМ) (ТУ 6-03-266-70);**
- **нитрит-нитрат кальция (ННК) (ТУ 603-7-04-74) + мочеви́на (М);**
- **нитрит-нитрат кальция (ННК) + хлорид кальция (ХК);**
- **нитрит-нитрат - хлорид кальция (ННХК) + мочеви́на (М);**

Температура твердения, °С	Твердение бетона, сут. (% от R ₂₈)			
	7	14	28	90
Нитрит натрия				
-5	30	50	70	90
-10	20	35	55	70
-15	10	25	35	50
Хлорид натрия + хлорид кальция				
-5	35	65	80	100
-10	25	35	45	70
-15	15	25	35	50
-20	10	15	20	40
Нитрит кальция с мочевиной				
-5	30	50	70	90
-10	20	35	50	70
-15	15	25	35	60
-20	10	20	30	50
Нитрит натрия с хлоридом кальция и мочевиной				
-5	40	60	80	100
-10	25	40	50	80
-15	20	35	45	70
-20	15	30	40	60
-25	10	15	25	40
Мочевина				
-5	50	65	75	100
-10	30	50	70	90
-15	25	40	65	80
-20	25	40	55	70
-25	20	30	50	60

Запрещено использование поташа:

- 1) в конструкциях, работающих в условиях повышенной влажности, если срок службы конструкций выше десяти лет;
- 2) в конструкциях, имеющих закладные части из алюминия или его сплавов;
- 3) при наличии в бетоне реакционноспособного кремнезема в заполнителях (это требование распространяется и на бетон с добавкой нитрита натрия).

ОГРАНИЧЕНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ХЛОРИСТЫХ СОЛЕЙ:

- 1) в конструкциях, имеющих выпуски арматуры или стальные закладные детали; в конструкциях с защищенной арматурой добавка хлоридов должна быть не более 2% от цемента;
- 2) в конструкциях, на поверхности которых не допускаются высолы;
- 3) в конструкциях, не допускающих повышенной их гигроскопичности.