

# Долговечность бетона

**Материалы и технология бетона - факторы определяющие долговечность бетона**

Для оценки потребительской ценности строительных материалов из бетона, железобетона и предварительно напряженного железобетона, наряду с механическими показателями, чрезвычайно важное значение имеет их долговечность.

**Долговечность бетона означает, что строительные элементы из бетона при достаточном уходе в течение предусмотренного срока службы устойчивы ко всем воздействиям.**

В отличие от механических показателей долговечность бетона охарактеризовать сложно. Структура и свойства бетона подвержены постоянным изменениям не только под воздействием окружающей среды, но и по ряду эксплуатационных факторов (эксплуатационные нагрузки; знакопеременные температурные и влажностные деформации; воздействие низких отрицательных температур, обеспечивающих замерзание поровой жидкости; возможное воздействие химических реагентов, например, антиобледенителей; наличие градиентов скоростей и давления у воздействующей агрессивной среды).

Посредством технологических и конструкционных мер, можно значительно уменьшить скорость таких изменений.

- ▶ Бетонные и железобетонные конструкции всех типов должны удовлетворять требованиям:
- ▶ - по безопасности;
- ▶ - по эксплуатационной пригодности;
- ▶ - по долговечности.

Для удовлетворения требованиям по безопасности конструкции должны иметь такие начальные характеристики, чтобы с надлежащей степенью надежности при различных расчетных воздействиях в процессе строительства и эксплуатации зданий и сооружений были исключены разрушения любого характера или нарушения эксплуатационной пригодности, связанные с причинением вреда жизни граждан и окружающей среде.

Для удовлетворения требованиям по эксплуатационной пригодности конструкция должна иметь такие начальные характеристики, чтобы с надлежащей степенью надежности при различных расчетных воздействиях не происходило образование или чрезмерное раскрытие трещин, а также не возникали другие повреждения, затрудняющие нормальную эксплуатацию (нарушение требований к внешнему виду конструкции, конструктивных требований по совместной работе элементов и других требований, установленных при проектировании).

В необходимых случаях конструкции должны иметь характеристики, обеспечивающие требования по теплоизоляции, звукоизоляции, биологической защите.

## Условия определяющие долговечность

Безопасность, эксплуатационную пригодность, долговечность бетонных и железобетонных конструкций и другие устанавливаемые заданием на проектирование требования должны быть обеспечены выполнением:

- ▶- требований к бетону и его составляющим;
- ▶- требований к арматуре;
- ▶- требований к расчетам конструкций;
- ▶- конструктивных требований;
- ▶- технологических требований;
- ▶- требований по эксплуатации.

Требования устанавливаются соответствующими нормативными документами (СНиП 2.01.07, СНиП 2.06.04, СНиП II-7, СНиП 2.03.11, СНиП 21-01, СНиП 2.02.01, СНиП 2.05.03, СНиП 33-01, СНиП 2.06.06, СНиП 23-01, СНиП 32-04).

## ТРЕБОВАНИЯ К БЕТОНУ И АРМАТУРЕ

- ▶ Для бетонных и железобетонных конструкций следует применять виды бетона, отвечающие функциональному назначению конструкций и требованиям, предъявляемым к ним, согласно действующим стандартам (ГОСТ 25192, ГОСТ 26633, ГОСТ 25820, ГОСТ 25485, ГОСТ 20910, ГОСТ 25214, ГОСТ 25246, ГОСТ Р 51263).
- ▶ Основными нормируемыми и контролируемым показателями качества бетона являются:
  - ▶ - класс по прочности на сжатие  $B$ ;
  - ▶ - класс по прочности на осевое растяжение  $B_t$ ;
  - ▶ - марка по морозостойкости  $F$ ;
  - ▶ - марка по водонепроницаемости  $W$ ;
  - ▶ - марка по средней плотности  $D$ .
- ▶ Для напрягающих бетонов устанавливают марку по самоупрочению.  
При необходимости устанавливают дополнительные показатели качества бетона, связанные с теплопроводностью, температуростойкостью, огнестойкостью, коррозионной стойкостью (как самого бетона, так и находящейся в нем арматуры), биологической защитой и с другими требованиями, предъявляемыми к конструкции (СНиП 23-02, СНиП 2.03.11).

Необходимые показатели качества арматуры принимают при проектировании железобетонных конструкций в соответствии с условиями эксплуатации конструкций с учетом различных воздействий окружающей среды.

Кроме требований по прочности на растяжение к арматуре предъявляют требования по дополнительным показателям: стойкость против коррозионного растрескивания, релаксационная стойкость, хладостойкость, стойкость при высоких температурах, относительное удлинение при разрыве и др.

К неметаллической арматуре (в том числе фибре) предъявляют также требования по щелочестойкости и адгезии к бетону.

**Характеристики фибробетона в фибробетонных конструкциях рекомендовано устанавливать в зависимости от характеристик бетона, относительного содержания, формы, размеров и расположения фибр в бетоне, ее сцепления с бетоном и физико-механических свойств, а также в зависимости от размеров элемента или конструкции.**

## Защитный слой бетона

Защитный слой бетона должен обеспечивать:

- совместную работу арматуры с бетоном;
- анкеровку арматуры в бетоне и возможность устройства стыков арматурных элементов;
- сохранность арматуры от воздействий окружающей среды (в том числе при наличии агрессивных воздействий);
- огнестойкость и огнесохранность конструкций.

Толщину защитного слоя бетона следует принимать с учетом роли арматуры в конструкциях (рабочая или конструктивная), типа конструкций (колонны, плиты, балки, элементы фундаментов, стены и т.п.), диаметра и вида арматуры.

Толщину защитного слоя бетона для арматуры принимают не менее диаметра арматуры и не менее 10 мм.

## **Защита конструкций от неблагоприятного влияния воздействий среды**

В тех случаях когда требуемая долговечность конструкций, работающих в условиях неблагоприятного воздействия среды (агрессивные воздействия), не может быть обеспечена коррозионной стойкостью самой конструкции, должна быть предусмотрена дополнительная защита поверхностей конструкции, выполняемая по указаниям СНиП 2.03.11 (обработка поверхностного слоя бетона стойкими к агрессивным воздействиям материалами, нанесение на поверхности конструкции стойких к агрессивным воздействиям покрытий и т.п.).

## **ЕВРОПЕЙСКИЙ СТАНДАРТ EN 206-1 Декабрь, 2000**

Стандарт одобрен CEN 12.05.2000г. Члены CEN обязаны создать условия для применения в своих странах стандартов CEN без каких либо изменений, как национальных стандартов. CEN издает стандарты на трех официальных языках: английском, немецком и французском.

Членами CEN являются : Австрия Бельгия Чехия, Дания, Финляндия, Франция, Германия, Греция, Исландия, Ирландия, Италия, Люксембург, Нидерланды, Норвегия, Испания, Швеция, Швейцария, Великобритания.

Стандарт применяется в европейских странах с различными климатическими и географическими условиями. Эти обстоятельства учитывают при выборе характеристик бетона в зависимости от сред эксплуатации, там, где это невозможно, главы стандарта содержат разрешение на применение национальных территориальных норм.

В процессе разработки стандарта были рассмотрены возможные включения в него положений, касающихся обеспечения долговечности бетона на базе данных поведения железобетонных конструкций в процессе эксплуатации. Однако, комитетом CEN/NC 104 было признано, что этот подход пока еще достаточно не разработан, чтобы быть приведенным в стандарте в виде конкретных рекомендаций. Было, в то же время, признано, что в ряде стран имеются значимые достижения с учетом местных условий эксплуатации. Поэтому предполагается продолжение исследований и накопление данных в этом направлении, имея в виду, в перспективе, обобщение результатов и формулирование рекомендаций на уровне стандарта.

## Применение бетонов марок выше М800 (класс В60)



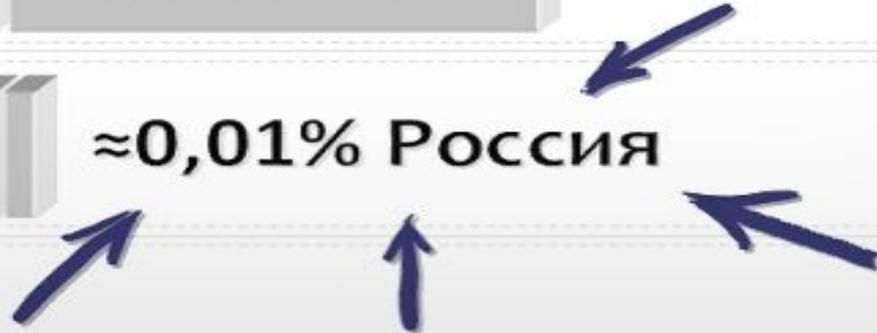
11% Норвегия



8% США



≈0,01% Россия



Евростандарт EN 206- 1 подготовлен техническим комитетом CEN ТК 104, секретариат которого ведет DIN.

В редакции стандарта уточнены и пересмотрены следующие разделы:

- более подробно классифицированы требования к бетонам в зависимости от сред эксплуатации;
- увеличено число классов бетона;
- записаны требования по обеспечению долговечности;
- записаны позиции по необходимости охраны окружающей среды;
- уточнены понятия «водо-цементное отношение» и «содержание цемента» при наличии минеральных добавок;
- уточнены понятия технической ответственности между лицом, формирующим требования к бетону ( это может быть проектировщик или заказчик), изготовителем бетон ной смеси и производителем работ;
- пересмотрены требования по уходу за уложенным бетоном;
- обговорены процедуры испытаний на соответствие требованиям стандартов;
- уточнены критерии соответствия.

стандарт содержит указания для организаций формулирующих требования на различных стадиях проектирования и реализации проекта. Каждый ответственен за грамотное формулирование требований для изготовителя бетона.

***Воздействие окружающей среды:*** не силовое воздействие на бетон в конструкции или сооружении, вызванное атмосферными или иными проявлениями, приводящие к изменению структуры бетона или состояния арматуры.

**Символы и обозначения:**

**OX** - условный класс среды эксплуатации при отсутствии риска коррозионных воздействий на бетон и арматуру;

**XC** - то же, при наличии опасности карбонизации;

**XD** - то же, при действии хлоридов, содержащихся в атмосфере и сточных водах;

**XS** - то же, при действии хлоридов, содержащихся в морской воде;

**XF** - то же, при действии замораживания – оттаивания;

**XA** - то же, при действии химических агентов;

# Долговечность бетона

## ▣ Внутренние факторы:

Цемент - минеральный состав, содержание CaO св, MgO,  $SO_3$ , N=N<sub>2</sub>O

Реакционно-способный заполнитель

## ▣ Внешние факторы:

Влажность

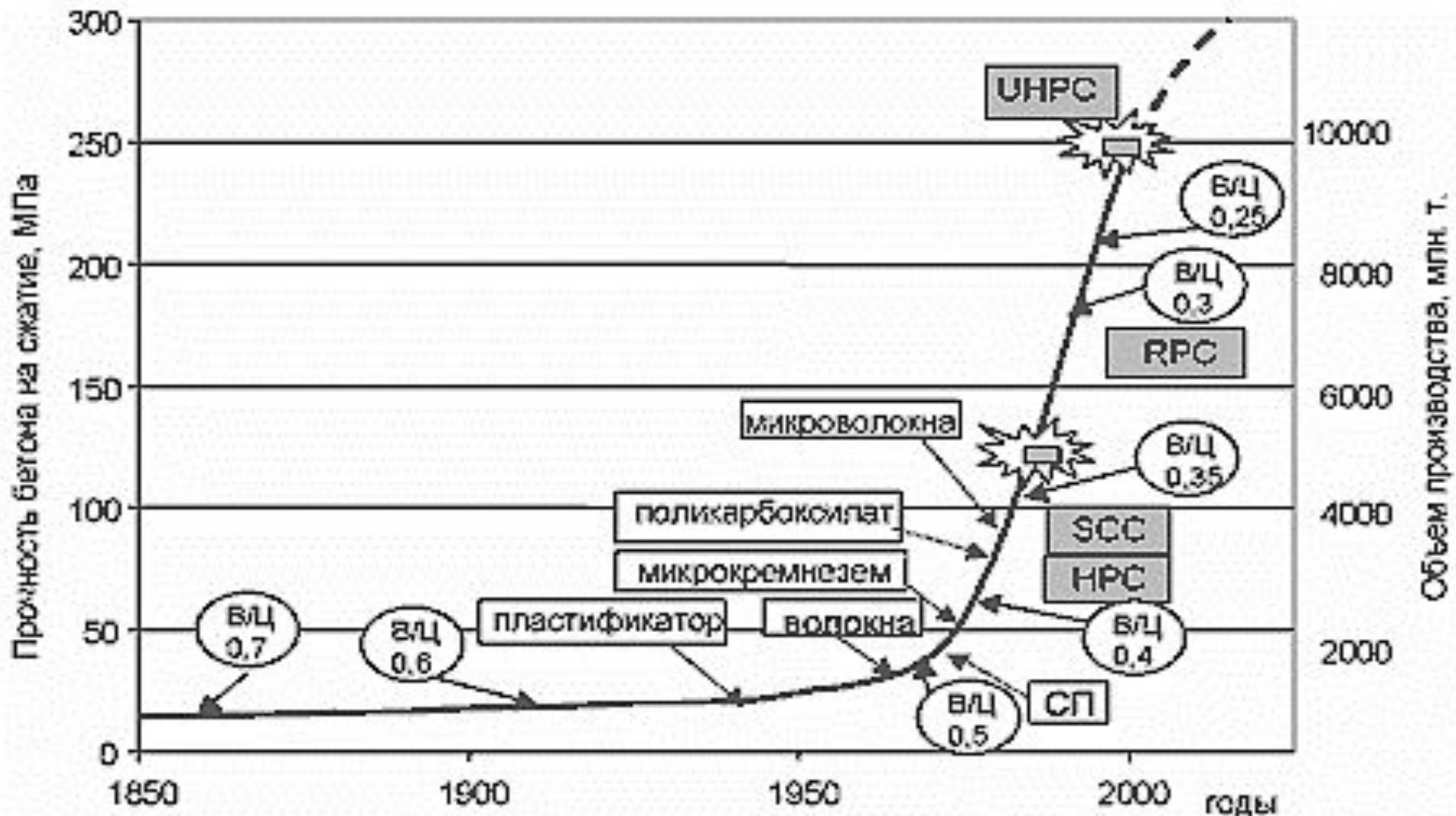
Температура

Загрязненность воздуха и воды

Химическое воздействие

Механическое воздействие

Биологическое воздействие



Долговечность невозможно охарактеризовать с помощью одного общего критерия или показателя. Для каждого случая эксплуатации необходимо определять и соблюдать ряд параметров учет показателя прочности при сжатии не является достаточным для обеспечения долговечности

- ▶ Морозостойкость, а также сопротивлению замораживанию при воздействии размораживающих средств;
- ▶ Сопротивление проникновению в бетон агрессивных растворов и газообразных сред;
- ▶ Сопротивление атмосферным воздействиям;
- ▶ Устойчивость к биологическим воздействиям;
- ▶ Устойчивость к карбонизации, т.е. проникновению  $\text{CO}_2$  в наружные строительные элементы или конструкции дорожно-транспортного, гидротехнического строительства или хлоридсодержащих размораживающих сред;
- ▶ Устойчивость к разрушающим реакциям в самом бетоне, вызывающим расширение, например в результате реакции «щелочь + кремниевая кислота», образования этtringита, гидратации  $\text{CaO}$ ;
- ▶ Трещиностойкость при термических, влажностных, механических и динамических нагрузках;
- ▶ Устойчивость к разрушению структуры при воздействии огня.

На свойства цементного камня, а соответственно, и бетона будет влиять количество пор и характер порового пространства. Наиболее неблагоприятны капиллярные поры, замкнутые поры в меньшей степени снижают прочность.

### **Пористость цементного камня**

**Строение цементного камня. Цементный камень является капиллярно-пористым телом, состоящим из различных твердых фаз, представленным преимущественно субмикрочастицами, способными удерживать некоторое количество воды.**

**Капиллярная пористость с течением времени уменьшается, т.к. продукты гидратации заполняют часть пространства пор, занятого водой затворения, однако не все поры могут быть заполнены продуктами гидратации. При В/Ц более 0.65 даже при полной гидратации цемента образующихся продуктов гидратации недостаточно, чтобы блокировать все капилляры, поэтому цементный камень будет иметь низкую морозостойкость и высокую водопроницаемость.**

Чем больше капиллярная пористость, тем больше диффузия агрессивной среды в цементный камень, тем более вероятно протекание коррозионных процессов.

### Формулы пористости

Вид пористости цементного камня	Формулы		
	Г.И. Горчакова [27]	А.Е. Шейкина [100]	О.В. Кунцевича [46]
Капиллярная	$\Pi_k = \frac{V/\rho - 0,5\alpha}{V/\rho + 0,32}$	$\Pi_k = \frac{V/\rho - 0,42\alpha}{V/\rho + 0,32}$	$\Pi_k = \frac{V/\rho - 0,38\alpha}{V/\rho + 0,32}$
Гелевая	$\Pi_r = \frac{0,29\alpha}{V/\rho + 0,32}$	$\Pi_r = \frac{0,19\alpha}{V/\rho + 0,32}$	—
Общая	$\Pi_o = \frac{V/\rho - 0,21\alpha}{V/\rho + 0,32}$	$\Pi_o = \frac{V/\rho - 0,23\alpha}{V/\rho + 0,32}$	—

Макро- и микрокапиллярная пористость:

$$P = W_c / (P_k + P_{м.з.})$$

где,  $W_c$  - сорбционная влажность,  $P_k$  - открытая капиллярная пористость,  $P_{м.з.}$  - относительный объем межзерновых пустот (открытых некапиллярных пор)

Интегральная пористость:

$$P_o = \frac{\rho(B/C - 0,42\alpha)}{1 + \rho \cdot B/C}$$

$$P_k = \rho(B/C - 0,23\alpha) / 1 + \rho \cdot B/C$$

$$P_r = 0,2 \cdot \alpha \cdot C$$

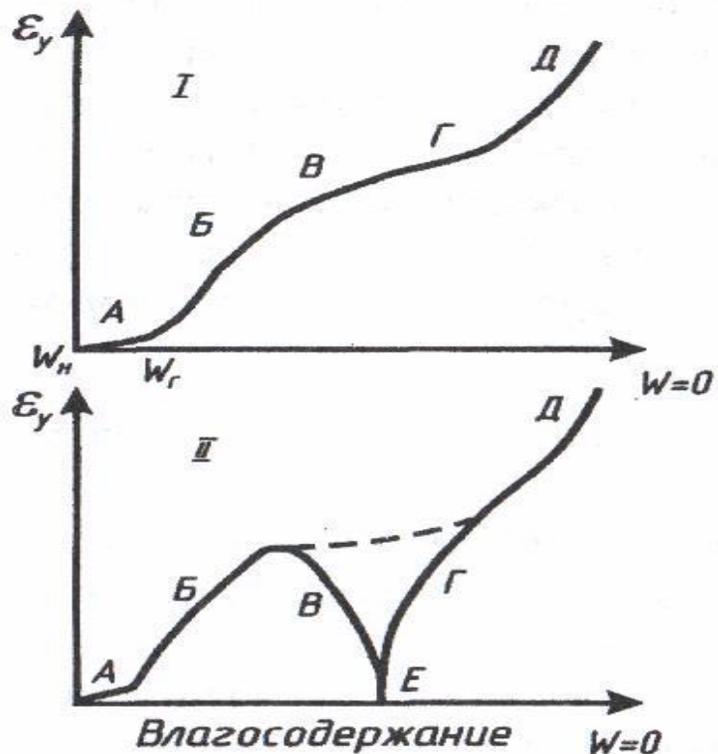
где,  $P_o$  - общая пористость цементного камня;  $P_k$  - капиллярная пористость;  $P_r$  - объем пор геля;  $\rho$  - плотность цемента;  $\alpha$  - степень гидратации.

Обязательным условием является ограничение водоцементного отношения по наибольшему значению, при котором в структуре цементного камня при максимально возможной степени гидратации цемента поровое пространство будет представлено только микрокапиллярами и переходными капиллярами с радиусами менее  $10^{-7}$  м.

После удаления влаги из пор и макрокапилляров начинается испарение влаги из капилляров с радиусами менее  $10^{-7}$  м. Испарение будет сопровождаться усадкой цементного камня (рис.4.3 б участок ВС).

Это вызывается действием капиллярного давления, возникающего в капиллярах цементного камня, в которых смачивающая их вода образует мениски. Капиллярное давление изменяется с уменьшением влагосодержания цементного камня монотонно, вначале возрастает, затем, достигнув максимального значения, начинает убывать.

Капиллярная усадка уменьшается при введении в состав цемента или в воду затворения добавок- пластификаторов , понижающих поверхностное натяжение на поверхности стягивающих водных менисков.



Типовые кривые усадки цементного камня: I - экспериментальная, II - теоретическая кривая

На участке А влага удаляется из макрокапилляров, кривая усадки имеет незначительную кривизну;

На участке Б – усадка возрастает (начинается с влажности ЦК  $\approx 22-26\%$  и заканчивается при влажности  $\approx 10-12\%$ ), влагу теряют капиллярные поры размером 3500 – 5300 нм;

Участок Г – удаление кристаллической и межплоскостной воды. Участок Д – усадка достигает максимальных значений, влага остается в порах, размер которых соизмерим с молекулой воды.

## **ТРЕБОВАНИЯ К ИЗГОТОВЛЕНИЮ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

### **Бетон**

Подбор состава бетонной смеси производят с целью получения в конструкциях бетона, отвечающего техническим показателям, и принятым в проекте.

За основу при подборе состава бетона следует принимать определяющий для данного вида бетона и назначения конструкции показатель бетона. При этом должны быть обеспечены и другие установленные проектом показатели качества бетона.

Проектирование и подбор состава бетонной смеси по требуемой прочности бетона следует производить, руководствуясь соответствующими нормативными документами (ГОСТ 27006, ГОСТ 26633 и др.).

При подборе состава бетонной смеси должны быть обеспечены требуемые показатели качества (удобоукладываемость, сохраняемость, нерасслаиваемость, воздухо содержание и другие показатели).

Свойства подобранной бетонной смеси должны соответствовать технологии производства бетонных работ, включающей сроки и условия твердения бетона, способы, режимы приготовления и транспортирования бетонной смеси и другие особенности технологического процесса (ГОСТ 7473, ГОСТ 10181).

Подбор состава бетонной смеси следует производить на основе характеристик материалов, используемых для ее приготовления, включающих вяжущие, заполнители, воду и эффективные добавки (модификаторы) (ГОСТ 30515, ГОСТ 23732, ГОСТ 8267, ГОСТ 8736, ГОСТ 24211).

При подборе состава бетонной смеси следует применять материалы с учетом их экологической чистоты (ограничение по содержанию радионуклидов, радона, токсичности и т.п.).

Расчет основных параметров состава бетонной смеси производят с помощью зависимостей, установленных экспериментально.

Подбор состава фибробетона следует производить согласно приведенным выше требованиям с учетом вида и свойств армирующих фибр.

ГОСТ 10060.0-95 Бетоны. Методы определения морозостойкости. Общие положения

ГОСТ 10180-90 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам

ГОСТ 12730.0-78 Бетоны. Общие требования к методам определения плотности, пористости и водонепроницаемости

ГОСТ 12730.1-78 Бетоны. Методы определения плотности

ГОСТ 12730.5-84 Бетоны. Методы определения водонепроницаемости

ГОСТ 17624-87 Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности

ГОСТ 17625-83 Конструкции и изделия железобетонные. Радиационный метод определения толщины защитного слоя бетона, размеров и расположения арматуры

ГОСТ 18105-86 Бетоны. Правила контроля прочности

ГОСТ 20910-90 Бетоны жаростойкие. Технические условия

ГОСТ 22690-88 Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля

ГОСТ 22904-93 Конструкции железобетонные. Магнитный метод определения толщины защитного слоя бетона и расположения арматуры

ГОСТ 23732-79 Вода для бетонов и растворов. Технические условия

ГОСТ 23858-79 Соединения сварные стыковые и тавровые арматуры железобетонных конструкций. Ультразвуковые методы контроля качества. Правила приемки

ГОСТ 24211-91 Добавки для бетонов. Общие технические требования

ГОСТ 25192-82 Бетоны. Классификация и общие технические требования

ГОСТ 25214-82 Бетон силикатный плотный. Технические условия

ГОСТ 25246-82 Бетоны химически стойкие. Технические условия