

# Современный бетон и его технологии

**Бетон традиционный и нового поколения. Это выражение четко разграничивает ситуацию в науке о бетоне и практике его технологий, сложившуюся к III тысячелетию**

**Реалиями строительной сферы стали здания высотой под 1 км, морские нефтяные платформы, многокилометровые мосты и тоннели из бетона с прочностью, приближающейся к прочности металла и практически неограниченной долговечностью.**



**«Мир ждал и был готов к революционному прорыву в технологиях строительства, соразмерному по значимости и масштабу великим открытиям в физике, химии, астрологии и т. д. И этим открытием стал бетон»**

**М.Я, Бикбау, акад. РАЕН, д.х.н. ООО"Московский ИМЭТ"**

Бетон, история которого насчитывает почти 6000 лет, окончательно закрепился в качестве основного строительного материала человечества.

Весьма показательна в этом плане, приводимая в различных источниках и вариантах, ретроспективная схема развития бетона □

Отчетливо просматривается тенденция увеличения прочности, снижения значений водоцементного отношения, за счет применения высокоэффективных химических и минеральных добавок, фибры.

Выдающиеся достижения в составе, очередь, революционизируют строительные технологии возведения зданий и сооружений любой степени сложности и архитектурно-художественной выразительности из монолитных и сборных железобетонных конструкций.

Ошибочно, вместе с тем, думать об однозначном решении проблем технологии бетона на многие годы вперед. Несмотря на рост наукоёмкости бетоноведения, предстоит рассмотреть и решить серьезные задачи, в т. ч. адаптации специфических, местных компонентов к новым технологическим возможностям. Образно выражение корифея науки о бетоне сэра В. Невилля: **«Хороший и плохой бетон могут быть получены из одних и тех же компонентов».**

В общем, процесс освоения бетонов нового поколения (БНП) удачно стартовал, хотя и традиционные материалы пока никто не отвергал.



**Бетоны нового поколения (БНП)** — это высокотехнологичные бетонные смеси и бетоны с добавками, приобретающие и сохраняющие требуемые свойства при твердении и службе в любых эксплуатационных условиях:

**high performance concrete (HPC)** — высокофункциональный бетон (ВФБ);

**self-compacting concrete (SCC)** — самоуплотняющийся бетон (СУБ);

**reactive powder concrete (RPC)** — реакционно-порошковый бетон (РПБ);

**macrodefect free concrete (MDFC)** — бездефектный бетон (БДБ) и др.

**Многокомпонентность — суть БНП:**

- многокомпонентны цементы, содержание в которых разнообразных минеральных дисперсных компонентов (**МДК**), не считая клинкера, может достигать 60 – 80 %.
  - 2-3х-фракционные мелкий и крупный заполнители,
  - комплексны химические и минеральные добавки, называемые даже мультикомпонентными;
  - комбинации полимерной и стальной фибры.
- Многокомпонентности бетонов.**

На диаграмме (справа) заметна тенденция к снижению доли и, следовательно, роли крупного заполнителя при одновременном увеличении содержания и значимости МДК в обеспечении высоких свойств бетона.

#### **Объемы компонентов в БНП**

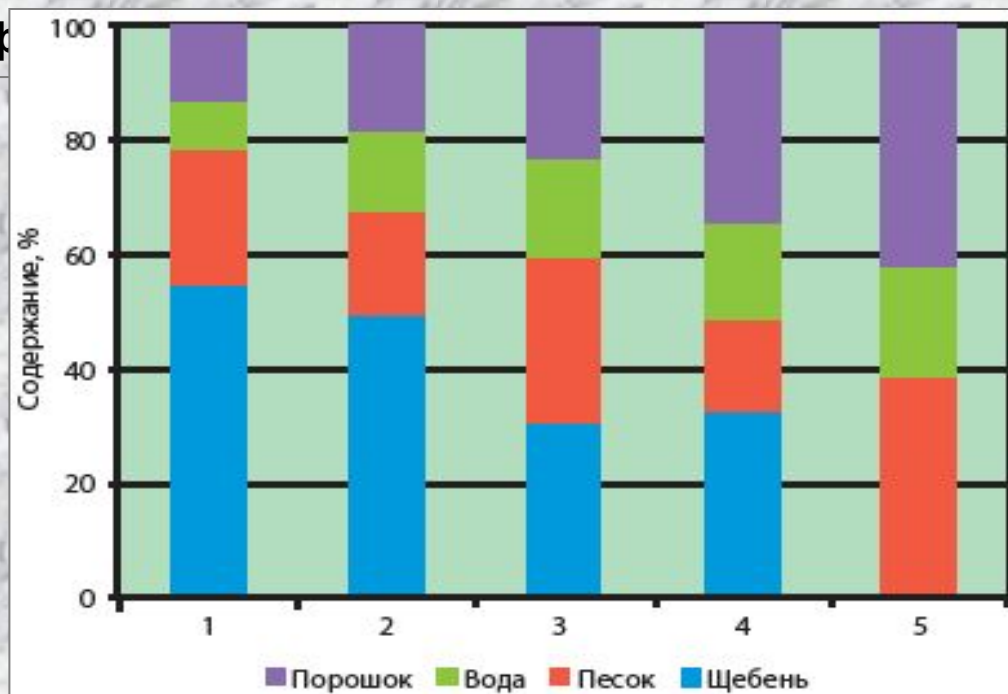
1 — традиционный;

2 — высокофункциональный HPC;

3 — самоуплотняющийся SCC;

4 — ультравысокофункциональный UHPC;

5 — реакционно-порошковый RPC





## Добавки в бетон

Особую роль в БНП играют **суперпластификаторы (СП) IV поколения**.

Это — поверхностно-активные вещества на основе поликарбоксилатов и акрилатов обеспечивают устойчивые технологические свойства бетонных смесей — растекаемость, связность, однородность, нерасслаиваемость, длительное сохранение удобоукладываемости, перекачиваемости и пр.



Образно сравнение консистенции бетонной смеси с **Именно такие СП позволяют транспортировать бетонные смеси до 2 км по консистенцией меда или хорошей сметаны** ☐☐☐ горизонтали и 400 м по вертикали. Фантастическая реальность!

**Минеральные добавки (МД)** —измельченная обожженная глина (цемянка) и пуццолан, микрокремнезем, метакаолин, граншлак, зола-унос, кварцевый песок, известняк — активный и полезный компонент бетона. Именно компонент, минеральный дисперсный компонент (МДК), а не добавка. Часто МДК относят к категории «наполнителей».

К числу достигаемых довольно ощутимых технологических эффектов от применения МД относят:

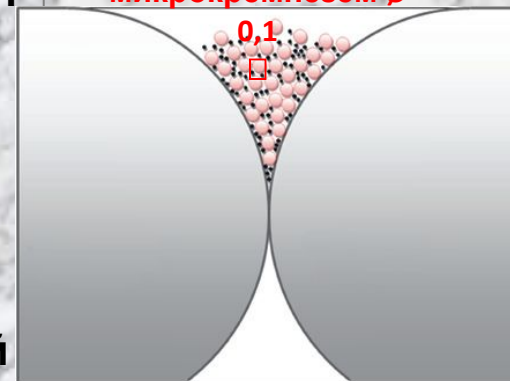
- ☐ снижение доли клинкерного цемента;
- ☐ управляемое регулирование реологии смесей;
- ☐ рост прочности, плотности, стойкости и долговечности;
- ☐ регулирование экзотермии, линейных и объемных изменений

~~в процессе твердения и др. эффекты~~

**Реология — раздел физики, изучающий деформации и текучесть вещества**

Иллюстрация к  
консистенции  
бетонной смеси БНП

нанокремнезем  $\phi$   
0,015  
микрокремнезем  $\phi$

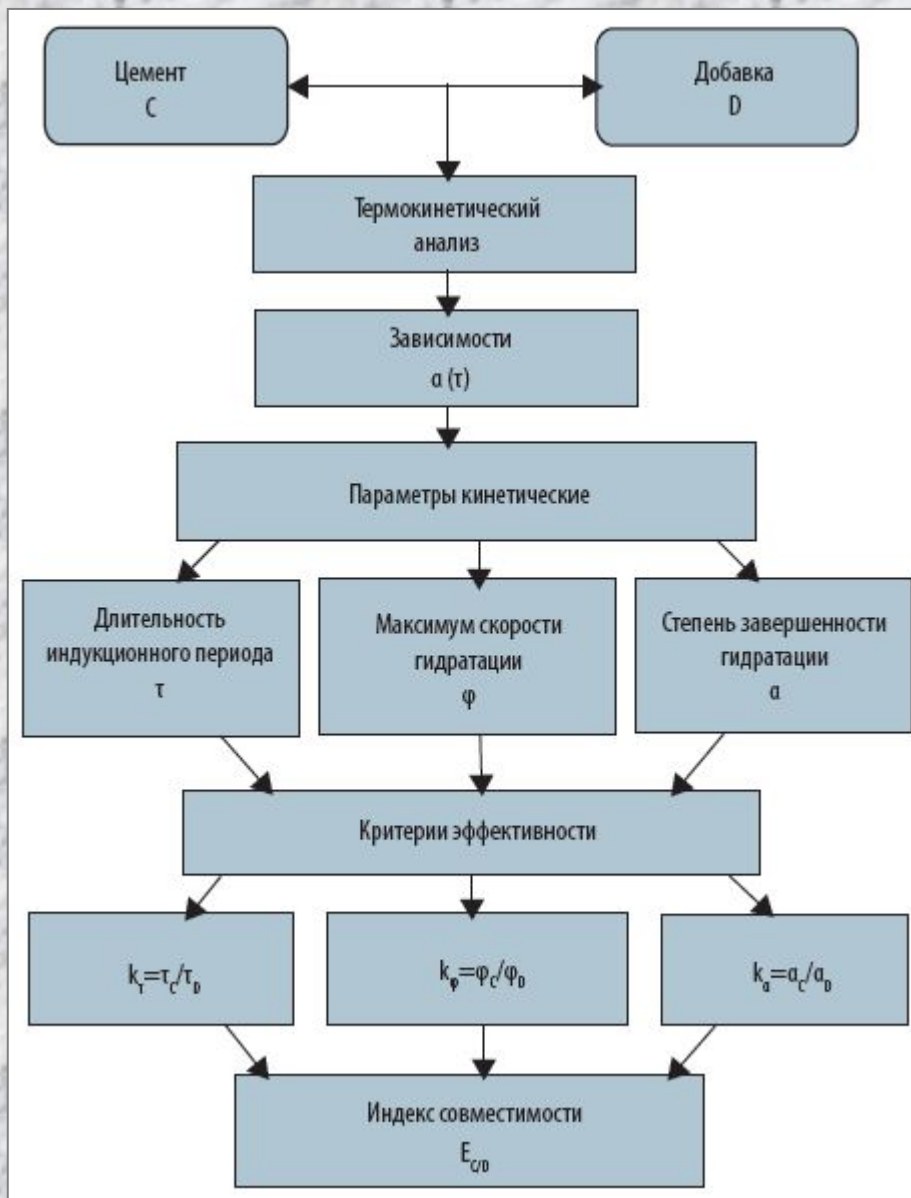


Заполнение межцементного  
пространства частицами  
нано- и микрокремнезема

## Добавки в бетон

**Совместимость «цемент — добавка» систематически изучается и обсуждается в связи с необходимостью длительного сохранения удобоукладываемости бетонной смеси. Причин падения удобоукладываемости достаточно. Здесь — содержание алюминатов, гипса, тонкость помола цементов, составы, строение полимерных цепей СП нового поколения, температурные условия и др.**

### Последовательность оценки совместимости «цемент — добавка»





# Добавки в бетон

**Комплексные добавки** — химические и минеральные — объединяются в комплексы для достижения максимальной эффективности в БНП. К примеру, совместное введение СП и МДК нивелирует высокую водопотребность порошкообразного компонента, снижает значение В / Ц без ущерба для реологических свойств смесей и темпа нарастания ранней прочности. Сочетание СП с ускорителями или замедлителями гидратации — реальный путь регулирования свойств товарного бетона в зимних или летних климатических условиях. Наглядная схема формирования составов

## Комплексных добавок

### Основные комплексные

#### добавки

Тип добавок	Условное обозначение комплексных добавок	Количество добавок в составе комплексных в расчете на сухое вещество, % массы цемента
Пластифицирующие	С-3+ЛСТ	(0,3-0,5)+(0,15-0,25)
Пластифицирующие и пластифицирующие-воздухововлекающие	С-3+(ЩСПК, ЩСПК <sub>м</sub> , СПД-м, ЧСП) ЛСТ+(ЩСПК, ЩСПК <sub>м</sub> , СПД-м, ЧСП)	(0,35-0,45)+(0,15-0,25) (0,1-0,3)+(0,05-0,1)
Пластифицирующие и воздухововлекающие	С-3+(СНВ, КТП) ЛСТ+(СНВ, КТП, С, ОП)	(0,5-0,7)+(0,002-0,01) (0,1-0,25)+(0,002-0,01)
Пластифицирующие и ускорители твердения	ЛСТ+(СН, НН1, ХК, НК, ННХК) УПБ+СН	(0,005-0,02)+(0,005-0,02) (0,1-0,3)+(0,3-1,5) (0,1-0,3)+(0,5-1,5)
Пластифицирующие, пластифицирующие-воздухововлекающие и воздухововлекающие	С-3+ЧСП+(СНВ, КТП)	(0,35-0,45)+(0,15-0,25)+(0,0002-0,01)
Пластифицирующие, пластифицирующие-воздухововлекающие и ускорители твердения	С-3+ЧСП+СН ЛСТ+(НЧК, КЧНР)+СН	(0,35-0,45)+(0,15-0,25)+(0,3-1,5) (0,1-0,2)+(0,1-0,2)+(0,5-1,5)
Пластифицирующие, воздухововлекающие и ускорители твердения	ЛСТ+СНВ+(СН, НК)	(0,1-0,2)+(0,005+0,03)+(0,5-1,5)
Пластифицирующие, воздухововлекающие и ингибиторы коррозии стали	ЛСТ+СНВ+ННК	(0,1-0,15)+(0,01-0,03)+(0,5-1,5)
Пластифицирующие, газообразующие и ускорители твердения	ЛСТ+(ГКЖ-94, ПГЭН)+СН	(0,1-0,15)+(0,05-0,1)+(0,5-1,5)
Пластифицирующие-воздухововлекающие и ускорители твердения	ЧСП+ХК (ЩСПК, ЩСПК-м, СПД-м)+(НК, СН, ТНФ) (ГКЖ-10, ГКЖ-11, АМСР)+НК (НЧК, КЧНР)+СН	(0,1-0,25)+(0,05-0,2) (0,1-0,3)+(0,5-1,5) (0,1-0,2)+(0,5-1,5) (0,1-0,15)+(0,5-1,5)
Воздухововлекающие и ускорители твердения	СНВ+(СН, НК, ННХК)	(0,005-0,02)+(0,5-1,5)
Воздухововлекающие и ингибиторы коррозии стали	СНВ+(НН, ННК)	(0,005-0,02)+(0,5-1,5)
Уплотняющие и замедлители схватывания	(НК, СА, ХЖ, НЖ, СЖ)+ЛСТ	(0,5-2)+(0,15-0,25)
Ускорители твердения и ингибиторы коррозии стали	ХК+(НН, ННК)	(0,5-3)+(0,5-3)

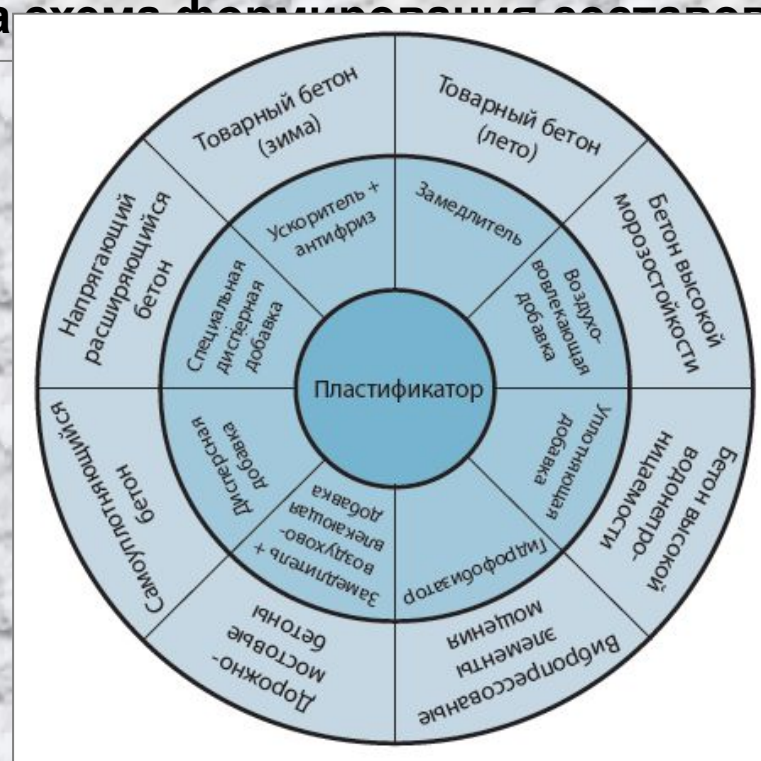
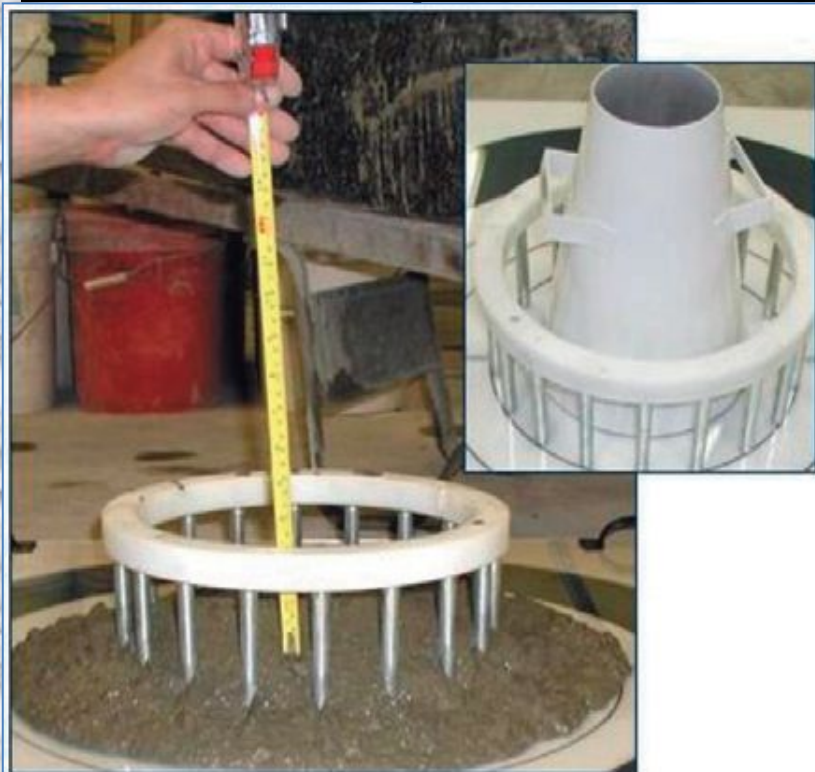


Диаграмма формирования составов комплексных добавок



Наглядный пример воистину революционных разработок — самоуплотняющийся бетон предложен в конце XX века японскими технологами. Сам термин прост до гениальности. Он означает способность бетонных смесей с низким В / Ц к самоуплотнению при укладке без приложения механических (вибрационных) воздействий за счет гравитационных сил с одновременным вытеснением вовлеченного воздуха. Применение СУБ органично решает задачи достижения высоких показателей технологичности, прочности, плотности и качества бетона, снижения энерго-и трудозатрат. Бетонная смесь не просто «самоуплотняется», но за счет уникальных реологических свойств преодолевает препятствия при укладке в виде арматурных элементов. Кстати, эти особенности обусловили появление новых методов испытаний взамен стандартного конуса Абрамса — основного прибора 150-летней давности. На смену пришли разного рода воронки, блокировочные кольца, V- и L-образные приборы для оценки свойств самоуплотняющейся бетонной смеси, в т. ч. и преодоления препятствий.



## НОВЫЕ ВИДЫ БЕТОНОВ

### высокопрочный

### САМОУПЛОТНЯЮЩИЙСЯ БЕТОН



# ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СУХИХ ТОНКОЗЕРНИСТО-ПОРОШКОВЫХ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ БЕТОНОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ (разработки кафедры ТБКиВ)



Порошково-активированный песчаный бетон повышенной и высокой прочности марок М 600 - 1200



Дисперсно-армированный реакционно-порошковый бетон (фрагмент разрушения)



Высокопрочный порошково-активированный щебеночный бетон марок М 1300 - 2000



Порошково-активированный песчаный бетон общестроительного назначения марок М 200 - 500



Теплоизоляционный бетон (на стеклосферах) с использованием реакционно-порошковой связки



Цветные декоративные бетоны



Скульптурные формы из бетона



Высокопрочные клеи из сухой смеси нового поколения





# Архитектурно-декоративные сверхвысокопрочные цветные

Архитектурно-декоративные сверхвысокопрочные цветные бетоны



Малая напольная ваза, (размеры 45×45 см) и скульптура из цветного бетона марки М 1800 (г. Красноярск, ООО «Новые технологии строительства», кафедра ТБКиВ)



Элементы забора под серый чугун из особо высокопрочного фибробетона разработанный кафедрой ТБКиВ совместно с ООО «Саман» г. Тольятти



Памятник из особо высокопрочного бетона марки М 1700-М 2000 в честь 65-летия Победы (Май, 2010 год, г. Красноярск).

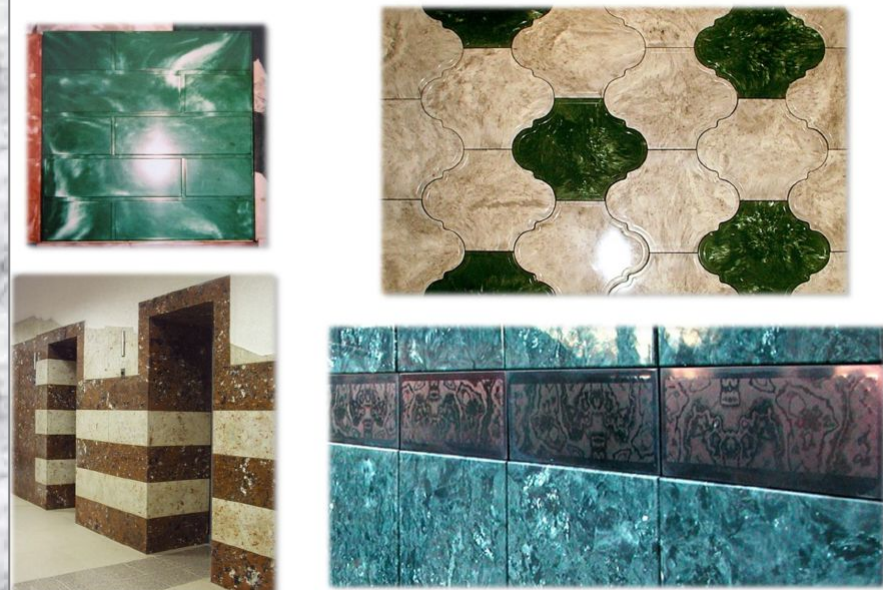




Герб России и иконы из цветного сверхвысокопрочного бетона с отделкой под металл



Внутренняя и наружная отделка



Ступени, лестницы, балюстрады



Абразивные покрытия на основе реакционно-порошкового бетона

