

# Современные строительные материалы



# Введение

Используя устаревшие материалы и методы возведения зданий и сооружений, а также неквалифицированный персонал, невозможно обеспечить технический прогресс в строительстве.

И здесь большая роль принадлежит стандартизации, определяющей эффективные научно обоснованные и объективные методы испытаний материалов и изделий.

В последние годы стремительно обновляется база НД по строительству.

Основной задачей является актуализация нормативных документов в строительстве, нацеленная на опережение современных строительных технологий, гармонизация национальных стандартов с евростандартами, разработкой которых занимается Европейский комитет по стандартизации (СЕН)

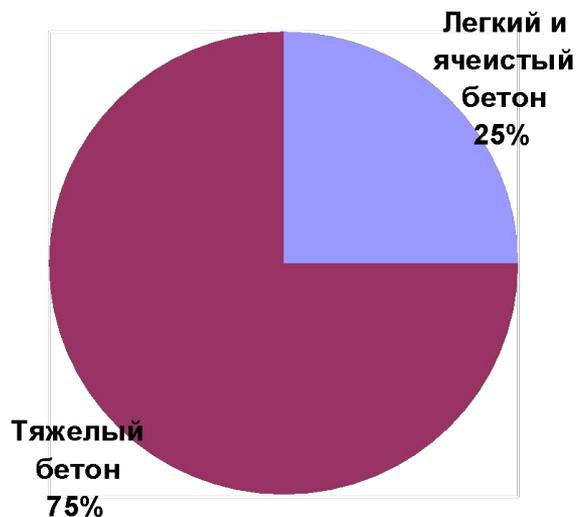
# Бетон -

- универсальный материал для строительства. С ним связывают большую трудоемкость работ, массивность конструкций, большую нагрузку на окружающую среду в связи с развитием карьерного хозяйства и другие проблемы.
- Мировое производство и потребление бетона составляет около 21 млрд т (более 10 млрд м<sup>3</sup>) в год. Ожидается, что оно удвоится к 2050 году в связи с ростом населения планеты.

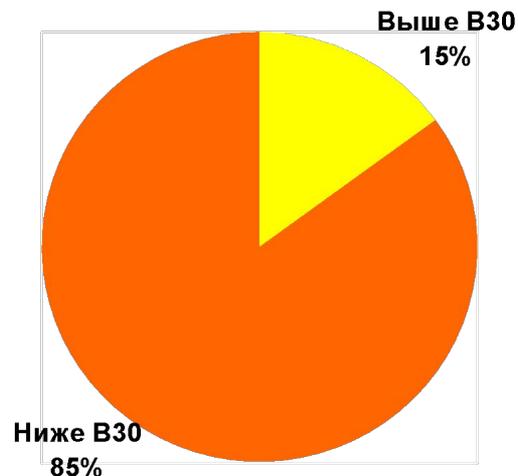
- Мировое производство:  
Цемент - 2 млрд. т  
Бетона - 10 млрд. т  
4,5 млрд. м<sup>3</sup> - 4500 больших футбольных стадионов  
Большой Каньон - 40 млрд. м<sup>3</sup>
- Россия  
Цемент - 47 предприятий мощностью 69,2 млн. т производят 46 млн. т  
бетон- около 70 млн м<sup>3</sup>



# Структура производства бетона и железобетона в России

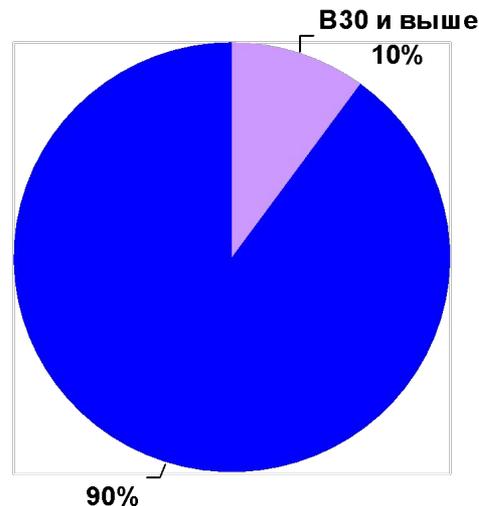


Общее производство бетона



Сборный железобетон

Товарный бетон



Мелкоштучные изделия - 12-15 млн м<sup>3</sup>

Растворы - 20 млн м<sup>3</sup>

Сухие смеси - 740 тыс. т

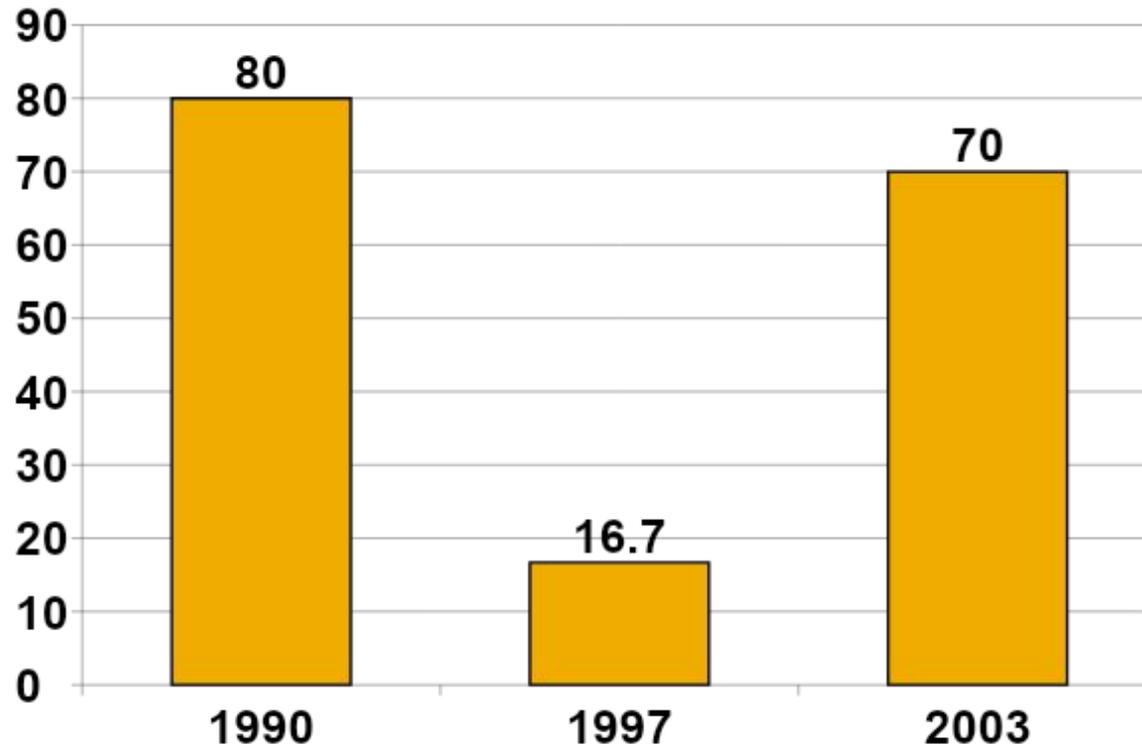
# Изменение объема производства железобетона в 1990-2010 г

1985 г., СССР:

276 млн м<sup>3</sup> сборного железобетона

110 млн м<sup>3</sup> монолитного железобетона

30 млн м<sup>3</sup> строительных растворов



# Преимущества - недостатки бетона

## Преимущества:

- предоставляет большие возможности
- неограниченная геометрия
- долговечный
- дружелюбный к окружающей среде

## Недостатки:

- стоимость
- интенсивность труда
- плотность (тяжелый)
- низкая пластичность и слабая растяжимость
- недостаточная долговечность (трещинообразование)
- нагрузка на окружающую среду

# Изменения. Что к ним побуждает

- ***К изменениям побуждает***
- Снижение начальной стоимости строительства
- Снижение общей стоимости для собственника
- Требования защиты окружающей среды и технического регулирования
  
- Нужен интеграционный подход - дополнительные мероприятия, приводящие к определенному «синергетическому» эффекту:
  - - "Новая цементная стратегия"
  - - "Новая бетонная стратегия"
  - - "Новая стратегия проектирования конструкций"
- Современная технология бетона
- ("Бетонная стратегия")

# Одним из наиболее перспективных направлений технического прогресса в технологии бетона

- является формирование структуры цементного камня, позволяющей значительно повысить комплекс физико-технических свойств бетона. Эти задачи во многих случаях могут быть успешно решены с помощью различных химических модификаторов, которые при введении в малых количествах существенно влияют на физико-химические процессы твердения вяжущих и в результате на технологические свойства бетонных смесей.

# Добавки в бетон (ГОСТ 24211)

## • Регулирующие свойства бетонных и растворных смесей

- -Пластифицирующие
- -Водоредуцирующие
- -Стабилизирующие
- -Регулирующие сохраняемость
- -Порообразующие

## • Придающие бетонам и растворам спец. Свойства

- -протиморозные
- -гидрофобизирующие

## • Регулирующие свойства бетонов и растворов –

- -регулирующие кинетику твердения
- -повышающие прочность
- -снижающие проницаемость
- -повышающие защитные св-ва по отнош-ю к арматуре

## • Минеральные добавки

- -инертные (тип II) -активные (тип I)

# Структура применения добавок в России

Тип добавок	Объем применения	
	%	тыс. т
Водопонижающие	20	20
Пластифицирующее-воздуховвлекающие	3	2.7
Суперпластификаторы	46	46
Замедлители	0.3	0.3
Ускорители твердения	3	3
Противоморозные	26	26
Воздуховвлекающие	1.5	1.5
Уплотняющие	0,8	0.9

- **Добавки сделали возможным развитие товарного бетона**
- **Фибра привела к созданию дисперсно-армированных композитов взамен железобетона**
- **Микрокремнезем позволил создать НРС - High Performance Concrete (высокопрочные)**
- **Поликарбоксилаты привели к появлению SCC - самоуплотняющиеся**

# Пластифицирующие добавки

Современные бетоны невозможно представить без интенсивных разжижителей – суперпластификаторов (СП), позволяющих свести к минимуму противоречие между удобоукладываемостью смеси и прочностью бетона. Сочетание СП с различными химическими добавками дает возможность направленной модификации и управления технологией бетонов.

- 1. Для товарного бетона - обеспечивают подвижность и различную жизнеспособность бетонной смеси**
- 2. Для производства готовых железобетонных изделий – экономия цемента, качество поверхности**
- 3. Для получения высокопрочных и самоуплотняющихся бетонов**



# Бетон и технология укладки. Этапы

Важное место среди химических модификаторов занимают пластификаторы и суперпластификаторы бетонных смесей.

**1930 - 1960: «Контролируемая укладка» - воздухововлекающие добавки / лигносульфонаты**

- Повышение удобообрабатываемости, появление товарного бетона

**1960 - 1980: «Упрочнение бетона» (ПНС/ПМС)**

- Снижение водопотребности более чем на 20%

**1980 - 2005: «Быстрая укладка», расширение «окна удобоукладываемости» (поликарбоксилаты)**

- улучшение сохраняемости, легкость окончательной обработки, SLC, SCC

**2005: Добавки для бетонов на основе нетрадиционных составляющих**

- повышение технологичности (подвижность, время схватывания, репродуктивность и т. д.) при применении нетрадиционных вяжущих, искусственных заполнителей и рециклированных материалов

# Модифицированные лигносульфонаты

## **LS -**

Лигносульфонат

Основная цепь

Кислотные группы

## **МС-Bauchemie**

Центрамент Н10

Центрамент Н11

## **Sika**

Plastiment BV3M

Plastiment 1130

## **Полипласт**

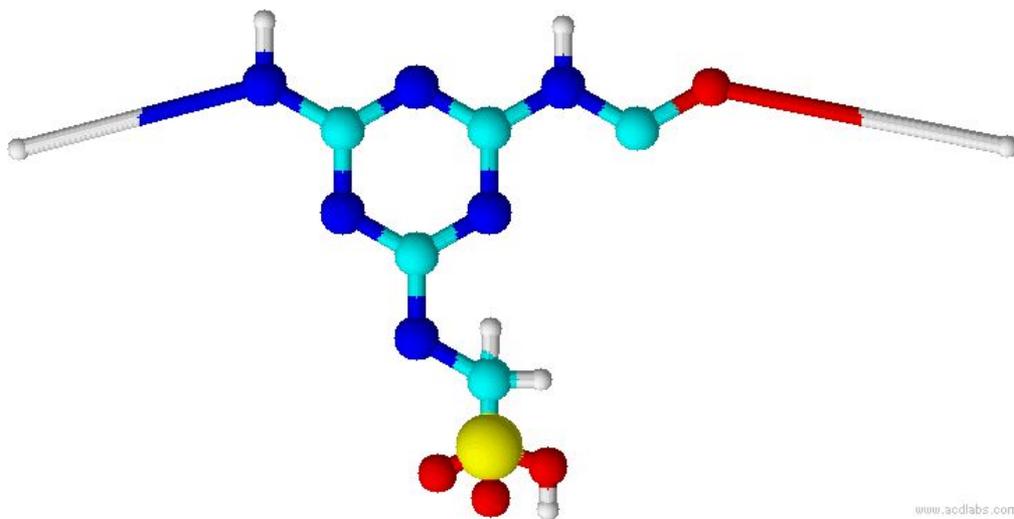
Полипласт П-1

Динамикс П-90



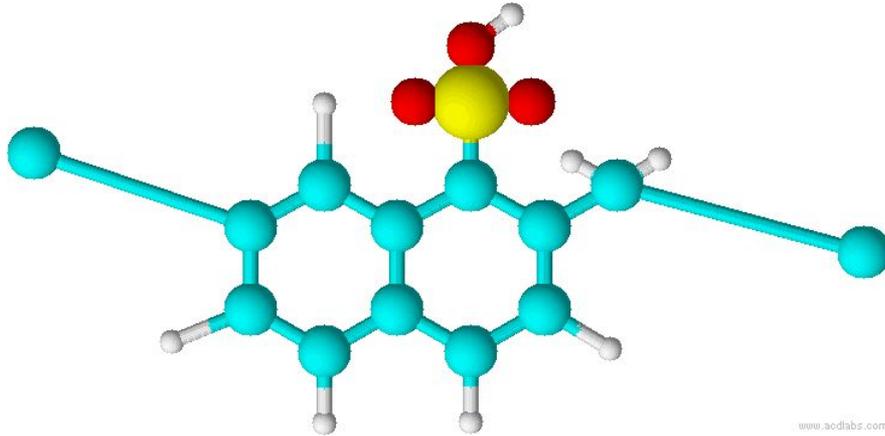
Разработан в 1960 году в США  
при укладке дорожного бетона

# Сульфированные конденсаты меламинформальдегида



Изобретатель:  
Dr. Aignesberger  
Германия 1962

# Нафталин сульфонат



## **МС-Vauchemie**

Мурапласт ФК 49  
Серия новых разработок ТФ  
(технифлоу) -78 (ЖБИ,  
товарный бетон

**Sika**  
Sikament NS

Механизм действия – электростатическое отталкивание зерен цемента

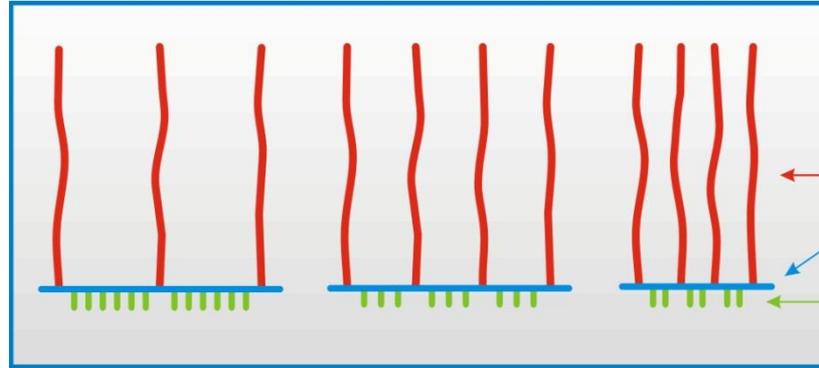
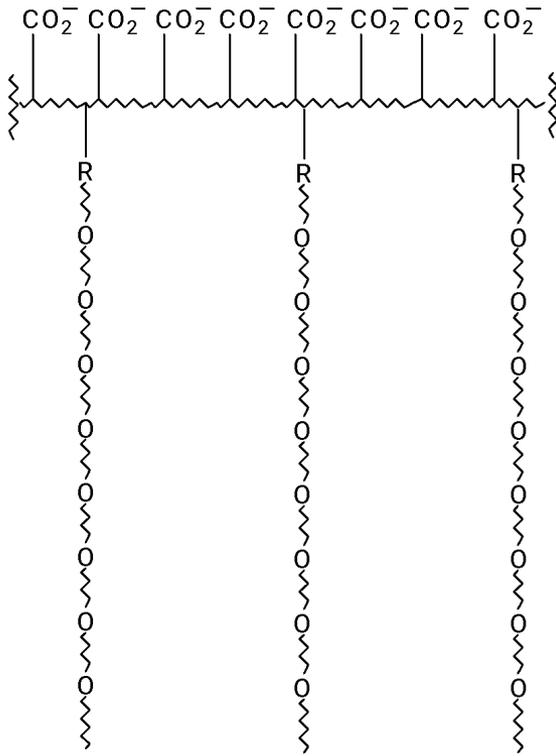
## **Полипласт**

Полипласт СП-1  
Полипласт СП-3  
ПФМ-нлк



Изобретение:  
Dr. Hattori  
Япония 1962

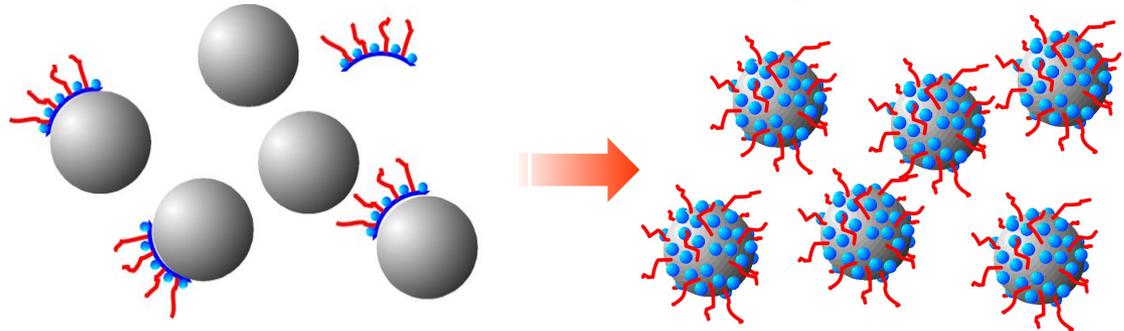
# Поликарбоксилатные суперпластификаторы РСЕ. Механизм действия



Боковые цепи  
Главная цепь  
Карбоксилатные группы

**Адсорбция**

**Дисперсия**



Водопотребность контролируется электрическими зарядами и боковыми цепями,  
Повышение сохраняемости (скорость адсорбции контролируется новыми мономерами),  
Развитие ранней прочности определяется формой полимерной молекулы

# PCE

- **MC-Bauchemie**
- **MC-PowerFlow**
- **79-51,**

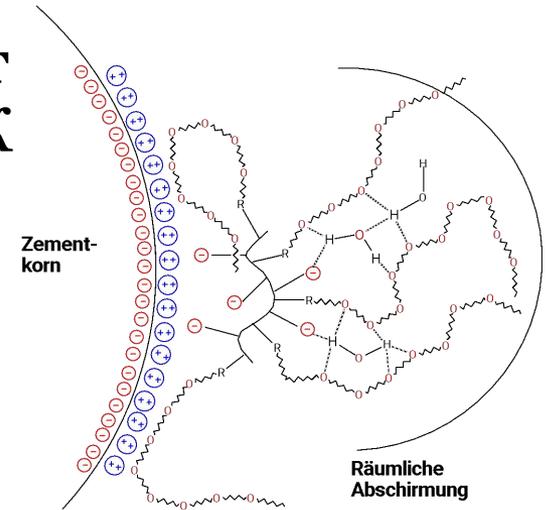
- **Sika**
- **Viscocrete**

- **Эффект действия – стерический эффект + электростерическое отталкивание**

- **Уход за бетоном критически важен для обеспечения его долговечности**

**Полипласт**  
**Реламикс ПК**

**BASF**  
**Glenium**



# Суперпластификаторы

- позволяют резко снизить продолжительность виброобработки, как правило, в 3-4 раза. Это позволяет исключить высокочастотную вибрацию или заменить ее непродолжительным низкочастотным воздействием для улучшения распределения бетонной смеси в форме, снизить энергозатраты и трудоемкость, а также повысить качество конструкций.

# Снижение трудозатрат

- **Текучесть бетона упрощает формование и отделочные операции**
- **Самовыдерживание/самоотделка снижает трудозатраты и повышает качество (долговечность и надежность)**
- **Отказ или снижение армирования при использовании надлежащего бетона уменьшает арматурные работы и упрощает формование**

# Виды микрокремнезема



**Уплотненный (densified, compacted); 480-720 кг/м<sup>3</sup>**

**Неуплотненный (undensified, as-produced); 130-430 кг/м<sup>3</sup>**

**Суспендированный (slurried); 50 мас.%; 1320-1440 кг/м<sup>3</sup>**

# Применение микрокремнезема

- Несущие колонны из НРС (high performance concrete):
- 1 Прочность  $\sim 100$  МПа
- 2 Модуль упругости  $\sim 50$  Гпа
- • Балки из бетонов НРС для мостовых конструкций

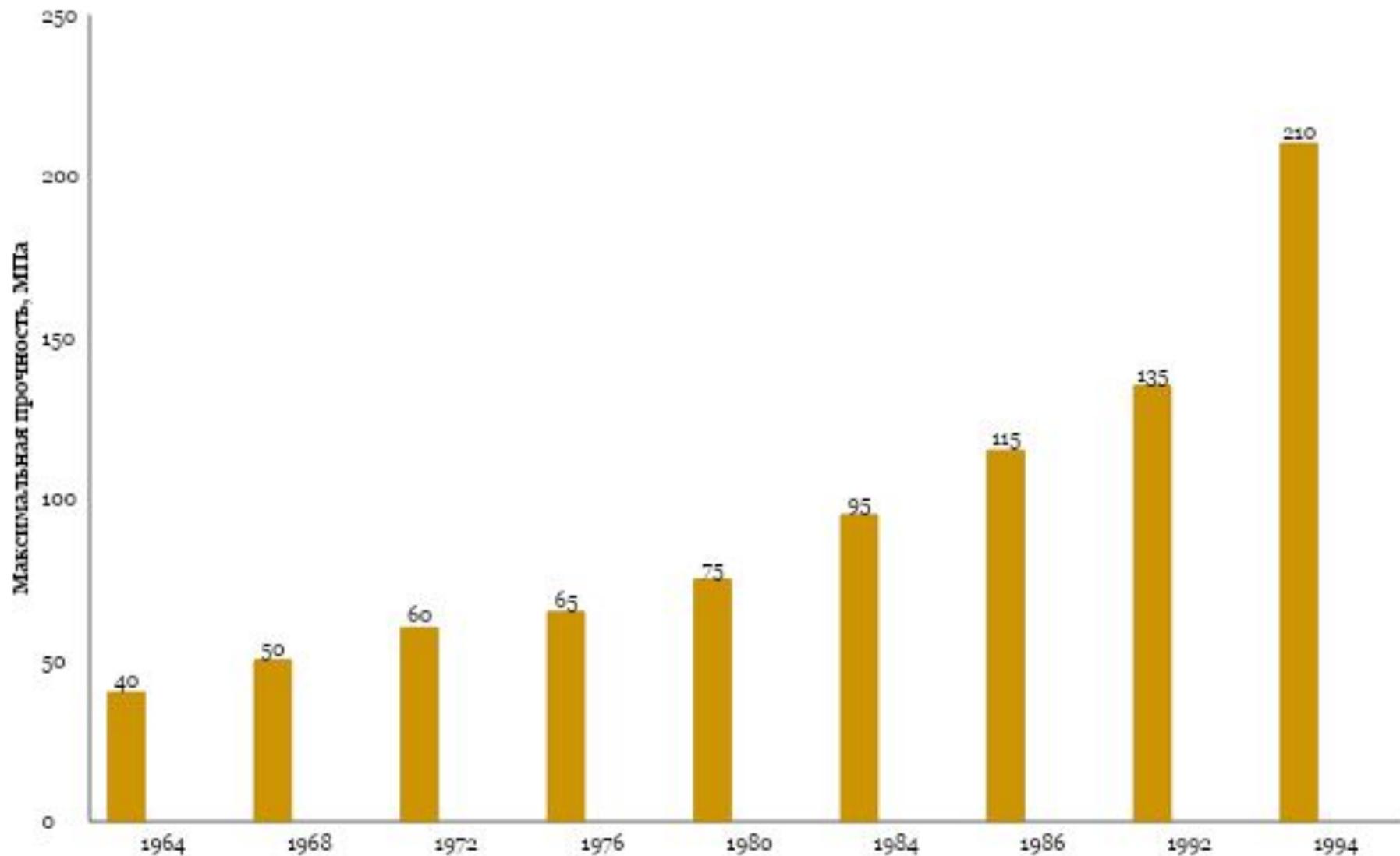


# Многоярусные гаражи и гидротехнические сооружения

- **МК повышает устойчивость бетона к антигололедным препаратам (противодействует хлоридной коррозии); повышает долговечность бетона**
- **устойчивость к эрозии**



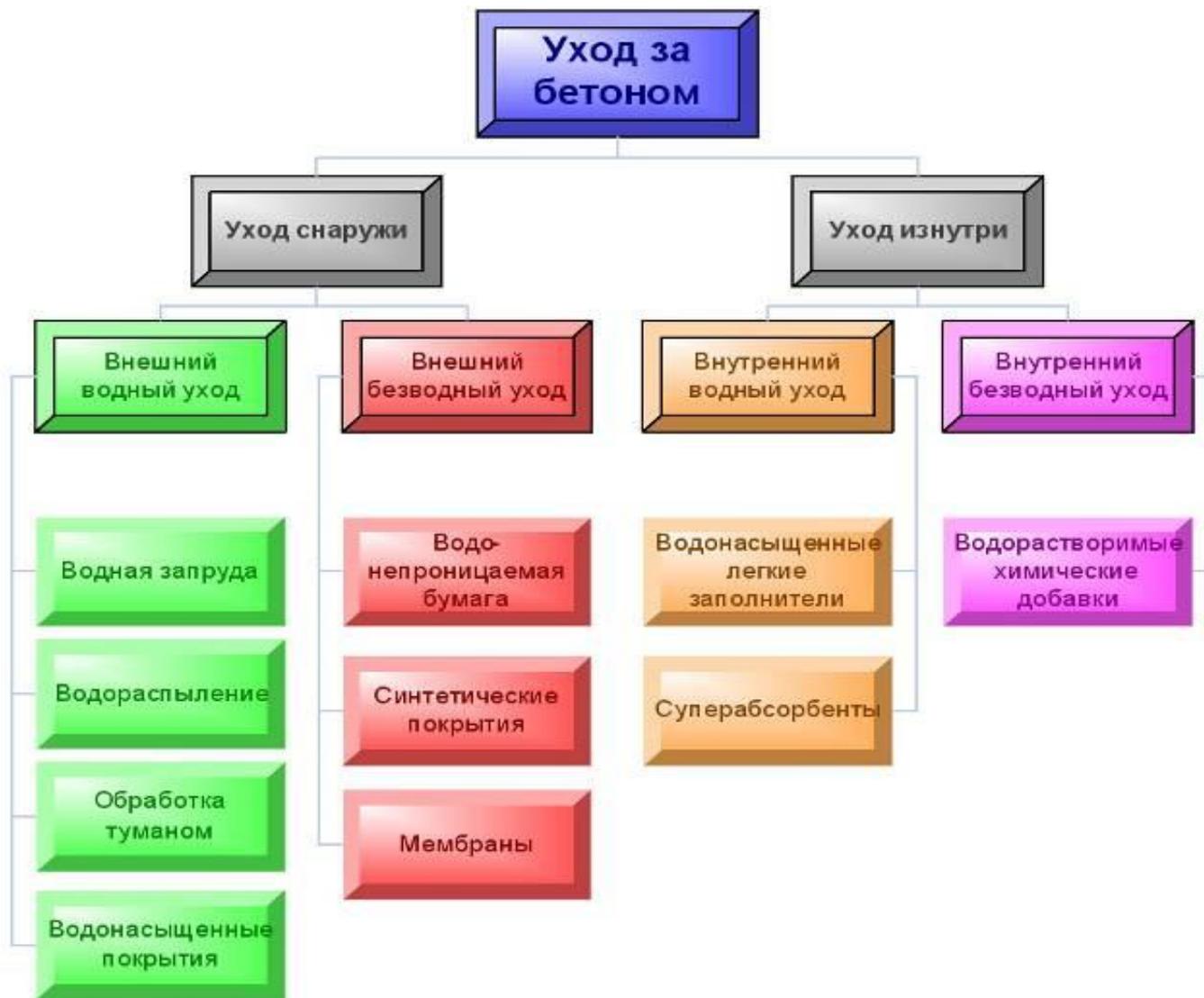
# Динамика роста прочности бетона



# Уход за бетоном

- необходим не только для того, чтобы максимально обеспечить гидратацию и минимизировать усадку. Методы, которые способствуют снижению усадки и трещинообразования в раннем возрасте, обычно включают применение минеральных и химических добавок, фибр и, наконец, надлежащий уход за бетоном. Современные методы уменьшения усадки, базирующиеся на специально разработанных принципах внешнего и внутреннего ухода.
- Классификация методов ухода, согласно проекту Рекомендаций Технического комитета RILEM TC196 ICC, схематически представлена на рис.

# Способы ухода за бетоном



# Обязательный уход за высокопрочным бетоном

## **Уход снаружи**

- Поливка водой
- Накрытие полиэтиленовой пленкой
- Нанесение влажных опилок
- Обработка пленкообразующими кюрингами Emcoril

## **Внутренний уход**

- Введение водорастворимых полимеров (целлюлоза)
- Использование тонких заполнителей
- Введение полимеров многократно увеличивающих свой объем при взаимодействии с водой (SAP)



# Методы ухода

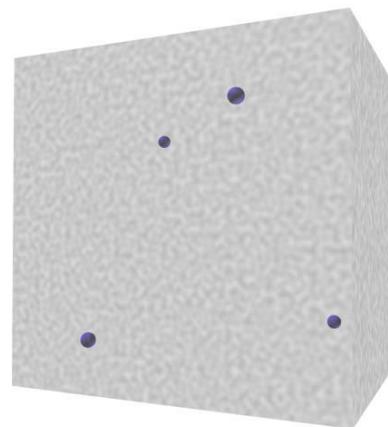
- Большинство из традиционных приемов базируется на внешних методах ухода. Они используются как для обычных, так и для высокопрочных бетонов, бетонов высоких технологий (HSC/HPC). Эти методы включают применение водных запруд, распыление воды, водонасыщенные покрытия (влажная мешковина, опилки и т.п.), использование туманов, синтетических защитных покрытий, специальных средств для ухода и другое.
- Полагают, что водное выдерживание более эффективно для высокопрочных бетонов или бетонов высоких технологий, чем безводный уход. Для обычных бетонов твердение в воде (под водой) считается одним из наилучших методов, если это не вызывает повреждения поверхности бетона.
- Увлажняющий уход с использованием тумана или влажной мешковины, как полагают, является наиболее эффективным методом для контроля трещинообразования, обусловленного аутогенной и сухой усадкой, на ранних стадиях твердения.
- Аутогенная усадка враг бетона высоких технологий

# Добавки для вибропрессованных изделий

- **Добавки улучшают уплотнение смеси**
- **Снижают амортизацию технологического оборудования**
- **Повышают прочность при сжатии во все сроки твердения**
- **Увеличивают морозостойкость и долговечность изделий**
- **Позволяют экономить цемент (типа БВА 16, 17, 21, с гидрофобизатором 19)**

# Воздухововлекающие добавки

**1. Низкий расход  
добавки**



**<300 мкм  
>1,5 %**

**2. Образуют  
устойчивую систему  
мелких замкнутых  
пор**

**3. Обеспечивает  
продолжительную  
устойчивость смеси**

- (Эйр 202)



# Противоморозные добавки

## Добавки-антифризы

- $\text{NaNO}_2$  нитрит натрия.
- $\text{NaCl}$  хлорид натрия.
- Многоатомные спирты.

**(Рапид 115 (комплекс), 025, 026, 031(для растворов))**

- Стимулирующие коррозию-  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{NaCl}$
- Не вызывающие коррозию-  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$
- Ингибирующие коррозию-  $\text{NaNO}_2$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$

# Ускорители

**Добавки, ускоряющие твердение**  
**CaCl<sub>2</sub>, Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, Ca(NO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>, мочевины,**  
**роданиды, тиосульфаты, формиаты**

- **Добавки для ускорения схватывания**  
**Na-, K- алюминаты, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, Na-**  
**силикаты, Al-сульфаты**

## **Применение**

- **Торкрет бетоны**
- **ЖБИ**
- **Товарный бетон: зимнее бетонирование**

# Модифицирование кладочных растворов

- Рынок готового строительного раствора уходит сегодня в сегмент высококачественного строительства и требует специальных решений.
- **Средний и мелкий строительный песок**
- **Портландцемент марки М400**
- **Гидратная известь**
- **хГлина**
- **хДобавки**
- Вместо них –
- Murapor Kombi 756
- Centripor TFM 400
- Centripor TFM 403
- Centripor TFM 411

# Кладочные растворы



# Бетоны нового поколения

- ультра высокопрочные бетоны
- бетоны с заданной функциональностью
- бетоны с низким тепловыделением
- самоуплотняющиеся бетоны
- самозалечивающиеся
- самоочищающиеся
- архитектурный (декоративный) бетон
- **Цементные композиты**
- DSP -композиты (уплотненные, системы, содержащие гомогенно распределенные ультрамалые частицы)
- MDF-цементы (цементы, свободные от макродефектов)
- RPC- цементные материалы с пониженным содержанием пор
- RPC- реактивные порошковые композиты
- SHCC- сверхпластичные самоупрочняющиеся

# ГОСТ 26633-2012 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия»:

- - по прочности: на классы прочности на сжатие в проектном возрасте: В<sub>3,5</sub>; В<sub>5</sub>; В<sub>7,5</sub>; В<sub>10</sub>; В<sub>12,5</sub>; В<sub>15</sub>; В<sub>20</sub>; В<sub>25</sub>; В<sub>30</sub>; В<sub>35</sub>; В<sub>40</sub>; В<sub>45</sub>; В<sub>50</sub>; В<sub>55</sub>; В<sub>60</sub>; В<sub>70</sub>; В<sub>80</sub>; В<sub>90</sub>; В<sub>100.0</sub>
- Промежуточные классы по прочности на сжатие В<sub>22,5</sub> и В<sub>27,5</sub>;
- - на классы прочности на осевое растяжение: В<sub>t0,8</sub>; В<sub>t1,2</sub>; В<sub>t1,6</sub>; В<sub>t2,0</sub>; В<sub>t2,4</sub>; В<sub>t2,8</sub>; В<sub>t3,2</sub>; В<sub>t3,6</sub>; В<sub>t4,0</sub>;
- - на классы прочности на растяжение при изгибе: В<sub>t0,4</sub>; В<sub>t0,8</sub>; В<sub>t1,2</sub>; В<sub>t1,6</sub>; В<sub>t2,0</sub>; В<sub>t2,4</sub>; В<sub>t2,8</sub>; В<sub>t3,2</sub>; В<sub>t3,6</sub>; В<sub>t4,0</sub>; В<sub>t4,4</sub>; В<sub>t4,8</sub>; В<sub>t5,2</sub>; В<sub>t5,6</sub>; В<sub>t6,0</sub>; В<sub>t6,4</sub>; В<sub>t6,8</sub>; В<sub>t7,2</sub>; В<sub>t8,0</sub>;
- - по средней плотности: на тяжелый бетон марок D2000-D2500, мелкозернистый бетон марок D1800-D2300;
- - по морозостойкости: на марки F50, F75, F100, F150, F200, F300, F400, F500, F600, F800, F1000;
- - по водонепроницаемости: на марки W2, W4, W6, W8, W10, W12, W14, W16, W18, W20;
- - по истираемости: на марки G1, G2, G3 (при испытании на круге истирания).

# ГОСТ 25192-2012 «БЕТОНЫ. Классификация и общие технические требования».

Согласно этому ГОСТ, бетоны классифицируются по следующим признакам:

- основное назначение;
- стойкость к видам коррозии;
- вид вяжущего;
- вид заполнителей;
- структура;
- условия твердения;
- прочность;
- темп набора прочности;
- средняя плотность;
- морозостойкость;
- водонепроницаемость;
- истираемость.



*В зависимости от основного назначения бетоны подразделяют на:*

- конструкционные;
- специальные (например, теплоизоляционные, радиационностойкие,



**Конструкционные**



**Теплоизоляционные для утепления  
стены**

*По прочности бетоны подразделяют на бетоны:*

- средней прочности (класс прочности при сжатии В50);
- высокопрочные (класс прочности при сжатии В55).

*По средней плотности бетоны подразделяют на:*

- особо легкие (марки по средней плотности менее D800);
- легкие (марки по средней плотности от D800 до D2000);
- тяжелые (марки по средней плотности более D2000 до D2500);
- особо тяжелые (марки по средней плотности более D2500).



*По морозостойкости бетоны подразделяют на бетоны:*

- низкой морозостойкости (марки по морозостойкости  $F_{150}$  и менее);
- средней морозостойкости (марки по морозостойкости более  $F_{150}$  до  $F_{300}$ );
- высокой морозостойкости (марки по морозостойкости более  $F_{300}$ ).

*По водонепроницаемости бетоны подразделяют на бетоны:*

- низкой водонепроницаемости (марки по водонепроницаемости менее W4);
- средней водонепроницаемости (марки по водонепроницаемости от W4 до W12);
- высокой водонепроницаемости

(марки по водонепроницаемости более W12).



# ГОСТ 25192-2012 «БЕТОНЫ. Классификация и общие технические требования» Приложение А

- **типы (виды) бетонов по их свойствам**

- 1.1 напрягающий бетон,
- 1.2 быстротвердеющий бетон,
- 1.3 высокофункциональный бетон,
- 1.4 декоративный бетон,
- 1.5 дренирующий бетон,
- 1.6 жаростойкий бетон

- **по составу**

- 2.1 арболит
- 2.2 армоцемент
- 2.3 бетонополимер
- 2.4 грунтобетон
- 2.5 золобетон
- 2.6 особо тяжелый бетон
- 2.7 тяжелый бетон.
- 2.8 мелкозернистый бетон
- 2.9 полимербетон.
- 2.10 реакционный порошковый бетон
- 2.11 силикатобетон
- 2.12 рециклированный бетон
- 2.13 фибробетон

## ПО ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

- 3.1 автоклавный бетон
- 3.2 бетон подводной укладки
- 3.3 бетон роликового формования
- 3.4 вакуумированный бетон
- 3.5 особо жесткий бетон
- 3.6 литой бетон
- 3.7 самоуплотняющийся бетон
- 3.8 торкрет-бетон
- 3.9 укатанный бетон.

# Специальные бетоны

- Специальные бетоны получают, применяя *специальные вяжущие, специальные заполнители, специальные химические добавки, а зачастую - и специальное армирование. В ряде случаев при этом необходимы специальные технические приемы и методы.*

- **Бетоны на специальных вяжущих**

- *бетоны на магнезиальных вяжущих*
- *бетоны на фосфатных цементах*
- *бетоны на цементах с галогеналюминатами кальция общей формулы  $C_{11}A_7 \cdot CX_2$ , где X= F, Cl, Br, J*
- *кислотостойкие бетоны*
- *огнестойкие бетоны*
- *серные бетоны*
- *полимербетоны*

- **Бетоны со специальными свойствами**

- *электропроводящие бетоны*
- *радиоэкранирующие бетоны*
- *радиоизолирующие бетоны*
- *особотяжелые бетоны*
- *сверхособотяжелые бетоны ( $D > 4000 \text{ кг/м}^3$ )*
- *гидратные бетоны*

# Концепция высококачественных бетонов



# Критерии свойств

## ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ БЕТОНОВ

- Классы по прочности на сжатие - от В40 и выше до В90 (в прошлом марки по прочности М600-М1200 и более)
- Прочность в возрасте 1 суток естественного твердения - не менее 25-30 МПа
- Водопроницаемость - W12 и выше
- Морозостойкость - F<sub>1</sub>400 и выше
- Истираемость - не более 0,3-0,4 г/см<sup>2</sup>
- Водопоглощение - 1-2,5 мас. %
- Высокая сопротивляемость проникновению хлоридов
- Высокая газонепроницаемость
- Регулируемые показатели деформативности (в том числе, компенсация усадки бетона в возрасте 14-28 суток естественного твердения)

# ВЫСОКОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ БЕТОН -

- Во всем мире наблюдается переход на более высокие марки бетонов. Новые бетоны получили в мировой практике строительства название High Performance Concrete (HPC). Под этим термином (принят в 1993 г) объединили бетоны, которые должны обеспечивать срок службы изделий и конструкций не менее 200 лет, а в перспективе и 500 лет. Высококачественные бетоны радикально увеличили возможности строительства для возведения небоскребов, мостов, тоннелей, плотин, шахт и подводных сооружений.

## Общие требования к высокофункциональным бетонам:

- высокие показатели прочности (классы по прочности на сжатие от В 40 - В 100 и выше, быстрые темпы твердения - прочность на первые сутки
- $R_1$  – не менее 25...30 МПа); водонепроницаемость W 12 и выше;
- морозостойкость F 400 и выше; водопоглощение 1-2,5 масс. %; высокая химическая стойкость; высокий модуль упругости, высокая газонепроницаемость; регулируемые показатели деформативности (в частности компенсация усадки бетона в возрасте 14-28 суток естественного твердения).



## Выдающимся примером реализации концепции НРС

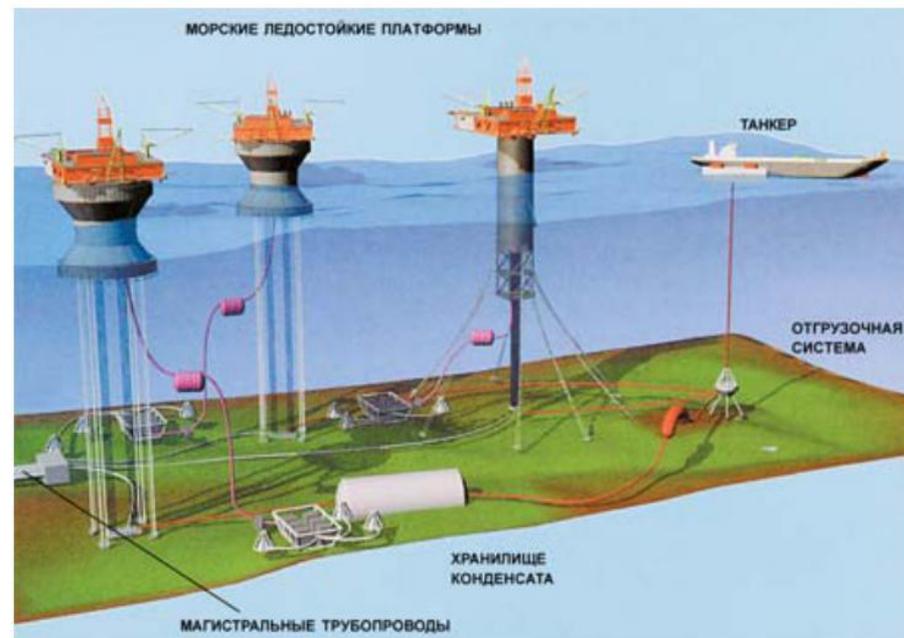
- является построенная в 1995 году в Норвегии платформа для добычи нефти на месторождении Тролл в Северном море.
- Полная высота - 472 м, что в полтора раза превышает высоту Эйфелевой башни, Высота железобетонной части составляет 370 м. Платформа установлена на участке моря глубиной больше 300 м и рассчитана на действие ураганного шторма по максимальную высоту волны 31,5 м. Расчетный срок эксплуатации платформы - 70 лет.



# Аналогичные платформы

- есть на океаническом шельфе Северного Ледовитого океана в 200...400 км от берегов Аляски, рассчитаны на эксплуатацию в зоне сплошного многолетнего ледового покрова, перемещения которого развивают огромные сдвигающие усилия.
- В конструкции платформ при рекордно густом армировании (800 кг стали на 1 м<sup>3</sup> железобетона) уложен бетон прочностью 120 МПа с использованием 12-компонентных комплексных модификаторов.

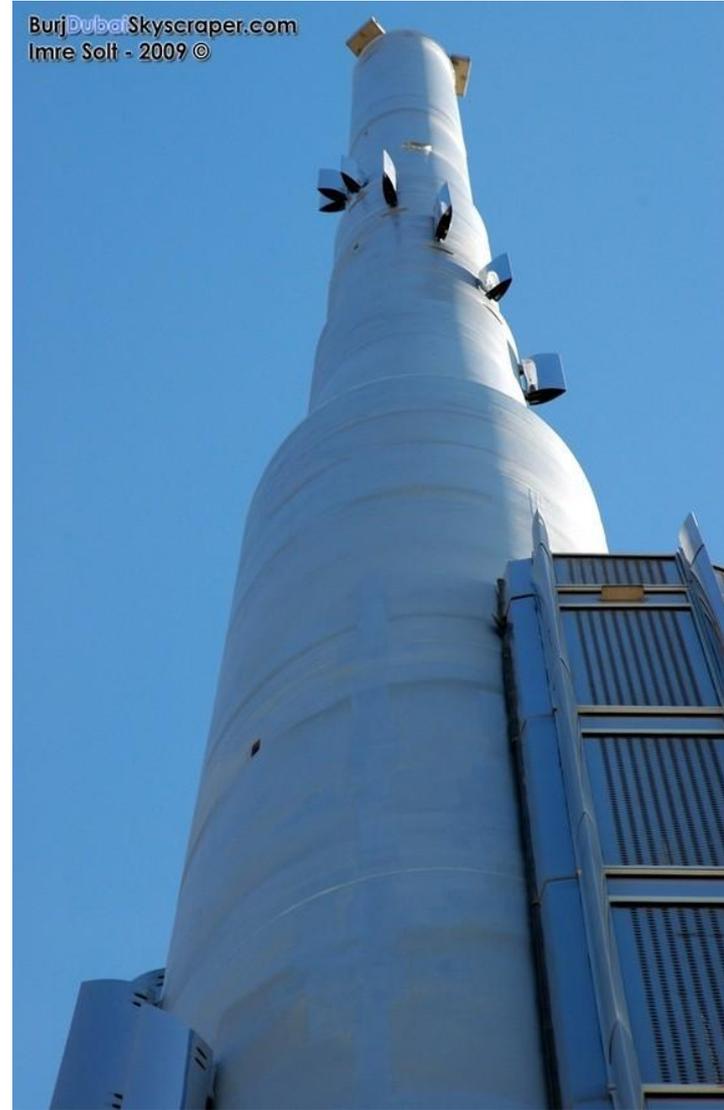
- Схема шельфовой добычи нефти. Баренцево море.



# Бурдж Дубаи (Burj Dubai)

- Наиболее высокое на сегодняшний день здание в мире - также построен с использованием высокофункциональных бетонов.
- «Бурдж-Халифа» («араб. «Башня Халифа», до 2010 года называлась «Бурдж Дубай» — «Дубайская башня») — небоскрёб высотой 828 метров в Дубае, самое высокое сооружение в мире. Форма здания напоминает сталагмит.
- С 19 мая 2008 года — самое высокое когда-либо существовавшее сооружение в мире (до этого рекорд принадлежал упавшей в 1991 году Варшавской радиомачте).
- Общая стоимость сооружения — около 1,5 млрд долларов. Площадь поверхности здания примерно равна площади 17 футбольных полей.





# Проекты, реализованные благодаря НРС.

- Тоннель под Ла-Маншем



# Шанхайская башня



# Мост через пролив Акаси в Японии с центральным пролетом 1990 метров



# Мост через пролив Нордамберленд в Восточной Канаде длиной 12,9км



# Манежная площадь и площадь Курского вокзала



# Комплекс Москва-Сити»



# Высокопрочный бетон

- классов по прочности при сжатии В60 и выше (ГОСТ 31914-2012), получает все большее распространение в строительстве большепролетных и нагруженных несущих конструкций.
- Он позволяет уменьшить расход материала, перейдя на более эффективные сечения, снизить, вес конструкций и позволить железобетону конкурировать на рынке стройматериалов. Он отличается высокой плотностью, прочностью и монолитностью структуры, долговечностью и стойкостью в отношении агрессивных воздействий.

- **Определения**  
**Высокопрочный (HSC) –**  
 **$R_{сж} > 60$  МПа**
- Особо высокопрочный**  
**(VHSC) –  $R_{сж} = 110-150$**   
**МПа**
- Ультравысокопрочный**  
**(UHSC) –  $R_{сж} > 150$**   
**МПа**
- Реакционно**  
**порошковый бетон**
- **(Reactive Powder**  
**Concrete, RPC)**



# Реакционно-порошковые бетоны

- **Характеристики материала:**
  - **Высокая ранняя прочность бетона: 50-60 МПа в возрасте 1 сут нормального твердения, 70-80 МПа после пропаривания и 180-200 МПа после автоклавной обработки**
  - **Высокая марочная прочность бетона: 140-150 МПа в возрасте 28 сут нормального твердения, 160-170 МПа в возрасте 28 сут после пропаривания и 180-200 МПа после автоклавной обработки**
  - **Обеспечение прочности на растяжение при изгибе ненаполненных РПБ на уровне 21-30 МПа и более для РПБ с микроармированием**
  - **Возможность снижения массы строительных конструкций за счет уменьшения на 30-50% рабочего сечения нагружаемых элементов на основе РПБ**
- **Область применения**
  - **Изготовление высоконагружаемых строительных конструкций, строительство зданий и сооружений, подвергающихся в процессе эксплуатации повышенным нагрузкам, агрессивным химическим и климатическим воздействиям.**

- **В России высокопрочный бетон использовали при изготовлении элементов тоннеля под улица Большая Дмитровка и тубингов Лефортовского тоннеля в Москве, а также на ряде других объектов транспортного и промышленного строительства.**

# трубобетон

- Одним из представителей высокопрочного бетона является **трубобетон** (ТБ).
- Это комплексная конструкция, состоящая из стальной оболочки и бетонного ядра, работающих совместно. Трубобетонные элементы, имеющие небольшую гибкость и малые эксцентриситеты приложения продольной силы (что характерно для вертикальных несущих элементов каркасов высотных зданий), обладают исключительно высокой несущей способностью при относительно малых поперечных сечениях, являясь примером удачного сочетания свойств металла и бетона.
- Это дает существенную экономию стали и бетона, приводит к уменьшению размеров сечений элементов, их массы и транспортных затрат, а также сохранение всех достоинств металлических конструкций в плане монтажа.

- Данный эффект особенно ярко проявляется в колоннах круглого поперечного сечения. Боковое давление трубы препятствует интенсивному развитию микротрещин разрыва в бетонном сердечнике, который в условия всестороннего обжатия выдерживает напряжения, значительно превосходящие призмную прочность. Стальная обойма в свою очередь, благодаря благоприятному влиянию внутреннего давления твердой среды, предохранена от потери местной и общей устойчивости.

- административное здание
- ОАО «Банк Санкт-Петербург»



# Административное здание ОАО «Банк Санкт-Петербург»

- В качестве вертикальных несущих элементов высотной части здания приняты трубобетонные колонны с внутренним армированием 12 пространственными каркасами. Из-за принятых узлов сочетания трубобетонных элементов с перекрытиями (рис. 1.1б) стальная оболочка не выступает в роли обоймы, являясь лишь несъемной опалубкой, а заключенное внутри железобетонное ядро – традиционная железобетонная цилиндрическая колонна.

- использование в трубобетонных колоннах высокопрочных бетонов позволит существенно снизить размеры поперечных сечений несущих конструкций, а следовательно и общие затраты на строительство.

- Торгово-административное 72-этажное здание «SEG Plaza» (г. Шинциэн)
- Основными вертикальными несущими конструкциями для главной башни являются 16 массивных трубобетонных колонн, размещаемых по контуру башни и 28 трубобетонных колонн с малым диаметром, образующих центральный ствол. Данное здание на сегодняшний день считается самым высоким с применением трубобетона. В наземной части имеется 72 этажа, в подземной – 4, общая высота составляет 291,6 м, общая площадь здания превышает 160 тыс. м<sup>2</sup>



## напрягающий бетон

- – содержащий расширяющийся цемент или расширяющую добавку, обеспечивающие расширение бетона в процессе его твердения. ГОСТ 32803-2014 «Бетоны напрягающие. Технические условия».
- Учитывая особенности напрягающего бетона, его применение особенно эффективно в конструкциях, к которым предъявляются требования повышенной водонепроницаемости и трещиностойкости, повышается прочность при растяжении, а также отсутствует усадка в процессе твердения. Это достигается тем, что регулирование расширения в процессе твердения позволяет нейтрализовать усадку за счет собственного обжатия (самонапряжения) бетона



# Напрягающий бетон

- Применяют в сборных и монолитных конструкциях и сооружениях, к которым предъявляются высокие требования по трещиностойкости, водонепроницаемости и долговечности. Это емкости различного назначения, подземные конструкции зданий и сооружений, конструкции большой протяженности, полы гражданских и промышленных зданий, омоноличенные сборные фундаменты под мощные турбоагрегаты.



# быстротвердеющий бетон

Сегодня скорость строительства имеет особенно большое значение. Быстротвердеющий бетон имеет быстрый темп набора прочности, благодаря чему общая скорость возведения объектов значительно возрастает. Его особенность заключается в получении высокой прочности (порядка 20МПа) уже через сутки при твердении в нормальных условиях, что значительно сокращает трудозатраты. Для получения быстротвердеющего бетона используют следующие методы:

Использование быстротвердеющих цементов (тонко помола, активация его, введение добавок гипса и хлористого кальция, алюминатных цементов)

Низкое В/Ц

Применение добавок, ускоряющих процесс твердения смеси.

Быстротвердеющий бетон очень часто используется в северных условиях, где скорость твердения бетонной смеси имеет огромное значение.



# Самоуплотняющийся бетон СУБ



# самоуплотняющийся бетон SCC

- Самоуплотняющийся бетон или Self Compacting Concrete – это бетон со следующими преимуществами:
- Качество поверхности
- Поверхность самоуплотняющегося бетона до мельчайших подробностей повторяет поверхность опалубки. Так образом, при использовании современных видов опалубок можно сразу получить идеально гладкую и ровную поверхность.
- опалубки различной формы и структуры;
- возможности создания любой геометрии бетонируемой конструкции;
- проникновения бетона в самые труднодоступные места в опалубке;
- возможности подачи бетона непосредственно через опалубку, например, через отверстие в нижней ее части

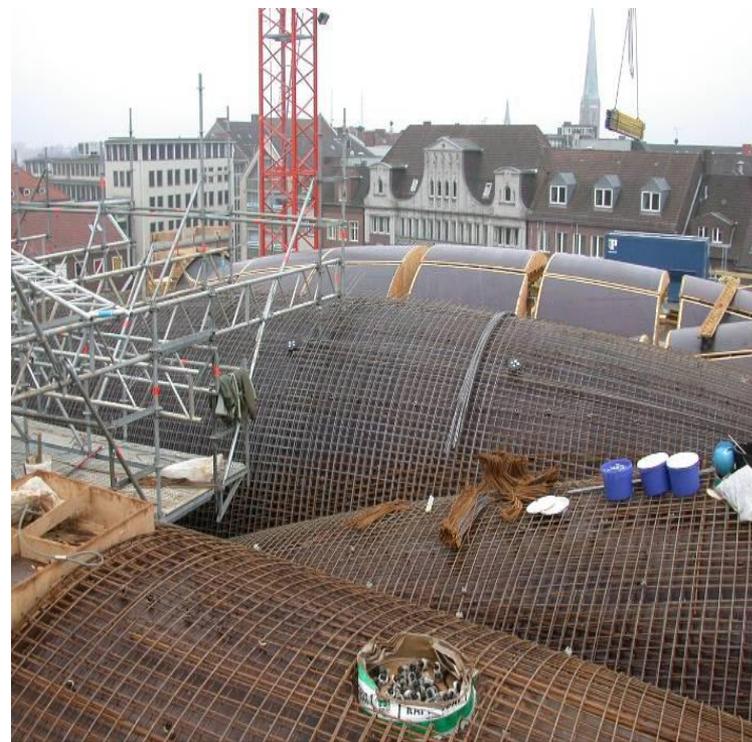
- Русский мост, Владивосток



- История СУБ началась в Японии в 1990 г. Профессором Хайимой Окамурой было создано и внедрено в практику новое поколение добавок к бетону – высокоэффективные добавки (гиперпластификаторы) на базе полиакрилата и поликарбоксилата.
- Использование этих добавок совместно с повышенным количеством (по сравнению с традиционным цементобетоном) мелких дисперсных частиц микронаполнителей (микрокремнезём, различные золы, молотые граншлак или известняк и др.) дало возможность получить СУБ. С использованием СУБ в Японии был построен ряд уникальных сооружений, среди которых, например, открытый в 1998 г. мост Акаши-Кайкё (центральный пролёт – 1991 м и две секции по 960 м).

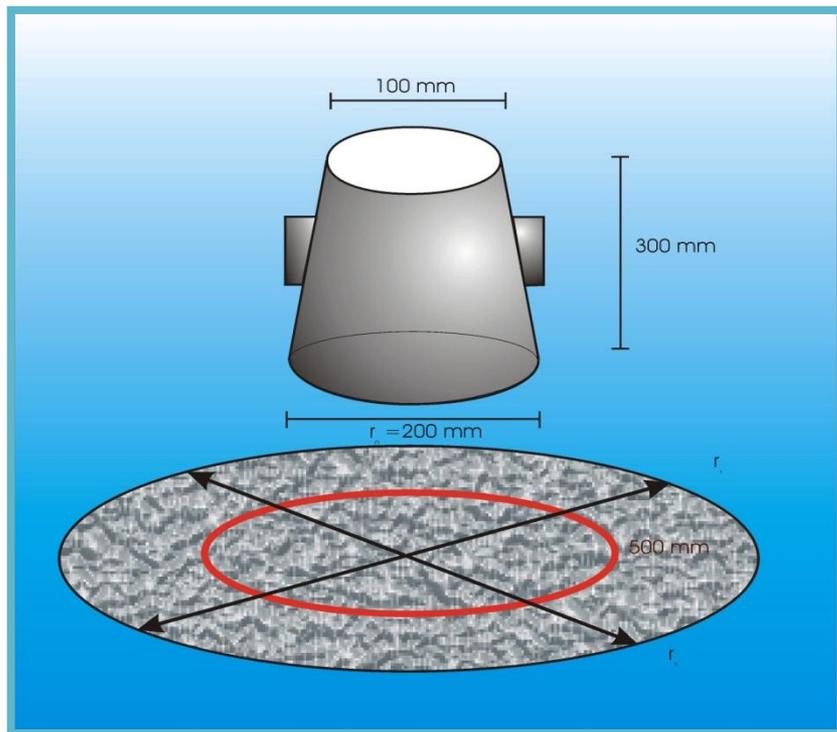


Применение товарного СУБ на очистных сооружениях в г.Гросслаппен «Пик и Клоппенбург» г. Любек, Германия Толщина бетонного изделия: 0,14 м Толщина бетонного изделия: 0,14 м



# Подвижность смеси СУБ

- Осадка конуса определяется без удара при помощи конусообразной воронки. Значение должно находиться в районе 80 см. Наряду с текучестью может оцениваться устойчивость бетона посредством наблюдения за самыми большими частицами и вязкость посредством измерения времени до достижения 50 см отметки.



# Проверка бетона: контрольный армированный резервуар

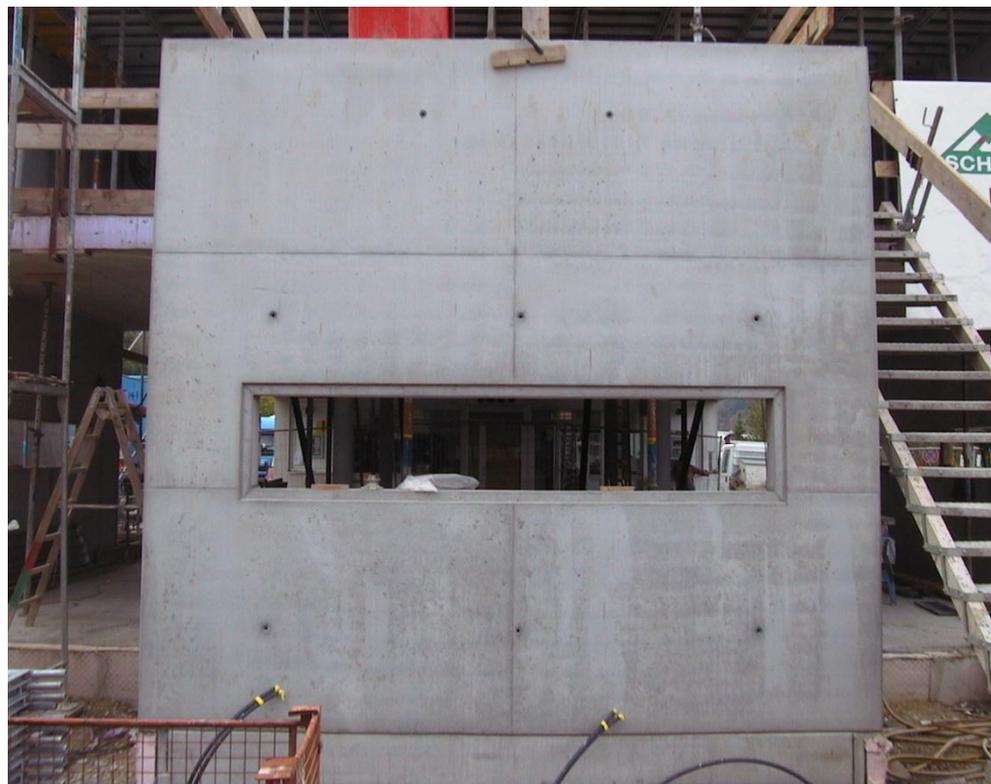


# Мост Конституции в Венеции



*Профессия мостовик*

# Конструкция из СУБ



# «Русский» мост



# Технология 3d печати



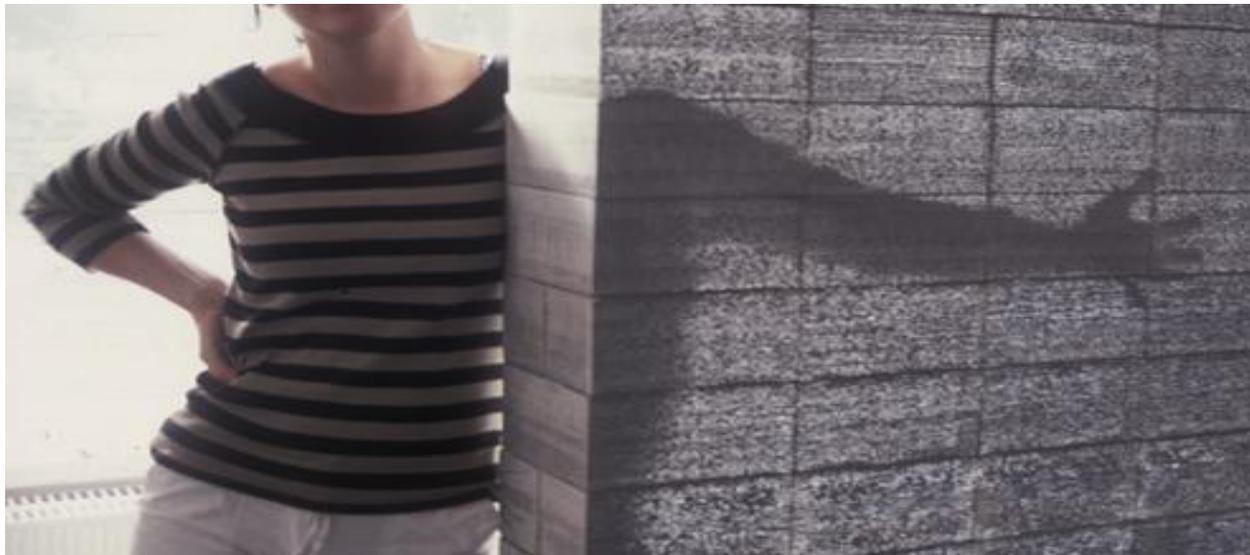
# декоративный бетон



- получают путем обработки окрашиванием, полировкой, текстурированием, тиснением, гравировкой, использованием топпингов и другими приемами для достижения требуемых эстетических свойств.
- Последние в свою очередь делятся по технологии нанесения рельефа на прессованные, печатные и штампованные.
- При получении цветных декоративных бетонов применяются самые различные компоненты: пигменты минерального и органического происхождения, цветные и белые цементы.

## **Значительные улучшения эстетики и архитектурной выразительности бетона**

- **Архитектурный бетон**
- **«Самочистящийся» бетон (Ital Cementi)**
- **Прозрачный бетон (Li Tra Con)**
- **«Цветная печать» по бетону (Grace)**



# Прозрачный бетон (Light Transparent Concrete)



# Бетоны со свойствами самоочищения

- Цементные композиты с наночастицами диоксида титана  $TiO_2$  сохраняют свои эстетические характеристики, особенно цвет, в течение длительного времени даже под воздействием агрессивного городского окружения.
- Церковь Dives in Misericordia в Риме



# Cité de la Musique в Париже



# дренирующий бетон -

- новый подход к получению композиционных материалов в строительстве, заключающийся в нано-, микро- и макрокапсуляции различных дисперсий,
- содержит крупный заполнитель при отсутствии или минимальном содержании мелкого заполнителя, а также недостаточное для заполнения пор и пустот количество цементного теста.
- Это определило основные направления применения этих материалов:
  - – возведение различных ограждающих конструкций;
  - – производство фильтрационных бетонов для дорожного строительства, гидротехнических бетонов и дренажа.



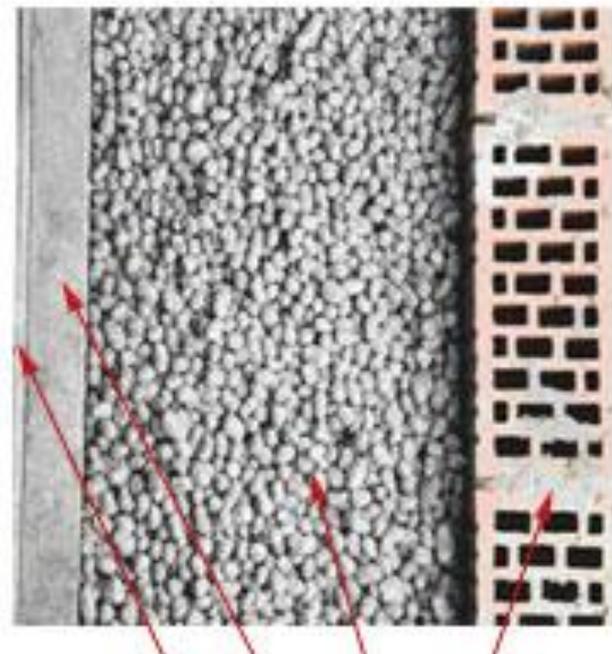
# Применение дренирующего бетона

- В значительной степени основные характеристики дренирующего бетона соответствуют конструкционно-теплоизоляционному материалу, что позволяет возводить из него плиты, блоки, самонесущие стены и жесткие утепляющие слои кровель, а также изолировать многомерзлые грунты в жилищном и дорожном строительстве.
- Учитывая высокую фильтрующую способность крупнопористых бетонов, они также могут эффективно применяться методом «стена в грунте» для укрепления откосов речных и морских берегов, обычно разрушаемых выходом грунтовых вод, а также для дренажа фундаментов различных зданий и сооружений. Перспективна применимость таких бетонов для защиты тел плотин и водосбросов при нештатных ситуациях в виде наводнений и штормовых воздействий.



# КАПСИМЭТ

- Суть процесса макрокапсуляции, реализованном в разработанном впервые в мире оборудовании – капсуляторах, в применении интенсивных центробежных воздействий на различные дисперсии в виде песка и щебня, при котором обеспечивается интенсивное перемещение частиц материалов, активное втирание жидкого пленкообразующего в верхние слои частиц с формированием прочной капсулы.
- Крупный заполнитель за счет интенсивного физического воздействия покрывается оболочкой (капсулой) вяжущего вещества, последующее твердение которого соединяет частички крупного заполнителя в монолитную структуру – легкий крупнопористый бетон. В зависимости от выбираемого крупного заполнителя и вяжущего объемная масса получаемых крупнопористых бетонов изменяется в пределах от 200 до 1600 кг/м<sup>3</sup>.



# Интерактивный («живой») бетон

## Контроль качества (в т. ч. мониторинг в/ц)

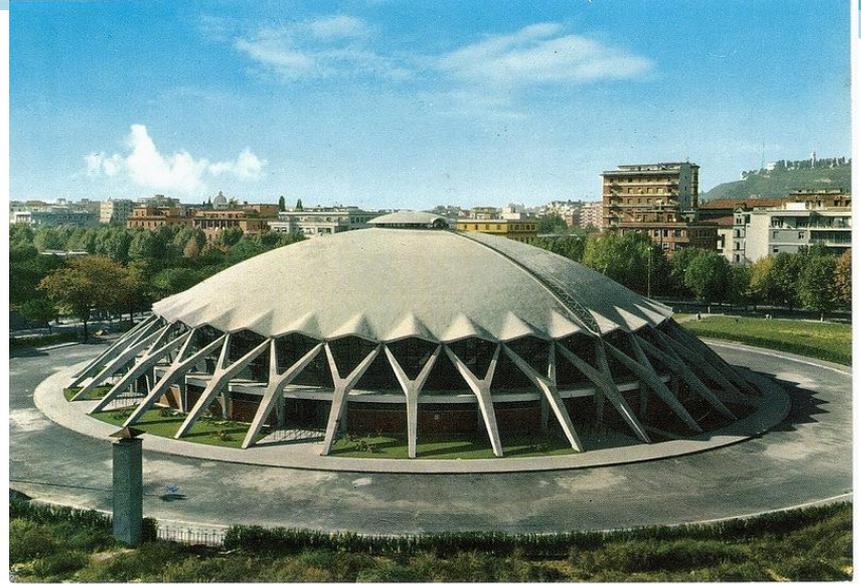
- **Электронные сенсоры**
- **Химические сенсоры**

## «Самовосстановление»

- **Управляемые неорганические реакции**
- **Управляемые органические/биологические реакции**

# АРМОЦЕМЕНТ

купол Дворца спорта в Риме

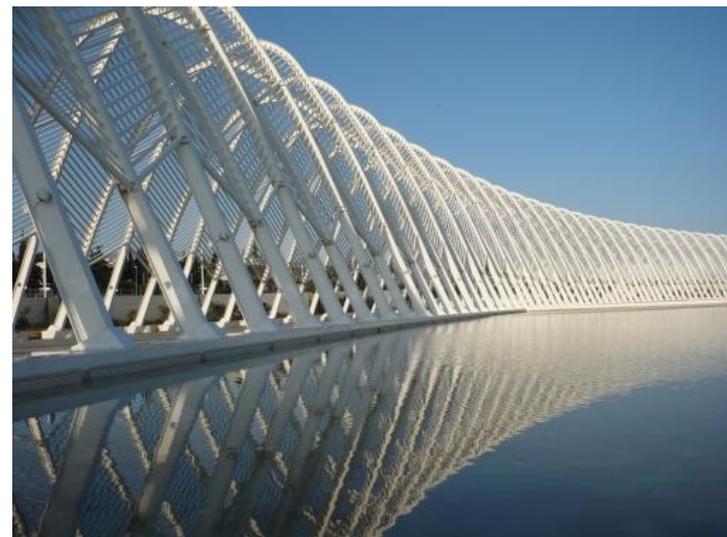


- строительный материал, представляющий собой рациональное сочетание тонких стальных сеток с мелкозернистым (песчаным) бетоном. По структуре армоцемент - разновидность железобетона, но отличается от него видом бетона и характером армирования. Сечения армоцементных конструкций криволинейные или складчатой формы. Применяют очень тонкую арматуру - в виде тканых или сварных сеток из проволоки диаметром от 0,7 до 1,2 мм, с ячейками от 6 до 25 мм (дисперсное армирование). Толщина плоских и криволинейных элементов обычно находится в пределах 10-30 мм.
- Если необходимо повысить прочность сечения конструкции, допускается частичная замена сетчатой арматуры стержнями, которые размещают в ребрах и утолщениях, образующихся при пересечении наклонных плоскостей конструкции. Такое армирование называется комбинированным, или сосредоточенным.

# Армоцемент



- Для армоцемента применяется бетон класса В25 и выше, укладываемый вибрационными или иными методами.
- Армоцементные конструкции применяются для пространственных, сборно-монолитных покрытий промышленных зданий средних и больших пролетов, в виде плит различной формы для покрытий и перекрытий, для подвесных потолков, в виде объемных элементов. Имеются примеры использования армоцемента в гидротехнических сооружениях.
- Благодаря безопалубочному изготовлению и возможности придания конструкциям разнообразных конфигураций из армоцемента возводятся сооружения сложных архитектурных форм больших пролетов



# Керамика

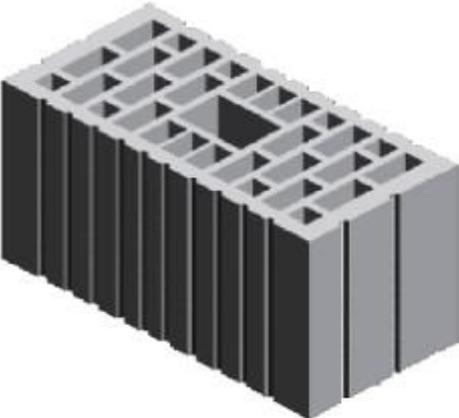
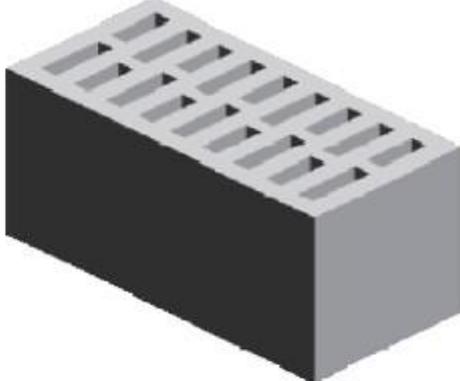
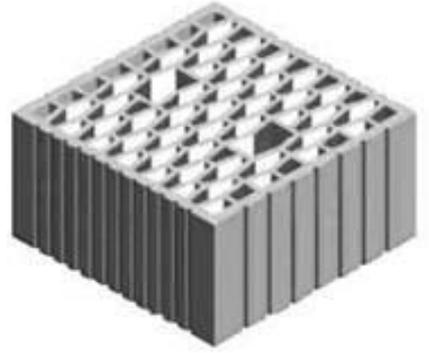
- В странах Запада до 70–80% керамических кирпичей и камней производятся номенклатурой, превышающей 200 наименований, высокопустотелые и пористопустотелые со средней плотностью до 600 кг/м<sup>3</sup> и теплопроводностью от 0,14 Вт/м.°С, что обеспечивает сбережение сырьевых и энергетических затрат на их производство и теплоэффективность возведенных из них ограждающих конструкций.
- 
- В нашей стране производится преимущественно ресурсо- и энергозатратный полнотелый кирпич. Преодоление этого отставания является перспективным направлением отечественного строительного материаловедения.

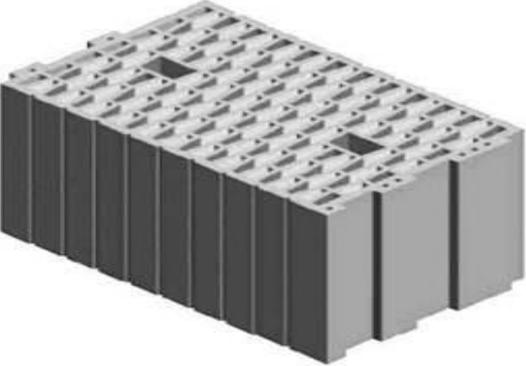
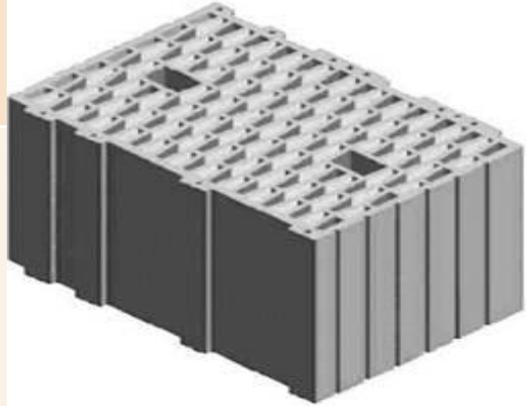
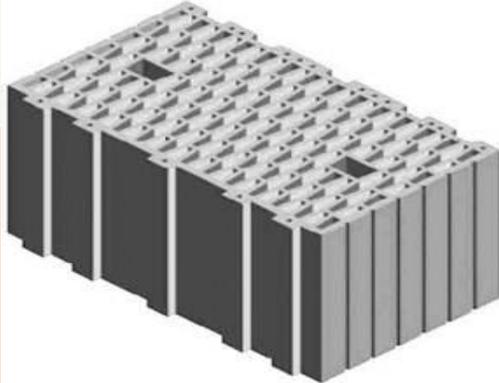
# Эффективные стеновые материалы

- Установлена эффективность в совершенствовании свойств стеновых материалов и технологии их производства:
- 
- механической, химической и механо-химической активации глинистого сырья и корректирующих добавок, активации воды затворения электрохимической и магнитной обработкой;
- введением поризующих и отошающих добавок – отходов углеобогащения, лигнина, битуминозных пород, горючих сланцев, бисерного пенополистирола, отходов обогащения асбестовой руды, отходов производства базальтового волокна, металлургических шлаков, зол ТЭС, перлита, вермикулита, керамзита, сапропеля и др.

# Оценка эффективности керамических материалов

Степень эффективности	Класс средней плотности, кг/м <sup>3</sup>	Средняя плотность
Обыкновенный	2,0-	1410-2000
малоэффективный	2,4	2010-2400
Условно- эффективный	1,4	1210-1400
Эффективный	1,2	1010-1200
Повышенной эффективности	1,0	810-1000
Высокой эффективности	0,7-0,8	710-800 До 700

Наименование изделия	Размеры изделий, мм	Обозначение размера изделия	Вид изделия
Камень с отверстием для захвата (вертикальными)	250x120x140	2,1 НФ	
Камень без отверстия для захвата (вертикальными)	250x120x140	2,1 НФ	
Камни керамические	250x250x140	4,5 НФ	

Наименование изделия	Размеры изделий, мм	Обозначение размера изделия	
Камни керамические с пазогребневой системой	250x380x219	10,7 НФ	
Камни керамические с пазогребневой системой	Наиболее применяемые типоразмеры: 380x250x219, 510x250x219	10,7НФ14,3НФ	
Камни керамические с пазогребневой системой	Наиболее применяемые типоразмеры: 250x120x140, 380x250x219, 510x250x219	2,1НФ10,7НФ14,3НФ	

- Примечание: индекс НФ показывает, сколько кирпичей стандартного размера 250x120x65 заменяет изделие. К примеру, маркировка НФ 10,7 обозначает, что камень заменит собой почти 11 кирпичей.
- Камень с пазогребневой системой - изделие с выступами на вертикальных гранях для пазогребневого соединения в кладке без использования кладочного раствора в вертикальных швах. Когда камни стыкуют в один сплошной ряд, гребни одного блока входят в пазы другого, выполняя при монтаже функцию замка. Раствор используют, только чтобы соединять кладку по горизонтали.

# Классификация крупноформатных керамических камней

Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Класс средней плотности изделия	Группа по теплотехническим характеристикам	Коэффициент теплопроводности кладки в сухом состоянии, Вт/(м·°С)
До 700	0,7	Высокой эффективности	До 0,20
710-800	0,8	Высокой эффективности	До 0,20
810-1000	1,0	Повышенной эффективности	0,20 - 0,24
1010-1200	1,2	Эффективные	0,24 - 0,36

- У полнотелого кирпича средняя плотность составляет  $1850 \text{ кг/м}^3$ , теплопроводность  $0,6 \text{ Вт/м}\cdot\text{°С}$ , крупноформатный керамический камень имеет высокую пустотность: от 50 до 72 % (для пустотелого кирпича пустотность составляет 25-40 %), что обуславливает его малую среднюю плотность -  $800-1200 \text{ кг/м}^3$  и теплопроводность от  $0,2 \text{ Вт/м}\cdot\text{°С}$ .

# Заключение.

Правильный выбор бетона гарантирует долговечность и надежность объекта, причем, осуществляться он должен еще на стадии проектирования. При возведении строительных конструкций из бетона и железобетона необходимо начинать с проверки качества и соответствия требованиям государственных нормативных документов и проектных данных исходных компонентов бетона (цемента, заполнителей и добавок). Строгое соблюдение технологии на всех стадиях изготовления бетона, постоянный контроль качества работ являются гарантией обеспечения проектной долговечности здания или сооружения.