



Современные бетоны и технологии: ЭРА ДОБАВОК

В. Р. Фаликман

Действительный член РИА

Лауреат премии Правительства РФ



- Несколько больших цифр**
- Структура производства бетона и железобетона в России**
- Структура производства бетона и железобетона в России**
- Бетон - выбор строительства**
- Бетон - материал будущего: стратегия**
- Уроки истории**
- Что побуждает к изменениям**
- Где деньги?**
- Закон пяти**
- Бетон и составляющие**
- Бетон и технология укладки**
- Поликарбосилаты**
- Бетон и формы**
- Уход за бетоном**
- Бетон и труд**
- Бетон и эстетика**
- Архитектурный бетон**
- Специальные бетоны**
- Концепция высококачественных бетонов**
- Критерии свойств высококачественных бетонов**
- Получение композиционных вяжущих и применение расширяющих добавок**
- Строительно-технические характеристики бетонов на композиционных вяжущих (ВНВ)**
- Реактивные порошковые бетоны**
- Интерактивный («живой») бетон**
- Что мешает?**
- НИР в строительном комплексе**
- «Дорожная карта»**



Несколько больших цифр:

•Мировое производство:

цемента - 2 млрд. т

бетона - 10 млрд. т

•4,5 млрд. м³ - 4500 больших футбольных стадионов
Большой Каньон - 40 млрд. м³

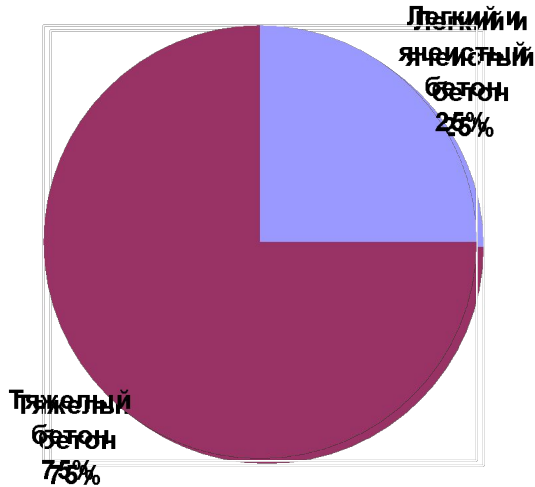
•Россия

цемент - 47 предприятий мощностью 69,2 млн. т
производят сейчас
46 млн. т

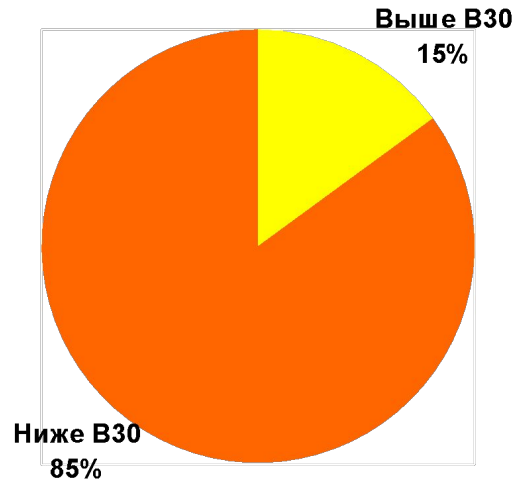
бетон - около 70 млн м³



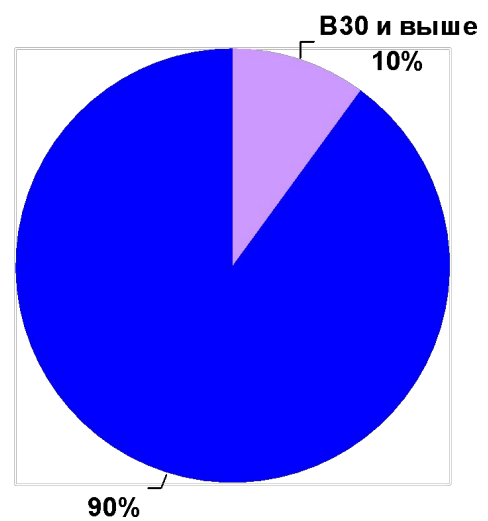
Структура производства бетона и железобетона в России



Общее производство бетона



Сборный железобетон

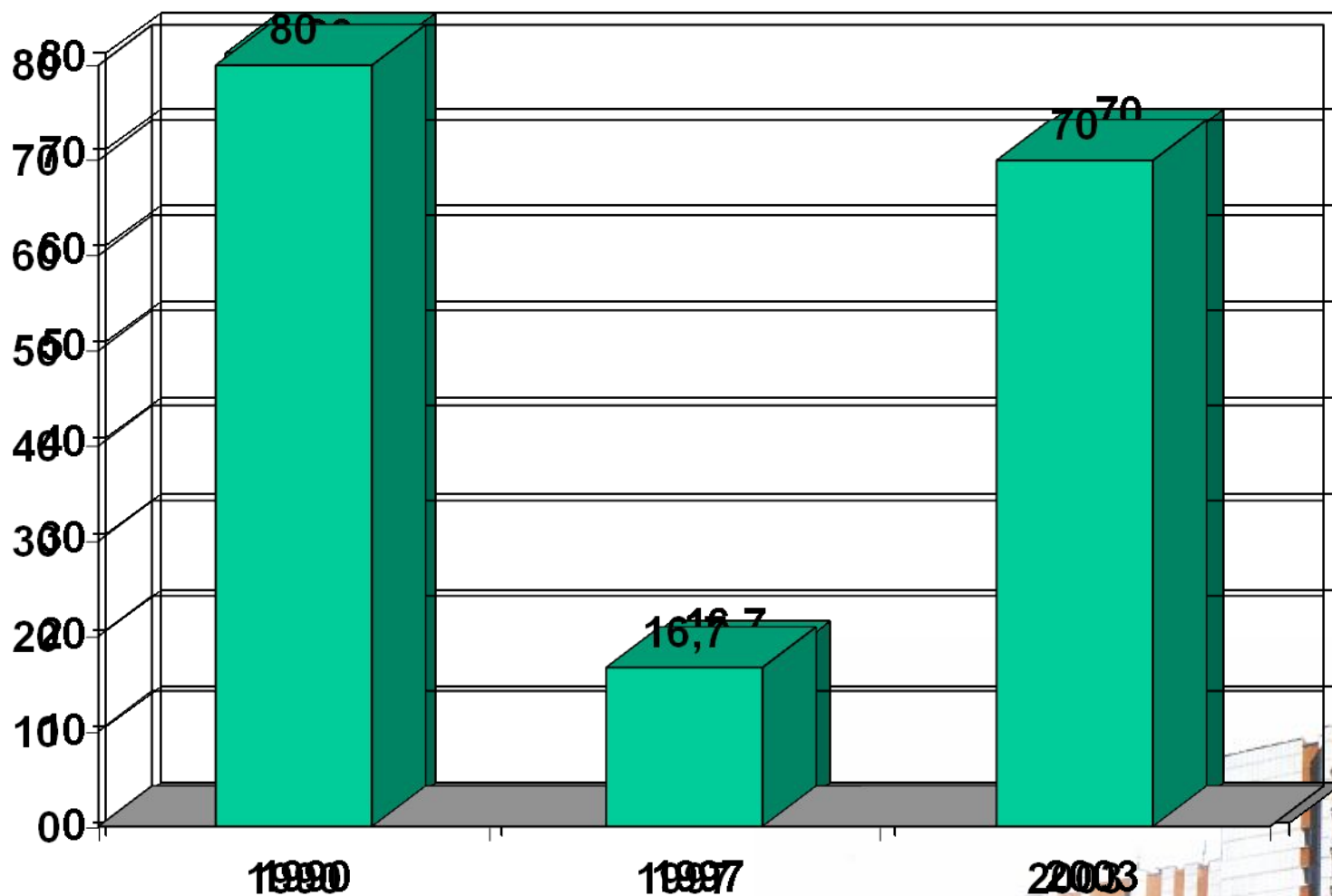


Товарный бетон

- Мелкоштучные изделия - 12-15 млн м³
- Растворы - 20 млн м³
- Сухие смеси - 740 тыс. т



Изменение объема производства железобетона в 1990-2000 гг.



3

Для справки:

1985 г., СССР:

276 млн м³ сборного железобетона

110 млн м³ монолитного железобетона

30 млн м³ строительных растворов

Преимущества:

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

Недостатки:

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



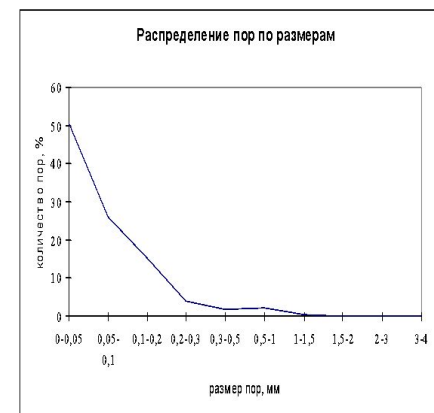
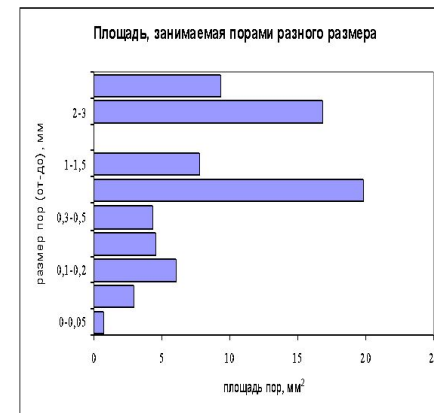
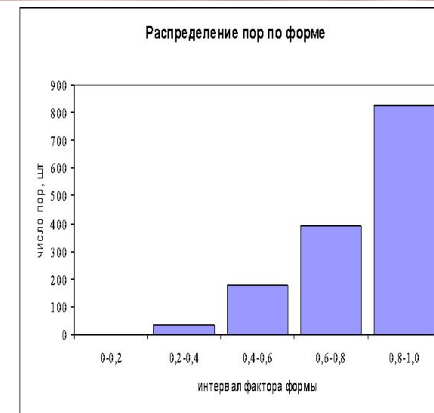
Скачкообразные изменения

- развитие новых композиционных материалов (MDF, PRC и т.д.)
- обновление процессов строительства (руководство, оборудование, проектирование, нормы)
- существенное снижение стоимости строительства и строительных материалов

Решительное изменение норм и правил

Эволюционные изменения

- постепенное улучшение свойств бетона, влияющее на полный цикл строительства и эксплуатации без необходимости существенного изменения строительных норм и правил



- **Добавки сделали возможным развитие товарного бетона**
- **Фибра привела к созданию дисперсно-армированных композитов взамен железобетона**
- **Микрокремнезем позволил создать НРС**
- **Поликарбоксилаты привели к появлению SCC**



- Снижение начальной стоимости строительства
- Снижение общей стоимости для собственника
- Требования защиты окружающей среды и технического регулирования



Материалы
%

Бетон	31
Формы (опалубка)	8
Арматура	7

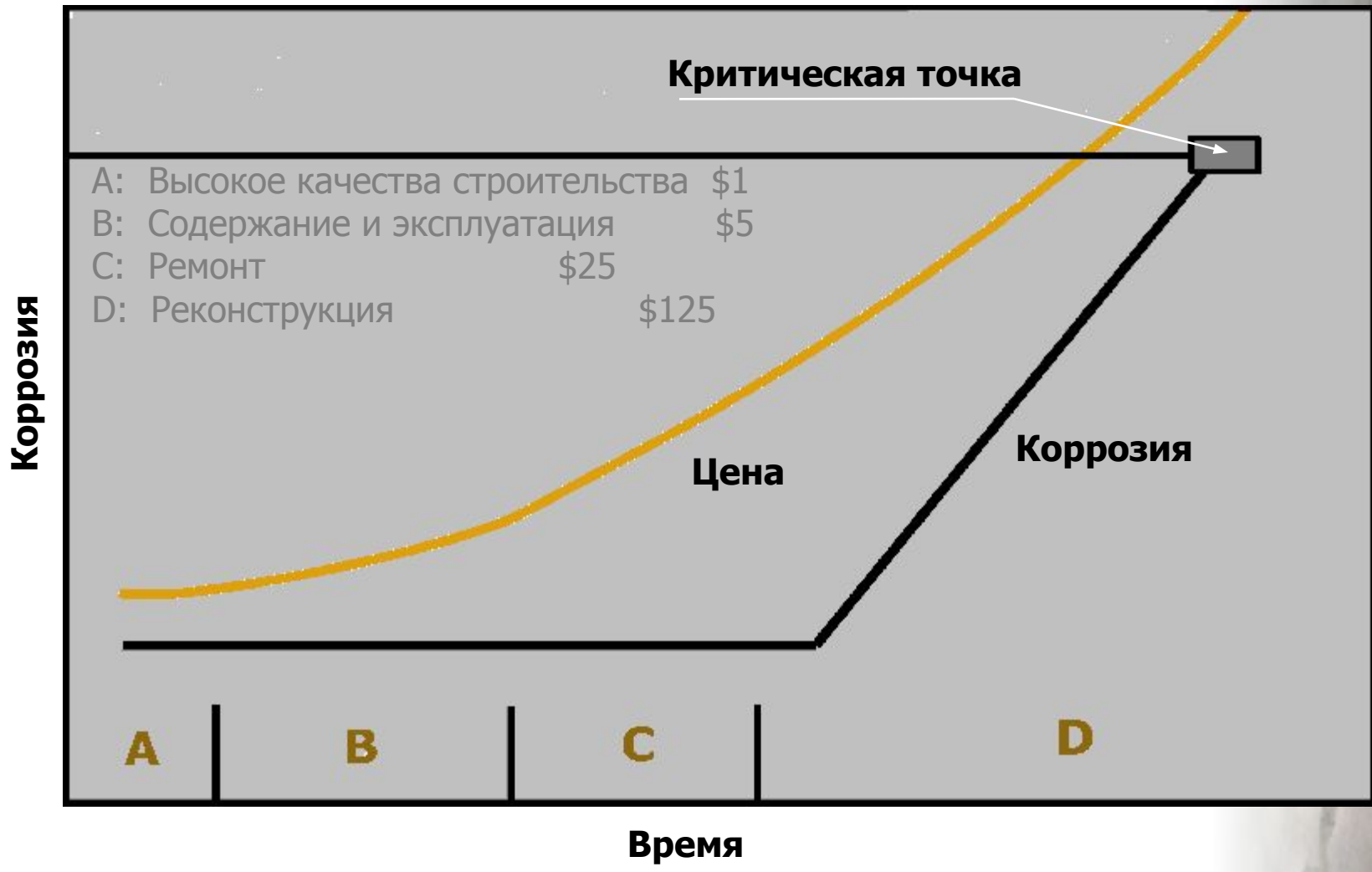
45

Труд
%

Укладка и отделка	16
Опалубочные работы	27
Арматурные работы	11

55





Применение нетрадиционных материалов в производстве обычного бетона и бетона высоких технологий (НРС)

Цементы - смешанные цементы

Заполнители - мелкие и невалифицированные заполнители

Бетонные заводы - использование рециклированной воды

- использование наполнителей и дополнительных цементных материалов



**1930 - 1960: «Контролируемая укладка» -
воздухововлекающие добавки / лигносульфонаты**
•Повышение удобообрабатываемости, появление
товарного бетона

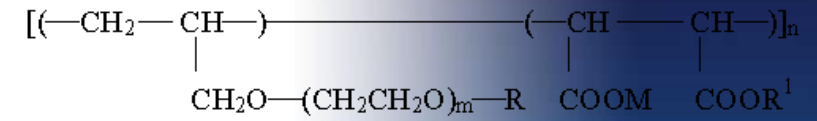
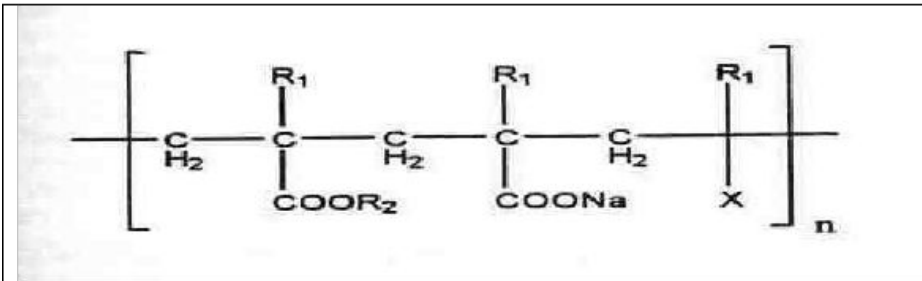
1960 - 1980: «Упрочнение бетона» (ПНС/ПМС)
•Снижение водопотребности более чем на 20%


**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

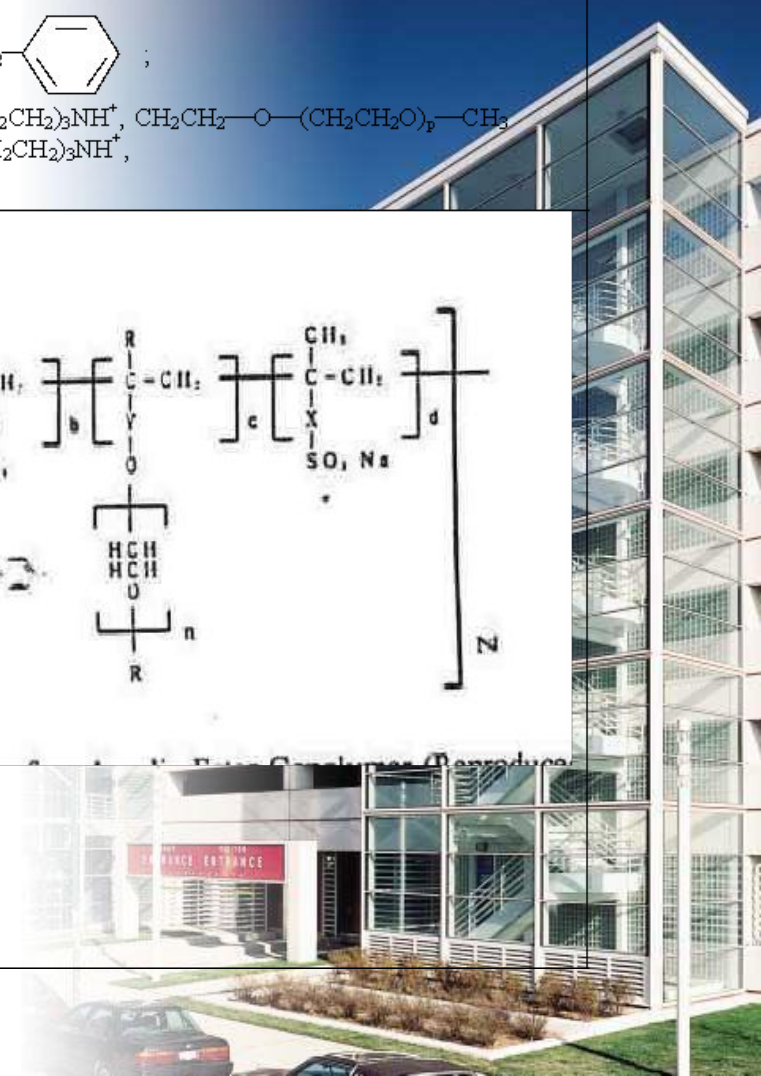
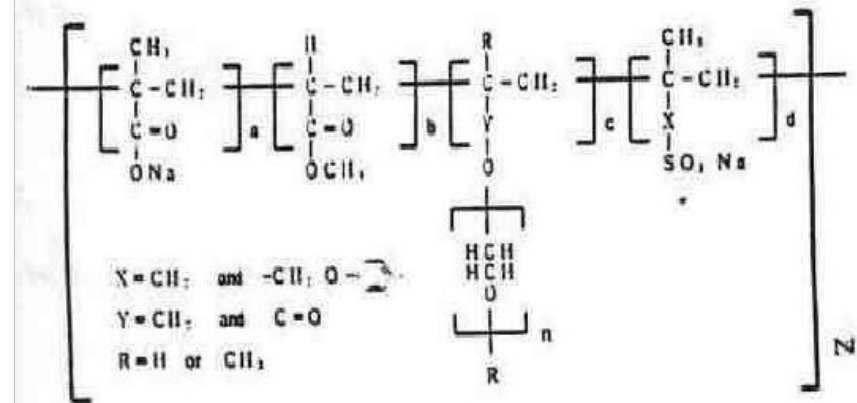
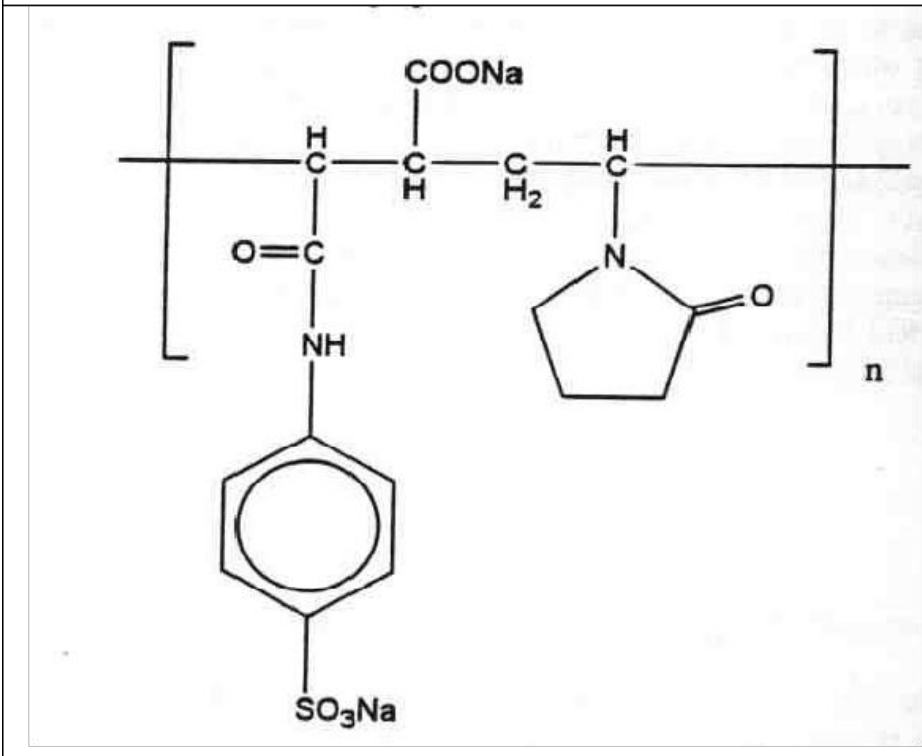


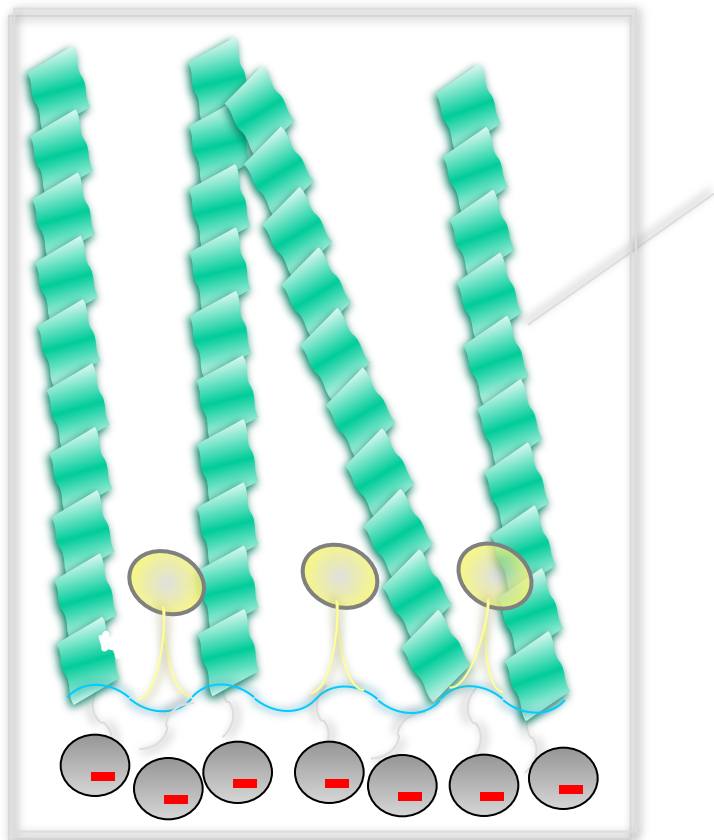
ПОЛИКАРБОКСИЛАТНЫЕ СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРЫ



где R - H, CH₃, C₂H₅, CH₂- ;

R¹ - H, Na⁺, NH₄⁺, (HOCH₂CH₂)₃NH⁺, CH₂CH₂-O-(CH₂CH₂O)_p-CH₃,
M - H, Na⁺, NH₄⁺, (HOCH₂CH₂)₃NH⁺,



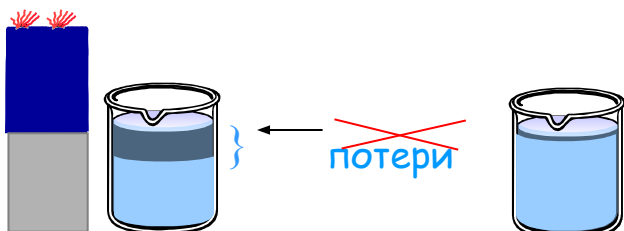


Водопотребность контролируется электрическими зарядами и боковыми цепями

Повышение сохраняемости (скорость адсорбции контролируется новыми мономерами)

Развитие ранней прочности определяется формой полимерной молекулы

Оптимизация химической структуры СП позволяет эффективнее использовать массу добавки и снизить ее зависимость от вида цемента



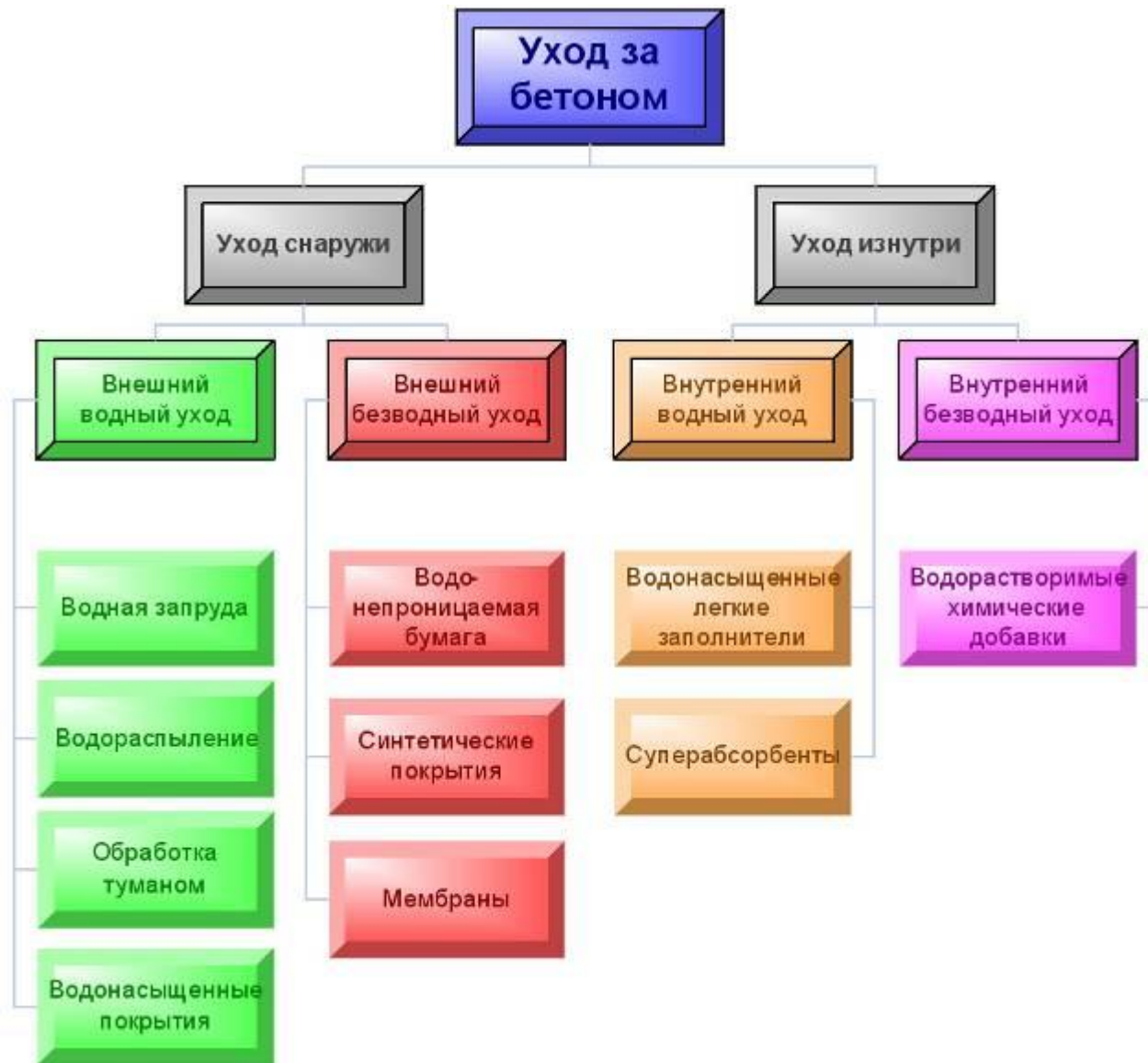
Оставляемая опалубка из высокотехнологичного пластичного бетона выполняет тройную роль

- исчезает необходимость отделки**
- внешнее армирование заменяет часть стали**
- повышается долговечность конструкции**



- Уход за бетоном критически важен для обеспечения его долговечности
- В США менее 25% бетона выдерживается согласно стандартам





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**

Значительные улучшения эстетики и архитектурной выразительности бетона

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





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*



Бетоны нового поколения

- *особовысокопрочные бетоны*
- *ультравысокопрочные бетоны*
- *бетоны высоких технологий (High Performance Concrete, HPC)*
- *бетоны на цементах низкой водопотребности (ЦНВ)*
- *бетоны с низким тепловыделением*
- *самоуплотняющиеся бетоны*
- *архитектурный (декоративный) бетон*

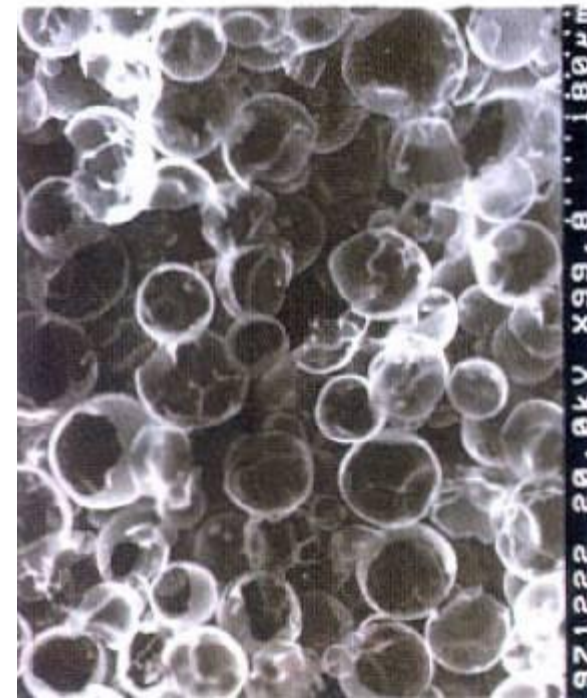
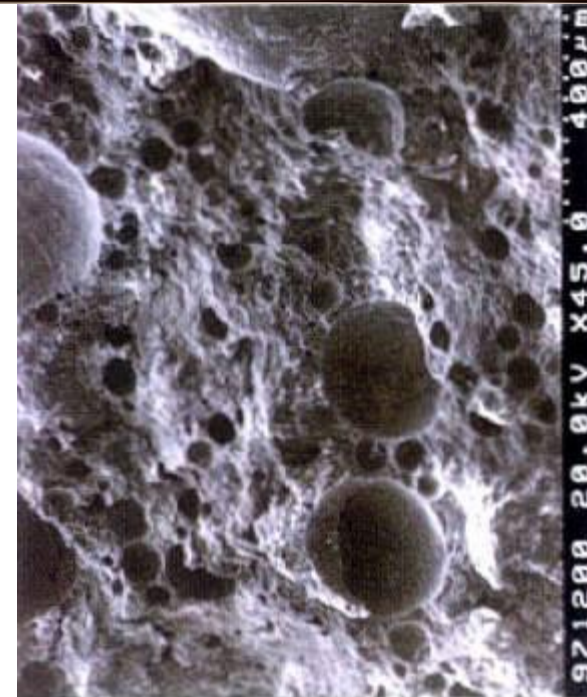
Цементные композиты

- *DSP-композиты (уплотненные системы, содержащие гомогенно распределенные ультрамалые частицы)*
- *MDF-цементов (цементы, свободные от макродефектов)*
- *PRC - цементные материалы с пониженным содержанием пор*
- *RPC - реактивные порошковые композиты*





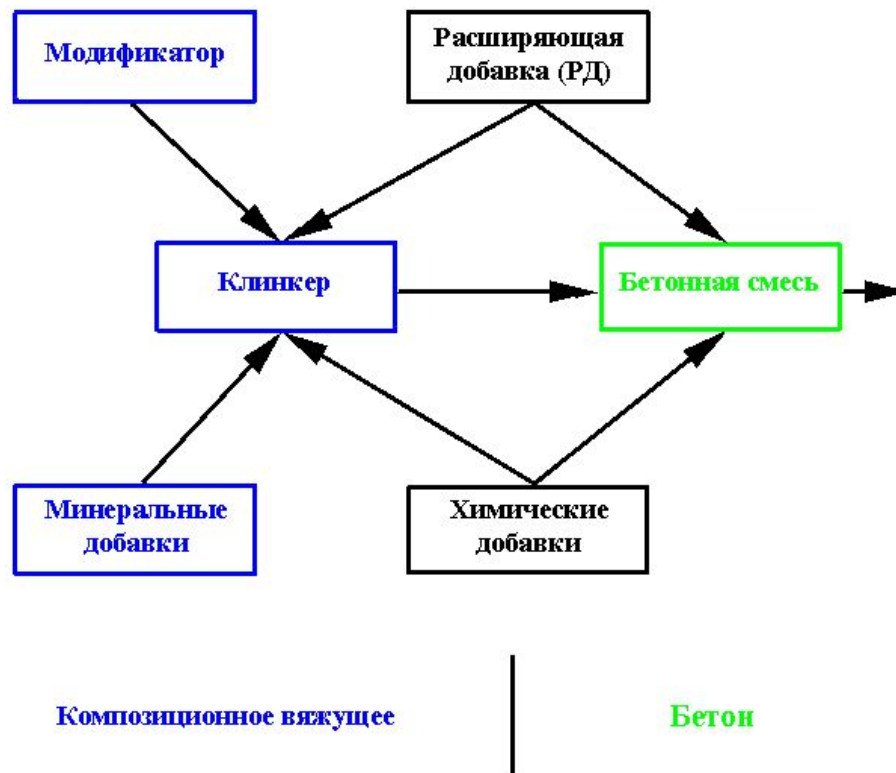
HPC ∈ [**A(HSC)**, **B(HWC)**, **C(HDC)**, **D(HVC)**, **E(ESF)**],
ESF – факторы экономических ограничений;
 $\hat{A} \sim E$ – корреляция факторов.



- Классы по прочности на сжатие - от В40 и выше до В90 (марки по прочности М600-М1200 и более)
- Прочность в возрасте 1 суток естественного твердения - не менее 25-30 МПа
- Водопроницаемость - W12 и выше
- Морозостойкость - F400 и выше
- Истираемость - не более 0,3-0,4 г/см²
- 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)



Получение композиционных вяжущих и применение расширяющих добавок



Материалы для изготовления композиционных вяжущих

Клинкерные компоненты	Портландцементный клинкер
Минеральные добавки	Доменные граншлаки
	Золошлаковые отходы
	Осадочные горные породы
Химические добавки	С-3 (Россия)
	FM-86 (Германия)
	Наносиликаты (Германия)
	Поликарбоксилаты (Германия)
	Пеногасители (Германия)
	Регуляторы структурообразования (Германия)
Расширяющие компоненты	РД (Россия)
	V 95/97 (Германия)
	Алюмосодержащие микроциклоны (Германия)
	Обожженные глиняные сланцы (Испания)
	Россия)

Строительно-технические характеристики бетонов на композиционных вяжущих (ВНВ)

Содержание вяжущего, кг/м ³	Удобоукладываемость бетонной смеси		Водовяжущее отношение	Прочность на сжатие, МПа; твердение при t=25°C W>90% и				Коэффициент призмочной прочности	Модуль упругости, МПах10 ⁴	Морозостойкость, циклов
	ОК, см	Ж, сек		1 сут	3 сут	28 сут	180 сут			
350	1-4	20-25	0,27	100,5	121,8	152,3	163,7	0,78	5,1	800
450	1-4	10-12	0,23	131,8	142,3	171,5	172,1	0,79	5,3	900
	5-9	7-10	0,25	111,5	133,4	153,1	161,8	0,77	4,5	700
550	1-4	8-11	0,20	142,1	161,8	183,2	181,3	0,85	5,5	1100
	5-9	4-6	0,23	121,8	142,3	173,5	174,1	0,82	4,7	900
	10-15	2-3	0,26	105,6	123,1	162,8	164,1	0,81	4,1	700

Примечание:

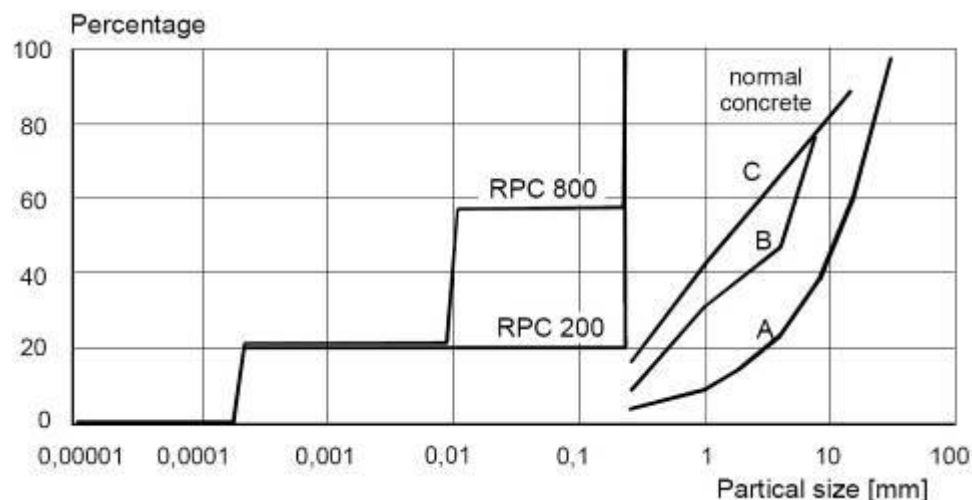
В качестве крупного заполнителя использовался "кубовидный" щебень из квародиаба.

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.



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

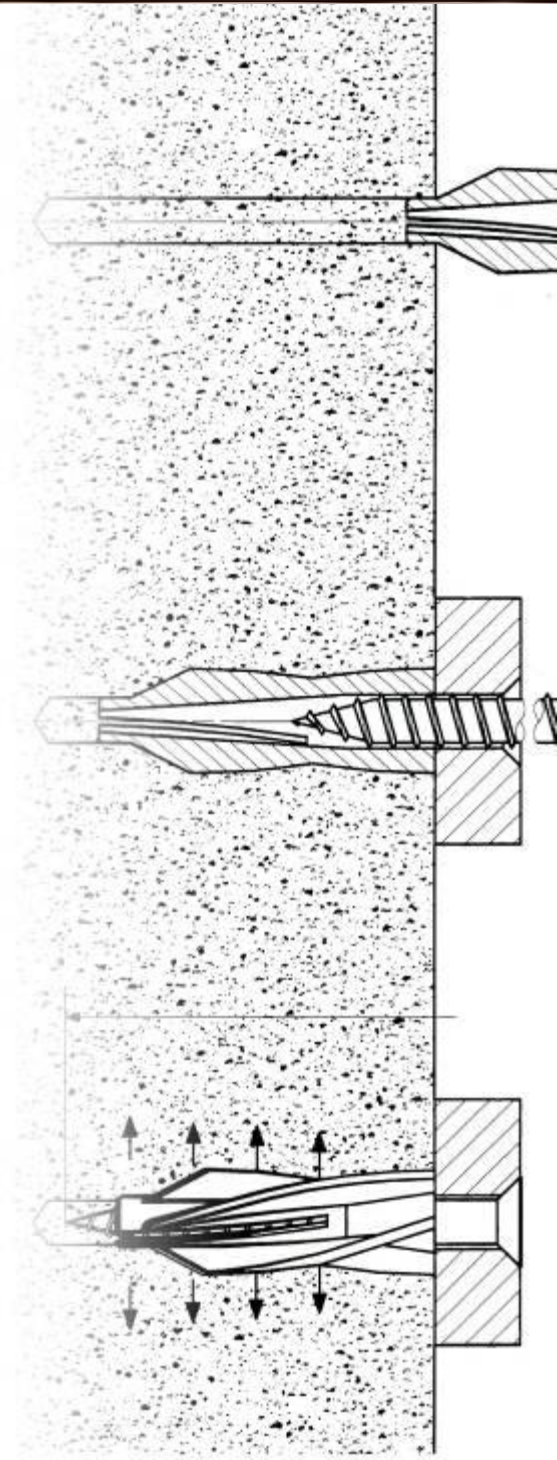
- **Электронные сенсоры**
- **Химические сенсоры**

«Самовосстановление»

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



- Развитие инноваций и их адаптация происходит очень медленно
- Слабые стимулы к инвестированию в НИР



Отрасль индустрии	Объем НИР, % продаж
Строительство, в т. ч. подрядчики	0,2 – 0,4 0,0025
В целом, по индустрии	3,5 – 4,5
• в т. ч. химия	4,7
• двигатели машин	3,8
• полупроводники	15,5
• компьютеры и офисное оборудование	4,6



Constituent Materials	
New Materials	<ul style="list-style-type: none"> · <i>Noncorroding steel reinforcement</i> · <i>Families of innovatively manufactured concrete with predictable performance</i> · <i>New materials to reduce shrinkage and cracking</i> · <i>Reduction of alkali-silica reactions in concrete</i> · Fiber-reinforced composites · Rebar and welded wire reinforcement, four categories: (a) stainless steel, (b) zinc - coated, galvanized, and epoxy-coated (c) epoxy-coated, and (d) combination zinc- and epoxy-coated · Materials for active and passive corrosion prevention · New aggregate sources and types, including compatible lightweight aggregates · Methods for accurate characterization of aggregate shape and size · Reactive powder concretes · New admixtures and cementitious materials · Cements of specified performance · Corrosion-inhibiting admixtures · Smart materials · Self-consolidating, self-leveling concrete · Cement produced with improved energy efficiency and reduced environmental impact (see Energy & Environment) · Alternative fuels used in production of constituent materials · Optimized use of cementitious materials · Advanced concrete mixtures to reduce dependence on reinforcement · Advanced mixtures to promote internal curing and prevent shrinking and cracking · Acid-, fire-, and heat-resistant cementitious composites · Sulfate- and alkali-silica-resistant concrete · Moisture-insensitive mastics · Controlling vapor migration in slabs · Guidelines for concrete to be used in impervious overlays · Performance-based standards · New materials from novel waste streams · Supercritical carbon dioxide research for rapid strength
Performance Measurement and Prediction	<ul style="list-style-type: none"> · <i>Prediction methods and models for permeability, cracking, durability, and performance (including environmental interactions)</i> · <i>Tools and data for quantifying benefits of using alternative materials</i> · Tests for alternative reinforcement materials · Prediction model for exposed structures with >2" cover over black steel rebar and welded wire reinforcement · Models for predicting the performance of zinc-coated, epoxy-coated, combination zinc- and epoxy-coated, and stainless steel reinforced concrete structures · Measurement and prediction of self-desiccation in concrete · Multi-scale modeling to connect microstructure with engineering properties · Joint concrete and steel industry research to minimize corrosion of reinforcing steel · Predictive models to augment/replace QC tests
Reuse and Recycling	<ul style="list-style-type: none"> · <i>Reuse of high-alkali wastewater</i> · Aggregate recycling · Incorporation of waste and by-product materials from other industries · Reuse of cementitious materials, cement kiln dust, and other waste products

*High-priority research needs are in *bold italics*

