

# Проблемы применения нанотехнологии



Докладчик:

Младший научный сотрудник НОЦ «Нанотехнологии» МГСУ Гришина А.Н.

# Определения и принципы нанотехнологии

- **Новые технологии** – это то, что венчает многогранное движение человечества вперёд по пути прогресса. Технологии определяют качество жизни каждого человека и мощь государства.
- **Нанотехнологии** – технология объектов, размеры которых порядка  $10^{-9}$  м (атомы, молекулы); включает атомную сборку молекул, новые методы записи и считывания информации, локальную стимуляцию химической реакций на молекулярном уровне, включая атомную сборку молекул, новые методы записи и считывания информации, локальную стимуляцию химической реакций на молекулярном уровне и др.
- При этом *любую химическую реакцию нельзя рассматривать как нанотехнологию*

# Дефиниции

- **Технология** (от греч. *techné* – искусство, мастерство, умение и ...логия), совокупность методов обработки, изготовления, изменения состояния, свойств, формы сырья, материала или полуфабриката, осуществляемых в процессе производства продукции; научная дисциплина, изучающая физические, химические, механические и другие закономерности, действующие в технологических процессах. Технологией называют также сами операции добычи, обработки, транспортировки, хранения, контроля, являющиеся частью общего производственного процесса.
- **Приставка «нано»** – первая составная часть наименований единиц физических величин, служащая для образования наименований дольных единиц, равных миллиардной доле исходных единиц.
- **Нанотехнология** – это совокупность методов получения продукции (изделий) посредством организации вещества на наноуровне.

# Нормативные документы

## СТАНДАРТ Е 2456-06

«Терминология в нанотехнологии»

Подготовлен:

Американским институтом инженеров в области химии (AIChE), Американским обществом механиков (ASME), Институтом электроники и электротехники (IEEE), Японским национальным институтом прогрессивной науки и техники (AIST)

1) *агломерат* (agglomerate) – группа частиц, объединенных относительно слабыми силами (например, Ван-дер-ваальсовыми или капиллярными), которые могут ослабляться, особенно в малых частицах, например, после обработки;

2) *агрегаты* (aggregate) – совокупность индивидуальных частиц, объединенных прочными связями (например, металлические, сплавленные или обожженные частицы);

3) *дисперсные частицы* (fine particle) – частицы с размерами 0,1 ... 2,5 мкм (100...2500 нм);

4) *наночастицы* (nanoparticle) – частицы, имеющие, по крайней мере, в одном направлении размер 1...100 нм и проявляющие связанные с размером переходные свойства.

## ЕВРОПЕЙСКАЯ ПРОГРАММА

«Стратегия развития нанотехнологии до 2015 года в секторах: материалы, здоровье и медицинские системы, энергия»

Подготовлен:

Европейской комиссией, состоящей из представителей стран: Южная Африка; Испания; Ирландия; Швейцария; Франция; Бельгия; Италия; Словацкая Республика; Израиль; Швеция; Великобритания; Чешская республика; Германия.

*Наночастицы* – частицы с размером до 100 нм и обладающие новыми свойствами по сравнению с большими частицами.

Могут быть изготовлены из различных материалов: *оксидов металлов, керамики, силикатов, металлов и неоксидной керамики.*

Наночастицы различаются строением: имеются частицы в виде *хлопьев, сфер, бревовидных форм* и т.д.

Форма строения зависит от вида материала частицы: металлические и наночастицы из оксидов металлов имеют *сферическую форму*; силикатные наночастицы имеют форму *хлопьев* с размерами в двух из направлений в диапазоне 100...1000 нм.

*Наноусилители полимерных композитов* (nanoclay-reinforced polymer composites), которые по сравнению с традиционными наполнителями повышают показатели механических свойств композитов при невысоких концентрациях модификатора (обычно до 5%). В качестве таких наномодификаторов предлагается использовать монтмориллонит, модифицированный органическими соединениями, силикагель и poss-наночастицы.

# Дополнительная полезная информация

- **Методические указания МУ 1.2.2520-09 «Токсиколого-гигиеническая оценка безопасности наноматериалов»**
- Область применения: Требования, изложенные в настоящих методических указаниях, применяются при осуществлении *государственной регистрации продукции, полученной с использованием нанотехнологий или содержащей наноматериалы, впервые разрабатываемой и внедряемой для промышленного изготовления на территории Российской Федерации на этапе ее подготовки к производству, а также впервые ввозимой и ранее не реализовывавшейся – до ее ввоза на территорию Российской Федерации.*

# Комплект документов

- Область применения и рекомендуемые уровни внесения; торговое, химическое наименование наноматериала; точное название, адрес, реквизиты изготовителя; **метод получения; состав наноматериала** (название и формула(ы) вещества или веществ, входящих в его состав, его (их) молекулярная масса); сведения об идентичности представленного образца выпускаемой продукции; нормативно-техническую документацию на отечественную продукцию, **включая все конструкционные элементы**; протоколы отдельных разделов токсиколого-гигиенических испытаний на безопасность продукции (если таковые имеются), выполненных в аккредитованных лабораториях; специфический метод определения наноматериалов в продукции; для оценки многокомпонентных материалов, если наноматериал находится в растворителе или на носителе, **подробная рецептура композиции**;
- Реквизиты импортной продукции дополнительно должны содержать: **сертификаты фирмы-производителя о безопасности продукции**, протоколы испытаний в аккредитованных лабораториях (центрах) зарубежных стран; **физические характеристики наноматериалов** (размер и распределение по размеру частиц, форма частиц, площадь поверхности, пористость, агрегатное состояние); **физико-химические характеристики наноматериалов** (растворимость в воде и биологических жидкостях, заряд частиц, кристаллическая структура, адсорбционная емкость, устойчивость к агрегации, гидрофобность, адгезия наночастиц к поверхности, химическая активность (в том числе способность генерировать свободные радикалы), **способность к биодеградации**; молекулярно-биологические характеристики (взаимодействие с ДНК, РНК, клеточными мембранами, белками); цитологические характеристики (цитотоксичность, способность к накоплению в клетках, влияние на протеомный и метаболомный профиль); **токсикологические характеристики** (потенциальные пути проникновения в организм, острая токсичность, подострая токсичность, хроническая токсичность, кумулятивное действие, местнораздражающее действие, отдаленные эффекты (мутагенность, эмбриотоксичность, тератогенность, канцерогенность), **иммунотоксичность, аллергия, накопление в органах и тканях**, проницаемость барьеров организма для токсикантов, проникновение через барьеры организма); разрешение уполномоченных органов страны-изготовителя на использование наноматериалов в странах-импортерах.

# Распоряжение Правительства РФ №1192-р от 07.07.2011 г.

К продукции наноиндустрии относится продукция (товары, услуги), произведенная с использованием нанотехнологий и обладающая вследствие этого ранее недостижимыми технико-экономическими показателями.

# Категории продукции наноиндустрии в части товаров и услуг

- **Категория «А»** (первичная нанотехнологическая продукция) – товары, представляющие собой наноконпоненты (нанообъекты и наносистемы), в том числе используемые как сырье и полуфабрикаты для производства продукции наноиндустрии категорий «Б», «В» и «Г».

## *Условия соответствия к категории «А»:*

- продукция содержит составляющие компоненты, которые определяют ее функциональные свойства и (или) потребительские характеристики и размер которых хотя бы в **одном измерении находится в пределах от 1 до 100 нм.**
- продукция произведена путем манипулирования отдельными атомами и молекулами, в том числе с использованием биохимических технологий.



# Категории продукции наноиндустрии в части товаров и услуг

- **Категория «Б»** (наносодержащая продукция) – товары, содержащие наноконпоненты (продукцию наноиндустрии категории «А»).

Условия отнесения к категории «Б»:

- если наноконпоненты придают продукции новые, принципиально важные для нее функциональные (механические, физические, физико-химические и др.) свойства или обеспечивают **существенное улучшение ее технико-экономических и (или) потребительских характеристик.**

# Категории продукции наноиндустрии в части товаров и услуг

- **Категория «В»** – услуги (товары, не содержащие нанокomпоненты), при оказании (производстве) которых используются нанотехнологии и (или) нанокomпоненты (продукция наноиндустрии категории «А»).

Условие отнесения к категории «В»:

- если использование нанотехнологий и (или) нанокomпонентов обеспечивает существенное улучшение технико-экономических и (или) потребительских характеристик оказываемых услуг (производимых товаров).

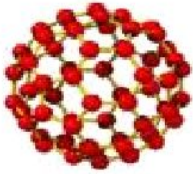
# Категории продукции наноиндустрии в части товаров и услуг

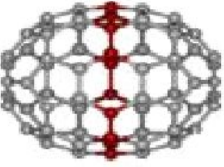
- **Категория «Г»** – товары, представляющие собой специальное оборудование для нанотехнологий

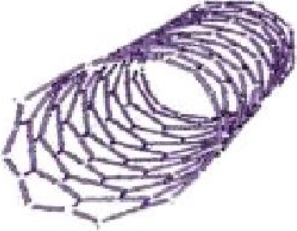
Условие отнесения к категории:

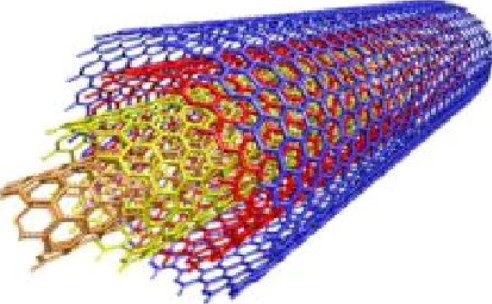
- обеспечивает качество измерения и (или) контроля характеристик наноконпонентов, недостижимое иными методами.
- обеспечивает возможность контролируемого манипулирования отдельными атомами и молекулами, в том числе при производстве нанопродукции категорий «А», «Б» и «В».

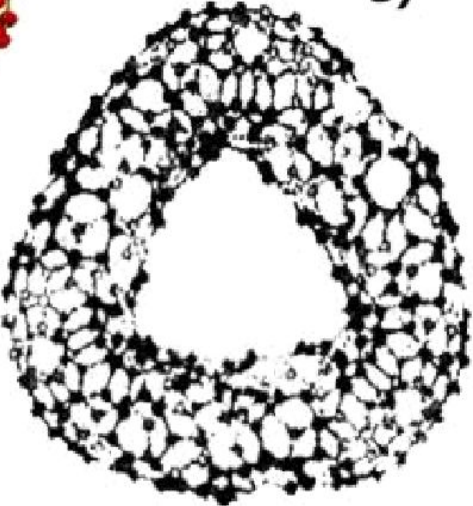
# Основные виды углеродных наноразмерных материалов

1)  1-фуллерен C-60

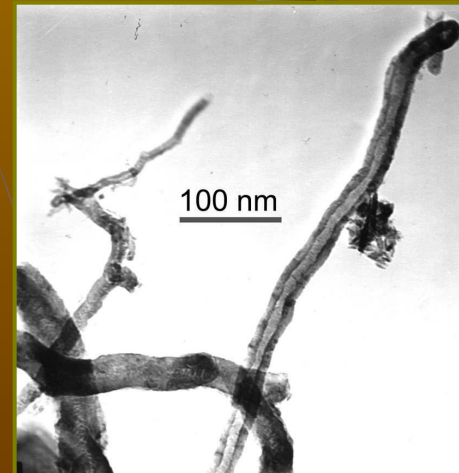
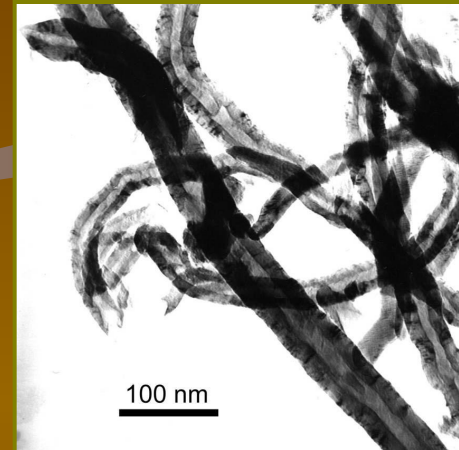
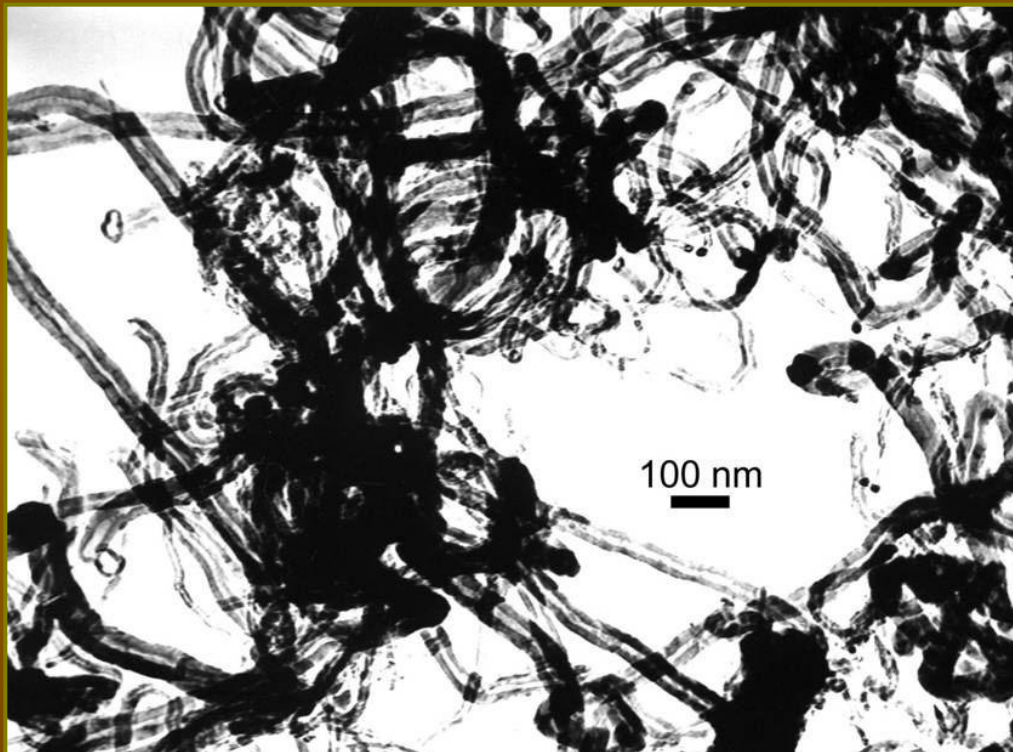
2)  2-фуллерен C-70

3)  3-однослойная нанотрубка

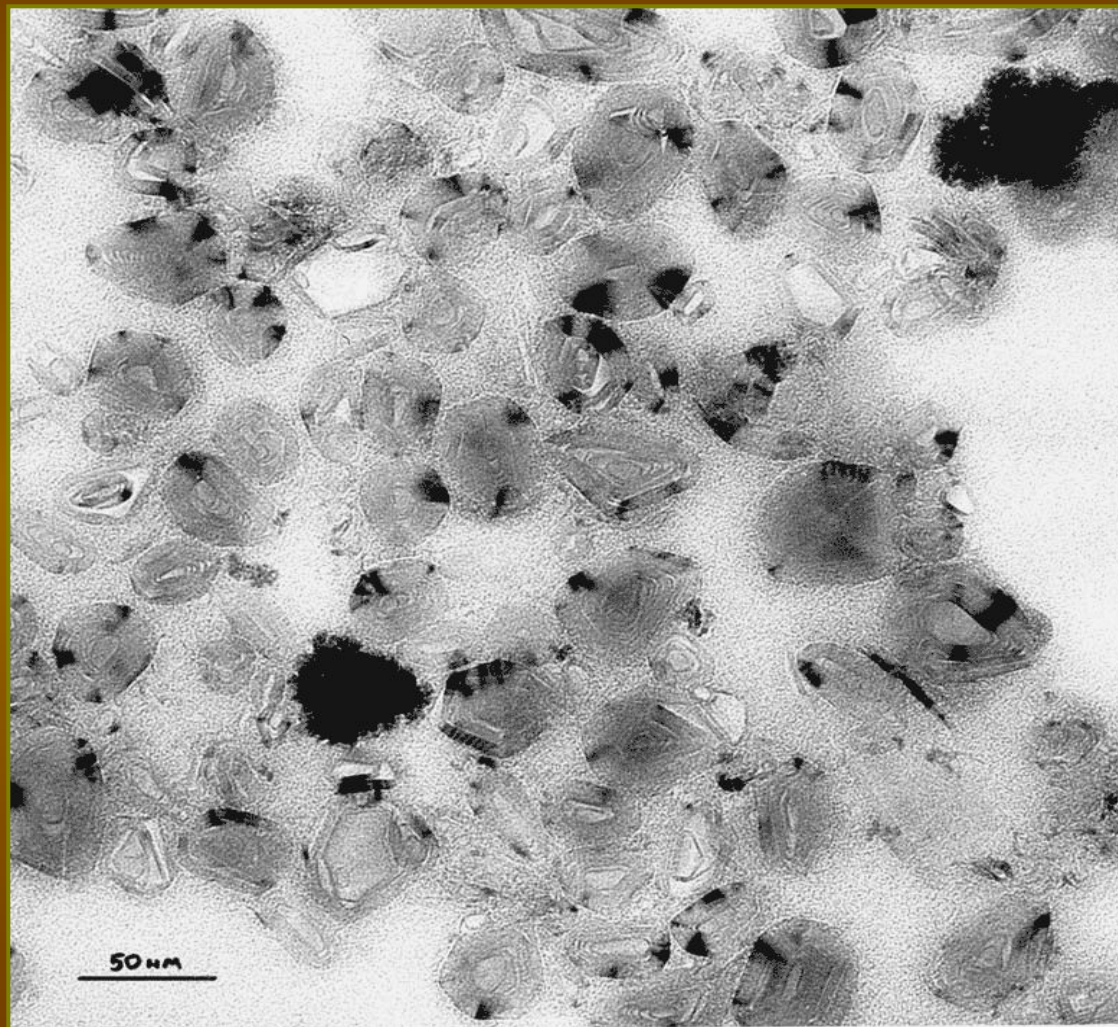
4)  4-многослойная нанотрубка

5)  5-полиэдральная многослойная наночастица-астрален

# Фотографии многослойных углеродных нанотрубок



# Фотографии астраленов



# Определения наноматериалов

- **Наноматериалы** (нанофазные материалы, наноструктурированные материалы, объемные наноматериалы) – материалы, содержащие **более 10%** по объему наноразмерных элементов.
- **Наномодифицированные материалы** – материалы, содержащие **менее 10%** по объему наноразмерных элементов.

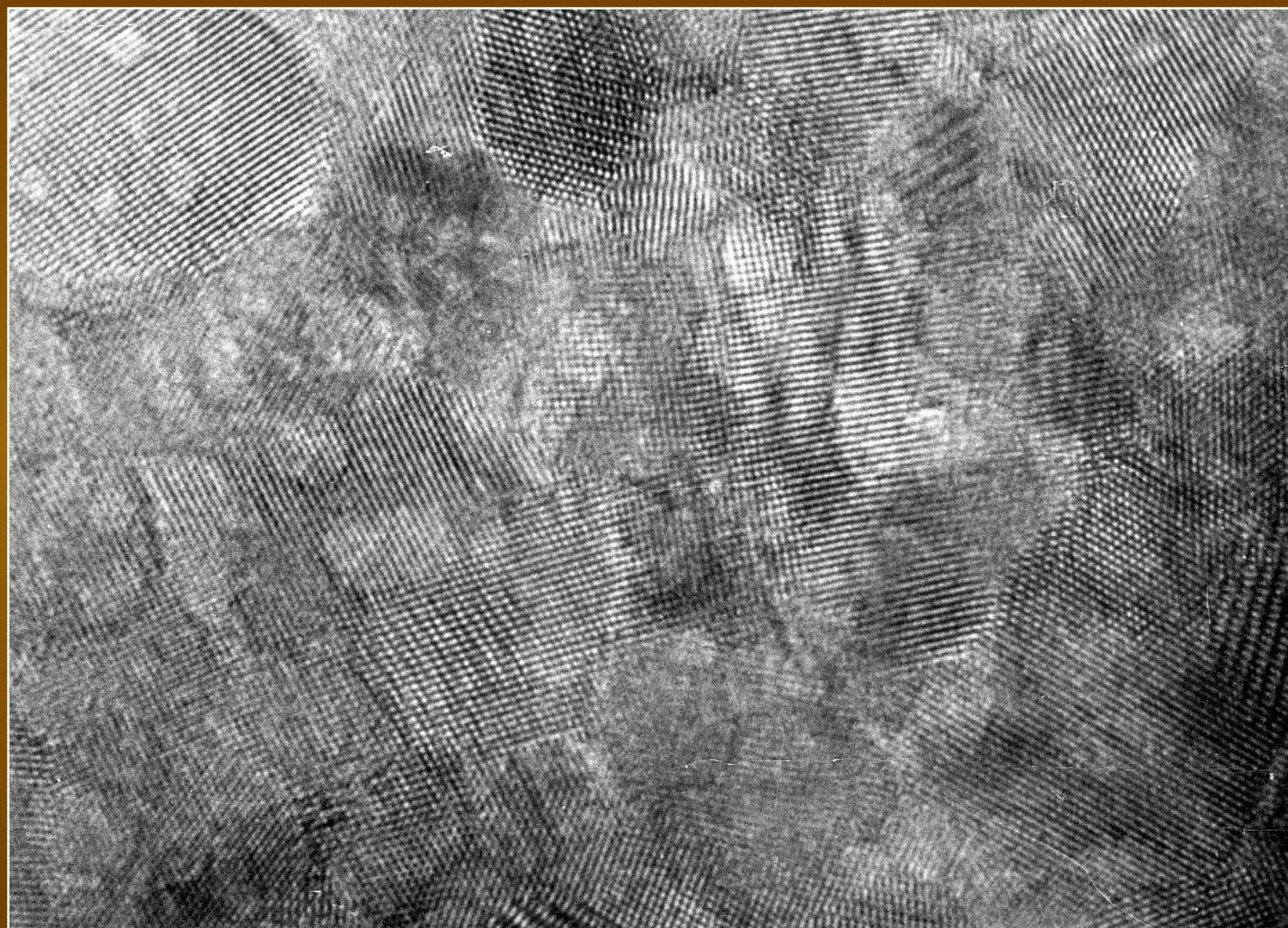
«К такой категории нанопродукции относятся в первую очередь разнообразные изделия с нанопропрочняющими или иными нанофункционализирующими покрытиями. Считать такие продукты продуктами nanoиндустрии можно лишь в том случае, если наноконпоненты создают **принципиально новые функциональные и потребительские характеристики** нанопродукции и наноконпоненты являются неотъемлемой частью произведенного изделия». Академик РАН М.В. Алфимов

# Нанобетон

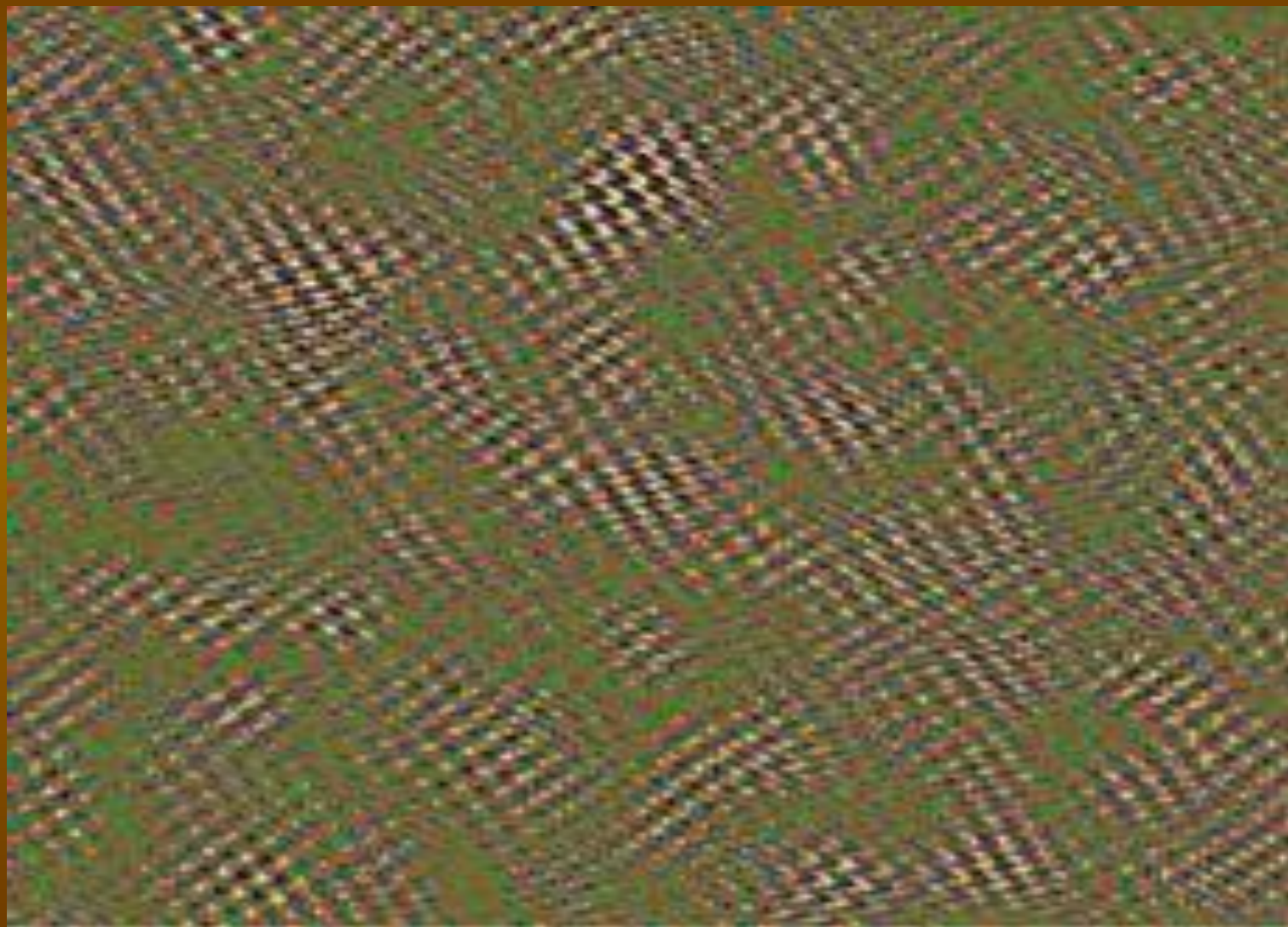
- «Нанобетон ... это вовсе не конкретный бетон, а только лишь обозначение бетона, который каким-то образом связан с какими-то наноматериалами, или нанотехнологиями». (А.Н. Пономарев ООО «НТЦ прикладных нанотехнологий»)
- «Нанобетон – это группа методов и спектр наноматериалов, использование которых в различных сочетаниях позволяет управлять набором свойств строительных композиций на основе минеральных вяжущих. Общий признак: нанобетон обладает теми или иными преимуществами благодаря своей особой структуре, задаваемой на нано- и микроуровнях. При этом нанобетонами могут быть названы бетоны совершенно различных классов и марок». (М.Е. Юдович ООО «НТЦ прикладных нанотехнологий»)



# Атомная структура наноматериала



# Общий вид наноматериала



# Достижения по наноструктурированному бетону

С применением синтезированных углеродных наноразмерных добавок фуллероидного типа «разработан и поставлен на производство «Бетон наноструктурированный легкий» со следующими характеристиками:

- плотность – 1,2-1,6 т/м<sup>3</sup>;
- прочность на сжатие – 30-60 МПа;
- прочность на изгиб – 4-8 МПа;
- теплопроводность – менее 0,2-0,4 Вт/(м\*К);
- водопоглощение – не более 0,4 %;
- водонепроницаемость – W20;
- огнестойкость – более 780 °С;
- морозостойкость – F300-F350.»

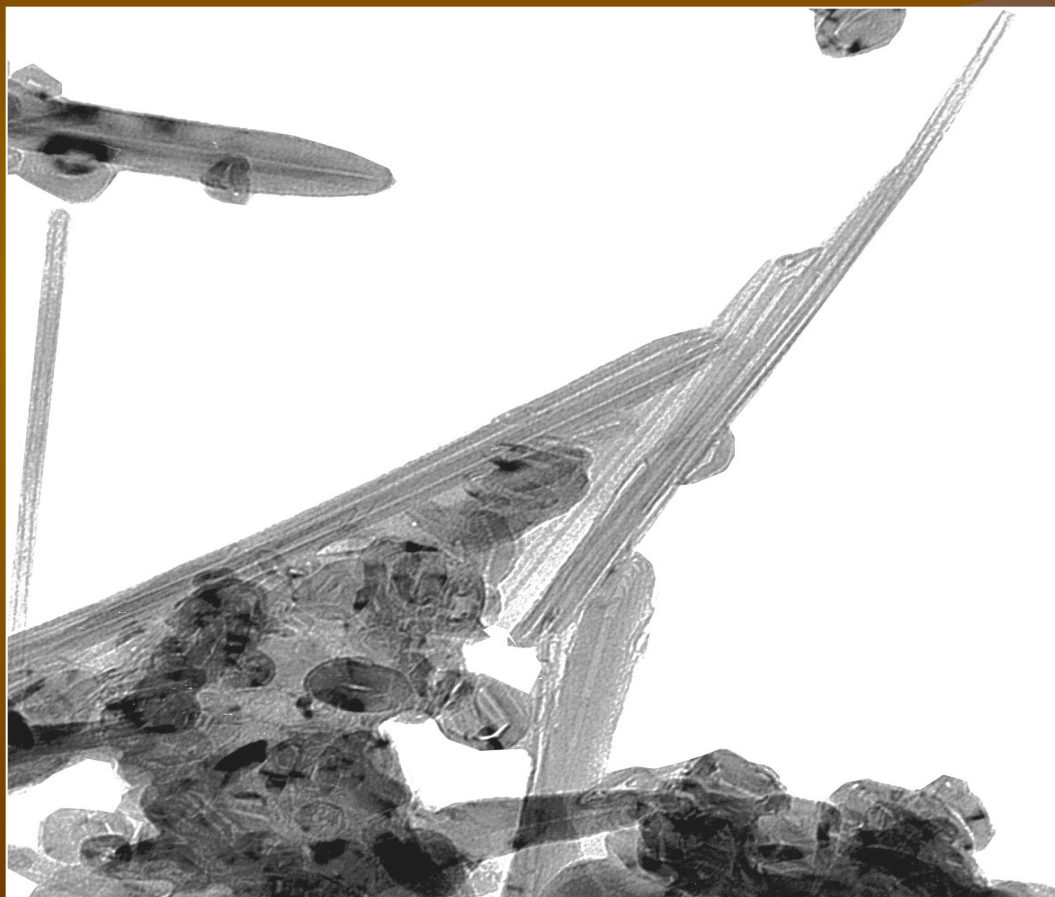
**Источник:** Статья «Перспективы применения нанобетона в монолитных большепролетных ребристых перекрытиях с постнапряжением» авторов: Е.В. Кишеневская, Н.И. Ватин, В.Д. Кузнецов (Журнал Инженерно-строительный журнал, №2, 2009).

# Углеродные наноматериалы

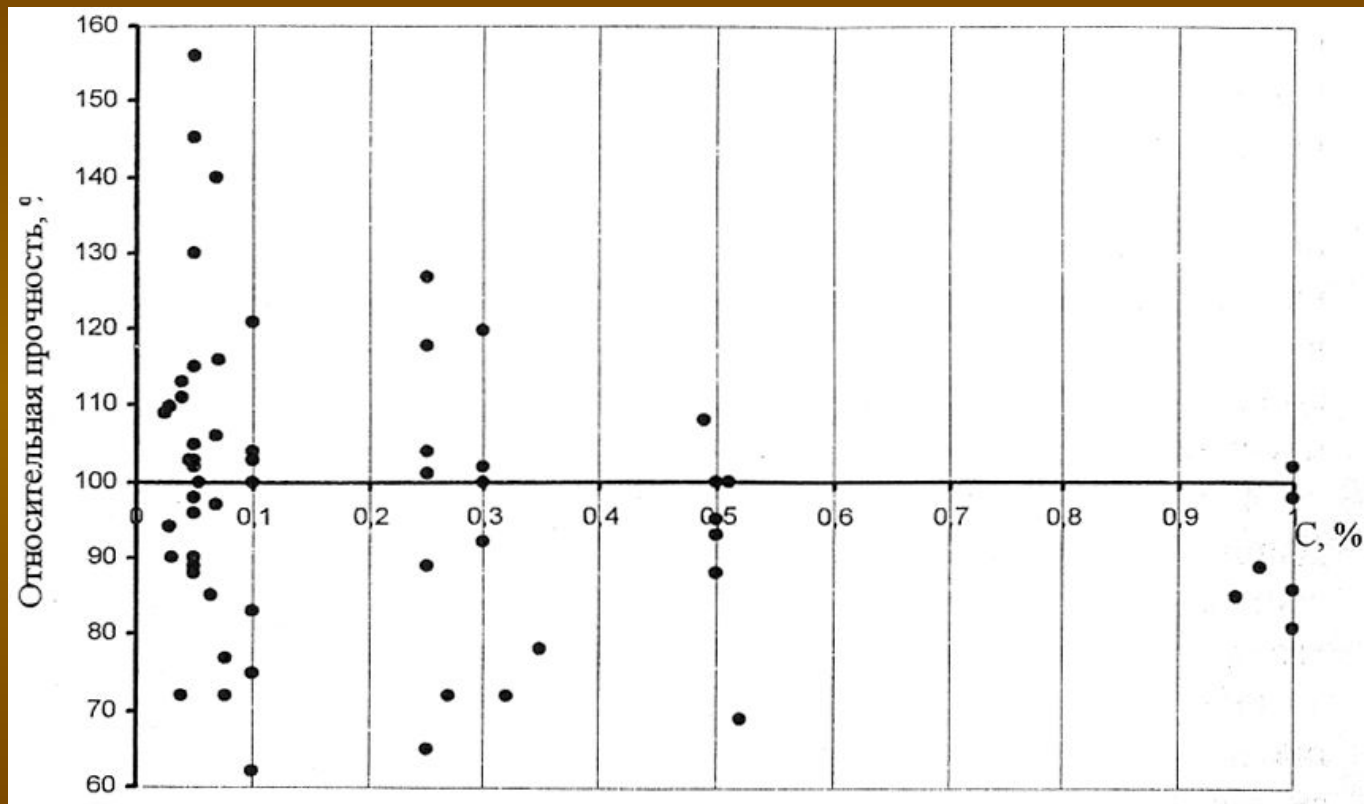
## серии «Таунит» ООО «НаноТехЦентр» (г. Тамбов)

- **Композиционные материалы** – модифицирующая добавка УНТ повышает прочность (в 1,5-3 раза), электропроводность, теплопроводность, изменяет структуру композитов на основе полиэтилена, полипропилена, фторопластов, полиуретана и др.
- **Строительные материалы и дорожные покрытия** – применение сверхмалых добавок (0,001-0,0001%) в бетоны повышает в 1,2-2 раза их прочность, температуроустойчивость, снижает трещинообразование.

# Фотография агломерации астраленов на многослойных нанотрубках



# Влияние УНТ на прочность бетона



Источник: А.Н. Слижевский, Самуйлов Ю.Д., Батяновский Э.И. О Влиянии углеродных наноматериалов на свойства цемента и цементного камня

# Другие наномодификаторы

- **Структурирующие добавки (наноразмерные гидросиликаты кальция)** – ускорение твердения до 50%, повышение прочности сцепления до 30%, повышение прочности при сжатии в 2-3 раза, повышение трещиностойкости в 2 раза
- **Нанолнитель (модифицированный диатомит)** – ускорение твердения до 50%, повышение прочности сцепления в 2 раза, повышение прочности при сжатии в 2-2,5 раза, повышение трещиностойкости в 2 раза
- **Наночастицы диоксида титана** – экономия цемента до 10%, снижение стоимости 1 м<sup>2</sup> изделий на 15...20%.

# Другие наномодификаторы

- **Наноразмерный диоксид кремния** – повышение скорости набора прочности (увеличение тепловыделения), увеличение прочности до 30% (при содержании 12%).
- **Органоглины** (органофильно модифицированный монтмориллонит или каолинит) – вводится в полимеры в количестве до 5%; повышает жесткость полимеров (до 98%), стабильность и барьерные свойства (до 6 раз), токопроводимость. Промышленно выпускаются компаниями Elementis, Nanocor, Southern Clay (США), Süd-Chemie (Германия), Laviosa (Италия) и др.



# Другие примеры

- Неметаллическая арматура
- Энергоэффективное стекло
- Коррозионно-стойкие покрытия на металлических поверхностях
- Пеностекло
- Краска-термос



# Зарубежный опыт

- Наноразмерный  $\text{TiO}_2$  – активный фотокатализатор, очищающий воздух от  $\text{CO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ , VOCs. Снижение содержания указанных газов до 40%.
- Наноструктурные композиты на основе взаимопроникающих полимерных сеток
- Нанокompозиты на основе гибридной органосиликатной матрицы
- Полимерные нанокompозиты с очень низкой проницаемостью и высоким сопротивлением агрессивным средам
- Краски с наноразмерными частицами серебра

# Задачи нанотехнологии



- Определить рациональную траекторию наноструктурирования строительных материалов
- Оценить токсикологическое влияние нанобъектов на здоровье человека
- Разработать методологию технико-экономической оценки внедрения нанотехнологии в строительство

# Задача №1

- Введение в материал синтезированных нанообъектов
- Синтез нанообъектов в материале в процессе его изготовления



# Управление скоростью гидратации вяжущего, морфологией новообразований, плотностью структуры и свойствами композитов гидратного твердения

Достижимый результат	Способ достижения	Показатель, характеризующий эффект	Проблемы
Молекулярное изменение структуры воды			
	<b>Химический:</b> - введение водорастворимых солей; - добавление органических соединений	Структурная температура раствора	Свойства раствора зависят от свойств фонового растворителя (воды)
	<b>Физический:</b> - механическая активация (приложение переменного давления); - магнитная обработка (постоянным или переменным магнитным полем); - электромагнитная активация (насыщение воды ионами металла)	Не разработаны (имеются отдельные методики, вычисления некоторых показателей)	Кинетическая нестабильность свойств воды; статистическая неоднородность свойств композита
	<b>Физико-химический:</b> - введение нанокремниевых структур (нанотрубок, астраленов, фуллеренов, в том числе водорастворимых); - магнитная обработка растворов электролитов или коллоидных растворов нанокремниевых структур	Не разработаны	Трудности при приготовлении коллоидного раствора (не смачивание, плохое диспергирование)  Не известно

# Управление скоростью гидратации вяжущего, морфологией новообразований, плотностью структуры и свойствами композитов гидратного твердения

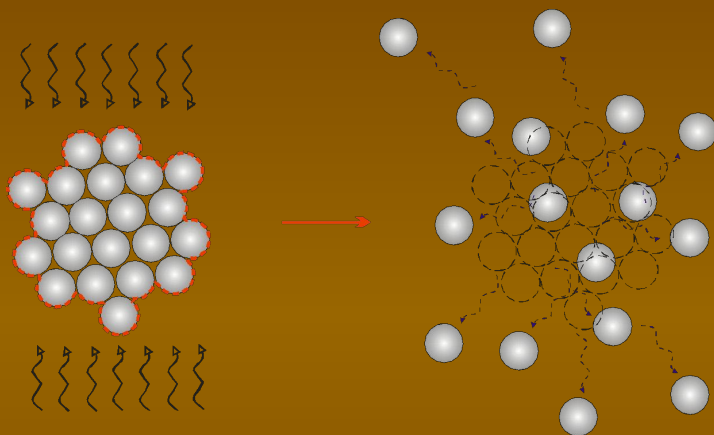
Достижимый результат	Способ достижения	Показатель, характеризующий эффект	Проблемы
Модифицирование кристаллической и надмолекулярной структур			
Управление кристаллической и надмолекулярной структурой	<b>Физический:</b> - добавление ультрадисперсных химически инертных наполнителей и наночастиц углерода модификаторов (центры кристаллизации, концентраторы напряжений);	Размер кристаллов; размер блоков мозаики кристаллитной структуры; плотность дислокаций; текстура кристаллического тела	Однородность распределения ультрадисперсных наполнителей
	- введение железосодержащих или других ферромагнитных наполнителей и обработка магнитным полем;		Продолжительность воздействия магнитного поля; энергозатраты
	- структурообразование в магнитном поле (явление магнитоострикции)	Не разработано	
	<b>Физико-химический:</b> - введение полимерных соединений (образование структурной сетки полимеров);	Структурно-реологические свойства	Однородность распределения полимера и химически активных ультрадисперсных наполнителей
	- добавление химически активных наполнителей (образование сольватных слоев, центры кристаллизации, армирующие элементы)	Морфология и размер кристаллов, минералогический состав новообразований	

# Управление скоростью гидратации вяжущего, морфологией новообразований, плотностью структуры и свойствами композитов гидратного твердения

Достижимый результат	Способ достижения	Показатель, характеризующий эффект	Проблемы
Модифицирование кристаллической структуры			
<p style="text-align: center;">Управление процессом перекристаллизации и новообразований</p>	<p><b>Физико-химический:</b>                      введение полимерных соединений, адсорбирующихся на ультрамалых продуктах кристаллизации и полимеризующихся в поровом растворе</p>	<p>Размер блоков мозаики кристаллитной структуры; плотность дислокаций</p>	<p>Однородность распределения полимера; долговечность материала</p>



# Проблемы обеспечения однородного распределения



При  $v=1500\dots 2000$  м/с и  $\lambda=d_0=10\dots 100$  нм частота равна  $\nu=15\dots 200$  ГГц. При таких частотах (область гиперзвука) происходит быстрое поглощение звуковой энергии и она расходуется на различные физические процессы и преобразование вещества.

1) Сила притяжения при  $d_0 \ll \lambda$

$$F_p = 4\pi \left( \frac{d_0}{2} \right)^2 E \left( \frac{k_\lambda}{2} d_0 \right)^4 \frac{1 + (1 - \delta)^2}{(2 + \delta)^2}$$

2) Сила притяжения Бьеркнеса  
(при протяженных агрегатах)

$$F_B = 4\pi\rho \left( \frac{d_0}{2} \right)^4 \frac{g^2}{h^2} \cos\phi$$

3) Сила притяжения Бернулли

$$F_{Be} = \frac{3}{2} \pi\rho \left( \frac{d_0}{2} \right)^6 \frac{v^2}{h^2}$$

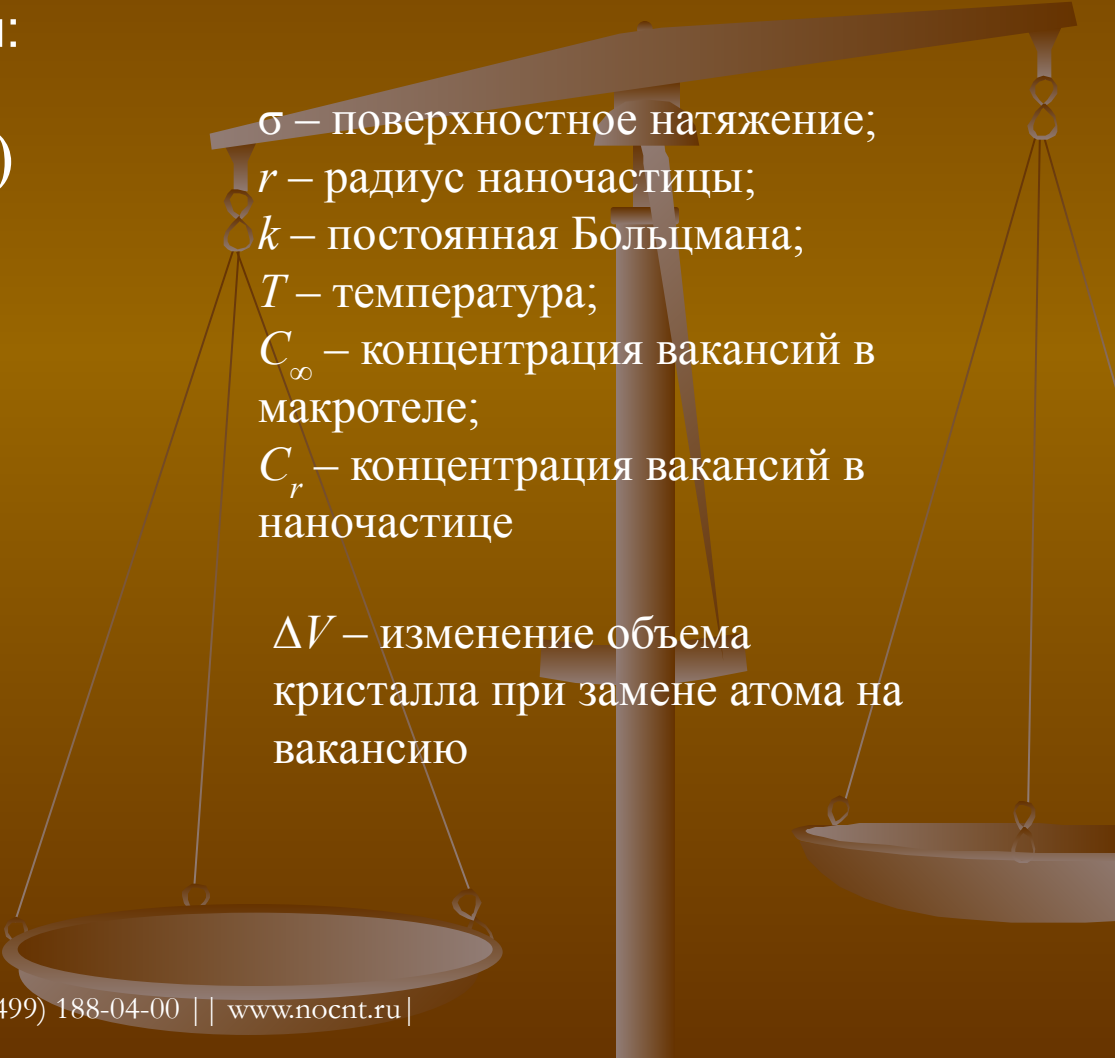


# Влияние ПАВ

Энергетический потенциал:

$$E = \pi\sigma r^2 + kT(C_r - C_\infty)$$

$$C_r = C_\infty \exp\left(\frac{2\sigma}{r\Delta V k T}\right)$$



$\sigma$  – поверхностное натяжение;  
 $r$  – радиус наночастицы;  
 $k$  – постоянная Больцмана;  
 $T$  – температура;  
 $C_\infty$  – концентрация вакансий в макротеле;  
 $C_r$  – концентрация вакансий в наночастице

$\Delta V$  – изменение объема кристалла при замене атома на вакансию

# Управление скоростью гидратации вяжущего, морфологией новообразований, плотностью структуры и свойствами композитов гидратного твердения

Достижимый результат	Способ достижения	Показатель, характеризующий эффект	Проблемы
Молекулярное изменение структуры воды			
	<b>Химический:</b> - введение водорастворимых солей; - добавление органических соединений	Структурная температура раствора	Свойства раствора зависят от свойств фонового растворителя (воды)
	<b>Физический:</b> - механическая активация (приложение переменного давления); - магнитная обработка (постоянным или переменным магнитным полем); - электромагнитная активация (насыщение воды ионами металла)	Не разработаны (имеются отдельные методики, вычисления некоторых показателей)	Кинетическая нестабильность свойств воды; статистическая неоднородность свойств композита
	<b>Физико-химический:</b> - введение нанокремниевых структур (нанотрубок, астраленов, фуллеренов, в том числе водорастворимых); - магнитная обработка растворов электролитов или коллоидных растворов нанокремниевых структур	Не разработаны	Трудности при приготовлении коллоидного раствора (не смачивание, плохое диспергирование)  Не известно

# Управление скоростью гидратации вяжущего, морфологией новообразований, плотностью структуры и свойствами композитов гидратного твердения

Достижимый результат	Способ достижения	Показатель, характеризующий эффект	Проблемы
Модифицирование кристаллической и надмолекулярной структур			
Управление кристаллической и надмолекулярной структурой	<b>Физический:</b> - добавление ультрадисперсных химически инертных наполнителей и наночастиц углеродных модификаторов (центры кристаллизации, концентраторы напряжений);	Размер кристаллов; размер блоков мозаики кристаллитной структуры; плотность дислокаций; текстура кристаллического тела	Однородность распределения ультрадисперсных наполнителей
	- введение железосодержащих или других ферромагнитных наполнителей и обработка магнитным полем;		Продолжительность воздействия магнитного поля; энергозатраты
	- структурообразование в магнитном поле (явление магнитоострикции)	Не разработано	
	<b>Физико-химический:</b> - введение полимерных соединений (образование структурной сетки полимеров);	Структурно-реологические свойства	Однородность распределения полимера и химически активных ультрадисперсных наполнителей
	- добавление химически активных наполнителей (образование сольватных слоев, центры кристаллизации, армирующие элементы)		

# Управление скоростью гидратации вяжущего, морфологией новообразований, плотностью структуры и свойствами композитов гидратного твердения

Достижимый результат	Способ достижения	Показатель, характеризующий эффект	Проблемы
Модифицирование кристаллической структуры			
<p style="text-align: center;">Управление процессом перекристаллизации и новообразований</p>	<p><b>Физико-химический:</b>                      введение полимерных соединений, адсорбирующихся на ультрамалых продуктах кристаллизации и полимеризующихся в поровом растворе</p>	<p>Размер блоков мозаики кристаллитной структуры; плотность дислокаций</p>	<p>Однородность распределения полимера; долговечность материала</p>



# Задача №2

Наночастицы, на введении которых основаны разрабатываемые технологии как российских, так и зарубежных строительных материалов, могут попадать в организм человека через органы дыхания, желудочно-кишечный тракт или другими путями. Причём **негативные эффекты** от введения нанотрубок превосходили результаты воздействия асбеста и кристаллического кремнезёма. Такие же проблемы выявлены при использовании наночастиц оксида титана и серебра.

Ключевые подзадачи:

- 1) Подобрать способы и режимы обработки, обеспечивающие однородное распределение наночастиц по объему среды-носителя и строительного материала
- 2) Подобрать вспомогательные вещества, обеспечивающие агрегативную стабильность коллоидных систем и удаляющиеся для реализации потенциала наночастиц

# Задача №3

Коэффициент эффективности:

$$q_{ef} = \frac{\bar{\Phi}_k}{\bar{C}}$$

$\bar{C}$  – относительная стоимость технологии

$\bar{\Phi}_k$  – относительное изменение обобщённого показателя качества материала

Ключевые подзадачи:

- 1) Разработать методики расчета экономических показателей, учитывающих весь жизненный цикл работы материала.
- 2) Сформулировать обобщенный критерий качества материала.
- 3) Установить перечни и граничные значения свойств материала.

		$\bar{F}$		
		↓	0	↑
$\bar{C}$	↓	⊖	⊕	⊕ ⊕
	0	⊖	0	⊕
	↑	⊖	⊖	⊕

Обобщенный критерий качества

$$\Phi_k = \sum_{i=1}^n \alpha_i \sqrt[m]{\prod_{j=1}^m \frac{f}{f^*}}$$

# Методика оценки экономической целесообразности внедрения новой технологии

## ■ Критерий экономической целесообразности

$$k_{ek} = \frac{q_i + q_p(t_i/t_p) - q_{ek}t_i}{t_i} = \frac{q_i}{t_i} + \frac{q_p}{t_p} - q_e \rightarrow \min$$

$q_i$  – расход ресурса на изготовление изделия

$t_i$  – продолжительность эксплуатации

$q_p$  – расход ресурса на поддержание изделия в работоспособном состоянии

$t_p$  – продолжительность межремонтного периода

$q_e$  – энергопотребление в процессе эксплуатации изделия

# Критерий экономической эффективности

$$\Delta C_K = C_{K,\bar{\rho}} - C_{K,\rho} > 0$$

$$\frac{C_{K,\rho}}{C_{K,\bar{\rho}}} = \left( \frac{c'_{K,\rho}}{c'_{K,\bar{\rho}}} \right) \frac{\rho_{\rho} / \rho_{\bar{\rho}}}{1 + \frac{(V_{K,\bar{\rho}} - V_{K,\rho})}{V_{K,\rho}}}$$

$$\frac{V_{K,\bar{\rho}}}{V_{K,\rho}} = \beta \left( \frac{\rho_{\rho}}{\rho_{\bar{\rho}}} \right) \left( \frac{c'_{K,\rho}}{c'_{K,\bar{\rho}}} \right)$$

$$\beta = C_{K,\bar{\rho}} / C_{K,\rho} > 1$$



# Результаты моделирования

	Соотношение $c'_{к,н}/c'_{к,б}$					
	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
$\beta = C_{к,б}/C_{к,н} = 1,1$						
$\rho_{б}/\rho_{н} = 0,9$	1,83	2,44	3,06	3,67	4,28	4,89
$\rho_{б}/\rho_{н} = 1,0$	1,65	2,20	2,75	3,30	3,85	4,40
$\rho_{б}/\rho_{н} = 1,1$	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00
$\beta = 1,2$						
$\rho_{б}/\rho_{н} = 0,9$	2,00	2,67	3,33	4,00	4,67	5,33
$\rho_{б}/\rho_{н} = 1,0$	1,80	2,40	3,00	3,60	4,20	4,80
$\rho_{б}/\rho_{н} = 1,1$	1,64	2,18	2,73	3,27	3,82	4,36
$\beta = 1,3$						
$\rho_{б}/\rho_{н} = 0,9$	2,17	2,89	3,61	4,33	5,06	5,78
$\rho_{б}/\rho_{н} = 1,0$	1,95	2,60	3,25	3,90	4,55	5,20
$\rho_{б}/\rho_{н} = 1,1$	1,77	2,36	2,95	3,55	4,14	4,73

# Выводы и заключения

- Современная нормативная база *не способствует развитию нанотехнологий в строительстве.*
- Введение наночастиц (3D-нанообъектов) приводит к *возникновению экологических проблем.* Кроме того, использование активных способов распределения нанообъектов (ультразвук) в диапазоне частот промышленных аппаратов *не может обеспечить гомогенизацию смесей,* а применение *вспомогательных веществ блокирует активную поверхность нанообъектов* и не позволяет *реализовать их потенциал.*
- Стратегия реализации современной нанотехнологии в строительстве должна базироваться на использовании запасённой в веществе *химической энергии,* т.е. перспективны *химические методы синтеза* нанообъектов.
- Производство строительных материалов должно проводиться на базе *традиционных объёмных технологий,* поэтому способы управления структурообразованием должны осуществляться без существенного изменения технологической линии.



Благодарю за внимание!

Контактная информация:

Тел. (499) 188-04-00

[www.nocnt.ru](http://www.nocnt.ru)

E-mail: [KorolevEV@mgsu.ru](mailto:KorolevEV@mgsu.ru)