

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. *techne* – 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 наnanoуровне.

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; Словакская 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, древовидных форм и т.д.

Форма строения зависит от вида материала частицы: металлические и наночастицы из оксидов металлов имеют сферическую форму; силикатные наночастицы имеет 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 безопасность 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 биодеструкции**; молекулярно-биологические характеристики (взаимодействие с ДНК, РНК, клеточными мембранными, белками); цитологические характеристики (цитотоксичность, способность к накоплению в клетках, влияние на протеомный и метаболомный профиль); **токсикологические характеристики** (потенциальные пути проникновения в организм, острые токсичность, подострая токсичность, хроническая токсичность, кумулятивное действие, местнораздражающее действие, отдаленные эффекты (мутагенность, эмбриотоксичность, тератогенность, канцерогенность), **иммунотоксичность**, **аллергенность**, **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 обладающая
вследствие и ранее
недостижимыми
технико-
экономическими показателями.

Категории продукции наноиндустрии в части товаров и услуг

- **Категория «А»** (первичная нанотехнологическая продукция) – товары, представляющие собой нанокомпоненты (nanoобъекты 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 нанокомпоненты (продукцию наноиндустрии категории «А»).

Условия отнесения к категории «Б»:

- если нанокомпоненты 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 нанокомпоненты), при оказании (производстве) которых используются нанотехнологии и (или) нанокомпоненты (продукция наноиндустрии категории «А»).

Условие отнесения к категории «В»:

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

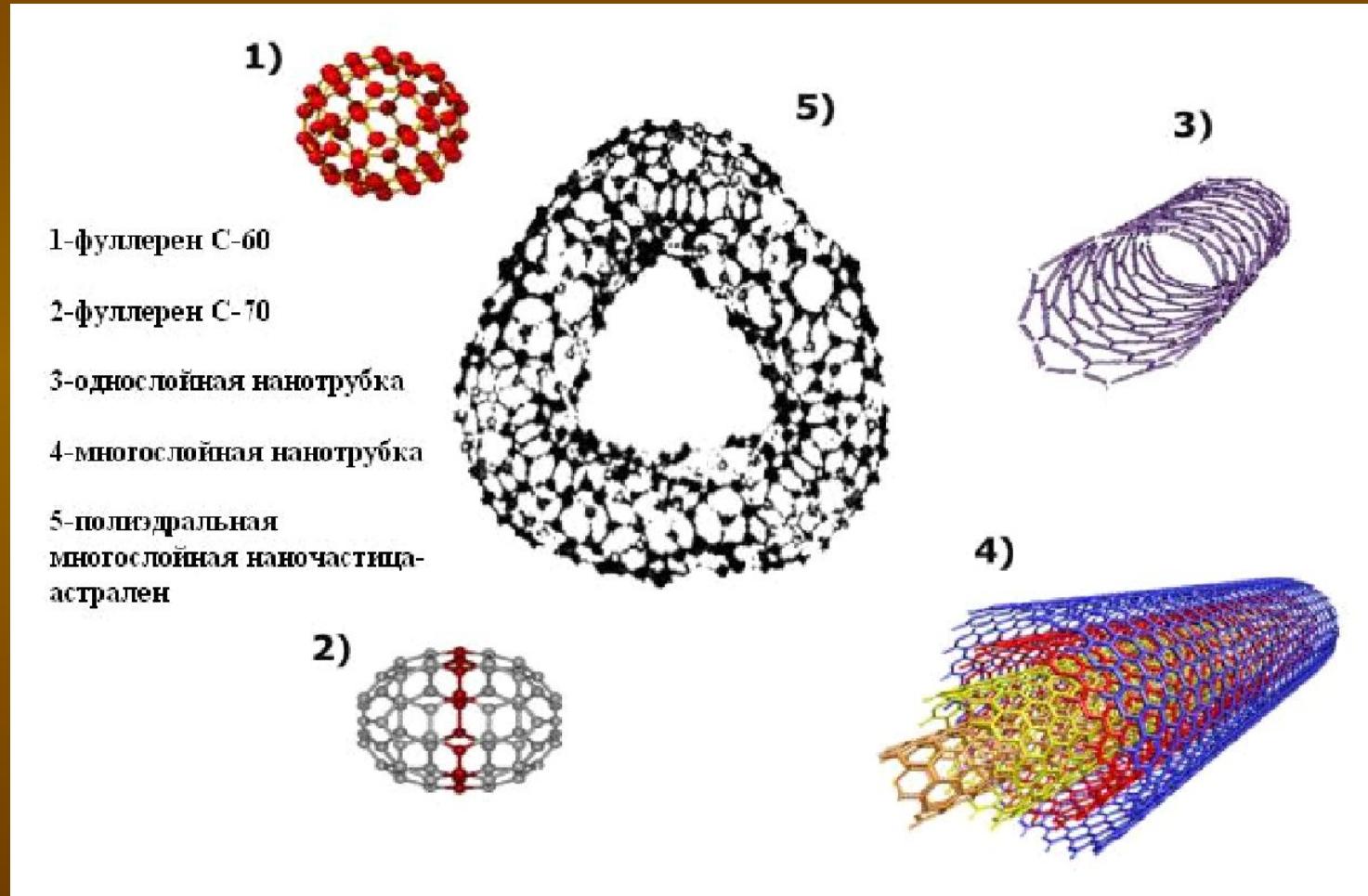
Категории продукции наноиндустрии в части товаров и услуг

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

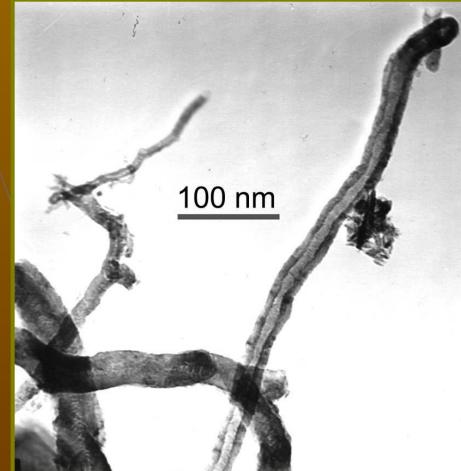
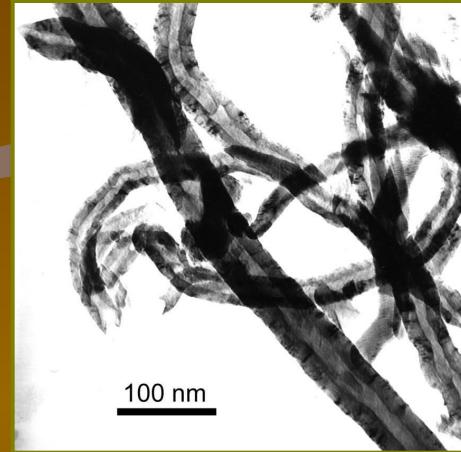
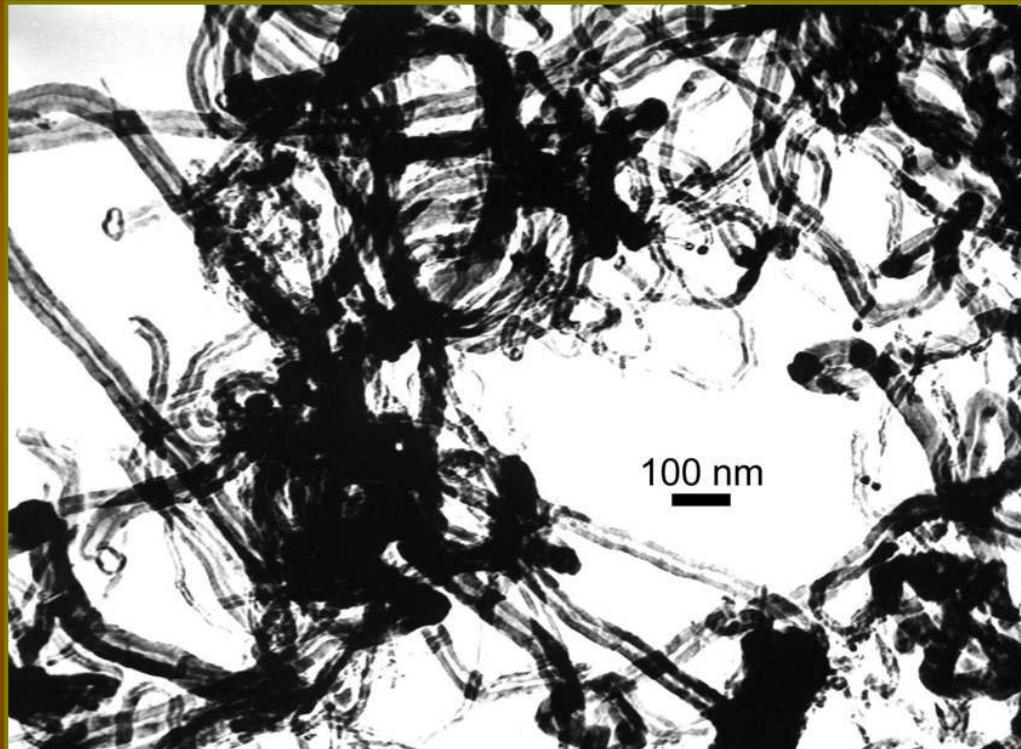
Условие отнесения к категории:

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

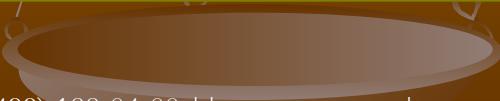
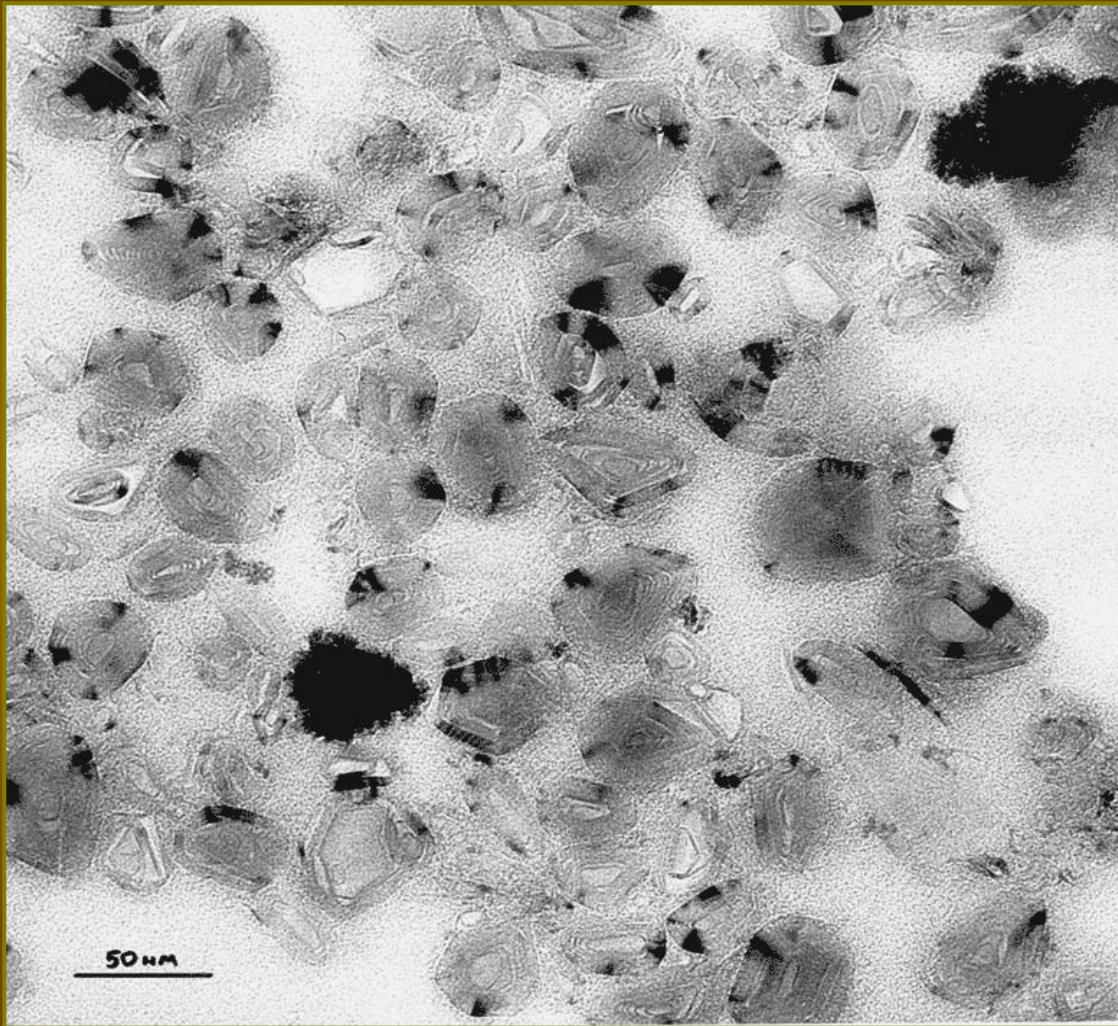
Основные виды углеродных наноразмерных материалов



Фотографии многослойных углеродных нанотрубок



Фотографии астраленов



Определения наноматериалов

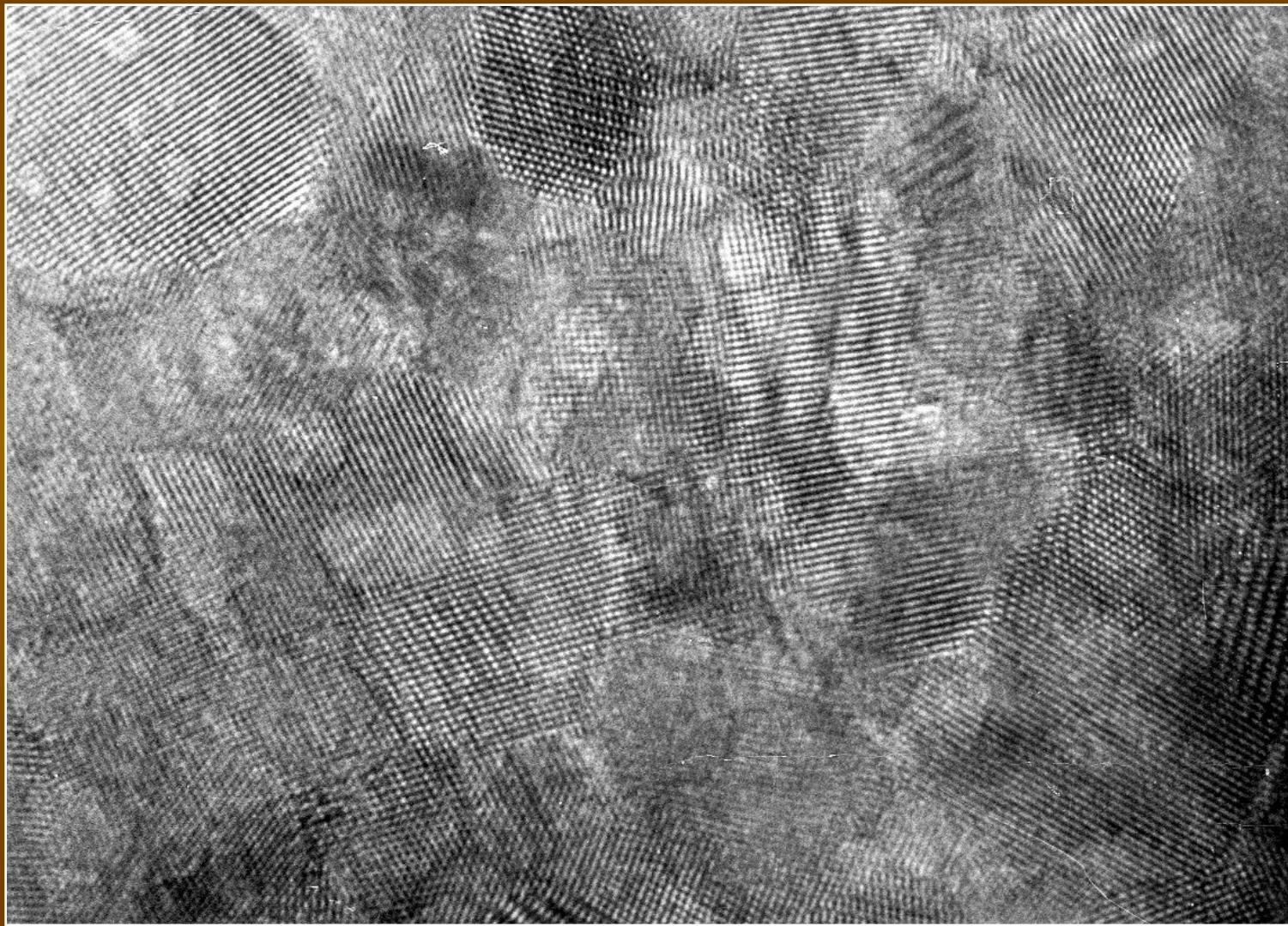
- **Наноматериалы** (нанофазные материалы, наноструктурированные материалы, объемные наноматериалы) – материалы, содержащие **более 10%** по объему наноразмерных элементов.
- **Наномодифицированные материалы** – материалы, содержащие **менее 10%** по объему наноразмерных элементов.

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

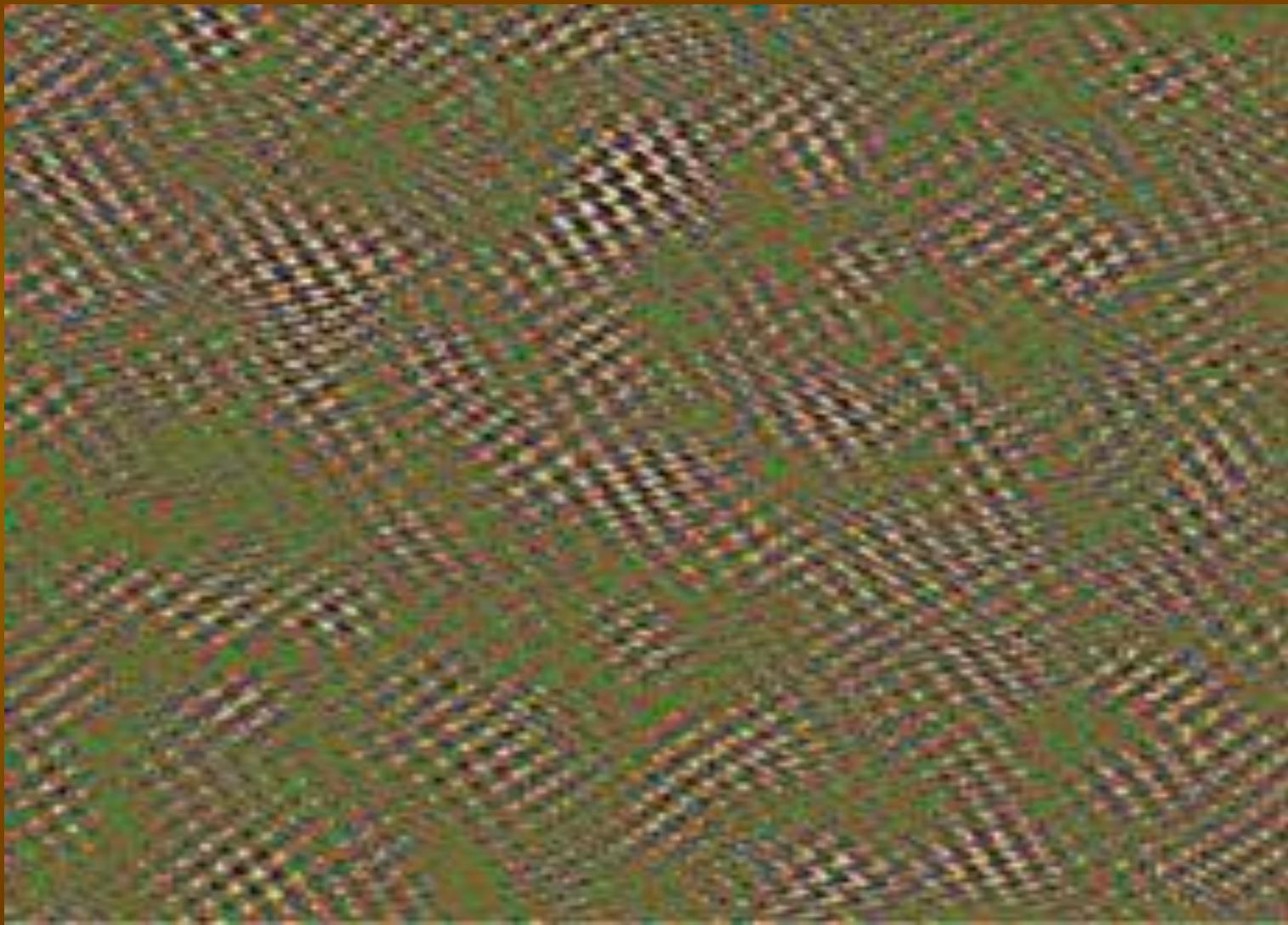
Нанобетон

- «Нанобетон ... это вовсе не конкретный бетон, а только лишь обозначение бетона, который каким-то образом связан с какими-то наноматериалами, или **нанотехнологиями**». (А.Н. Понамарев 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 наnano- 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:

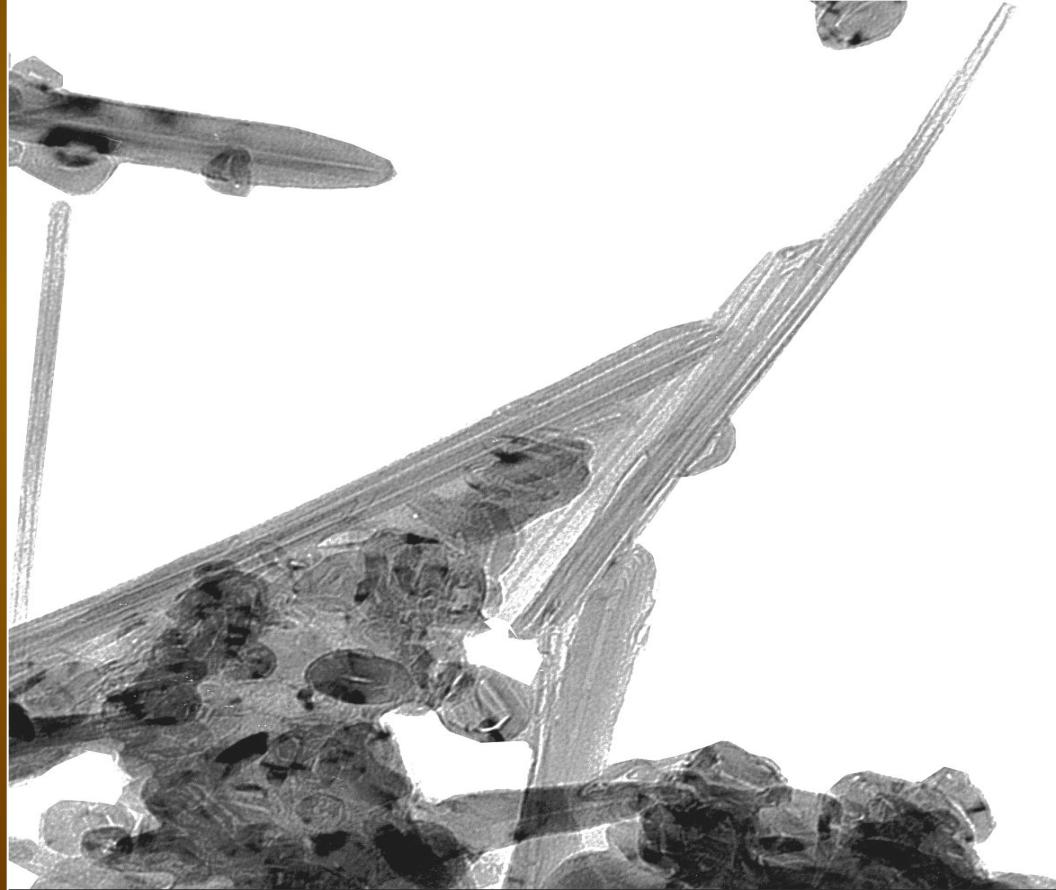
- плотность – 1,2-1,6 т/м³;
- прочность на сжатие – 30-60 МПа;
- прочность на изгиб – 4-8 МПа;
- теплопроводность – менее 0,2-0,4 Вт/(м*K);
- водопоглощение – не более 0,4 %;
- водонепроницаемость – W20;
- огнестойкость – более 780 °C;
- морозостойкость – F300-F350.»

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)

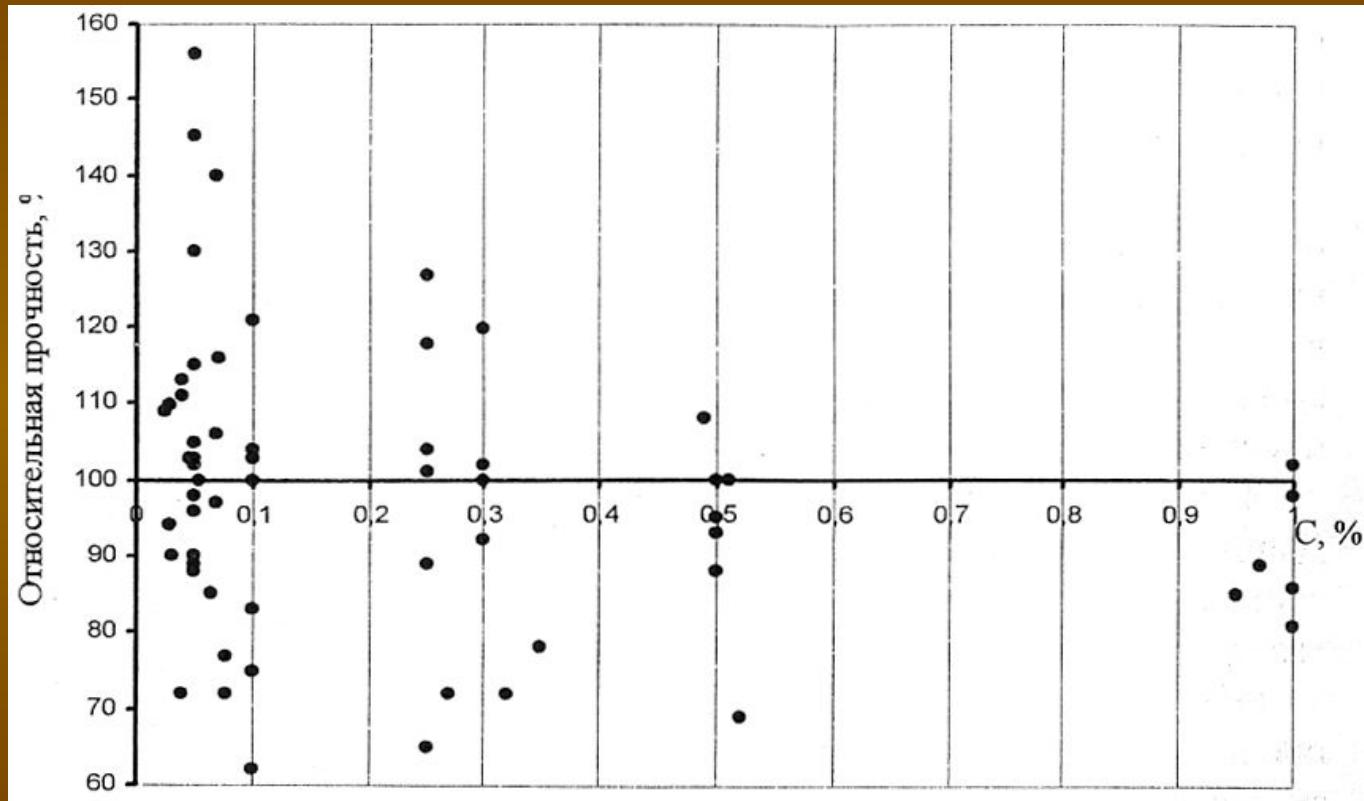
Углеродные наноматериалы серии «Таунит» ООО «НаноТехЦентр» (г. Тамбов)

- **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, температуростойкость, снижает трещинообразование.

Фотография агломерации астраленов на многослойных нанотрубках



Влияние УНТ на прочность бетона



Источник: А.Н. Слижевский, Самуилов 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 м² изделий на 15...20%.

Другие наномодификаторы

- **Наноразмерный диоксид кремния** – повышение скорости набора прочности (увеличение тепловыделения), увеличение прочности до 30% (при содержании 12%).
- **Органоглины** (органсофильтно 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 TiO_2 – активный фотокатализатор, очищающий воздух от CO_x , NO_x , VOCs. Снижение содержания указанных газов до 40%.
- Наноструктурные композиты на основе взаимопроникающих полимерных сеток
- Нанокомпозиты на основе гибридной органосиликатной матрицы
- Полимерные нанокомпозиты 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 нанообъектов 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

Достигаемый результат	Способ достижения	Показатель, характеризующий эффект	Проблемы
Молекулярное изменение структуры воды			
	Химический: <ul style="list-style-type: none"> - введение водорастворимых солей; - добавление органических соединений 	Структурная температура раствора	Свойства раствора зависят от свойств фонового растворителя (воды)
	Физический: <ul style="list-style-type: none"> - 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
	Физико-химический: <ul style="list-style-type: none"> - введениеnanoуглеродных структур (нанотрубок, астраленов, фуллеренов, в том числе водорастворимых); - магнитная обработка растворов электролитов или коллоидных растворов nanoуглеродных структур 	Не разработаны	Трудности при приготовлении коллоидного раствора (не смачивание, плохое диспергирование)
			Не известно

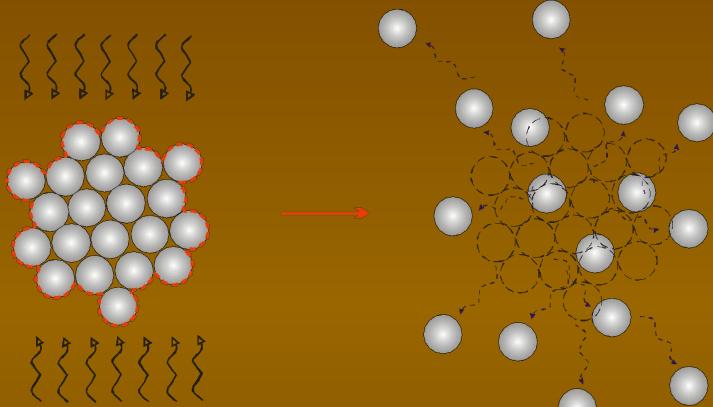
Управление скоростью гидратации вяжущего, морфологией новообразований, плотностью структуры и свойствами композитов гидратного твердения

Достигаемый результат	Способ достижения	Показатель, характеризующий эффект	Проблемы
Модифицирование кристаллической и надмолекулярной структур			
Управление кристаллической и надмолекулярной структурой	Физический: - добавление ультрадисперсных химически инертных наполнителей и наноуглеродных 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;	Не разработано	Продолжительность воздействия магнитного поля; энергозатраты
	- структурообразование в магнитном поле (явление магнитострикции)	Структурно-реологические свойства	Однородность распределения полимера и химически активных ультрадисперсных наполнителей
	Физико-химический: - введение полимерных соединений (образование структурной сетки полимеров);	Морфология и размер кристаллов, минералогический состав новообразований	
	- добавление химически активных наполнителей (образование сольватных слоев, центры кристаллизации, армирующие элементы)		

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

Достигаемый результат	Способ достижения	Показатель, характеризующий эффект	Проблемы
Модифицирование кристаллической структуры			
Управление процессом перекристаллизации и новообразований	Физико-химический: введение полимерных соединений, адсорбирующихся на ультрамалых продуктах кристаллизации и полимеризующихся в поровом растворе	Размер блоков мозаики кристаллитной структуры; плотность дислокаций	Однородность распределения полимера; долговечность материала

Проблемы обеспечения однородного распределения



При $\nu = 1500 \dots 2000$ м/с и $\lambda = d_o = 10 \dots 100$ нм частота равна $n = 15 \dots 200$ 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 $d_o \ll \lambda$

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

2) Сила притяжения Бьеркнесса (при протяженных агрегатах)

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

3) Сила притяжения Бернулли

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

Влияние ПАВ

Энергетический потенциал:

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

σ – поверхностное натяжение;

r – радиус наночастицы;

k – постоянная Больцмана;

T – температура;

C_∞ – концентрация вакансий в макротеле;

C_r – концентрация вакансий в наночастице

ΔV – изменение объема кристалла при замене атома на вакансию

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

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

Достигаемый результат	Способ достижения	Показатель, характеризующий эффект	Проблемы
Молекулярное изменение структуры воды			
	Химический: <ul style="list-style-type: none"> - введение водорастворимых солей; - добавление органических соединений 	Структурная температура раствора	Свойства раствора зависят от свойств фонового растворителя (воды)
	Физический: <ul style="list-style-type: none"> - 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
	Физико-химический: <ul style="list-style-type: none"> - введениеnanoуглеродных структур (нанотрубок, астраленов, фуллеренов, в том числе водорастворимых); - магнитная обработка растворов электролитов или коллоидных растворов nanoуглеродных 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

Достигаемый результат	Способ достижения	Показатель, характеризующий эффект	Проблемы
Модифицирование кристаллической и надмолекулярной структур			
Управление кристаллической и надмолекулярной структурой	Физический: - добавление ультрадисперсных химически инертных наполнителей и наноуглеродных 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;	Не разработано	Продолжительность воздействия магнитного поля; энергозатраты
	- структурообразование в магнитном поле (явление магнитострикции)	Структурно-реологические свойства	Однородность распределения полимера и химически активных ультрадисперсных наполнителей
	Физико-химический: - введение полимерных соединений (образование структурной сетки полимеров);	Морфология и размер кристаллов, минералогический состав новообразований	
	- добавление химически активных наполнителей (образование сольватных слоев, центры кристаллизации, армирующие элементы)		

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

Достигаемый результат	Способ достижения	Показатель, характеризующий эффект	Проблемы
Модифицирование кристаллической структуры			
Управление процессом перекристаллизации и новообразований	Физико-химический: введение полимерных соединений, адсорбирующихся на ультрамалых продуктах кристаллизации и полимеризующихся в поровом растворе	Размер блоков мозаики кристаллитной структуры; плотность дислокаций	Однородность распределения полимера; долговечность материала

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}		
		\downarrow	0	\uparrow
\bar{C}	\downarrow	(-)	(+)	(?)
	0	(-)	0	(+)
	\uparrow	(-)	(-)	(?)

Обобщенный критерий качества

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

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

$$\Delta C_K = C_{K,\beta} - C_{K,H} > 0$$

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

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

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

Результаты моделирования

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

E-mail: KorolevEV@mgsu.ru