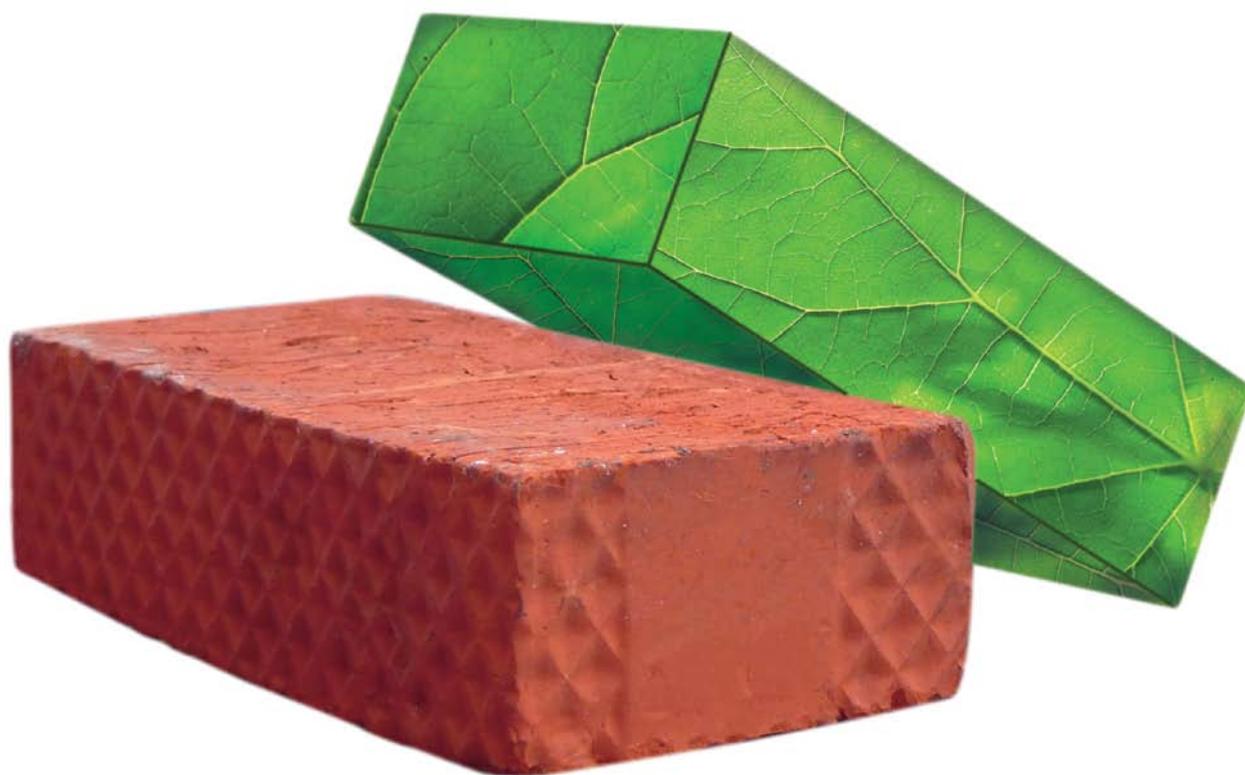


АКЦИЯ! ОДИН НОМЕР БЕСПЛАТНО читайте на стр. 136

январь-февраль 2010

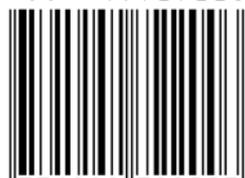
том 5, № 1-2

# РОССИЙСКИЕ НАНО ТЕХНОЛОГИИ



## Чему учит природа?

ISSN 19927223



9 771992 722003

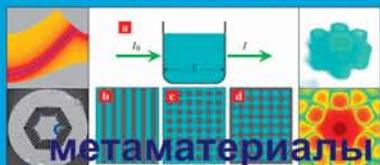
# ЛАЗЕРЫ для НАНОТЕХНОЛОГИЙ



исследования



био-технологии



метаматериалы



контроль качества

твердотельные  
волоконные  
жидкостные  
гибридные

*современные лазерные технологии*

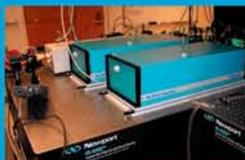


ширина линии излучения:

$$10^{-7} \text{ см}^{-1} - 10^2 \text{ см}^{-1}$$

диапазон длин волн излучения:

275 нм (4.5 эВ) - 1750 нм (0.71 эВ)



перестраиваемые, одночастотные, с узкой линией  
фемтосекундные, пикосекундные  
специальные

+

**генераторы суперконтинуума**

Компания "Техноскан -  
Лазерные системы"

Тел.: +7-(383)-363-42-65, 214-00-09

Факс: +7-(383)-363-42-65

Интернет: [www.tekhnoscan.com](http://www.tekhnoscan.com)

**TekhnoScan**  
LASER SYSTEMS

поставка под ключ,  
обучение, поддержка

E-mail: [service@tekhnoscan.com](mailto:service@tekhnoscan.com)



ЛАЗЕРНОЕ  
ВОЗДЕЙСТВИЕ



НАНО  
ТЕХНОЛОГИИ



*Передовые Реализованные Идеи Фотоники*

# Подписка на 2010 год Скидка 10%

+7 495 930-88-06

Подробности на сайте: [www.actanaturae.ru](http://www.actanaturae.ru)

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

### ПАРАМЕТРЫ СТЭКИНГ-ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

Среди различных типов контактов в биомолекулярных комплексах (водородные связи, электростатические взаимодействия и др.) стэкинг ароматических фрагментов заслуживает особого внимания. Большинство лекарственных препаратов содержат ароматические циклы, и стэкинг часто играет важную роль в молекулярном узнавании рецептор-лиганд. Ранее мы показали [5], что явный учет стэкинг-взаимодействий существенно повышает эффективность докинга АТФ. Стэкинг-контакты описывали функцией, зависящей от геометрических параметров взаимного расположения двух ароматических фрагментов – высоты  $h$  и угла  $\alpha$  между ними и сдвига  $d$  одного из колец относительно другого (рис. 1).

Диапазон этих параметров, определяющий наличие или отсутствие стэкинга, до сих пор остается не выясненным и в оценочных критериях выбирается достаточно произвольно [6, 7]. Его уточнение могло бы повысить эффективность оценки качества и достоверности структур белок-лиганд, предсказываемых методами молекулярного моделирования. С этой целью мы провели анализ экспериментально установленных пространственных структур атомного разрешения для комплексов различных белков с лигандами, содержащими наиболее распространенные пуриновые основания – аденин и гуанин.

Известный пример стэкинг-взаимодействий – параллельная упаковка азотистых оснований нуклеотидов в ДНК [8, 9]. Но некоторые ароматические соединения стремятся расположиться не только параллельно, но еще и перпендикулярно друг другу, как это показано для аминокислот в белках [7, 10] и в модельных системах, состоящих из простых углеводов – бензола, нафталина [11-14]. Кроме того, такие соединения имеют тенденцию участвовать в  $\pi$ -катионном взаимодействии, при котором образуется контакт между положительно заряженными группами и  $\pi$ -электронным облаком [15-17].

Поэтому мы исследовали распределение параметров  $h$  и  $d$  в зависимости от угла  $\alpha$  относительно азотистого основания лиганда для ароматических боковых цепей остатков Phe, Tyr, Trp и His, а также для положительно заряженных гуанидиновой группы Arg и аминогруппы Lys. На рис. 2 приведены результаты для лигандов, содержащих гуанин.

Показано, что для остатка Phe характерны два альтернативных положения над плоскостью гуанинового коль-

Рис. 1. Геометрические параметры, с помощью которых описывают стэкинг-взаимодействие между двумя ароматическими кольцами: смещение ( $d$ ) и высота ( $h$ ) центра одного из колец относительно другого кольца; угол ( $\alpha$ ) между нормальными и плоскостями колец

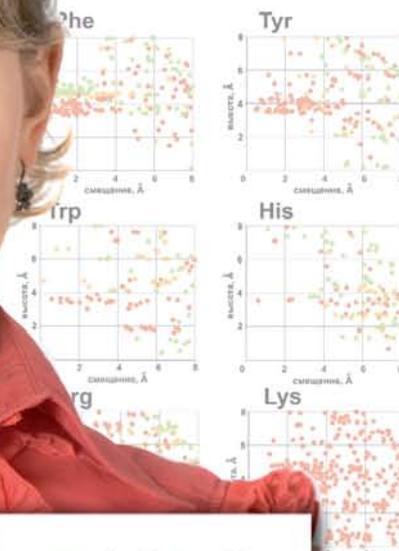


Рис. 2. Распределение параметров стэкинга для остатков Phe, Tyr, Trp и His, а также для положительно заряженных гуанидиновой группы Arg и аминогруппы Lys. На рис. 2 приведены результаты для лигандов, содержащих гуанин.

# ActaNaturae



## НЕПРИРОДНЫЕ АНТИТЕЛА

для клинического применения

РЕГУЛЯЦИЯ ТЕЛОМЕРАЗЫ  
В ОНКОГЕНЕЗЕ

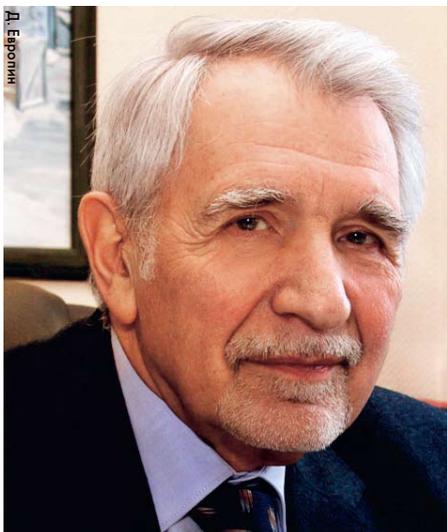
СТР. 81

СТРУКТУРА  
МИТОХОНДРИАЛЬНОГО ГЕНОМА  
ВОЗБУДИТЕЛЯ ОПИСТОРХОЗА

СТР. 99

СТЭКИНГ-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
В КОМПЛЕКСАХ БЕЛКОВ

## Материалы для медицины: вектор прогресса



*Важнейшей задачей нанотехнологий в ближайшие 10–20 лет, по мнению большинства экспертов, будет разработка материалов для медицины.*

*Считается, что за эти годы будут созданы наноматериалы для целевой доставки лекарств, «умных» имплантатов (искусственных сосудов, искусственной кожи и т.д.) и искусственных органов, для интерфейса электронных устройств, вживляемых в человеческие органы, и самих органов для поддержания жизнедеятельности человека.*

*Это очень серьезный вызов для специалистов, занятых разработкой новых материалов. Предыдущий опыт показывает, что создание материалов, совместимых с живым организмом, требует совместимости искусственного материала не просто с живой тканью, но именно с тканью конкретного человека. Это означает, что искусственные материалы должны обладать многими свойствами своего природного «партнера».*

*За прошедшее столетие исследователи хорошо научились копировать природные материалы. Созданы искусственные красители, волокна, полимеры, кожи и т.д. Но хотя эти искусственные материалы близки к биоматериалам по химическому составу, они значительно отличаются от них по строению — люди пока не научились копировать биоматериалы и создавать искусственные материалы, приближающиеся по сложности к природным.*

*Единственный искусственный материал, сравнимый по сложности химического состава и строения с биоматериалами, — это галогенидосеребряный фотографический материал. Он содержит более сотни химических веществ и состоит из элементов различного масштаба: молекул, агрегатов красителей и кластеров атомов серебра нанометрового масштаба, микрокристаллов галогенидов серебра, микроэмульсии цветообразующих компонент и т.д. Чтобы создать современные галогенидосеребряные материалы, потребовались усилия тысяч ученых и более 150 лет.*

*Ясно, что методологические подходы, использованные при разработке фотографических материалов, могут быть полезны при создании биосовместимых материалов. Однако эти методологические подходы потребуют существенной доработки, для того чтобы стать основой проектирования и разработки современных биосовместимых материалов.*

*Природные материалы — ткани живых организмов и растений — имеют иерархическое строение, и если человечество намерено создавать полноценные биосовместимые материалы, их строение также должно быть иерархическим, что потребует разработки высокопроизводительных методов компьютерного проектирования и эффективных технологий производства, основанных на процессах самоорганизации многомасштабных иерархических материалов.*

*Создание многомасштабных иерархических материалов будет в ближайшие десятилетия целью разработчиков материалов не только для медицины, но и для других сфер деятельности человека — машиностроения, приборостроения и энергетики — поскольку именно такие архитектуры позволяют строить «снизу — вверх» материалы с большим разнообразием характеристик.*

**Главный редактор, академик РАН М.В. АЛФИМОВ**

# РОССИЙСКИЕ НАНО ТЕХНОЛОГИИ

январь-февраль 2010

ТОМ 5, № 1-2

Свидетельство о регистрации средства массовой информации  
ПИ №ФС77-26130 выдано Федеральной службой по надзору  
за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций  
и охране культурного наследия 03 ноября 2006 г.

## Учредители:

Федеральное агентство по науке  
и инновациям РФ, ООО «Парк-медиа»

## Редакционный совет:

*Председатель:* М.В. Ковальчук  
*Главный редактор:* М.В. Алфимов

Ж.И. Алфёров, А.Л. Асеев,  
Е.Н. Каблов, М.П. Кирпичников,  
С.Н. Мазуренко, К.Г. Скрыбин

## Редакционная коллегия:

*Ответственный секретарь:* М.Я. Мельников  
*Издатель:* А.И. Гордеев

М.И. Алымов, В.М. Говорун, А.А. Горбачевич, С.П. Громов,  
А.М. Желтиков, Р.М. Кадушников, А.Н. Озерин,  
А.Н. Петров, В.Ф. Разумов, И.П. Суздальев, С.П. Тимошенко

## Руководитель проекта:

Т.Б. Пичугина

*Редакторы:* М.Н. Морозова, С.А. Озерин

*Подготовка иллюстраций, макет и верстка:*  
Д.Б. Шинкарев, К.К. Опарин

*Дизайн обложки и делового блока:* Д.Б. Шинкарев

*Фотоподбор:* М.Н. Морозова, Д.Б. Шинкарев

*Распространение:* М.И. Кузьменко

*E-mail:* [podpiska@nanorf.ru](mailto:podpiska@nanorf.ru), [www.nanorf.ru](http://www.nanorf.ru)

*Дизайн журнала:* С.Ф. Гаркуша

*Корректурa:* М.В. Чуланова

Адрес редакции: 119991, Москва, Ленинские горы, Научный парк МГУ,  
владение 1, строение 75Г. Телефон/факс: (495) 930-87-07.

Подписка: (495) 930-88-06.

E-mail: [podpiska@nanorf.ru](mailto:podpiska@nanorf.ru), [www.nanorf.ru](http://www.nanorf.ru)

ISSN 1992-7223

При перепечатке материалов ссылка на журнал «Российские нанотехнологии»  
обязательна. Любое воспроизведение опубликованных материалов без пись-  
менного согласия редакции не допускается. Редакция не несет ответственность  
за достоверность информации, опубликованной в рекламных материалах.

© РОССИЙСКИЕ НАНОТЕХНОЛОГИИ, 2010

Номер подписан в печать 9 февраля 2010 г.

Тираж 1000 экз. Цена свободная.

Отпечатано в типографии «МЕДИА-ГРАНД»

## СОДЕРЖАНИЕ

Слово редактора .....	2
Дайджест .....	6
Материалы активные и умные. ....	8
Что такое эффект лотоса? .....	11
Бетонная наука .....	12
Что есть «нано» и насколько? .....	15
Удар резиной по бездорожью.....	17
Романтика бетона.....	19
Золь-гель .....	21
Как широко внедряются нанотехнологии в строительную отрасль? .....	22
От атомов до городов .....	23
Страшно жить?.....	26
Технологии во плоти .....	28
Порошковая защита .....	31
Кто и как проверяет строительные наноматериалы на безопасность? .....	32
Когда Россия создаст сверхъяркий чип? .....	33
Вариации на тему рубрики .....	35
Чему учат нанотехнологов? .....	39

### ИЩЕМ ЭКСПЕРТОВ...

«Российские нанотехнологии» рады сотрудни-  
чать с учеными, которые умеют и хотят попу-  
лярно рассказывать о животрепещущих про-  
блемах нанонаук, об их влиянии на общество.  
Если вы заинтересованы сделать материал в  
рубрики «Дайджест», «Научпоп», «Мнение»,  
«Анализ», «Научно-техническая политика» или  
«Исследования и разработки», пожалуйста, сооб-  
щите нам: т. (495) 930-88-08, [nano\\_hr@strf.ru](mailto:nano_hr@strf.ru)

**Любое ваше мнение и комментарий  
приветствуются!**

**Самоорганизующиеся структуры и наносборки**

**О.В. Михайлов**  
Самосборка молекул металлмакроциклических соединений в нанореакторах на основе биополимер-иммобилизованных матричных систем. . . . .43

**Нanomатериалы функционального назначения**

**А.Ю. Меньшикова**  
Монодисперсные функциональные полимерные частицы и их применение в нанотехнологии . . . . .52

**НАНО** статьи**Самоорганизующиеся структуры и наносборки**

**А.О. Орлова, В.Г. Маслов, Ю.А. Топорова, Е.В. Ушакова, А.В. Федоров, М.В. Артемьев, А.В. Баранов**  
Пленочный люминесцентный наносенсор на основе комплекса квантовая точка – органическая молекула . . .61

**Б.И. Шапиро, Е.А. Белоножкина, О.А. Тяпина, В.А. Кузьмин**  
Влияние многозарядных неорганических и органических катионов на J-агрегацию полиметиновых красителей. . .67

**Г. Арутинов, С.Б. Бричкин, В.Ф. Разумов**  
Получение упорядоченных монослоев из полистирольных субмикронных частиц методом «спин-коутинга» . . . . .72

**Наноструктуры, включая нанотрубки**

**М.А. Коршунов, В.Ф. Шабанов**  
Влияние размерных эффектов на динамику решетки парадибромбензола . . . . .75

**Л.А. Смирнова, Т.А. Грачева, А.Е. Мочалова, Т.А. Кузьмичева, Е.Н. Федосеева**  
Особенности формирования наночастиц золота в растворах хитозана, допированных  $\text{HAuCl}_4$ . . . . .79

**Н.И. Стеблевская, М.А. Медков**  
Низкотемпературный экстракционно-пиролитический синтез наноразмерных композитов на основе оксидов металлов . . . . .83

**Нanomатериалы конструкционного назначения**

**Г.В. Сакович, В.А. Архипов, А.Б. Ворожцов, С.С. Бондарчук, Б.В. Певченко**  
Исследование процессов горения ВЭМ с нанопорошками алюминия. . . . .89

**О.Р. Валиахметов, Р.М. Галеев, В.А. Иванько, Р.М. Имаев, А.А. Иноземцев, Н.Л. Кокшаров, А.А. Круглов, Р.Я. Лутфуллин, Р.Р. Мулюков, А.А. Назаров, Р.В. Сафиуллин, С.А. Харин**  
Использование наноструктурных материалов и нанотехнологий для создания полых конструкций. . . . .102

**Нанoeлектроника**

**Е.С. Кузьменко, А.А. Жуков, Е.П. Пожидаев, И.Н. Компанец**  
Нанослой полипиромеллитимидных ориентантов жидких кристаллов для устройств органической электроники. .112

**Нанofотоника**

**Д.В. Калинин, В.В. Сердобинцева, А.П. Елисеев**  
Фотолюминесценция композиционных сенсорных пленок на основе структурированного мезопористого кремнезема и фотонно-кристаллических структур . . . . .117

**Нанобиология**

**А.П. Пузырь, А.Е. Буров, В.С. Бондарь, Ю.Н. Трусов**  
Нейтрализация афлатоксина В1 озонированием и адсорбцией наноалмазами . . . . .122

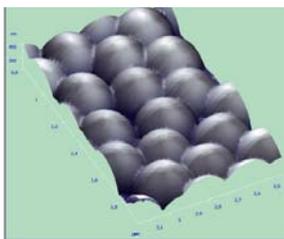
**С.С. Вознесенский, А.Н. Галкина, Ю.Н. Кульчин, А.А. Сергеев**  
Наноструктурированные морские биоминералы – перспективный прототип для биомиметического моделирования . . . . .126

Правила для авторов. . . . .135

## В этом номере

стр.  
72

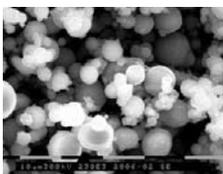
В работе Г. Арутинова представлены результаты исследований, направленных на получение монослойных регулярных структур на основе латексных частиц. Полученные двумерные структуры были использованы для последующего упорядочения частиц серебра со средним диаметром 20 нм. Такие структуры широко используются в устройствах для хранения данных, дисплеях и сенсорах, а материалы на основе металлических наночастиц, самоорганизованных в упорядоченные двумерные структуры, демонстрируют новые оптические и электрические свойства



АСМ-микрофотография упорядоченного слоя латексных частиц, заполненных наночастицами серебра

стр.  
89

В статье Г.В. Саковича и др. рассмотрено использование наноразмерных порошков алюминия в качестве горючего компонента перспективных композиций высокоэнергетических материалов. Изложены технология получения нанопорошков методом электрического взрыва проводника и методика анализа дисперсного состава порошков.



Микрофотография порошка алюминия марки АСД-4

стр.  
126

Физические, оптические и структурно-химические свойства материала спикул морских стеклянных губок *Hyalonema sieboldi*, *Pheronema raphanus*, *Pheronema sp.* исследованы в статье С.С. Вознесенского и др. Спикулы губки – это наноконструктивная трехмерная периодическая структура, состоящая из органического матрикса и аморфного оксида кремния. Результаты исследований показали, что спикулы морских стеклянных губок можно использовать как перспективный прототип для биомиметического моделирования при создании наноструктурированных оптических материалов для систем и устройств фотоники.



Общий вид губки *Pheronema raphanus*

### Четвертый автор

В конце 1980-х старшие научные сотрудники Института проблем сверхпластичности металлов РАН, Уфа, Валиахметов О.Р. и Галеев Р.М., используя метод всесторонней изотермической ковки, получили в достаточно объемной заготовке однородную наноструктуру. Сейчас этот метод превращается в технологию, с помощью которой можно создавать авиационные детали нового поколения. Подробнее о работе рассказывает один из ее участников (с. 102), заместитель директора по научной работе Ренат Имаев.



#### Как вы используете эффект сверхпластичности?

При всесторонней изотермической ковке измельчение зерен происходит за счет динамической рекристаллизации. Сверхпластичность же обеспечивает однородность структуры и высокую долю большуголовых границ зерен. По мере измельчения зерен до уровня, характерного для температуры данного этапа, материал сам переходит в состояние сверхпластичности, и мы это используем. Далее при изготовлении изделия сверхпластичность используется второй раз при заметно более низкой температуре.

#### Почему она проявляется второй раз при более низкой температуре? Как это объясняет теория?

Полной теории сверхпластической деформации еще нет, но есть ряд весьма хороших моделей, и основные процессы, определяющие сверхпластическое поведение, давно установлены. При сверхпластичности деформация главным образом происходит путем зернограницного проскальзывания, а не сплошности, которые при этом должны были бы возникать, удаляются, или, как говорят, аккомодируются путем обычного внутризеренного дислокационного скольжения и диффузионной ползучести. Аккомодация контролируется, в конечном счете, диффузией вещества по границам зерен, представляющим собой пути наиболее быстрой диффузии, на расстояния, сопоставимые с размером зерен. Отсюда и зависимость от размеров зерен – чем они меньше, тем больше скорость деформации при данной температуре и данном напряжении. Поэтому уменьшение размера зерен смещает температуру оптимальной сверхпластичности в сторону более низких температур.

#### Можно ли получить титан с зерном менее 400 нм?

Это зависит от размеров заготовки и в определенной степени от материала, его технологической пластичности. В заготовках меньшего размера, чем упомянуто в нашей статье, на сплаве ВТ6 достигается микроструктура с размером зерен  $d = 100$  нм. Значительно легче достигается наноструктурное состояние в заготовках другого титанового сплава – ВТ8. Процесс трансформации пластинчатой структуры в глобулярную в этом сплаве протекает быстрее, чем в сплаве ВТ6, что существенно снижает число переходов на каждом этапе. Благодаря этому сплав ВТ8 более пластичен, чем ВТ6, и его можно ковать при более низких температурах, избегая при этом образования трещин. Из сплава ВТ8 были получены объемные заготовки диаметром 60 мм и длиной 150 мм с размером зерен  $d = 60-100$  нм.

#### Есть ли заказчики на ваши наноструктурные материалы?

В настоящее время заказчиком выступает ОАО «Авиадвигатель».

#### Какие конструкции для гражданского строительства можно создавать по вашей технологии?

Технологии сверхпластической формовки и сварки давлением перспективны и для строительного сектора. За рубежом эти технологии уже давно используются для строительных конструкций. Однако в России в настоящее время заказчики отсутствуют.

## «Эффект галереи»



Группа ученых из Вашингтонского университета под руководством Яна Ланя разработала детектор, способный распознавать на лету частицы размером меньше 100 нм. Это очень важно при оценке влияния наночастиц на окружающую среду и человеческое здоровье.

Новый детектор представляет собой улучшенную версию т.н. микрорезонатора «шепчущей галереи». Так называют устройство подобного типа по аналогии с галереей Собора Святого Павла в Лондоне: шепот, изданный под куполом собора у одной стены, будет прекрасно слышен у противоположной – несмотря на значительное расстояние. Это происходит из-за отражения звуковой волны достаточно высокой частоты от стен и купола с минимальными потерями энергии.

В таком детекторе лазерный луч распространяется по кольцевому волноводу, например стеклянному кольцу, отражаясь от границ волновода обратно внутрь – вплоть до полного поглощения. Если между частотой волны и размерами волновода есть определенная резонансная зависимость – мода шепчущей галереи, – затухание очень мало, и стоячая волна распространяется по кругу очень долго. Если на поверхности детектора находится частица, которую задевает внешний край световой волны, резонансная частота сдвигается, и по этому сдвигу можно судить о размерах частицы.

Группа Ланя создала схему, практически лишенную оптических изъянов. Микрорезонаторы вытравливались из слоев стекла на кремниевой подложке при помощи технологий, используемых в производстве микроэлектроники; для достижения ровной поверхности колец применялось

поверхностное натяжение – заготовки разогревались лазером, и потекшее стекло само принимало форму совершенного тора.

Таким образом удалось добиться добротности порядка 100 млн – затухание в ней очень мало. Благодаря этому удалось использовать для обнаружения частиц явление расщепления моды.

## Плексиглас

Полиметилметакрилат (ПММА), больше известный как плексиглас, используют в электронике, микро- и электромеханических системах и в трансплантологии. Важно так модифицировать поверхность ПММА, чтобы ее параметры точно соответствовали конкретным нуждам того или иного устройства. Один из критических параметров поверхности – ее шероховатость. В Институте физических проблем им. Ф.В. Лукина (г. Зеленоград) разработали и опробовали методику сглаживания неровностей поверхности ПММА в нанометровом и субнанометровом диапазоне. Методика основана на облучении вакуумным ультрафиолетом с длиной волны около 124 нм.

При облучении образцов энергии падающих фотонов достаточно для разрыва межмолекулярных связей в полимере. Кроме того, под воздействием ультрафиолета происходят химические реакции, стимулированные квантами света (фотолиз). Обломки молекул полимера вместе с летучими продуктами фотолиза непрерывно удаляются из рабочей камеры вакуумным насосом. Совокупность процессов, возникающих при взаимодействии ультрафиолета с полимером, приводит к сглаживанию нанометровых неровностей рельефа поверхности.

## Нанолитография

Ученые из Технологического института Джорджии разработали метод нанолитографии, способный создавать печатные схемы высокого разрешения с печатью как минимум тремя химическими «красками» со скоростью вплоть до миллиметра в секунду. Печать схем можно запрограммировать заранее на любую желаемую форму; они достаточно стабильны, могут храниться на протяжении недель и затем использоваться где угодно.

Используя сканирующий атомно-силовой микроскоп, ученые нагревают тонкий кремниевый наконечник и передвигают его над тонкой полимерной пленкой. Тепло от микроскопа вызывает местную химическую реакцию на поверхности пленки. Реакция меняет химическую активность пленки, и та из химически инертной поверхности превращается в активную, способную выборочным образом прикреплять наносимые на нее молекулы, что и происходит при погружении в соответствующий раствор. Печать

## Деловые новости

### ПРЕМИИ

Российская молодежная премия в области наноиндустрии присуждается гражданину РФ в возрасте до 35 лет за разработку и внедрение нового нанотехнологического продукта или освоение его производства. Премия учредила ГК «Роснано», в 2010 г. ее фонд составит 300 000 рублей. Заявку на премию нужно представить до 01 июня 2010 г. [rusnanoprize.ru](http://rusnanoprize.ru)

### ДЕНЬГИ

«Только на инвестиционные цели в инвестпрограммах государственных компаний запланированы 2.5 трлн рублей. Эта цифра поражает», – сказал глава государства на встрече с руководством Счетной палаты 18 января. По словам Медведева, расходование этих средств – «предмет отдельного анализа». Сергей Степашин сообщил, что на 2010 г. аудиторы запланировали «крупный проект – изучение того, насколько эффективны затраты при реализации инвестпроектов естественных монополий». Он отметил, что также предполагается проверить «эффективность использования средств на создание инфраструктуры наноиндустрии, хотим разобраться с тем, что такое нанотехнологии».

[finmarket.ru](http://finmarket.ru)

Разработки в сфере нанотехнологий, которые активно сейчас ведутся почти во всех развитых странах, дадут свой коммерческий эффект в ближайшие четыре года. По мнению аналитиков Research and Markets, объем рынка товаров, созданных с использованием нанотехнологий, будет расти в период 2010–2013 гг. на 49 % ежегодно и составит через четыре года 1.6 трлн долларов. При этом серьезный вклад в рост обеспечат новые страны-игроки, подключившиеся к нанотехнологической гонке. Высокие темпы роста покажут такие страны, как Китай, Индия и Россия, активно инвестирующие в нанотехнологии.

[nanodigest.ru](http://nanodigest.ru)

О решении выделить Курчатовскому институту дополнительно 10 млрд рублей на раз-

в несколько «красок» получается поочередным вычерчиванием нужных нанорисунков на пленке и ее погружением в разные растворы.

Впервые эта же исследовательская группа предложила метод термохимической нанолитографии (ТХНЛ) еще в 2007 г.; теперь, будучи существенно доработанным, он может стать исключительно полезным инструментом.

## Биостекло

Исследователи из университетов Виго и Рутгера в США и Имперского колледжа Лондона разработали метод получения нановолокон стекла, названный «лазерным прядением». Ученым впервые удалось получить нановолокна биостекла, используемого для восстановления костных тканей.

В этой технологии используют высокоэнергетический лазер, с помощью которого плавится небольшое количество исходного материала. В результате получают ультратонкую нить, которая растягивается и охлаждается мощным газовым потоком. Лазерное прядение делает материал мягким, сплошным, придает ему нанометрическую структуру, которая способствует образованию и размножению костных клеток.

## Золотое сечение в квантовом мире

Ученые из Центра материалов и энергии Гельмгольца в Берлине вместе с коллегами из Оксфордского и Бристольского университетов, а также лаборатории Резерфорда и Эпплтона (Великобритания) обнаружили наносимметрию, скрытую в твердом состоянии материи. Они измерили характерные черты симметрии и обнаружили ее сходство с золотым сечением, известным по живописи и архитектуре.

Частицы в атомном масштабе ведут себя иначе, чем привычные нам объекты в макроатомном мире. Новые свойства вытекают из такого эффекта, как принцип неопределенности Гейзенберга. Ради изучения этих квантовых эффектов ученые обратили внимание на такое обладающее магнитными свойствами вещество, как ниобат кобальта. Его атомы объединяются в намагнитенные цепочки наподобие стержневых магнитов толщиной всего в один атом, служа весьма полезной моделью для описания ферромагнетизма в твердой материи и в наномасштабе.

Искусственно вызвав состояние квантовой неопределенности, ученые увидели, что цепочка атомов ведет себя подобно наноскопической гитарной струне.

Наблюдаемые резонансные состояния в ниобате кобальта представляют собой проявление того, как математические теории, разработанные изначально для физики частиц, находят себе применение в технологиях будущего.

## Нанопроволока



Ученым из Школы техники и прикладных наук им. Генри Сэмюэли при Калифорнийском университете в Лос-Анджелесе (UCLA), Университета Пёрдью, штат Индиана, США и компании IBM удалось вырастить полупроводящие кремниевогерманиевые нанопроволоки, которые в перспективе можно использовать для создания транзисторов нового поколения.

Группа получила нанопроволоки из слоев кремния и германия – без каких-либо дефектов и с очень четкой атомарной границей между слоями разных веществ, порядка одного атома. Это значительно улучшило электронные свойства нанопроволок.

Кремниевогерманиевые наноструктуры найдут также применение как термоэлектрические материалы, способные преобразовывать тепло в электричество.

## Детекция молекул

Исследователи Йельского университета изготовили кантилеверы, толщина которых сравнима с длиной волны видимого света. Их применение в современной фотонике поможет обойтись без электрических преобразователей и дорогих лазерных установок.

Кантилеверы – основной тип чувствительных механических элементов в наноэлектромеханических системах. Они представляют собой тонкие волоски, прикрепленные одним концом к поверхности субстрата. При контакте молекулы с кантилевером последний изгибается. Как показали ученые Йельского университета, изменения механического состояния кантилевера можно регистрировать, калибровать, и таким образом использовать кантилевер в качестве детектора одиночных молекул. Ученые научились определять изменения в положении кантилевера величиной всего 0.0001 А (одна десятитысячная диаметра атома водорода) с помощью особой структуры, способной проводить световые волны вдоль кантилевера.

Новости подготовлены по материалам ИнформНауки, [www.strf.ru/inform.aspx](http://www.strf.ru/inform.aspx)

## Деловые новости

вители научно-исследовательского центра премьер-министр Владимир Путин объявил 12 января. Центр будет создан только после подписания соответствующего федерального закона. Он получит финансирование напрямую из федерального бюджета. Приоритетные направления НИЦ – «Индустрия наносистем и материалы», «Энергетика и энергосбережение». Указ о создании центра вышел еще в апреле 2008 г. [strf.ru](http://strf.ru)

Нанотехнологии – одно из главных направлений в научных исследованиях ученых Подмоскovie. На рассмотрении экспертов совета по нанотехнологиям при Министерстве промышленности и науки Московской области находится более 80 заявок от организаций Московской области – примерно десятая часть от общего количества всех предложений по стране. [cinform.ru](http://cinform.ru)

Ситуация с созданием новых технологий в Украине катастрофическая. В частности, по данным официальной статистики, общее количество приобретенных новых технологий в Украине за период с 2000 по 2007 г. составляла 5633. При этом результаты собственных исследований и разработок за последние семь лет составляют в среднем 13.6% (764 технологии) от общего количества полученных технологий. Ученые констатируют, что доля продукции отраслей, относящихся к высоким технологиям, составляет всего 4.6%. [zn.ua](http://zn.ua)

## ИНФРАСТРУКТУРА

Проект наноцентра в Уфе находится в процессе разработки. В его основу, вероятней всего, будет положена исследовательская база Уфимского государственного авиационного технического университета. Проект предусматривает разработку новых способов нанесения нанопокровов. Речь идет о высокоскоростном газотермическом напылении и ионноплазменном магнетронном распылении. [bashinform.ru](http://bashinform.ru)

Продолжение на стр. 16

# МАТЕРИАЛЫ АКТИВНЫЕ И УМНЫЕ



BASF

Строительная индустрия – один из столпов современной цивилизации. В 2007 году, последнем перед мощным финансовым кризисом, сфера строительства в Европе имела валовый годового оборот 350 млрд евро и представляла рабочие места каждому десятому трудоспособному гражданину. Ежегодно в мире производится порядка 1 м<sup>3</sup> бетона на одного жителя планеты Земля. Естественно предположить, что даже небольшие изменения, например, появление новых материалов, в столь массивной отрасли хозяйства породят ощутимые эффекты для всемирной экономики.

## Бетон

Оксид кремния (SiO<sub>2</sub>) – это часть стандартной бетонной смеси. Исследования наноструктуры материала показали, что использование наночастиц оксида кремния приводит к существенным изменениям в упаковке вещества – значительному уплотнению бетона и соответствующему улучшению его механических свойств (повышению прочности на сжатие в 3–6 раз). Кроме того, модификация материала наночастицами оксида кремния стабилизирует важнейшие валентные взаимодействия Ca – Si – H, ответственные за связность бетона, уменьшая вымывание кальция и увеличивая его влагоустойчивость.

Другое соединение, активно используемое как добавка к бетонным смесям, – диоксид титана (TiO<sub>2</sub>). Наночастицы диоксида титана уже получили весьма широкое распространение в современной промышленности – из-за высоких отражающих свойств материала, особенно в ультрафиолетовом спектре, их используют в солнцезащитных кремах, а способность расщеплять различные органические соединения, в том числе летучие, делает такие частицы важной добавкой к бетону, оконному стеклу и лакокрасочным покрытиям, уменьшающей уровень загрязнителей воздуха в

здании и вокруг него. Кроме того, диоксид титана обладает ярко выраженной гидрофильностью, что придает содержащим его материалам способность к самоочистке – капельки воды конденсируются на поверхности и, стекая, увлекают за собой частицы грязи. На сегодняшний день уже налажен широкий выпуск белого бетона с добавкой диоксида титана, обеспечивающего зданиям более эстетичный вид.

Исследователи уделяют также много внимания взаимодействию бетона с углеродными нанотрубками. Добавка небольшого количества (~ 1 вес. %) окисленных многослойных углеродных нанотрубок к традиционным маркам, например портландцементу, приводит к значительному улучшению прочности материала на сжатие (+ 25 Н/мм<sup>2</sup>) и изгибной прочности (+ 8 Н/мм<sup>2</sup>). Однако применение углеродных нанотрубок в качестве наполнителя того или иного материала имеет один важный недостаток: нанотрубки «любят» слипаться за счет взаимодействия графеновых листов, образуя крупные кластеры, что приводит в итоге к потере когезии с материалом-носителем. Поэтому для достижения высоких характеристик композиционного материала необходимо проводить дополнительные процедуры с целью разделения и однородной

дисперсии нанотрубок. Один из обнаруженных на сегодня способов – предварительное смешивание углеродных нанотрубок с гуммиарабиком, но необходимы дальнейшие исследования, чтобы подобрать оптимальный состав такого композита.

Углеродные нанотрубки обладают целым набором уникальных свойств; возможно, в самом ближайшем будущем их будут широко применять при создании вычислительной техники, в авиационной, в различных биомедицинских приложениях. С одной стороны, высокая популярность нанотрубок делает их одним из наиболее изучаемых материалов, и строительная индустрия может косвенно выиграть от открытий, сделанных в других областях, а с другой – значительный спрос определяет высокую цену на нанотрубки, ограничивая экономический эффект их применения.

Интересную работу проводят ученые из Горно-технологической школы Южной Дакоты, разрабатывающие биогерметик бетона на основе карбоната кальция, произведенного генетически модифицированными почвенными бактериями. Полученный материал будут использовать в качестве уплотнителя, препятствующего также зарождению и распространению трещин. Предварительные результаты показывают, что существует прямая зависимость между прочностью модифицированного бетона и концентрацией выращенных микроорганизмов в нем. Это исследование имеет и важную экологическую составляющую – увеличение времени жизни снижает общее количество используемого материала, снижая тем самым нагрузку на природные ресурсы планеты в его производстве. Сейчас уже можно говорить о целом направлении в

современном материаловедении — создании самозалечивающихся материалов. Так, в Университете Иллинойса, США, создан ряд полимерных композиционных материалов, содержащих наночастицы, раскрывающиеся на границе трещины и останавливающие ее развитие.

Следует также упомянуть самокомпактирующийся бетон, не требующий вибрационного воздействия для консолидации состава. Его использование значительно уменьшает энергетические и трудовые расходы. Исходный материал, содержащий высокодисперсные наночастицы поликарбоксилата, ведет себя как густая жидкость при небольшом соотношении цемент-вода. При высыхании набухающие частицы пластификатора препятствуют образованию пустот и трещин. Самокомпактирующийся бетон обладает еще одним важным преимуществом. Обычный пластифицированный бетон медленно схватывается в зимнее время, что приводит к необходимости дополнительной парообработки конструкций. Наночастицы поликарбоксилата значительно уменьшают количество используемой воды и время засыхания материала, делая необязательной стадию парообработки.

Отметим, наконец, технику нанесения волокнистых покрытий на поверхность формируемых бетонных структур, включающую в себя использование волокнистого углеродного композита с наночастицами оксида кремния. Наночастицы заполняют трещинки на поверхности засыхающего бетона и связывают прочно его с материалом-усилителем. Волокна углерода играют важную роль в замедлении трещинообразования, увеличении времени жизни бетонных структур во влажных условиях и устойчивости к царапинам.

Производство химических добавок постепенно выделяется в самостоятельную отрасль промышленности строительных материалов. И в настоящее время в России количество модифицированных бетонов составляет 60–70 % от общего выпуска. Однако по этому показателю мы заметно отстаем от большинства развитых стран, где он достигает 85–95 %.

## Стали

Усталость материала — одна из основных причин разрушения стальных конструкций, подверженных циклическим нагрузкам (мосты, башни и т.п.). Даже напряжения намного меньшие, чем пороги разрушения, могут приводить при периодическом повторении к уменьшению времени жизни изделия.



Цементную плитку покрывают краской на основе нанокompозита, что делает ее стойкой к непогоде

Современная философия строительства включает в себя три основных превентивных стратегии: резкое уменьшение допустимой нагрузки на конструкцию; значительное сокращение допустимого периода ее эксплуатации; регулярный мониторинг состояния. Все три подхода оказывают значительное влияние на стоимость строительства и эксплуатации конструкции.

Исследования показали, что добавка к стали небольших наночастиц меди сглаживает неоднородность поверхности стали, уменьшая таким образом количество точек, в которых концентрируются напряжения. Дальнейшая разработка таких композиционных материалов позволит существенно увеличить безопасность металлических конструкций при одновременной экономии средств мониторинга их состояния.

Высотные конструкции требуют соз-

дания высокопрочных соединений, что предъявляет особые требования к используемым в таких соединениях болтам. Обычно их производят закаливанием стали и ее последующим отпусканием. Когда сдвиговой модуль упругости мартенситной стали превышает 1200 МПа, даже очень малые количества водорода, попадающего на межзеренные границы, существенно охрупчают материал. Этот процесс, известный как отложенное разрушение, ограничивает сдвиговой модуль упругости используемых болтов в диапазоне 1000–1200 МПа. При добавке наночастиц ванадия или молибдена, связывающих атомы водорода и улучшающих микроструктуру материала замещением межзеренной цементитной фазы, порог отложенного разрушения стальных изделий значительно повышается.

Сварные швы и прилегающие к ним



Самокомпатирующемуся бетону не нужна вибрация, он густеет благодаря наночастицам поликарбоната

области часто охрупчаются и могут разрушиться при резкой динамической нагрузке, поэтому прочность сварных швов имеет большое значение для создания надежных металлических конструкций, особенно в сейсмоопасных зонах планеты. Последствия землетрясения в Лос-Анджелесе в 1994 году заставили ученых и конструкторов переосмыслить значение зон сварки. Современные стратегии дизайна металлических конструкций включают в себя сознательное ослабление определенных зон с целью переноса областей повышенного напряжения как можно дальше от зон сваривания. Однако последние исследования показывают, что небольшие добавки наночастиц магния или кальция в пять раз уменьшают размер зерен в сварных швах, увеличивая существенно их прочность.

Отметим, что перечисленные выше возможности применения наночастиц можно рассматривать не только с точки зрения безопасности, но и с точки зрения экологии: продление жизни конструкций поможет снизить нагрузки на природу, связанные с добычей и транспортировкой руды, производством стали.

### Древесина

В одном из древнейших конструкционных материалов, дереве, природа использовала природные нанотрубки и наноприфириллы, роль которых выполняют лигноцеллюлозные элементы. Их

прочность превышает прочность стали как минимум в два раза. Направленное использование лигноцеллюлозных наноприфирилл может стать новой парадигмой в строительстве, поскольку в производстве таких конструкций будут использованы только возобновляемые ресурсы. В настоящее время в ряде университетов США и Европы проводятся исследования с целью модификации поверхности лигноцеллюлозных волокон, что позволит использовать их в качестве самостерилизующихся, самозаживляемых элементов, в том числе электронных лигноцеллюлозных приборов: как активных, так и пассивных сенсоров, осуществляющих мониторинг структурных нагрузок, температуры, влажности, теплового режима работы приборов. Однако создание лигноцеллюлозной техники – вопрос более отдаленного будущего по сравнению с другими перечисленными возможностями.

### Стекла

Если покрыть стекло тонкой пленкой, содержащей наночастицы диоксида титана, то его можно использовать не только для пассивного частичного пропускания энергии света, но и для расщепления органических загрязнителей воздуха в помещении.

Противопожарные стекла – другой пример использования нанотехнологий в строительстве. Они представляют собой прозрачный слой нанопористого оксида кремния, заключенный между

слоями обычного стекла. При пожаре нанопена затвердевает и мутнеет, позволяя стеклу выдерживать гораздо большие тепловые нагрузки и одновременно становясь надежным барьером для теплового потока.

В настоящее время значительное внимание исследователей и конструкторов сосредоточено на создании «умных» стекол, способных контролировать потоки света и тепла внутрь здания. Можно выделить четыре основных подхода к использованию нанотехнологий для решения этой задачи:

- Нанесение спектрально чувствительных тонкопленочных покрытий, не пропускающих инфракрасные световые волны.
- Активные термохромные покрытия, реагирующие на изменение температуры и способные термоизолировать помещение, обеспечивая одновременно приемлемый уровень освещенности.
- Фотохромные покрытия, изменяющие коэффициент пропускания стекла в зависимости от его освещенности.
- Электрохромные покрытия на основе оксида вольфрама, реагирующие изменением прозрачности на изменение приложенного напряжения (становящиеся непрозрачными при прикосновении).

## Настоящее и будущее

Строительная индустрия, представляющая гигантское поле деятельности с точки зрения применения нанотехнологий, весьма раздроблена: 97 % строительных фирм в Европе насчитывает персонал не более 20 человек. Именно этот фактор ограничивает финансирование направленной научно-исследовательской работы, которая концентрируется на решении конкретных задач из области создания тех или иных конструкций или конструкционных материалов. На сегодняшний день развитие строительного материаловедения определяется во многом успехами в исследованиях смежных дисциплин (например, автомобиле- и авиастроение). Небольшими размерами строительных фирм обусловлен также и их относительный консерватизм — сравнительно медленное внедрение новых материалов, связанное с неспособностью к крупным инновационным капиталовложениям. Однако даже небольшие изменения в эффективности используемых в строительстве материалов и технологий оборачиваются чрезвычайно большим экономическим, экологическим, энергетическим эффектом. Поэтому обязательной становится выработка рациональной политики государства, направленной на поддержку инновационного развития строительных предприятий.

Перечисленные выше технологии уже находят свое применение в строительной индустрии. Заглянем, однако, немного дальше — на 10–15 лет вперед. Сегодня мы наблюдаем изменение размеров различных сенсоров, способных к автономной работе и к объединению в беспроводные сети. А теперь представьте подобную сеть, внедренную в дорожное покрытие, конструкцию здания или моста. Подобные «умные» конструкции будут способны осуществлять самомониторинг — нанодатчики температуры, давления, механических напряжений вовремя сообщат в эксплуатационные службы о развитии трещин в материале, позволяя сэкономить большое количество трудоемкой обслуживающего персонала и значительно увеличить безопасность конструкций. Нанодетекторы способны не только контролировать состояние самой конструкции, но и ее окружения. Дома, способные «чувствовать» присутствующих в них людей, или дороги, определяющие нарушение скоростного режима движущегося по ним транспорта, могут завтра стать нашей реальностью.

*Максим Щербина*

# ЧТО ТАКОЕ ЭФФЕКТ ЛОТОСА?

Удивительными свойствами листьев лотоса отталкивать капли воды восхищались поэты и ученые Востока тысячи лет назад. В Китае лотос символизирует целомудрие, что не удивительно — произрастая в грязных илистых водоемах, лотос сохраняет свою чистоту и очарование. Даже если его целиком окунуть в грязную воду, на нем не останется ни единого пятнышка. Любая влага, попадающая на листья лотоса, тут же собирается в шарики и падает вниз, забирая с собой частички пыли и грязи.

Только с изобретением электронного микроскопа секрет лотоса стал известен. Его раскрыл немецкий биолог Вильгельм Бартлотт в 1975 году. Все дело — в микроскопических бугорках, которыми покрыты листья. А бугорки, в свою очередь, покрыты еще более мелкими «нановолосиками». Капля воды, попадая на такую бугристую поверхность, не может равномерно расположиться на ней, т.к. этому мешают силы поверхностного натяжения. Поэтому капли скатываются с поверхности листа, не оставляя следа и смывая грязь, пыль и бактерии. Лишь в начале 1990-х Бартлотту удалось воспроизвести механизм, изобретенный природой, в лаборатории на искусственных поверхностях. В 1997 году он запатентовал метод и приобрел торговую марку Lotus-Effect®.

Можно ли, используя эффект лотоса, сделать поверхности зданий и сооружений самоочищающимися? Представьте себе фасад многоэтажного здания с несколькими подъездами. Вымыть такую большую площадь нелегко, даже если это горизонтальная поверхность. Что уж говорить о высотных работах. Вот если бы найти способ их вообще не мыть.

И такой способ был найден. Нужно просто покрасить здание особой водоотталкивающей краской. В 1999 году краску с эффектом лотоса — Lotusan — выпустила немецкая фирма Sto. Обычно вода стекает с поверхности, оставляя грязные разводы. Краска с эффектом лотоса содержит в себе микрокристаллы стеклянных частиц, которые создают бугорки, как у листа лотоса, и не позволяют каплям воды задерживаться и растекаться по поверхности, — они просто скатываются, забирая с собой частицы грязи. Появление самоочищающейся краски перевернуло рынок и обеспечило стабильный спрос на данную продукцию.

О том, что неплохо было бы сделать поверхность самоочищающейся, задумались и производители стекол, ведь это полноправный строительный материал. Редкая высотка в наше время обходится без стекольной поверхности. Что уж и говорить о небоскребах в Нью-Йорке, Шанхае и Дубае и о том, сколько средств на их очистке будет сэкономлено при применении стекол, поверхность которых отталкивает воду и грязь.

Применимы такие технологии и к керамической плитке. Ряд патентов в области водо- и грязеотталкивающих покрытий керамики принадлежит германскому концерну Deutsche Steinzeug. Есть на рынке даже черепица для крыш, отталкивающая воду и грязь по тому же принципу, что и листья лотоса. Причем, как уверяют производители, черепица не только самоочищается от грязи, но и препятствует накоплению снега. Однако подобные заявления производителей могут вполне служить лишь рекламным целям, а их продукты не обладают эффектом лотоса, запатентованным Бартлоттом.

*Алексей Масанов*

# БЕТОННАЯ НАУКА

**Александр  
Данилов**



Nathan Umstead

Термин «нанобетон» в последние годы прочно вошел в строительный лексикон для обозначения бетона, при производстве которого используются наноматериалы и нанотехнологии. Речь, как правило, идет либо об измельчении основных компонентов – цемента и наполнителей, либо о введении добавок. Рассмотрим несколько примеров успешного применения этих материалов.

Строительство – это сфера деятельности, где преимущества новых технологий проявляются особенно зримо, поскольку воплощены в уже построенных зданиях и сооружениях. В качестве примера можно привести мост через Волгу в городе Кимры Тверской губернии, введенный в эксплуатацию в конце 2007 г. Это первый в мире автодорожный мост, дорожная плита которого была выполнена из легкого конструкционного фибробетона на основе базальтовой микрофибры, модифицированной нанокластерами углерода. Один из участников проекта, генеральный директор ООО «НТЦ прикладных нанотехнологий» А.Н. Пономарев рассказывает: «При реконструкции моста строители столкнулись с острой необходимостью обеспечить выравнивание дорожной плиты в условиях обязательного повышения судходности за счет увеличения пролетной части. Принятое решение о применении легкого конструкционного бетона с отказом от выполнения утяжеляющей гидроизоля-

ции было экспериментальным шагом, но практически единственным» [1]. Это позволило снизить собственный вес покрытия более чем на треть.

Фибробетон – это разновидность бетона, в котором достаточно равномерно распределены волокна (фибры) из металла, стекла, полимера или другого материала. Фиброволокно выполняет функции армирующего компонента, способствуя снижению удельного веса бетона при повышении его трещиностойкости и устойчивости к деформациям. В данном случае было использовано базальтовое фиброволокно, на поверхность которого наносились углеродные нанокластеры. Опыты показали, что добавление углеродных нанокластеров даже в количестве менее 0.001 % заметно улучшает свойства бетона. Существенно увеличивается прочность и ударная вязкость, меняется и характер кристаллизации цементного камня – происходит направленная кристаллизация соединений кальция на углеродных нанотрубках.

В ходе работ по реконструкции моста встал вопрос о создании производства наноструктурированных сухих добавок к цементу в условиях действующих бетонных заводов. В 2008 г. в Санкт-Петербурге ввели в эксплуатацию полуавтоматическую линию мощностью до 800 т добавок в год. Это позволило начать работы на следующем объекте, которым стал мост через реку Вятка, также сданный в 2008 г. Сейчас проходят государственную экспертизу еще два крупных проекта.

Добиться упрочения бетона можно и по-другому, используя измельченный песок. Оказалось, что максимально заполнить пустоты в бетонном камне можно при использовании трех фракций наполнителя:  $H_1 = 6-7$  мкм,  $H_2 = 0.6-0.7$  мкм,  $H_3 = 50-90$  нм [2]. При этом эффект упрочения достигается не только за счет заполнения пор, на поверхности частичек песка под электронным микроскопом отчетливо видны игольчатые наросты длиной 0.1–0.3 мкм. Их наличие может свиде-

тельствовать об увеличении прочностных характеристик материала, т.к. они выполняют ту же роль, что и металлическая арматура. Это позволило в лабораторных условиях при введении нанодисперсных составляющих в количестве до 30 кг/м<sup>3</sup> или 2–3 % от массы цемента получить бетон с прочностью при сжатии в 3–4 раза больше обычного. И это еще не предел. По мнению специалистов, в течение ближайших 5 лет за счет применения нанотехнологий прочность бетона может быть доведена до

300 МПа, что почти в 10 раз превышает среднюю прочность современных бетонов. Такие материалы должны выдерживать более 3000 циклов замораживания и оттаивания и даже в морской воде служить более 100 лет [3].

Еще одну возможность для упрочнения бетона подсказала природа. Оказалось, что добавление в бетон анаэробных микроорганизмов определенного вида позволяет повысить его прочность на 25 %, а также улучшить его гидроизолирующие свойства. Это происходит пото-

му, что микроорганизмы, продолжая жить внутри гибридного биоматериала, заполняют поры продуктами своей жизнедеятельности.

Конечно, способов создания высококачественных бетонов найдено уже довольно много, подходы эти весьма разнообразны, и они позволяют реализовать инновационные конструкторско-технологические решения, полезные для самых различных областей строительства.

Еще на одном применении нанотехнологий в области производства бетона,

### Способы модификации бетона (\*)

Материалы	Технологии	Применение
1. Цемент (наночастицы цемента)	Повышение дисперсности и активности методами механоактивации	Высокопрочные конструкционные элементы зданий и сооружений
2. Цемент (наночастицы цемента)	Механоактивация непосредственно перед использованием	Пеноблоки в производстве пенобетона
3. Заполнитель (речной песок и т.п.) – наночастицы заполнителя	Включение регулируемого количества нанодисперсной фазы заполнителя	Высокопрочные конструкционные элементы зданий и сооружений
4. Активный высокодисперсный заполнитель (наночастицы аморфного кремнезема и т.п.)	Улучшение структуры цементного камня и его взаимодействия с заполнителем	Высокопрочные конструкционные элементы зданий и сооружений
5. Наномодифицированные заполнители – песок и др. (модификаторы – фуллероиды, нанотрубки, наночастицы гидросиликатов)	Улучшение структуры цементного камня, его самоармирование, уплотнение межфазных границ	Высокопрочные конструкционные элементы зданий и сооружений с повышенной трещиностойкостью
6. Наномодифицированные пластификаторы (наночастицы кремнезема, фуллероиды)	Технология литых и самоуплотняющихся бетонов	Бетонные конструкции сложной формы и высотные конструкции
7. Наномодифицированные полимерные добавки (наночастицы оксидов, фуллероиды, нанотрубки)	Полимербетоны с повышенной водонепроницаемостью, коррозионной устойчивостью, эксплуатационным ресурсом	Бетонные и железобетонные конструкции для работы в агрессивных средах (тоннели коллекторов, морские сооружения и т.д.)
8. Нанокompозитная некоррогирующая арматура	Технология коррозионно-устойчивых облегченных бетонов с высокими показателями прочности на изгиб и повышенной трещиностойкостью	Бетонные узлы ядерных энергетических установок, детали морских и высотных пожароустойчивых сооружений

\* [http://engstroy.spb.ru/index\\_2009\\_06/ponomarev.html](http://engstroy.spb.ru/index_2009_06/ponomarev.html)



Завод Italcementi Group по производству цемента с диоксидом титана, Болгария

также уже используемемся на практике, нужно остановиться особо. В настоящее время добавки наночастиц  $TiO_2$  широко применяются в красках, специальных цементах и других строительных материалах. Дело в том, что под воздействием солнечного света наночастицы оксида титана работают как фотокатализатор, преобразуя атмосферный кислород и пары воды в атомарный кислород. Выделяющегося активного кислорода достаточно для окисления и разложения органических загрязнений, дезодорирования помещений, уничтожения бактерий.

Особенно часто применяются такие светочувствительные катализаторы для самоочистки поверхностей, что позволяет сохранять внешний вид построенных объектов неизменным в течение длительного времени. Ведь главная причина изменения цвета цементных материалов, представляющих собой пористое тело, состоит в накоплении окрашенных органических соединений в их поверхностном слое. Здания из цементных композитов с наночастицами  $TiO_2$  сохраняют свой цвет в течение длительного времени даже под воздействием агрессивного городского окружения.

Цементы, модифицированные наночастицами оксида титана, стали применяться с середины 90-х годов прошлого века, когда итальянской фирмой Italcementi был разработан цемент марки Bianco TX Millennium для строительства церкви Dives in Misericordia в Риме. В последующие годы эти цементы были использованы в ряде европейских архитектурных проектов: Cité Musique в Шамбери, Hotel de Police в Бордо, а

также других общественных зданиях во Франции, Италии и Бельгии [4].

Цементные материалы, содержащие  $TiO_2$ , интересны не только из-за своих свойств самоочистки. Исследования, проводимые в рамках проекта Canyon Main Street (Техас, США), показывают, что такие материалы могут успешно бороться с загрязнениями воздуха в городах. Среди загрязнителей, которые могут быть ими уничтожены, — самые главные «отравители» воздуха в городах:  $NO_x$ ,  $SO_x$ ,  $NH_3$ , CO, летучие органические углеводороды, такие как бензол и толуол, органические хлориды, альдегиды и конденсированные ароматические соединения. Самыми подходящими местами для использования фотокаталитических цементных материалов являются улицы, перекрестки и площади с интенсивным движением, а также автозаправки. Последние представляют наибольшую опасность, поскольку на их территории в процессе испарения топлива образуется много летучих органических соединений, а их реакции с окислами азота приводят к образованию особо агрессивных веществ. Поэтому в Японии, Италии, Франции, Бельгии и Голландии были проведены многочисленные испытания дорожных покрытий из бетона с добавлением нанокатализаторов. Измерения у шоссе близ Милана при интенсивности дорожного движения 1200 транспортных единиц в час показали, что в безветренную погоду это покрытие способно поглощать до 65 % диоксида азота и монооксида углерода. При этом активность покрытия сохранялась и через год после его укладки. Результаты проверки были подтверждены Национальным исследовательским советом Италии. Поэтому не удивительно, что в Италии уже в 2006 г. общая площадь фотоактивных цементных поверхностей составляла примерно 400 000 м<sup>2</sup>. Уже упомянутая выше итальянская компания Italcementi несколько лет назад начала продажу цемента с фотокаталитической активностью TX Active®, способного поглощать до 40 % вредных газов, содержащихся в



Hotel de Police в Бордо, Франция



В Италии с 2006 года строят дороги с фотокаталитическим покрытием

воздухе. Разработан и европейский проект PICADA (Photocatalytic Innovative Coverings Applications for Depollution Assessment), определяющий стратегию снижения загрязнения окружающей среды за счет использования строительных материалов на основе наночастиц  $TiO_2$ .

В нашей стране также возрастает интерес к подобным строительным материалам. Так, Российской инженерной академией по заказу Правительства Москвы реализуется проект «Разработка составов, технологии изготовления экологически чистых отделочных материалов (плиты, покрытия, штукатурки) на основе гипсоцементных смесей, содержащих адсорбционно-каталитические наноконпоненты, исследование их строительно-технических свойств и разработка нормативно-технической документации на их применение». Цель проекта — создание составов и отделочных материалов, модифицированных фотокаталитическим диоксидом титана (гипсоцементных, цементно-известковых смесей, полимерцементных растворов и др.). Использование этих материалов должно улучшить экологическую обстановку в зданиях, помещениях, на подземных автостоянках и в автомобильных туннелях. Опытные образцы составов и отделочных материалов будут выпускаться на предприятиях компании MC Bauchemie — Russia. Их применяют начиная с 2010 г. на объектах, возводимых организациями, входящими в состав Комплекса архитектуры, развития и реконструкции города Москвы. ■

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- 1) [http://www.vestnik.info/new\\_nomer/article329.html](http://www.vestnik.info/new_nomer/article329.html)
- 2) [http://www.nanobuild.ru/Nanobuild\\_3\\_2009.pdf](http://www.nanobuild.ru/Nanobuild_3_2009.pdf)
- 3) [http://www.nanobuild.ru/Nanobuild\\_4\\_2009.pdf](http://www.nanobuild.ru/Nanobuild_4_2009.pdf)
- 4) [http://www.nanobuild.ru/Nanobuild\\_1\\_2009.pdf](http://www.nanobuild.ru/Nanobuild_1_2009.pdf)

# Что есть «нано» и насколько?

Практически в любом материальном объекте, созданном человеком, можно обнаружить структуры размером несколько нанометров. Но это еще не говорит о применении нанотехнологий. Возможность управлять процессами преобразования вещества на уровне молекул, создавать объект с новыми, заранее заданными химическими, физическими, биологическими свойствами – вот главный их признак. По каким критериям строительные материалы относят к нанопродуктам и входит ли туда «нанобетон», рассказывает эксперт ГК «РоснаноТех», Президент Российской инженерной академии Борис Гусев в беседе с нашим корреспондентом Александрой Балобан.

**– Борис Владимирович, в «Программе развития nanoиндустрии в Российской Федерации» вплоть до 2015 года распланы мероприятия по формированию структуры nanoиндустрии на уровне ведущих экономик мира. Как Вы считаете, насколько успешно движется работа в этом направлении?**

– В этом документе прописана определенная цифра, 900 млрд рублей, на которую планируется вывести объем производства российского сектора нанотехнологий к 2015 году. Этот показатель ждут от ГК «РоснаноТех». Сегодня мы еще далеки от него, но сделано главное: в корпорации выстроена достаточно серьезная система научно-технической и производственной экспертиз, экспертизы бизнес-проекта в целом. После того как заявка прошла первый этап, Наблюдательный совет получает на утверждение полностью структурированный, готовый к реализации проект. Затем уже начинается инвестиционный цикл. Как правило, это строительство либо модернизация крупных

цехов, производств и выпуск самого нанопродукта.

**– Какой процент заявок проходит окончательное утверждение, и не слишком ли высоки требования корпорации? Ведь nanoиндустрия у нас только складывается.**

– Утвержденных проектов пока немного, и после первой стадии экспертной проработки многие заявки требуют более детальной доработки документации. Однако окончательное утверждение Наблюдательным советом проходит около 90 % заявленных проектов, хотя точной статистики нет. Но снижать планку жестких требований корпорации нецелесообразно, ведь после реализации проекта инновационная продукция пройдет самую серьезную проверку реальным рынком.

Дело в том, что корпорация работает в таком формате, когда под разработанные технологии выдает кредит, который по сути дела безвозвратный. В зависимости от масштабов конкретного предприятия оговаривают процент участия корпорации в его структуре. За счет

этого кредита получают пакет акций. В этом отношении «РоснаноТех» – весьма привлекательная организация для развития инновационного бизнеса.

**– По каким критериям эксперты оценивают заявки? Как определить, какой именно процесс можно отнести к нанотехнологиям?**

– На сайте ГК «РоснаноТех» четко сформулировано определение нанотехнологий. Во-первых, это действительное присутствие в материале наночастиц, подтверждаемое документацией. Но по большому счету наномасштабный размер каких-либо структур в составе объекта далеко не редкость. Принципиально то, что управление наноразмерными структурами позволяет получать объект с высокими техническими свойствами – это уже нанотехнологии.

**– Какие наиболее значимые для экономики и общества проекты по строительной тематике сейчас находятся в разработке?**

– Наноструктурировать желательны материалы массового применения, такие как бетон, металл, композиционные материалы на основе волокон (углеродных, арамидных, базальтовых и других). Хотя это пока сложно, но над этой проблемой надо работать. Наиболее эффективное направление – получение нанодispersных эмульсий и суспензий. Этот вид состояния жидкости, «масло в воде» или «твердые частицы в воде», определяет свойства ряда покрытий, например лаковых покрытий, красок, обладающих защитными свойствами разного рода.

При производстве строительных материалов можно применять вакуумные, лазерные, криогенные технологии, но это дорого. Чтобы сделать массовое производство новых стройматериалов дешевле, надо разрабатывать химические процессы типа «золь-гель» и технологии, использующие механическое измельчение.

В октябре 2009 года корпорация поддержала проект по созданию современного импортозаменяющего производства наноматериалов на основе крупнотоннажных полимеров. Сфера их использования достаточно широка:

от очистки нефти и синтеза полимеров до применения в качестве адсорбента примесей в пищевой промышленности, фармакологии, а также для изготовления различных строительных материалов. Примерно 80 % продукции проекта после его выхода на плановую мощность придется на полимерные нанокомпозиты. По сравнению с обычными композитами такие материалы обладают новыми улучшенными свойствами: устойчивостью на разрыв, жаропрочностью, влаго- и газонепроницаемостью.

Еще представлен интересный проект, авторы которого предлагают использовать в качестве сырья для стройматериала битое стекло. Суть заявленной нанотехнологии состоит в том, что измельченное битое несортное стекло смешивают с раствором специально подготовленных жидких реагентов, при обжиге смесь вспенивается. Не будем вдаваться в технологические подробности, уточню только, что данная технология значительно отличается от классического производства подобных продуктов. В результате получают теплоизоляционные материалы для жилищного и промышленного строительства. Такие материалы, не теряя своих качеств, могут служить более 50 лет, они не горючи, устойчивы в агрессивных средах и экологичны.

**— Есть ли среди поступивших на экспертизу строительных проектов действиями мирового значения?**

— Несомненно. Полимерные нанокомпозиты, как я уже говорил выше, создавались именно как импортозаменяющая продукция. Необходимо отметить, что эта продукция полностью разработана в России и не имеет прямых аналогов в мире.

Единственная в своем роде, к тому же на сегодня уже реализованная в опытно-промышленном масштабе технология — производство пеностекла из стекляного боя. Наше пеностекло обладает одной из лучших в мире совокупностью характеристик конечного продукта, в том числе по экологической безопасности.

**— Вы упомянули про наноструктурированные бетоны. К вам поступали заявки по этой тематике?**

— В настоящее время в «Роснано» находится заявка на производство мелкозернистых бетонов с микронаполнителями

диоксида кремния. Пока заявка прошла только первую стадию рассмотрения. Возникли определенные вопросы, связанные с дополнением и доработкой поданных материалов. Сейчас документация дополнена, ее авторы показали, что в разработке действительно присутствуют те наноразмерные частицы, которые и определяют наноструктурирование системы. В ближайшее время, я надеюсь, эта работа будет рассмотрена и принята Наблюдательным советом.

Работы по наноструктурированным бетонам важны для нашей строительной индустрии тем, что их наполнители активно формируют повышенную прочность цементного камня, а соответственно и повышают долговечность, морозостойкость и водонепроницаемость бетона. В ближайшие пять лет может быть достигнута прочность наноструктурированных бетонов, превышающая в 10 раз среднюю прочность конструктивных. Такие бетоны с минимальной пористостью даже в морской воде могут прослужить более 100 лет.

У нас есть еще одна работа по наноструктурированным бетонам с использованием углеродных нанотрубок для дисперсного армирования материала, в том числе и как наполнителя в составе бетонов. Однако из-за высокой стоимости внедрять нанотрубки в массовое производство стройматериалов трудно.

Да, детальная экспертиза проектов устанавливает достаточно жесткие требования, но мы считаем, что снижать планку не стоит. Главное — полученный результат. Плодотворное объединение науки, бизнеса и государственной поддержки позволит России войти в число лидеров мирового рынка нанотехнологий.



**Борис Гусев:**  
экспертиза проектов жесткая

**ИНФРАСТРУКТУРА**

В Ростовской области планируют открыть центр нанотехнологий. Это направление развития станет одним из главных в 2010 г. Создание нового центра уже обсудили на переговорах с «Роснано». Сейчас проводится конкурс на реализацию проекта, и у Ростовской области хорошие шансы его выиграть.

**dontr.ru**

Ресурсный центр микроэлектроники открыли 18 декабря на базе института радиоэлектроники и приборостроения ОмГТУ. Он оснащен новейшим наукоемким оборудованием. В вузе уже работает лаборатория, позволяющая вести проектирование радио- и электронных устройств на кристаллах на наноуровне. Здесь будут повышать квалификацию специалисты приборостроительных предприятий Прииртышья. В создание центра вложили 20 млн рублей, еще 10 млн инвестируют в ближайшее время.

**globalomsk.ru**

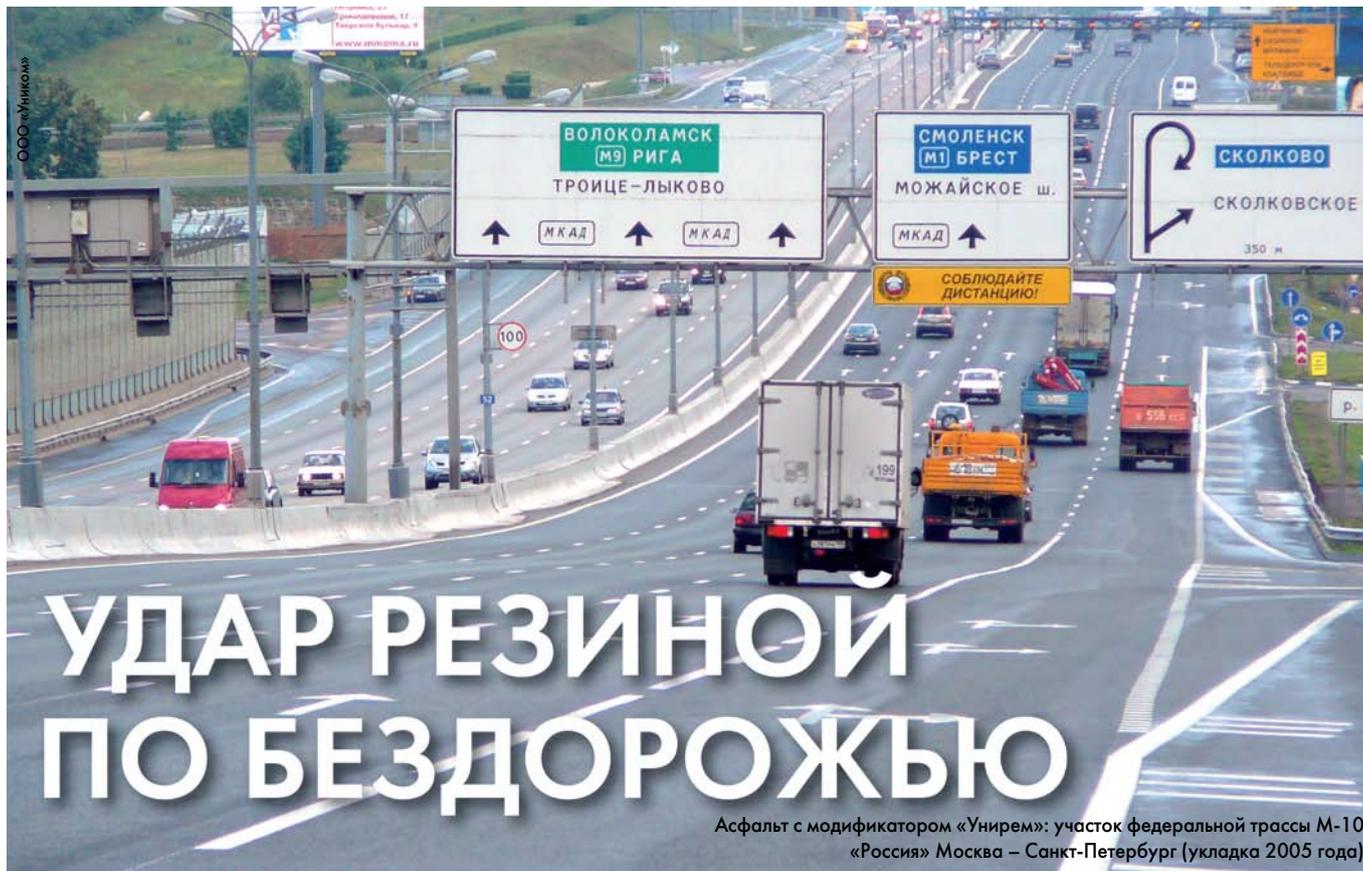
**ОБРАЗОВАНИЕ**

Химический факультет МГУ набирает студентов для обучения по программе магистерской подготовки «Композиционные наноматериалы» по направлению 510 500 «Химия». Обучение будет проходить в рамках НОЦ по нанотехнологиям МГУ, руководитель программы — академик А.Р. Хохлов. Магистерская программа ориентирована на выпускников вузов и молодых ученых, в т.ч. со степенью кандидата наук, в области химии или физики (дополнительное высшее образование). Срок обучения: 2 года. Стоимость обучения — 186 000 рублей в год.

**nano.msu.ru**

Северо-Кавказский научно-производственный центр «Нанотехнологии и наноматериалы», являющийся структурным подразделением Объединенного центра «Нанотехнологий», созданного в Северо-Кавказском государственном техническом университете, на сегодняшний день оказался единственным из всех научных организаций Южного федерального округа, который получил признание своей компетентности в проведении сертификационных испытаний в интересах системы «Наносертифика».

**ncstu.ru**



Можно ли улучшить качество российских дорог с помощью современных технологий? Ответ на этот вопрос дает практика применения модификатора дорожных покрытий «Унирем». Состоящий из высокодисперсной резины, он структурирует асфальт на наноуровне, что в итоге увеличивает срок службы последнего как минимум в 1.5 раза.

Качество наших дорог – вечная тема для злословия и поговорок. Проблемы кроются не только и не столько в огрехах технологий и небрежном строительстве. Во многом недолговечность российских дорог обусловлена природными условиями. Для сравнения: почвы Финляндии – это в основном скальная порода. И поэтому, чтобы построить дорогу, достаточно выровнять грунт и положить асфальт. Не то в России. Чернозем, песок, суглинок – вот типы почв, которые преобладают на территории нашей страны и требуют совсем другого отношения. Чтобы построить на них асфальтовую дорогу, необходимо вырыть яму, засыпать в нее песок, щебень, все это много раз уплотнить, а сверху положить асфальт. Если делать это качественно, то себестоимость дорог в России из-за материалоемкости и протяженности превысит цифры по другим странам. Есть ли способы удешевить строительство дорог, не потеряв при этом их качества, главным образом долговечность?

Дорога похожа на слоеный пирог. Она состоит из двух покрытий – нижнего и верхнего. В нижнем – уплотненные щебень, песок, бетон. Верхнее – это асфальт. Он представляет собой смесь щебня, песка в качестве вяжущей добавки, минерального порошка, которая склеивается битумом. Последний – это вязкий продукт, остающийся после перегонки нефти. Раньше битум содержал много масел, легких углеводородов и был хорошим клеем. Сегодняшняя технология получения бензина такова, что нефтеперерабатывающим заводам выгодно выжимать из нефти все подчистую, и битум получается сухой и неупругий, как жмых. Он сте-

кленеет при температурах ниже  $-15^{\circ}\text{C}$ , начинает крошиться при нагрузках. Очевидно, что при таком качестве битума 90 % российских дорог зимой рассыпается. Любая нагрузка при  $-20^{\circ}\text{C}$  – и в дороге появляются ямы, трещины, а в итоге она разваливается.

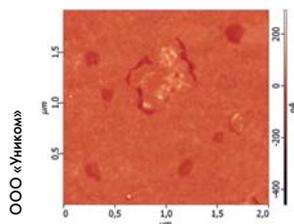
Битум модифицируют разными способами, чтобы он стал тем клеем, который может работать в интервале температур от  $+50$  (температура асфальта при летнем солнечном освещении) до  $-30^{\circ}\text{C}$  (обычная температура для большинства российских регионов зимой). Один из способов модификации – введение модификатора «Унирем», разработанного в компании «Унирем». Основу модификатора составляет порошок так называемой дискретно девулканизированной (высокодисперсной) резины с размером частиц от нескольких десятков до нескольких сотен микрон. Применение модификатора «Унирем» позволяет повысить морозостойкость и пластичность асфальта.

При введении модификатора в горячий битум происходит быстрый распад его частиц на микроблоки. В нем образуется структурированное на наноуровне резинобитумное вяжущее, поэтому на морозе не происходит охрупчивания асфальта, растрескивания и последующего разрушения.

Другая особенность битума, модифицированного высокодисперсной резиной, – его адгезионная способность. Такой битум значительно лучше склеивает частицы асфальта – песок, щебень и минеральные порошки. Это увеличивает сопротивляемость асфальта воздействию высоких температур. Когда обычный асфальт разогревается, то битум в нем

становится сверхпластичным, и если по дороге едет автомобиль, то покрытие относительно легко деформируется. Но асфальт с добавками высокодисперсной резины за счет высокой упругости значительно более прочен и обладает повышенной стойкостью к образованию колеи.

Добавки из высокодисперсной резины изготавливают методом высокотемпературного сдвигового измельчения, разработанным в Институте химической физики им. Н.Н. Семенова РАН (ИХФ РАН). Несколько лет в ИХФ РАН создавали научные основы метода и лабораторное оборудование для его применения – оригинальные установки, по виду напоминающие короткий одношнековый экструдер, – так называемые роторные диспергаторы. В компании «Уником» уже есть промышленные образцы этого оборудования.



Распад частицы модификатора в битуме на фрагменты субмикронных размеров

Метод «высокотемпературного сдвигового измельчения» основан на явлении множественного растрескивания твердого тела и разрушении его на отдельные частицы в условиях интенсивного сжатия и одновременного деформирования сдвигом, осуществляемых при оптимально высоких температурах (для резин это температуры вблизи температур разрушения сшивающих связей, например S-S или C-S). При



Частица дискретно девулканизованной резины

этом резина полностью разрушается и превращается в высокодисперсный порошок с удельной поверхностью от 0.3 до 1 м<sup>2</sup>/г. Этот способ, с одной стороны, менее энергозатратен по сравнению с другими, а с другой стороны, позволяет получить такие частицы резины, которые легко смешиваются с битумом.

Любопытно, что резиновый модификатор для дорожных покрытий производят из отработанных автомобильных шин. Во-первых, это действительно очень прочный материал – в автомобилях он работает на скорости до 150 км/ч, летом, зимой, на грязи, на асфальте, по камням и выбоинам, при этом машина проходит минимум 40–50 тыс. км на одном комплекте шин. Более эластичный и универсальный материал, чем автомобильная резина, трудно придумать. Она не боится ни воды, ни масла, ни жары, ни холода, ни ударных нагрузок. Во-вторых, такие свойства резины делают ее проблемным отходом, соответственно, использование измель-



Резиновый модификатор для дорожных покрытий производят из отработанных автомобильных шин

ченных автомобильных покрышек в асфальте решает вопрос их утилизации.

Еще более любопытно то, что шумность модифицированных резиной асфальтов уменьшается, по разным оценкам, от 25 до 100 % – в зависимости от метода регистрации шумов.

Мощность производства высокодисперсной резины невелика – работает опытное производство. В 2009 году ГК «Роснанотех» утвердила проект строительства нового завода, который будет производить модификаторы для дорожных покрытий. За научную часть работ отвечают специалисты ИХФ РАН под руководством профессора Вадима Никольского.

Сейчас проект находится на самом раннем этапе – для будущего завода выбирают площадку. Согласно регламенту «Роснанотеха» для этого проводится конкурс, в результате которого выберут наиболее оптимальный вариант. На рассмотрении находятся три района Московской области – Раменское, Серпухов и поселок Восточный рядом с Москвой, решение по ним примут в марте 2010 года. Основное технологическое оборудование для нового завода поставят отечественные предприятия.

Завод обеспечит материалами только Центральный регион – за Урал его продукцию везти экономически нецелесообразно. Поэтому в компании «Уником» считают, что потребуются еще два завода – на Урале и ближе к Дальнему Востоку.

Сейчас экспериментальные участки дорог, оборудованные покрытием на основе модификатора «Унирем», есть в обеих столицах, на федеральных трассах М-10 «Россия» Москва–Санкт-Петербург, М-29 «Кавказ», М-4 «Дон», М-2 «Крым». А также на трассе А-141 Брянск–Смоленск.

После испытаний в Москве специалисты из МАДИ пришли к заключению, что «Унирем» увеличивает срок службы асфальта. Сейчас заканчивается третий год мониторинга, и его результаты свидетельствуют, что асфальт с «Униремом» в Москве изнашивается в 2 раза медленнее – это определяется по глубине колеи в дорожном покрытии. А на трассе Москва–Санкт-Петербург модифицированное покрытие лежит уже 5 лет – без существенного износа.

*Иван Оханкин, корреспондент strf.ru  
Михаил Лернер, ООО «Уником»*

# Романтика бетона

Недавно на базе кафедр Московского государственного строительного университета (МГСУ)\* сформировали Научно-образовательный центр – НОЦ – по нанотехнологиям. Зачем нужен строительный НОЦ и что же такое «нанобетон», выяснила корреспондент РН Ольга Баклицкая в беседе с Юрием Баженовым, научным руководителем Центра.

**– Юрий Михайлович, зачем в МГСУ появился нанотехнологический НОЦ, какие он будет решать задачи?**

Нанотехнологиями в строительстве в нашем университете мы занимаемся, собственно, давно, причем по самым разным направлениям. Центр образовался не в безвоздушном пространстве, он базируется на кафедрах, на научно-испытательном центре коллективного пользования, на фундаментальных исследованиях, которые мы проводим уже много лет. Его главные задачи – координирование и организация научно-исследовательских работ по нанотехнологиям и наноматериалам в области строительства по всей стране. Это создание общедоступной материально-технической базы коллективного пользования для проведения научных исследований, формирование открытой научно-образовательной сети в области строительства. Мы готовы обеспечить информацией ученых, преподавателей и студентов, а также все заинтересованные предприятия и организации, дать им возможность обмениваться информацией, выступать на конференциях, мастер-классах и круглых столах.

В задачи Центра входит выполнение не только научных и образовательных задач, но исследования, инженерно-техническая деятельность. Для этого мы привлекаем ведущих ученых и специалистов из российских и зарубежных организаций, в том числе на федеральном и региональном уровнях. В ближайшее время, например, мы организуем мастер-класс по высокопрочным и ультравысокопрочным бетонам, который проведет профессор Дрезденского технического университета Виктор Мещерин.

Мы издаем книги и статьи по теме, сотрудничаем с Российской академией архитектуры и строительных наук (РААСН), при Центре создан научный совет «Нанотехнологии в строительстве» академии и нашего университета. Достаточно сказать, что в планах академии в 2009 году стоит восемь нанотехнологических тем, которые выполняются в различных регионах. В марте в Белгороде

стартуют академические чтения РААСН по проблемам применения нанотехнологий в строительном материаловедении. В апреле в Казани с участием МГСУ проводятся XIV академические чтения по строительному материаловедению, где будут рассматриваться вопросы модернизации строительной индустрии, в том числе с помощью нанотехнологий.

Кроме того, в НОЦ готовят специальные курсы и практикумы по фундаментальной, прикладной и инженерной науке для подготовки студентов, магистров и аспирантов.

**– Исследовательская деятельность и конструкторские разработки в данной области невозможны без участия как специалистов узкого профиля из строительной науки, так и профессионалов с широким кругозором и знаниями из области математики, физики и механики, химии и материаловедения, компьютерных наук. Каких специалистов вы привлекаете для работы в НОЦ?**

Действительно, мы активно развиваем межвузовское научно-образовательное сотрудничество в рамках Ассоциации строительных вузов, а также других технических и классических университетов. НОЦ координирует работу в этой области примерно десяти университетов только строительного профиля, а также подразделений университетов, которые занимаются нанотехнологиями или, во всяком случае, их применением.

Собственных сотрудников у Центра практически нет, к работе мы привлекаем специалистов узкого и широкого профиля из МГСУ и других вузов, в том числе региональных, которые входят в Совет НОЦ. Как правило, это академики, которые приезжают к нам и дают мастер-классы.

**– На каком оборудовании работают студенты?**

У нас давно работает своя мощная исследовательская, испытательная лаборатория, которую мы стараемся насыщать разными приборами. Раньше под это выделяли финансирование, которое, к сожалению, прекратилось.

Студенты и аспиранты изучают нано-



Юрий Баженов – заведующий кафедрой технологии вяжущих веществ и бетона МГСУ, президент Ассоциации ученых и специалистов в области строительного материаловедения, академик РААСН, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор

технологии с помощью сканирующего электронного микроскопа, дифрактометров, приборов, работающих в разных диапазонах, анализатора частиц и других.

На базе НОЦ, на современных суперкомпьютерах они будут моделировать процессы, исследовать и прогнозировать структуры и свойства стройматериалов. Если мы раньше, например, для изготовления бетона просто смешивали составные части, то теперь надо заранее рассчитать процессы с помощью компьютеров, нужны сложные приборы для наблюдений. Поэтому мы активно развиваем направление компьютерного проектирования материалов. Немецкие коллеги предложили нам открыть совместный научно-образовательный институт по материалам.

**– По каким программам учатся студенты? Получат ли они дипломы нанотехнологов?**

Мы разработали учебно-методический комплект по дисциплине «Основы нанотехнологий в строительстве». Несколько кафедр из МГСУ и других институтов создали программы по специализациям «Технология строительных наноматериалов» для специальности 270106 и «Безопасность строительных объектов nanoиндустрии» для специальности 270102.

Проблема в том, что о возможностях, которые сулит использование нанотехнологий, мало что знают сами строители. Поэтому так важны подготовка и переподготовка кадров, повышение их уровня, внедрение новых компонентов в учебный процесс.

\* Включен в перечень инвестиционных объектов в рамках федеральной целевой программы «Развитие инфраструктуры nanoиндустрии в Российской Федерации на 2008–2010 годы».

На Строительно-технологическом факультете МГСУ мы ввели специализацию по наноматериалам и нанотехнологиям в строительстве, по которой будем готовить специалистов. Их ждут на предприятиях, заводах и в строительных организациях, где начнут применять новые технологии. Во-вторых, ВАК ввел научную специальность по отраслям «Наноматериалы и нанотехнологии», куда входит и строительство. Мы создали паспорт специальности применительно к строительству и начинаем разрабатывать программы для научных кадров по этой специальности. Мы сталкиваемся с некоторыми сложностями, потому что раньше у нас не было специалистов, которые бы занимались этими направлениями. Конечно, хотелось бы иметь отдельную специальность «Наноматериалы и нанотехнологии в строительстве», и мы сейчас обсуждаем этот вопрос.

В дипломах студентов будут перечислены дисциплины по нанотехнологиям. Хотя у нас есть аспиранты, изучающие данную тематику, защит не было, так как нет совета и целенаправленной аспирантуры по наноматериалам в строительстве. Как нет и профессоров и докторов наук по этому направлению в стране.

**– Насколько востребованы выпускники, прослушавшие ваши новые курсы?**

Работодателям сегодня нужны хорошо подготовленные специалисты. Но что такое строительное материаловедение? Это многоотраслевое направление. И мы всегда готовили молодых специалистов по разным направлениям. Один выпускник специализируется на цементах, второй занимается бетонами, третий — полимерами, четвертый идет на теплоизоляцию. Раньше, когда студенты заканчивали изучать общие дисциплины, мы их готовили по выбранному узкому направлению, которое они должны были знать лучше всех. Такие специалисты были крайне востребованы. И сейчас у нас есть магистры и аспиранты, которые работают в области строительных нанотехнологий, по проблемам пропитки бетонов, по вопросам новых нанодобавок для бетонов. Но разделение на бакалавриат и магистратуру разрушает созданную годами систему. Если раньше мы выдавали дипломы инженеров, строителей-технологов, специалистов по промышленно-гражданскому строительству, то сегодня это дипломы бакалавров строительства. Вероятно, это допустимо для гуманитариев, но в области строительства нужны хорошо подготовленные специалисты, ведь в ней крайне важна техника безопасности, и будущие дома не должны разваливаться и взрываться...

**– В чем особенность применения нанотехнологий в строительстве?**

С одной стороны, нанотехнологии в строительстве существовали давно, про-

сто об этом не говорили и особенно не использовали, с другой стороны, не было технических возможностей для глубокого изучения процессов, которые происходят на наноуровне, для получения и применения каких-то материалов. Когда мы говорим о нанотехнологиях в строительстве, это не означает, что мы изготавливаем плиту целиком из наночастиц. У нас в строительстве широко используются строительные композиты, мы их называем бетонами гидратационного твердения. Вяжущее вещество смешивается с водой и добавками и постепенно твердеет. Полученная структура в процессе физико-химических воздействий изменяется, упрочняется, преобразуется, то есть ведет себя почти как живой организм. Одновременно идут процессы ее улучшения, но могут идти и, наоборот, процессы разрушения. Здесь важную роль начинают играть наноматериалы. Почему? Потому что большинство процессов происходит по поверхности твердых фаз — заполнителей, цемента, а на поверхностные явления наноматериалы могут оказывать значительное влияние. Добавив немного специально приготовленных наноматериалов, мы получаем композиты с другими свойствами — с повышенной долговечностью, морозостойкостью, прочностью. Ученые сегодня разрабатывают разные структуры таких добавок, которые позволяют подбирать нужные свойства бетонов. В частности, в сооружениях в Санкт-Петербурге строители использовали пластификаторы с фуллеренами в бетоне, за счет чего повысили эффективность добавок. Выпускают нанокремнеземы и наносиликаты. Без таких добавок сегодня не получить бетоны ультравысокой прочности.

За последние годы мы значительно продвинулись в этом направлении. Пятьдесят лет назад лучшая марка бетона имела прочность около 50 МПа. Сегодня мы используем в строительстве более прочные бетоны, например, Москва-Сити строили из бетона с прочностью около 100 МПа, но с обычными добавками. Когда мы начинаем применять нанодобавки, то прочность бетонов вырастает до 200 МПа, а у специальных композитов — до 850 МПа, судя по лабораторным данным. Порошковые бетоны с нанозементами намного прочнее стали. За рубежом уже продают такие смеси с прочностью в 250–300 МПа. Зачем же нам такие прочные бетоны? С их помощью мы сможем заменить наши громоздкие железобетонные конструкции на очень тонкие и даже ажурные, создать новые формы сооружений, снизить вес и уменьшить материалоемкость конструкций. Я думаю, что следующие поколения конструкций будут гибридного типа,

когда в одном материале содержатся разные вещества — металл, бетон, полимеры с различными нанодобавками.

Давайте представим, как выглядит наш цементный камень с наноразмерными элементами. Так называемый цементный гель имеет размеры 5–8 нм, в процессе твердения его структура укрупняется, но появляются более крупные кристаллы. Поэтому в технологии важны методы активации материала, особенно на первой стадии. Надо постараться сохранить в структуре наноразмерные элементы, увеличить их количество — что улучшает свойства материалов. Активация нанозементами помогает более эффективно управлять процессом создания материалов и конструкций.

Бетон — капиллярно-пористый материал. В его поры попадает вода и другие агрессивные вещества, что снижает его долговечность. Поэтому еще одно из направлений, которыми мы занимаемся, — пропитка бетонов. Его пористую структуру мы заполняем другим материалом, например полимером, и получаем практически непроницаемый бетон с высокой морозостойкостью. При этом образуются фибры наноразмеров, которые резко повышают прочность бетона. И если бетон до пропитки обладал прочностью в 20 МПа, то после пропитки — 200 МПа.

Такая обработка, кроме того, защищает материал от агрессивного воздействия, позволяет получать большую гамму новых высокоэффективных материалов: электротехнических, декоративных и специальных бетонов и композитов.

**– У нас производят такие бетоны?**

В ограниченных количествах.

**– Наши строители используют отечественные разработки, о которых Вы рассказали?**

На практике, к сожалению, нам приходится догонять зарубежных коллег, правда, не в теории. Зарубежные коллеги часто используют наши разработки и у себя их внедряют — в Германии, Японии, США.

**– Насколько использование нанотехнологий удорожает процесс строительства?**

Напротив, даже удешевляет, потому что резко снижается его материалоемкость. Мы применяем более прочные материалы и можем уменьшить сечение конструкций, снизить объемы материалов.

Почему нас прельщают наноматериалы? Потому что мы их используем как добавки в небольших количествах. Их не надо производить сотнями тонн, как цемент, щебень. Материалов мало, денег не так много, а результат удивительный. Поэтому нам очень интересно заниматься такими веществами.



Bonita Suraputra

# ЗОЛЬ-ГЕЛЬ

## «Заливное» для строителей

**Под золь-гель технологией подразумевают обычно процесс создания геля с участием того или иного материала. Основной принцип метода весьма прост, он известен любой хозяйке, готовящей заливное или фруктовое желе.**

На первой стадии получают золь — жидкий раствор, содержащий малые частицы (1–100 нм) определенного вещества. Доля этих частиц в растворителе обычно невелика. Однако под действием химического инициатора частицы сшиваются друг с другом. В результате получается гель — желеобразное «почти твердое тело», содержащее большое количество растворителя. Перевод системы из золя в гель часто сопровождается структурообразованием — формированием упорядоченных систем частиц, обеспечивающих уникальные свойства гелей. Золь-гель метод представляет собой яркий пример осуществления концепции, в которой система строится по принципу «снизу-вверх»: молекулы соединения образуют хорошо охарактеризованные агрегаты, которые в свою очередь служат строительными блоками или функциональными группами для организации макроструктуры вещества. Такой подход позволяет создавать структуры и материалы чрезвычайно высокой чистоты и совершенства, одновременно значительно увеличивая скорость производства по сравнению с традиционными методами структурирования «сверху-вниз».

Гели используют при производстве различных неорганических вяжущих веществ и паст, например в производстве бетона. Такие системы обладают высокой пластичностью и практически неограниченной устойчивостью. Основная идея использования золя, как добавки в бетон, состоит в создании дополнительного структурного элемента в бетонной смеси. Он представляет собой наночастицу  $\text{SiO}_2$ , которая со временем, в результате реакции с  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , переходит в гидросиликат кальция и способствует сокращению количества пор диаме-

тром более 1 нм и выше. Структура гелей обычно весьма устойчива к неоднородности состава — введение даже грубых частиц диаметром  $\sim 0.1$  мкм не приводит к фазовому разделению и коллапсу геля. Это свойство активно используют в производстве огне-упорных материалов: гель рабочего вещества наполняют крупными мезочастицами того же вещества, при этом температура спекания материала снижается.

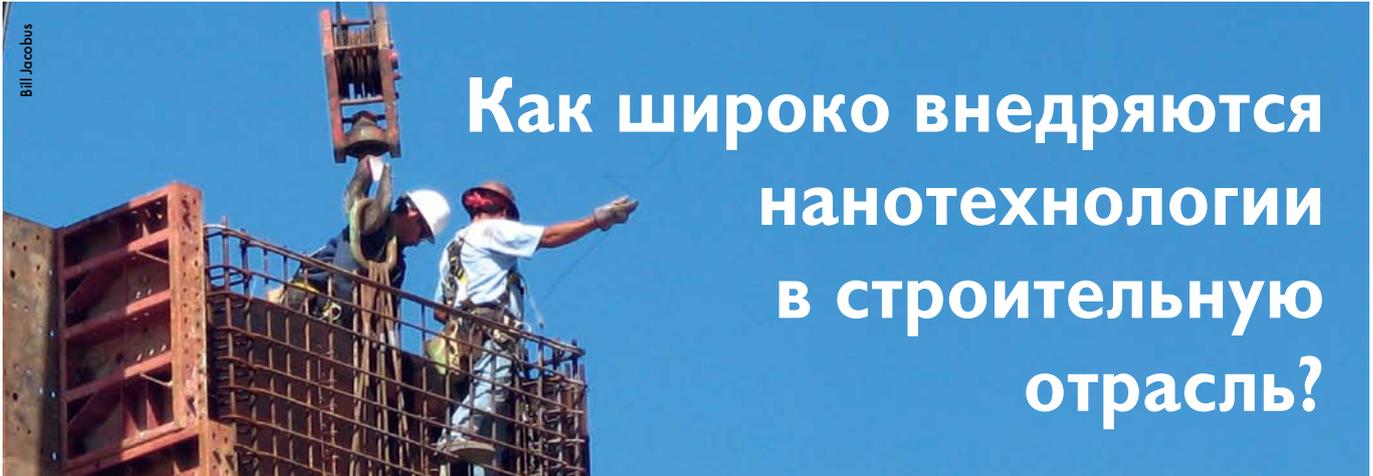
Если гель высушить, то он превратится в тонкопористую субстанцию с упорядоченной структурой пор — ксерогель. Материалы из ксерогеля используют в качестве теплоизолирующих и огнеупорных материалов. Сегодня существуют методы получения золь-гель методом многослойных гелевых стекол на основе модифицированного кремнезема, обладающих защитными противопожарными свойствами. Стекла предназначены для внутренних перегородок и смотровых окон дверей для предотвращения распространения пожара. Гелевые слои образуют при нагревании или прямом тепловом воздействии на стекло прочную высокопористую пену. В зависимости от количества защитных слоев сформированный стеклопакет обладает огнестойкостью и обеспечивает перепад температур между внешним и внутренним слоем до  $750^\circ\text{C}$ . В зависимости от рецептуры пожаростойкие стекла сохраняют эксплуатационные свойства в интервале температур  $-30/+30^\circ\text{C}$ , в том числе после многократных циклов «замораживание—размораживание». Гелевые стекла оптически прозрачны до температуры  $-10^\circ\text{C}$ , при понижении наблюдается помутнение гелиевого слоя, однако при повышении температуры прозрачность восстанавливается. Ксерогели получили также широкое рас-

пространение при производстве теплоизолирующих материалов, уплотнителей швов и т.п.

Еще один интересный пример использования золь-гель технологий — создание устойчивых металлизированных красок на основе золота, бронзы, серебра и меди методом инкапсуляции наночастицы пигмента в абсолютно прозрачную и химически инертную оболочку из оксида кремния. Использование инновационной технологии позволит значительно повысить термическую и атмосферную устойчивость краски. Полученные краски водоразбавимы и хорошо совместимы с различными лакокрасочными материалами. Металлизированные пасты сочетаются с обычными колеровочными пигментными пастами, их можно смешивать между собой, что позволяет получать практически бесконечное количество цветовых оттенков.

Золь-гель технология играет важнейшую роль также в производстве различных сортов керамики: их готовят гелеобразованием золя, изготовленного из нанокристаллических порошков того или иного состава. Варьируя параметры изготовления порошков, можно добиться существенных изменений в свойствах керамики. Так, например, муллит, ценный оптический, электронный, огнеупорный и керамический материал, обладающий уникальной устойчивостью к термическим ударам и к ползучести при высоких, вплоть до предплавления, температурах. Использование нанопорошков оксидов алюминия и кремния и различных добавок снижает температуру синтеза муллита, керамика на его основе спекается быстрее и часто получается более прочной.

*Максим Щербина*



**Сергей Владимирович Калюжный**  
директор департамента научно-технической экспертизы Роснанотех

Строительство — это безграничная тема, о ней можно говорить долго. Здесь можно рассматривать несколько аспектов. Например, традиционная строительная индустрия, использующая бетон. При получении бетона происходит ряд химических реакций, в результате которых образуются агрегаты, в том числе и наноразмера. И сейчас, конечно, много производящих бетон компаний, которые, услышав модное слово, объявляют это нанотехнологиями. На самом деле речь об этом может идти, когда вы формируете агрегаты наноразмера целенаправленно — модифицируя их форму, размер — для улучшения свойств материала. Многие из такого рода «традиционных» проектов, возможно, улучшат свойства бетона. Но нельзя сказать, что это сделано методами нанотехнологий. Часто эффект прочности и стойкости бетона достигается простым соблюдением регламента его производства, а не модификациями в рецептуру, о которых пишут заявители. Поэтому такого рода идеи внешними экспертами нашей корпорации отвергаются, как не содержащие наносоставляющей.

Есть другой аспект. В современном строительстве требуется, чтобы дома были легкими и эргономичными. Здесь открывается широкое поле деятельности для нанотехнологий. Все новые материалы, которые разрабатываются с их помощью, находят применение в строительстве. Например, у нас много потерь тепловой энергии, связанных с тем, что наши дома не эргономичны. Если посмотреть тепловизором, то тепло из них выходит в большом количестве. Сегодня с помощью нанотехнологий производятся материалы, которые обладают более низкой теплопроводностью и таким образом снижают потери. Например, стекла можно покрывать пленкой, которая задерживает инфракрасное тепловое излучение.

Конкретный пример проекта по производству нового материала для строительных работ, который финансирует корпо-

” много производящих бетон компаний, которые, услышав модное слово, объявляют это нанотехнологиями. На самом деле речь об этом может идти, когда вы формируете агрегаты наноразмера целенаправленно ...

рация, — так называемый пеноситал, когда из битого стекла с помощью различных методов делают блоки и панели для снижения теплопроводности и повышения потребительских качеств строительных материалов. Пеноситал более легкий материал по сравнению с традиционными, и лучше удерживает тепло.

В строительстве есть такое понятие — связка. Связка обеспечивает прочность конструкции дома. Чтобы построить дом, требуется связать воедино большое количество конструктивных элементов, и при применении традиционных материалов связка получается очень тяжелой. В корпорации сейчас рассматривают проект, — он прошел научно-технический совет и будет выноситься на наблюдательный совет, — суть которого заключается в применении базальтовых волокон. Они производятся из стеклоподобного магматического материала. Такие связки будут легче и прочнее, т.к. с помощью нанодобавок можно увеличить их прочность.

Или взять, например, светодиоды, которые производятся с использованием нанотехнологий. Меняя в доме лампы накаливания на светодиоды, мы снижаем потребление энергии на освещение помещений в 5–6 раз.

Другая актуальная сегодня тема — пожаробезопасность современных зданий и материалов, которые используются при их строительстве. В этом плане введение с помощью нанотехнологий антипиреновых добавок, например гидроксида магния, позволяет существенно повысить огнестойкость материалов. Роснанотех уже поддерживает проект производства препрегов, в котором используются антипиреновые добавки. Многие препреги делают из тероморасширяющегося графита, позволяющего при пожаре изолировать важные элементы конструкции за счет увеличения в объеме и «отодвигания» фронта огня. На рассмотрении находится проект производства наноструктурированного гидроксида магния, основное применение которого — антипиреновая добавка в пластмассы.

Так что нанотехнологии могут внести — и уже вносят — существенный вклад в строительную индустрию. ■

*Подготовила Ирина Тимофеева*

# ОТ АТОМОВ ДО ГОРОДОВ

**В.В. Строкова, И.В. Жерновский**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,  
308012, Белгород, ул. Костюкова, 46  
E-mail: s-nsm@intbel.ru

В отечественном научном сообществе весьма распространено мнение, что строительное материаловедение непосредственно не связано ни с «нанодисциплинами», ни с созданием наноструктурированных материалов. Считается, что принадлежностью к нанотехнологиям обладают «более фундаментальные» научные области. Возможно, подобной точкой зрения можно объяснить то, что в «Белой книге по нанотехнологиям» строительная отрасль не упомянута ни одним словом [1]. Но так считают не все.

Применение нанотехнологических подходов и наносистем при производстве строительных материалов — это новый подход к выбору сырья, технологий, формированию структуры строительных композитов. А новые материалы — это новые рынки, увеличение объема продукции и расширение ее ассортимента. Это повышение конкурентоспособности отечественной продукции. Это и решение важных проблем современности — энергосбережения и снижения техногенного прессинга индустрии строительных материалов на окружающую среду.

Следует отметить, что основная масса строительных материалов наносистемна по своей сущности. Так, формирование прочностных свойств, отражающих эксплуатационные характеристики композиционных материалов, например бетона, происходит именно на наноразмерном уровне при гидратационном (композиционные материалы) либо высокотемпературном (керамические материалы) минералообразовании и переходе в кристаллическое состояние матрицы композита. Современные строительные композиционные материалы — это поликомпонентные системы, включающие в себя различные специализированные вяжущие, химические модифицирующие добавки, наноразмерные кремнезем и силикаты, другие ультрадисперсные разнофункциональные минеральные компоненты, специальные наполнители, микроволокна и т.д.

Строительное материаловедение, в отличие от других направлений науки о материалах, имеет дело, пожалуй, с объектами максимальной степени сложности.

#### Для них характерны:

- выраженная полифазность как минерально-сырьевой компоненты технологического цикла производства строительных материалов, так и финальной продукции — композиционных материалов;
- полидисперсность этих компонент во всем масштабном диа-

пазоне (нано-, мезо-, микро- и макроуровни структурной организации вещества);

- существенный температурный диапазон синтеза и эксплуатации композиционных материалов;
- жесткие, задаваемые действующими нормативными документами требования к физико-химическим и эксплуатационным характеристикам (тепло- и звукопроводность, влаго- и морозоустойчивость и др.).

С подобными системами и материалами не работает ни одно из развивающихся направлений в области наноматериалов и нанотехнологий. При создании строительных композитов нового поколения необходимо учитывать специфику работы с наносистемами в строительном материаловедении, которая заключается в фазовой и размерной гетерогенности сырьевого комплекса и композита в целом. Т.е. при синтезе композитов строительного назначения приходится оперировать полиминеральными, полидисперсными, полиструктурными и полигенетическими системами, которыми представлена минерально-сырьевая база промышленности строительных материалов, регулируя при этом механизмы фазообразования на каждом из структурных уровней не изолированно, а в системе в целом.

Дорожные карты, или планы развития, строительных нанотехнологий на среднесрочную перспективу уже выносились на обсуждение научного сообщества [2–4]. Они содержат следующие основные задачи, решение которых возможно только с применением нанотехнологических подходов в строительном материаловедении:

- разработка катализаторов для низкотемпературного синтеза клинкерных минералов и ускоренной гидратации стандартных цементов. Применение механохимии и нанокатализаторов может способствовать коренному изменению современной технологии цементного производства, существенно-

- му уменьшению температуры клинкерообразования и даже реализации возможности холодного спекания клинкерных минералов в механохимических реакторах;
- создание оборудования для сверхтонкого измельчения и механохимической активации различных вяжущих, в т.ч. цемента;
- создание технологических основ золь-гель синтеза наноразмерных минеральных индивидов клинкерных компонент для создания произвольных (по минеральному составу) наноцементных вяжущих композиций;
- повышение эффективности традиционных классов строительных материалов (цемент, бетон, асфальтобетон и др.) путем модифицирования структуры;
- разработка новых классов наноструктурированных вяжущих различных типов твердения, в т.ч. на основе высококонцентрированных вяжущих систем;
- использование наноструктурированного минерального сырья для получения высокоэффективных строительных композитов;
- разведка месторождений нерудных полезных ископаемых на предмет поиска и определения запасов наноструктурированного минерального сырья для индустрии строительных материалов и т.д.;
- разработка нового поколения гиперпластификаторов для оптимизации реологических характеристик бетонных смесей и максимального уменьшения водоцементного отношения;
- создание системы теоретических представлений о явлениях (взаимодействиях, процессах) на наноуровне (гидратация вяжущих и формирование наноструктурных гидратных фаз, природа и источники адгезии, механизмы и процессы измельчения и т.д.);
- разработка теоретических и прикладных аспектов модификации вяжущих веществ синтетическими продуктами нанотехнологической деятельности смежных отраслей — наночастицами, наностержнями, нанотрубками, нановлажнителями, наносетками, нанопружинами и др.;
- синтез наноразмерных дисперсных систем с заданными составом, структурой и размерными характеристиками;
- модифицирование вяжущих веществ наноразмерными частицами полимеров, их эмульсиями или полимерными нанопленками;
- создание «биоимитирующих» материалов (имитирование структуры костной ткани и т.д.);
- разработка современного семейства неорганических наноструктурированных клеевых материалов строительного назначения с управляемыми параметрами адгезии к различным материалам и в различных средах;
- создание высокоэффективных покрытий, красок, тонких пленок (износостойкие покрытия, долговечные краски, самоочищающиеся термостойкие, антибликовые, антибактериальные, антивандальные и другие покрытия);
- создание новых многофункциональных материалов и изделий на их основе (изоляторы на основе аэрогеля, эффективные мембранные фильтры, катализаторы, самовосстанавливающиеся материалы и т.д.);
- создание концептуальных «интеллектуальных» материалов (использование микро/наносенсоров, например, наномеханические системы, биоподобные датчики, самоактивирующиеся структуры и т.д.);
- разработка методов и систем общего контроля и диагностики (контроль дефектов структуры и коррозии арматуры, оценка рисков разрушения материалов и конструкций при изменении условий окружающей среды и т.д.);
- разработка энергосберегающих отопительных элементов, основанных на наноструктурных проводящих композициях;

- метрологическое обеспечение работ в области строительных нанотехнологий.

Привлекательной особенностью развития наносистемного строительного материаловедения является то, что оно способно стимулировать научные и прикладные исследования в других научных отраслях, ориентированных на нанотехнологии, для которых важным фактором может служить возможность быстрой реализации результатов разработок в масштабах массового производства.

Перспективы развития строительной nanoиндустрии способны в обозримом будущем кардинально изменить представления и о формировании комфортной среды обитания — достаточно привести в качестве примера разрабатываемую западными специалистами концепцию «Nano-House».

Многоплановость и междисциплинарность проблем, с которыми сталкивается современное строительное материаловедение, приводит к тому, что автономные коллективы исследователей уже не в состоянии решать исследовательские, аналитические и технологические задачи. В качестве действенного инструмента начинает широко использоваться такая форма организационного сотрудничества, как консорциумы, — достаточно упомянуть такие центры, как NANOCOM (Шотландский центр нанотехнологий строительных материалов, Пайсли, Шотландия — [www.nanocom.org](http://www.nanocom.org)), NANOC (Центр по применению наноматериалов в строительстве, Бильбао, Испания — [www.nanoc.info/index.html](http://www.nanoc.info/index.html)), NANOCSEM (Европейский научно-исследовательский консорциум по изучению нано- и микромасштабных явлений в цементе и бетоне — [www.nanocsem.org](http://www.nanocsem.org)) и др.

В России консорциум «Наносистемы в строительном материаловедении» создан на базе БГТУ им. В.Г. Шухова [5]. Он объединяет аппаратно-аналитический и творческий потенциал ряда институтов РАН, РААСН и вузов различной дисциплинарной направленности.

#### Основные задачи консорциума:

- разработка принципов использования природных наночастиц для синтеза некомпозитов строительного назначения;
- изучение наноминералогии сырья промышленности строительных материалов;
- разработка технологий некомпозитов с использованием наноразмерных модификаторов (для различных классов строительных материалов);
- модернизация технологий производства цементных и бесцементных композиционных вяжущих, с учетом применения природного, в т.ч. модифицированного, нанокристаллического сырья, для производства высокоэффективных композитов строительного и специального назначения;
- разработка бесцементных наноструктурированных высококонцентрированных вяжущих систем;
- создание силикатных автоклавных материалов, композиционных вяжущих, структурированных нанодисперсными модификаторами;
- разработка принципов проектирования высокопрочных микрочастиц бетонов;
- теоретическое структурно-топологическое обоснование рациональных (оптимальных) размеров частиц нанопорошков, синтезируемых из различных сырьевых материалов для получения строительных некомпозитов;
- установление критериев критического и предельного размера наночастиц с учетом кристаллохимических параметров структуры;
- разработка полимерных некомпозитов с использованием природных и синтезированных нанокристаллических компонентов;
- разработка теплоизоляционных неавтоклавных пеногазобе-

- тонов с использованием нанокристаллических поризаторов и нанодисперсных модификаторов;
- создание упрочненных ячеистых теплоизоляционных стекломатериалов на основе стекла, ситаллов и нанодисперсных газообразователей;
- разработка физико-химических и технологических основ формирования силикатных наносистем для создания новых классов композиционных материалов путем проектирования и направленного регулирования процессов структурообразования, оптимизации физико-химических свойств и технологических параметров;
- разработка теоретических основ и технологии модифицирования золь-гель пленочных покрытий на основе нанодисперсного кремнезема с широким спектром функциональных добавок с целью производства полифункциональных композитов для теплозащиты зданий и сооружений, машиностроения, электротехники;
- наноструктурное управление свойствами дисперсных материалов и керамических композитов;
- синтез наноразмерных центров кристаллизации для эффективного структурообразования неорганических композитов;
- безопасность нанотехнологических направлений и производств;
- создание пигментов с использованием нанодисперсных компонентов из промышленных отходов.

Развитие наносистемного направления в строительном материаловедении немислимо без соответствующего аналитического и метрологического обеспечения исследовательского процесса, позволяющего оперировать количественными характеристиками размерных факторов.

Ведущие мировые научные издания, ориентированные на проблематику строительного материаловедения, — *Cement and Concrete Research*, *Journal of Materials Research*, *Journal of Materials Science*, *Journal of the American Ceramic Society*, *Journal of the Ceramic Society of Japan*, *Journal of Materials Chemistry*, *Materials Structure*, *Materials Science and Engineering*, *Nature Materials* и др. — изобилуют публикациями зарубежных специалистов, активно использующих, наряду с традиционными, современные методы исследования как исходных, минерально-сырьевых, так и конечных — некомпозиционных материалов. К таким методам относятся синхротронные рентгеновские дифракционные исследования структурного состояния поликомпонентных и гетероразмерных систем, позволяющие исследовать, в частности, процессы гидратационного твердения вяжущих в режиме реального времени; малоугловое рентгеновское и нейтронное рассеяние, дающее ценнейшую информацию об эволюции наноразмерных псевдокристаллических гидратных образований, например гелей гидросиликатов кальция и т.д.

Современный, наносистемный, этап развития строительного материаловедения предполагает широкое использование всего арсенала, достаточно тонких методов исследования. Практически все, что можно было разработать без их применения, сделано нашими предшественниками. Поэтому безобидное, на первый взгляд (и, к сожалению, традиционное для отечественной строительной отрасли), недостаточное финан-

сирование в области обновления аппаратной базы в относительно недалекой перспективе может иметь непредсказуемые и труднопоправимые последствия. В частности, на фоне исчерпания ресурсных остатков конкурентоспособных разработок советских времен существенное отставание в аналитическом обеспечении отечественных исследований может привести к ряду крайне негативных последствий.

И все же основная и объективная опасность на пути развития этого направления заключается в отсутствии высокопрофессиональных инженерных кадров нанотехнологов для строительной индустрии. Последствия недооценки этого фактора в кадровом обеспечении отрасли могут иметь несравненно более отрицательные последствия, чем систематическое недофинансирование поисковых и инициативных исследований.

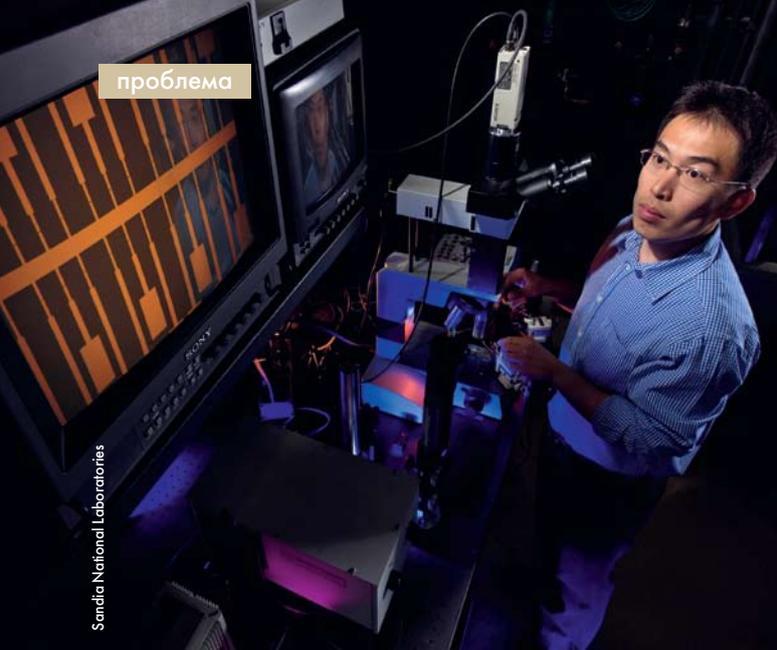
Сложность организации образовательного процесса по подготовке инженерных кадров заключается в ее многоплановости, необходимости обеспечения междисциплинарной и мультипредметной подготовки. При этом существенная ориентация образовательного процесса должна осуществляться в междисциплинарную область фундаментального материаловедения строительных материалов. Система высшего профессионального образования РФ только предпринимает первые шаги по подготовке специалистов для строительной индустрии с нанотехнологической специализацией. Примером такой деятельности может служить опыт БГТУ им. В.Г. Шухова, в котором наличие такой формы объединения преподавательских ресурсов, как консорциум «Наносистемы в строительном материаловедении» позволяет успешно проводить подготовку специалистов и магистров по одноименной специализации (единственной в РФ) уже с 2005 г.

Изложение вопросов, относящихся непосредственно к этой сложнейшей теме, выходит за рамки данной статьи (оно будет предметом отдельного рассмотрения). Достаточно упомянуть, что для удовлетворения потребностей строительной отрасли в специалистах данного профиля необходимо формирование современной инфраструктуры образования в области «Наносистемы в строительном материаловедении» в масштабах страны. Одним из вариантов рационального решения вопроса кадрового обеспечения отрасли является разработка и реализация системы профессиональной переподготовки имеющегося кадрового потенциала отрасли. В частности, в настоящее время в БГТУ им. В.Г. Шухова по гранту образовательных проектов ГК «Роснано» впервые в стране проводится разработка программы опережающей профессиональной переподготовки и учебно-методического комплекса, ориентированных на инвестиционные проекты ГК «Роснано» в области производства бесцементных минеральных наноструктурированных вяжущих негидратационного твердения и композиционных материалов строительного назначения на их основе.

Крайне актуальной является необходимость разработки государственной концепции развития наносистемных технологий строительного материаловедения в РФ, способной объединить для решения вышеобозначенных задач государственные структуры, научное и бизнес-сообщество. В противном случае, упустив время, в этой области мы рискуем отстать навсегда.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шевченко В.Я., Шулегов В.Е., Платё Н.А. Концепция развития работ по нанотехнологиям. // Белая книга по нанотехнологиям: Исследования в области наночастиц, наноструктур и нанокompозитов в Российской Федерации (по материалам Первого Всероссийского совещания ученых, инженеров и производителей в области нанотехнологий). М.: Изд. ЛКИ. 2008. С. 28–41.
2. Peter J., Bartos M. Nanotechnology in Construction: A Roadmap for Development. NSF Workshop on Nanomodification of Cementitious Materials: Portland Cement Concrete and Asphalt Concrete. August 8–11. 2006. <http://www.uwm.edu/~sobolev/ACI//1-Bartos-ACI-F.pdf>
3. Sobolev K. and Ferrada-Gutiérrez M. How Nanotechnology Can Change the Concrete World: Part 2. American Ceramic Society Bulletin. № 11. 2005. P. 16–19.
4. Лесовик В.С., Строкова В.В. К вопросу о развитии научного направления «Наносистемы в строительном материаловедении». // Строит. материалы. № 9. 2006. Приложение «Строит. материалы: наука». № 8. С. 18–20.
5. Гридчин А.М., Лесовик В.С., Строкова В.В. Консорциум как инструмент развития направления наносистемы в строительном материаловедении. / А.М. Гридчин, В.С. Лесовик, В.В. Строкова // Строит. материалы. № 8. 2007. С. 9–11.



# СТРАШНО ЖИТЬ?

Строительные наноматериалы уже есть на рынке, из них строят здания, жилые дома. В то же время вопрос их безопасности еще совершенно не изучен.

Если начать с общих вопросов экологической безопасности нанотехнологий, придется признать: информации пока недостаточно. Существует несколько десятков научных исследований влияния наночастиц на здоровье человека, животных, растений и экологическую устойчивость окружающей среды. Но они не охватывают все множество используемых или перспективных видов наночастиц, многообразие факторов их возможного влияния на здоровье. Не существует пока государственных или международных стандартов, регулирующих экологические риски нанотехнологии. Нанотоксикология как наука находится еще на ранней стадии становления.

В отчете<sup>1</sup>, подготовленном Еврокомиссией в 2004 г., сделаны некоторые предварительные заключения о возможных нанотехнологических рисках. Согласно определению, данному в отчете, наноматериалы — это материалы с наноструктурированными поверхностями, нанотрубки и наночастицы (нанопорошки) размером 100 нм и менее по одному, двум или трем измерениям. В перспективе наноиндустрия, вероятно, начнет создавать и машины такого размера — наноботы. Но в течение ближайших нескольких лет экологические риски, очевидно, будут связаны именно с нанопорошками и нанотрубками.

Важно отличать неподвижные и свободные наночастицы. Первые химически или механически закреплены в массе твердого материала и не несут с собой серьезную экологическую угрозу. Вторые же, наборот, подвижны, в этом они превосходят даже асбестовые микроволокна. Свободные наночастицы, особенно если они нерастворимы в воде, способны перемещаться на далекие расстояния по воздуху, в воде, попадать в человеческое тело, накапливаться внутри и наносить вред здоровью.

Ядовитость различных веществ в виде наночастиц изучена плохо, но уже известно, что не все они вредны для живых организмов. Что касается доз, которые приемлемы для материалов и окружающей среды, то аналогия с ПДК для микрочастиц (размером 0.1–10 микрон) того же состава оказывается несостоятельной. Наночастицы более мобильны и биологически активны. Например, Британский институт стандартов<sup>2</sup> при отсутствии научных исследований рекомендует пятнадцатикратно меньшую массовую ПДК для нерастворимых наночастиц, по сравнению с микрочастицами того же состава. Вообще же, для наночастиц требуется другая методология: учет не суммарной массы, а актуального числа частиц либо их суммарной площади поверхности.

Среди прочих видов опасности для здоровья лучше других изучена опасность вдыхания наночастиц. Частицы из воздуха могут накапливаться в легких, пересекать клеточные стенки, попадать в кровеносную систему и с ней в любые органы тела. В зависимости от степени токсичности они способны вызывать воспаление там, куда попадут. Например, ряд исследований показывает, что некоторые наночастицы при вдыхании способны вызывать заболевания легких и смерть у мышей. Попадание наночастиц в организм через кожу изучено недостаточно. Опасность возгорания или взрыва наночастиц также практически не изучена.

На текущий момент в строительстве используются только два вида наноматериалов: наночастицы и нанотрубки как добавки и присадки к строительным материалам и материалы с наноструктурированными поверхностями. Сейчас добавки и присадки из наноматериалов используют при производстве бетона, стали, стекла и разнообразных строительных покрытий<sup>3</sup>. Добавляя в бетон наночастицы SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и углеродные нанотрубки, увеличивают его прочность. В лабораторных условиях исследовались и многие другие наночастицы в составе воды затвердения или пластифицирующих добавок. Присадки прочно закреплены в стройматериалах и не представляют экологической угрозы, по крайней мере в течение срока своей эксплуатации. Однако следует признать, что возможность попадания наночастиц с твердой поверхности в окружающую среду при стирании, выветривании или эрозии изучена пока слабо. Кроме того, в ходе производства и, возможно, утилизации стройматериалов свободные наночастицы могут попасть в воздух, воду, почву и в организм человека.

В производстве стали иногда используются наночастицы некоторых металлов, таких как магний, кальций, медь, ванадий, молибден и др., для улучшения тех или иных ее свойств. В стекла и строительные покрытия добавляют наночастицы TiO<sub>2</sub> из-за гидрофильных и обеззараживающих свойств этого материала, применяемого также как белый пигмент.

Токсичность нанодобавок к строительным материалам изучена слабо. Как выяснили ученые из Швеции, высокотоксичными считаются<sup>4</sup> лишь наночастицы CuO. В России это соединение входит во второй класс опасности как высокоопасный химический загрязнитель воздуха. Американские исследователи недавно показали<sup>5</sup>, что на токсичность может влиять не только химический состав, но и форма кластера. Если кластеры диоксида титана объединены в волокно микронных размеров, то оно может вызывать воспалительный процесс аналогично асбестовым микроволокнам.

Правительства развитых стран в последние годы уделяют заметное внимание госрегулированию нанотехнологических производств и оборота их продукции. В том числе это касается вопросов экологической безопасности. Работают государственные и международные панели экспертов, начинают создаваться своды рекомендаций по нанотехнологии, идут публичные дебаты — десятки общественных движений в мире ратуют за более тщательное изучение возможной экологической опасности нанотехнологий.

В России же на сей момент Роспотребнадзором принят План первоочередных мероприятий по реализации «Программы nanoиндустрии в Российской Федерации до 2015 года». Пункт «Разработка проектов нормативно-правового и методического обеспечения комплексной системы безопасности в процессе исследований, освоения, производства, обращения и утилизации наноматериалов в Российской Федерации» в Плате намечен на 2009–2010 годы (исполнители — НИУ Роспотребнадзора и НИИ РАМН). Подготовка СанПиН «Санитарно-эпидемиологические требования к производственным процессам в nanoиндустрии» намечена на 2010 год (исполнитель — Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья).

Складывается впечатление, что в сфере нанотехнологий производственники обгоняют экологов и чиновников.



Sandia National Laboratories

Использование наночастиц в строительных материалах признают потенциально опасным. Будучи освобожденными во время производства или утилизации, наночастицы могут попасть в воздух, воду, почву и организм человека

Товары уже продаются, а их безопасность изучена плохо. Остается согласиться с Британским институтом стандартов, который рекомендует все наноматериалы считать потенциально опасными, пока твердо не установлено обратное.

*Константин Ветлугин*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nanotechnologies: A Preliminary Risk Analysis on the Basis of a Workshop Organized in Brussels on 1-2 March 2004 by the Health and Consumer Protection Directorate General of the European Commission.
2. PD6699-2:2007 Nanotechnologies - Part 2: Guide to safe handling and disposal of manufactured nanomaterials.
3. Nanotech and Construction (отчет европейского консорциума NanoForum, 2006).
4. Study Sizes up Nanomaterial Toxicity (Chemical & Engineering News. Vol. 86. № 35. 1 Sept. 2008).
5. Particle length-dependent titanium dioxide nanomaterials toxicity and bioactivity (Particle and Fibre Toxicology 2009. 6:35).

**Разработка и производство:**

- Одежды для чистых помещений
- Медицинской одежды
- Одежды из кислотоустойчивых тканей
- Одежды для ESD производств
- Одежды для атомной энергетики

**www.lamsystems-lto.ru**  
**ooolto@mail.ru**  
**тел. +7 (3513) 544-400; 537-151**

ЛАБОРАТОРИЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОДЕЖДЫ  
**LAMSISTEMS**

**Мы помогаем лидерам отрасли  
обеспечить надежную и  
контролируемую работу  
чистого помещения.**

**Дополнительное обеспечение  
аксессуарами:**

- Перчатки (текстильные и одноразовые)
- Обувь для чистых помещений
- Липкие маты
- Протирочные материалы
- Уборочный инвентарь
- Сумки для стирки и стерилизации
- Упаковка для стерилизации
- Индикаторы стерилизации
- И многое другое



Dean Soderberg

Ослепительную белизну церкви Dives in Misericordia в Риме обеспечивают наночастицы диоксида титана

Туристов, посещающих Рим, наряду с известнейшими старинными памятниками архитектуры привлекает необычное здание в духе постмодернизма – церковь Dives in Misericordia («Щедрый в милосердии»). Это белое сооружение из сборного железобетона и стекла состоит из трех изогнутых конструкций, напоминающих раковины или лепестки цветка. Церковь возведена в 2003 г. по проекту американского дизайнера Ричарда Мейера, а осуществить его замысел помогла итальянская компания Centro Technico di Gruppo. Проект церкви требовал особых технологий: ее стены должны быть белоснежными и как можно дольше сохранять свою чистоту. Для решения этих задач специалисты компании выбрали цемент, изготовленный ими по новой технологии TX Active®: в его состав входят наночастицы диоксида титана (TiO<sub>2</sub>).

Благодаря фотокатализу поверхность из такого цемента может сама собой очищаться. Происходит это так: когда солнечные лучи касаются стен здания, диоксид титана, входящий в их состав, действует как катализатор и ускоряет химическую реакцию. Загрязнения самой различной природы – бактерии, споры бактерий, плесень, которыми покрыты стены любого здания, – просто разлагаются на воду, кислород и соли в присутствии катализатора.

Кроме того, цемент с наночастицами сам себя моет. Известно, что практически любая твердая поверхность отталкивает воду. Степень отталкивания зависит от угла между краем капли и твердым телом. Обычно угол смачиваемости равен порядка 80 градусов. После того как солнечные лучи попадают, например, на бетонную стену дома, в состав кото-

# Технологии во плоти

Архитекторы любят экспериментировать с материалами. Как только новинка выходит из стен лаборатории, ее тут же используют в строительстве. Белоснежный бетон, самоочищающееся стекло, углестеклопластик – сооружения из этих материалов уже стоят в наших городах.

рой входит диоксид титана, угол уменьшается до 0 градусов. В это время поверхность становится восприимчивой к смачиванию – гидрофильной, т.е. вместо образования капель вода равномерно по ней растекается. В течение последующих 1–2 дней гидрофильность сохраняется, а затем угол смачиваемости начинает постепенно увеличиваться, пока не достигнет снова 80 градусов. Поверхность становится водоотталкивающей, а накопившаяся за это время вода скатывается с нее, увлекая за собой частички грязи.

Церковь, построенная из белого бетона и стекла, буквально «светится», что особенно заметно на фоне окружающих ее жилых построек 1970-х гг. Новые строительные материалы помогли воплотить в жизнь замысел Ричарда Мейера, считающего, что «свет является средством, с помощью которого мы способны испытывать то, что называется божественным».

Самоочищающийся вид цемента с диоксидом титана использовали и при строительстве памятника жертвам холокоста в Берлине в 2005 г. – множество бетонных прямоугольных плит в центре города.

Еще один экспериментальный проект – Большой национальный театр в Пекине. Его автор – француз Поль Андрё. Под сферической оболочкой из стекла и бетона расположены три самостоятельные площадки – оперный и концертный залы, театр. Здесь же находятся многочисленные выставочные павильоны, рестораны и магазины. Архитектор Андрё назвал свое детище «Городом театров». Сооружение находится посреди искусственного озера, поэтому местные жители назвали театр «Яйцом» из-за формы купола и отражения в

Прозрачные поручни углестеклопластикового моста в центре Сочи включают наноалмазы, а покрытие – углеродные волокна



ООО «НТИЦ АлАтэк-Дубна»



Gustavo Madico

Стеклянный купол Национального театра в Пекине покрыт самоочищающейся пленкой



Jaywaykay

Памятник жертвам холокоста в Берлине не покрывает плесень, потому что он построен из бетонных плит с наночастицами диоксида титана

воде. Стеклопанельная поверхность купола всегда прозрачна, т.к. покрыта тонкой пленкой из катализатора  $\text{TiO}_2$ , благодаря которому под действием фотокатализа купол самоочищается. Через панели многослойного теплоизолирующего стекла можно наблюдать происходящее внутри.

Новые стройматериалы испытывают и в России. К примеру, в Сочи, как подарок к будущей Олимпиаде, построили мост из углепластика. Он особенно красив вечером, когда включена подсветка. Мост городу подарила компания ООО «НТИЦ АпАТэК-Дубна», которая производит конструкции из композитных материалов — углепластика с добавками углеродных волокон, трубок, наномеди. В прозрачных поручнях моста есть включения наноалмазов, его износостойкое покрытие содержит углеродные волокна и нанокристаллы, а в состав материалов основного каркаса входят нанотрубки и медь. Медные нанопорошки придают им огнестойкость, углеродные трубки уменьшают деформацию, возникающую при остывании материала. Чего в этом мосте нет, так это железа,

поэтому он не заржавеет. Конструкция из углепластика такая легкая, что ее смонтировали за 20 минут.

Обычные граждане тоже приобщаются к миру новейших наноматериалов. Пример показали пермяки — сотрудники компании «Пеноситал», выпускающей теплоизоляционный материал — пеностекло. Они утепляют им свои дома, гаражи, дачи. В отличие от пенопласта марки Foamglas корпорации Pittsburgh Corning Europe, которым утеплены кровли Большого Кремлевского дворца, спорткомплекса «Олимпийский» и стадиона «Лужники», отечественное пеностекло делают из стеклобоя — выгодно и экологично. Его смешивают с реагентами, измельчают до наноразмеров и нагревают, в результате чего на поверхности вспененного полуфабриката образуется пленка толщиной 100–120 нм, это придает материалу особую прочность. Стекло ко всему прочему еще и «дышит», как дерево, поэтому им можно утеплять стены и фасады домов.

*Мария Морозова*



Москва - 2010

**19-22 апреля 2010 года**  
Россия, Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»



# 11 МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ И ВЫСТАВКА ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ HIGH TECHNOLOGY OF XXI ВЕКА

- нанотехнологии и новые материалы
- биотехнологии и медицина
- энергоэффективность и энергосбережение
- экология
- авиационно-космические технологии
- телекоммуникационные системы
- стратегические информационные технологии
- неогеография
- радиоэлектроника
- машиностроение

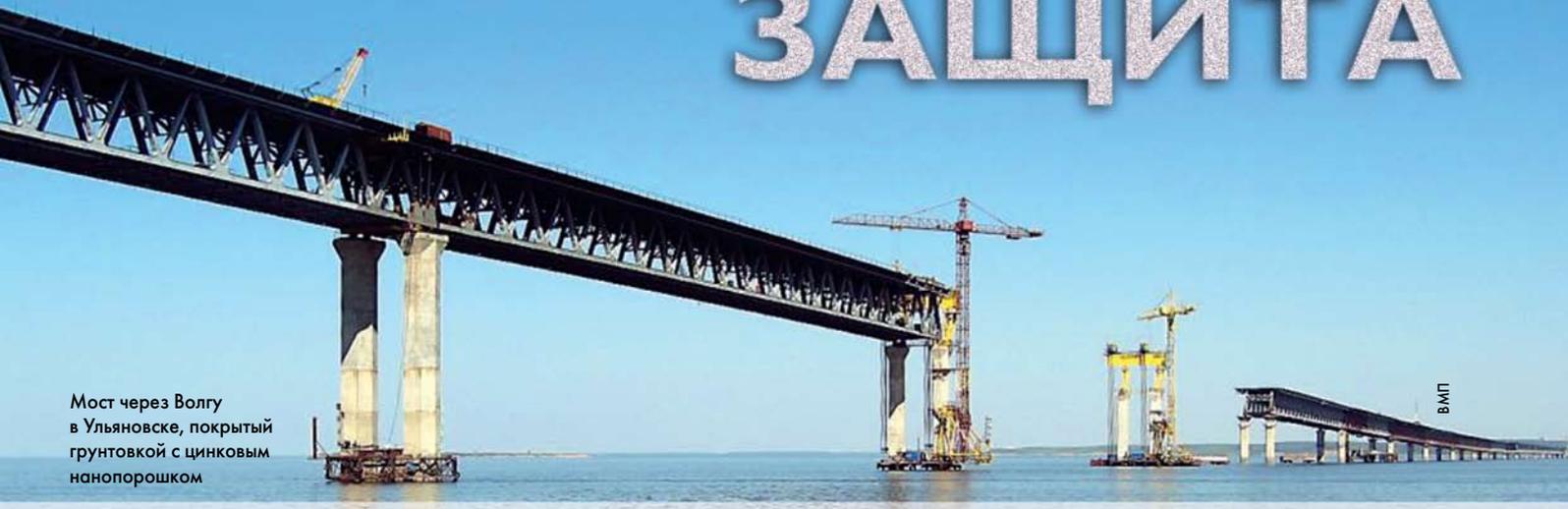
**ПРИГЛАШАЕМ  
К УЧАСТИЮ**

[www.vt21.ru](http://www.vt21.ru)

Устроитель: ООО «ЭКСПО-ЭКОС»

Информация по телефонам: (495) 332-3595, 332-3601

# ПОРОШКОВАЯ ЗАЩИТА



Мост через Волгу в Ульяновске, покрытый грунтовкой с цинковым нанопорошком

Уральский регион лидирует в производстве цинковых нанопорошков – антикоррозионных наполнителей для лаков и красок. Одно из самых значимых предприятий в этой области, НПП «Высокодисперсные металлические порошки», расположено в Екатеринбурге. Его продукцию используют для защиты металлоконструкций крупнейших объектов России – от Патриаршего моста в Москве и Краснодарского нефтеперерабатывающего завода до мостов на дороге «Колыма» (Якутск–Магадан) и ЛЭП в Хабаровском крае. Вместе с академическими институтами на предприятии ищут способы создавать новые покрытия.

Лакокрасочные материалы, или ЛКМ, широко используют как защиту от коррозии и огня. Для улучшения защитных свойств в них добавляют нанопорошки различных металлов, чаще всего цинка. Ими покрывают конструкции из металла, бетона и дерева: закладные, соединительные элементы и гибкие связи железобетонных конструкций зданий, мостов и дорожных ограждений, опор ЛЭП, резервуаров и оборудования нефтегазового комплекса, портовых и гидротехнических сооружений. ЛКМ используют как огнезащиту для наливных полов в складских и торговых помещениях, на автопарковках. В строительстве эти материалы применяются недавно, но они уже успели себя зарекомендовать. «Применяем такие антикоррозионные покрытия для резервуаров и металлоконструкций уже около 10 лет, за этот срок отклонений от заявленного качества не было», – констатирует Дмитрий Бессонов, генеральный директор ПП «Волкомпани».

В ЛКМ используют полидисперсный порошок, т.е. содержащий частицы, размер которых укладывается в определенный диапазон от нм до мкм. «Наши специалисты установили, что больший срок службы имеют антикоррозионные материалы именно из полидисперсных порошков. Сегодня мы вышли на прогнозируемый срок службы системы покрытий до 25–30 лет», – рассказывает Михаил Вахрушев, генеральный директор НПП «Высокодисперсные металлические порошки» (ВМП).

Наносят металлнаполненные покрытия по обычной технологии, и если ее нарушить, то эффективность покрытия снижается. «К самим цинкнаполненным материалам претензий нет, а вот к российской халатности – есть. Зачастую из-за своей халатности наши работники не выполняют указания технолога. Например, не перемешивают краску перед нанесением», – рассказывает Алена Мезенцева, инженер-технолог «Нижнетагильского завода металлоконструкций».

Нанопорошковые ЛКМ более экономичны в использовании. Высокая плотность упаковки частиц позволяет добиться более эффективной катодной защиты и одновременно уменьшить толщину защитного слоя. Сократить расход материала в еще большей степени способны золь-гель покрытия. Золь – взвесь наночастиц в жидкости. При переходе золя в гель происходит кристаллизация, и образуется плотная, прочная, но упругая система, пронизанная сеткой наночастиц. Создать покрытия с помощью золь-гель технологии пытаются в лаборатории ВМП совместно с рядом академических институтов. «Наноструктурированные покрытия на основе золь-гель технологии для защиты от коррозии металлических поверхностей – новое поколение экологически чистых покрытий, преимущественно на водной основе, промышленное производство которых пока не существует, но активно ведется их разработка. Основные преимущества таких покрытий – малая толщина, всего 6–10 мкм (вместо 200–300 мкм традиционных покрытий), срок антикоррозионной защиты продлевается до 50 лет, механическая стойкость во много раз превосходит таковую для традиционных полиуретановых и акриловых покрывных материалов», – сообщает Борис Гельчинский, д. ф.-м. н., заместитель генерального директора по науке и инновациям ВМП.

## Технология

Для производства ЛКМ необходимы полидисперсные металлические порошки со сферической формой частиц, что увеличивает плотность упаковки. Их получают путем испарения и конденсации расплава. Этот метод называется газофазной конденсацией. Расплавы испаряют в печи в атмосферу охлажденного нейтрального газа, например аргона. Горячий пар смешивается с охлажденным газом, вследствие чего начи-



Цех по производству нанопорошков

нается конденсация. При конденсации металлические наночастицы формируются из отдельных атомов, поэтому такой метод носит название «снизу—вверх». В результате получают полидисперсные порошки, размер частиц которых близок к нормально-логарифмическому распределению. Размер самых маленьких порошинок начинается от единиц нм.

Метод газофазной конденсации зародился еще в 70-е годы прошлого столетия, а применение в российской промышленности нашел в начале 90-х. Этим методом получают порошки металлов с температурой плавления до 1000 °С, таких как цинк, медь, бронза и серебро. «Испарение-конденсация в электрической дуге позволит получать порошки тугоплавких металлов, например титана, который может использоваться для плазменного напыления коррозионноустойчивых и износостойких покрытий. Мы уже изготовили первую опытную установку и начали отработку технологических режимов», — говорит Борис Гельчинский.

При конденсации частицы порошка будут тем крупнее, чем дольше идет процесс. Это естественное следствие явления коагуляции. Слипание частичек диктует важную проблему — как сохранить порошок с нужными параметрами. Частично предотвратить процесс коагуляции помогает использование пассиватора. На ВМП в качестве пассиватора используют органические соединения, которые при испарении обволакивают порошинки. Кроме того, пассиватор препятствует окислению порошка.

Остается открытым вопрос о безопасности нанопорошков для организма. «Наши исследования в этой области, совместно с медиками УРГМА, выявили, что некоторые нанопорошки менее токсичны, чем микронные. Но, к сожалению, финансирование в этом направлении слишком скудное и работы идут медленно», — комментирует Сергей Соковнин, д. т. н., лаборатория импульсных процессов Института электрофизики УрО РАН.

#### ЧТО ГОВОРЯТ ЭКСПЕРТЫ

## Кто и как проверяет строительные наноматериалы на безопасность?

Здесь, увы, только начало пути... В России до сих пор нет отчетливого представления, что же следует относить к наноматериалам и нанотехнологиям, особенно в строительстве. Первый шаг — создание Технического комитета по стандартизации «Нанотехнологии и наноматериалы» ТК 441 при Ростехрегулировании и инициатива Научно-исследовательского центра по изучению свойств поверхности, взявшего на себя труд подготовить первую редакцию национального стандарта «Нанотехнологии. Термины и определения». В активную работу над этим стандартом включился и ТК 465 «Строительство».

” Все хотят сразу технологию, чтобы построить завод. Но сначала нужно провести поисковые исследования, а их финансировать желающих мало.

## Рынок

Михаил Вахрушев: «На сегодня рынок нанопорошков невелик, даже в мировых масштабах». Специфика западного рынка — в поддержке инноваций. «На Западе в области защиты от коррозии активно применяют покрытия на основе высокодисперсных порошков, и российские материалы на сегодняшний день не уступают по качеству импортным. Однако развитие подобных технологий сдерживается российской действительностью: требования отечественного рынка таковы, что низкая цена важнее качества», — утверждает Дмитрий Бессонов. Если уже отработанные инновационные проекты еще имеют шанс, то новые разработки почти обречены. Все хотят сразу технологию, чтобы построить завод. Но сначала нужно провести поисковые исследования, а их финансировать желающих мало.

ЛКМ на основе нанопорошков проходят стандартные испытания. Никаких специализированных технологий для проверки того, насколько более или менее опасны подобные материалы, на сегодняшний день в России не существует и не разрабатывается. Михаил Вахрушев: «В покрытиях кроме порошков используют ряд химических компонентов — связующее и различного рода добавки. Все такие компоненты прошли испытания, сертифицированы. Наши материалы имеют класс опасности 4, как у обычных красок».

При строительстве стартового комплекса для ракеты-носителя «Союз-СТ» на космодроме Куру во французской Гвиане использовали более 30 тонн защитных покрытий с нанопорошками. В конце ноября 2009 г. в Ульяновске открыли 13-километровый мост через Волгу. Металлические пролетные строения на нем покрыты нанопорошковыми ЛКМ, которые должны прослужить 25 лет.

*Ирина Рахмеева*

**Вячеслав Рувимович Фаликман,**

вице-президент ассоциации «Железобетон», академик РИА, лауреат премии Правительства РФ, почетный строитель России, профессор МГСУ

Дай Бог, к концу года удастся договориться.

Если говорить о мировой практике, то такая работа только начинается, и практически во всех 28 общепризнанных центрах наноматериалов и нанотехнологий в строительстве и, естественно, предполагает наличие серьезной испытательной базы, которой в России заведомо нет. В Московском государственном строительном университете планируют открыть направление «наноэкология» — и в части исследований, и в части подготовки кадров. Вместе с тем проблема эта — крайне серьезная, с возможными дальними последствиями, не исключено, что на генном уровне.



# КОГДА РОССИЯ СОЗДАСТ СВЕРХЪЯРКИЙ ЧИП?

Уральский оптико-механический завод им. Э.С. Яламова в Екатеринбурге стал участником крупного инвестиционного проекта. Там налаживают производство светотехники нового поколения на основе светодиодов. Игорь Сергеев, возглавляющий научно-конструкторское бюро и координирующий проект, рассказал корреспонденту РН Ирине Рахмеевой о том, как продвигается работа.

## Игорь Константинович, что вы хотите построить на заводе?

Мы создаем производство твердотельных сверхъярких полупроводниковых источников освещения и светотехнической продукции на их основе. Это будет производство полного цикла, начиная со светодиодных чипов на основе GaN. На данный момент нитрид галлия – единственное соединение, из которого, по недорогой технологии, можно сделать светодиоды синего диапазона спектра 440–450 нм.

## Такая длина волны оптимальна?

Не совсем. Светодиоды ультрафиолетового диапазона с длиной волны 370 нм лучше. Они дают освещение, максимально близкое к естественному. Мы пока не можем выращивать эпитаксиальные структуры, которые позволяют делать такие светодиоды, но НИОКР по ним мы запланировали.

## В чем новизна вашей технологии?

Идея данного проекта состоит в том, чтобы создать сверхъяркие светодиоды. Мы хотим с единицы площади чипа снимать при постоянном токе порядка 350 мА максимальный световой поток. На данный момент не вся электроэнергия, подводимая к чипу, трансформируется в свет. Возможность преобразования тока в излучение света зависит от равномерности выращиваемой структуры. При пропуске тока рекомбинация электронов и дырок в полупроводниковой структуре сопровождается излучением кванта света. Если есть неоднородность, дислокация, то на ней излучения не будет. Таким образом, чем больше дислокаций, тем меньше излучений и ниже яркость. Чтобы избежать появления неоднородностей, надо конфигурировать структуру электронных проводников на чипе. Так вот, наше «ноу-хау» заключается в том, что мы, выдерживая режимы температуры, концентрации газов, обеспечим равномерный рост гетероструктур, сделаем структуру более однородной, чтобы число дислока-

ций не превышало десятка штук на единицу площади. Это очень непросто, учитывая, что в процессе роста формируются до 150 слоев. Толщина каждого слоя – один нанометр.

Наши чипы мы собираемся экспортировать. Будем продавать их производителям сверхъярких светодиодов из Тайваня, Малайзии, Китая. Такова, в общих чертах, бизнес-идея проекта.

## Из чего еще будет состоять производство?

Помимо эпитаксиального роста структур будем тестировать характеристики чипов, упаковывать их в светодиодные лампы, наносить люминофоры, крепить оптические элементы – различного типа линзы.

Светодиодные лампы – это всего лишь полуфабрикат. Потребителям нужны законченные продукты. Например, мы сейчас производим светофоры различного применения тоже на основе светодиодов.

## Как вы собираетесь выдерживать конкуренцию среди производителей светодиодов?

Структуры на основе GaN в мире выращивают многие производители: Cree, Lumileds, Nichia, OSRAM, PHILIPS и другие. Новизна нашего метода в том, что мы можем делать равномерные структуры, которые более энергоэффективны и яркие.

Сейчас мы можем изготавливать чипы с яркостью до 70 люмен на ватт подводимой мощности, а стремимся к яркости 100 лм/Вт. Компания Cree уже добилась такой

характеристики – порядка 90–100 лм/Вт и утверждает, что вскоре освоит промышленное производство светодиодов с яркостью 115 лм/Вт. Фирма OptoGan, которую создали российские ученые в Германии, делает чипы с яркостью 60–70 лм/Вт. Компании Юго-Восточной Азии производят чипы с характеристиками 30–40 лм/Вт. Так что мы где-то посередине.



Игорь Сергеев считает, что наши чипы нужно продавать в Юго-Восточную Азию



Светофоры на светодиодах, УОМЗ

Теоретически доказанный предел эффективности чипа на основе GaN соответствует 350 лм/Вт.

Мы не гонимся на этапе становления проекта за максимальными характеристиками. Помимо них есть еще один важный аспект – цена изделия в эквиваленте подводимой мощности. Можно выпустить светодиод 100 лм/Вт, и он будет стоить два доллара. А можно получить светодиод с характеристиками 60–70 лм/Вт по цене 30 центов каждый, тем самым создав экономически более выгодное предложение. Ведь вместо одного светодиода можно использовать два.

**По цене ваши изделия смогут конкурировать с импортной светотехникой?**

Сейчас УОМЗ производит широкое семейство светильников и светоиндикаторных устройств, используя комплектующие от компании Cree. Из-за этого стоимость изделий высока. Когда у нас будет законченный цикл производства светодиодных ламп, тогда наши конечные изделия станут дешевле, чем у Cree, Lumilex, Nichia и других лидеров рынка.

**Каковы основные риски проекта? Связаны ли они с кризисом?**

Те объемы инвестиций, которые определены на проект, не

уменьшились из-за кризиса, и они будут выделены. Группа ОНЭКСИМ уже вложила 1 млрд рублей в уставный капитал нашего совместного предприятия. Сейчас дело за организацией ЗАО, определением размеров кредитных линий, получением первоначальных инвестиций от ГК «РоснаноТех». Риски, обусловленные задержкой финансирования, невелики. Они подкреплены договоренностями со всеми участниками проекта.

Основные риски проекта связаны с поставками зарубежного оборудования. Если они запоздают, то мы не выйдем на проектные мощности в намеченные сроки, то есть к 2012 году.

**На какие рынки рассчитана ваша продукция?**

К 2013 году мы рассчитываем занять 20 % российского и 3–5 % мирового рынка светодиодных чипов, объем продаж которых составляет 200 млн долларов. Продукция будет востребована для бытового, офисного, уличного освещения, ЖКХ и РЖД. Мы также можем выйти на рынки автомобильной светотехники, светосигнальной индикаторной техники, шахтного освещения, светосигнальных огней для речного транспорта, кораблей, самолетов. Сейчас очень востребована архитектурная подсветка, особенно в крупных городах.

**Евросоюз планирует полностью перейти на энергосберегающие лампы к 2012 году. Как Вы думаете, когда это сделает Россия?**

Мы подсчитали, что работа нашего предприятия на проектной мощности позволит полностью переоснастить все освещение в РФ за 10 лет. Но мы ожидаем, что на потенциально емкий российский рынок придут и другие производители, с учетом этого переоснащение будет идти быстрее. Кроме того, мы находимся в гораздо более выгодных условиях, чем Европа. Там сначала перешли от ламп накаливания на люминесцентные лампы. Экономический эффект от внедрения светодиодных светильников по сравнению с люминесцентными не столь высок и показателен, как от замены ламп накаливания светодиодными лампами. Но в Европе этот переход определен регламентирующими документами. Россия же этот этап переоснащения пропустила. У нас только формируются так называемые технологические регламенты потребления электроэнергии.



## Напишите фантастический рассказ!



by Simon Abrams

Долой фэнтези! Надоели эльфы, гномы и всякие вампиры. Хочется настоящей science fiction, как в старые добрые времена Стругацких и Лема. Стосковавшись по научной фантастике, наш журнал решил завести соответствующую рубрику и приглашает вас стать ее авторами. Мы будем публиковать рассказы, фантастичность которых зависит не от количества магии, а от предвидения будущего научных открытий и технологий. Нам интересно узнать, как люди могут использовать существующие нанотехнологии, какие открытия нас ожидают и какие опасности они нам несут. Мы хотим увидеть разные миры, в которых нам, возможно, придется жить, ведь между фантазией и наукой время стирает грань. Ждем ваши рассказы.

Редакция

The Giant Vermin / Tudor



# Вариации на тему рубрикации



Исследователям в области нанотехнологий сложно ориентироваться в море отечественной и зарубежной научной информации, особенно учитывая мультидисциплинарный характер этой отрасли. Поиск нужных материалов как в уже существующих больш-

ших массивах информации, так и вновь создаваемых представляет собой нелегкую задачу, а универсального решения, подходящего на все случаи жизни, пока не придумали. Есть четыре основных механизма, комбинация которых позволяет не только находить информацию, но и структурировать ее при создании электронных информационных хранилищ – это классификации, рубрикации, тезаурусы и ключевые слова. Сейчас сразу несколько российских организаций независимо друг от друга пытаются с помощью этих механизмов навести порядок в потоке нанотехнологических публикаций. Удастся ли им это сделать?

Представим себе аспиранта, который решил посмотреть в научной библиотеке, какая литература существует по теме адресной доставки лекарств. Самый простой способ – задать поиск по ключевым словам. В результате наш аспирант получит некий список публикаций, в заглавии или аннотации которых они есть. Другой способ – поиск по электронному тематическому каталогу, или рубриктору. Это сложнее, потому что при пользовании им важно определить направление поиска – по каким рубрикам следует двигаться, чтобы достичь цели. Сначала надо установить, в каком из общих разделов верхнего уровня находится нужная тема, потом найти более частный раздел, а в нем другой раздел и т. д., пока не попадет рубрика «Адресная доставка лекарств». В ней будут находиться статьи, отобранные не только по нашим ключевым словам, но и по другим критериям тематической принадлежности. По идее, аспирант, пользуясь тематическим рубриктором, должен получить более полный и точный список публикаций, нежели тот, что был составлен при помощи ключевых слов. Чем лучше пользоваться – поиском по ключевым словам или каталогу-рубриктору, решать, конечно, аспиранту. Главное, чтобы библиотеки и информационные системы предоставляли ему оба поисковых метода.

Рубриктор – это классификационная система, специально предназначенная для упорядочения и поиска в фондах информационных материалов. В рубрикторах нуждаются не только библиотеки, их используют практически все организации, которые обрабатывают большие массивы разного рода публикаций: статей, заявок, отчетов, проектов и т. д. В 1986 году для автоматизации систем научно-технической информации разработали государственный рубриктор – ГРНТИ, действующий по настоящее время. ГРНТИ позволяет детально структурировать информационные массивы по различным отраслям естественных и гуманитарных наук, техники. Его периодически дополняют, вводя новые рубрики и подрубрики, отражающие изменения в научном знании. Но для поиска междисциплинарных публикаций, таких как «адресная доставка лекарств», ГРНТИ неудобен. Трудно определиться со стартовой точкой поиска – это рубрика «медицина», «биология» или «биотехнология»? Если идти глубже, то мы оказываемся перед довольно общими рубриками, в каждой из которых может быть то, что нам нужно, – более подробно-

го деления рубрик нет. Как нет и охватывающего все нанотехнологии раздела в ГРНТИ, а адресную доставку лекарств относят именно к этому направлению. Нужно ли вводить соответствующий раздел в государственный рубриктор или лучше сделать отдельный рубриктор по нанотехнологиям? Эти вопросы активно обсуждают специалисты по информации, пользователи научных библиотек и эксперты научных фондов.

Так, в необходимости отдельного рубриктора по нанотехнологиям сомневаются представители Российской государственной библиотеки, о чем они заявили на семинаре, проведенном в декабре 2009 года в ВИНТИ РАН. Им возразили, указав на то, что число публикаций по нанотематике настолько велико и с каждым годом продолжает расти, что без специализированного рубриктора никак не обойтись. Существующие в мировой практике примеры также говорят в пользу самостоятельных «нанорубрикторов» – их уже разработали в нескольких странах мира, включая Россию. Среди наиболее известных называют классификатор патентов США в области наноиндустрии, классификаторы продуктов и исследований, используемые немецкими порталами ([nanotech-data.com](http://nanotech-data.com), [www.nanoingermany.com](http://www.nanoingermany.com), [www.bmbf.de](http://www.bmbf.de)), рубриктор для Национальной нанотехнологической сети – ННС, создаваемый «Информикой» совместно с партнерами. Кроме того, ВИНТИ формирует базу данных рефератов по физике наноструктур на основе своего рубриктора. Собственные рубрикторы есть в организациях, финансирующих науку и бизнес, – РФФИ, ГК «Роснано».

«Вопрос нечего и обсуждать. Совершенно ясно, что рубриктор по нанотехнологиям нужен обязательно. Как любой другой информационный массив, материалы по нанотехнологиям должны быть структурированы и разложены по полочкам. Логика структурирования должна отражать логику развития этого научного направления», – сформулировала точку зрения ВИНТИ РАН замдиректора по научной работе, доктор биологических наук Людмила Борисова на круглом столе, состоявшемся 1 декабря 2009 года в МГУ. Казалось бы, «логика развития научного направления» одинакова для всех, а значит, и рубриктор по нанотехнологиям должен быть один – общепринятый. Но, судя по количеству версий рубрикторов, это не так. Особенно отчетливо разница в понимании

### Определение термина «нанотехнологии»

**Тезаурус портала «Нанотехнологии и наноматериалы»:**

«Нанотехнологии – технологии, направленные на создание и эффективное практическое использование нанобъектов и наносистем с заданными свойствами и характеристиками».

**Тезаурус ГК «Роснанотех»:**

«Под термином «нанотехнологии» ГК «Роснанотех» понимает совокупность приемов и методов, применяемых при изучении, проектировании и производстве наноструктур, устройств и систем, включающих целенаправленный контроль и модификацию формы, размера, взаимодействия и интеграции составляющих их наномасштабных элементов (около 1–100 нм), наличие которых приводит к улучшению либо к появлению дополнительных эксплуатационных и/или потребительских характеристик и свойств получаемых продуктов».

**Классификатор патентов США:**

«Нанотехнологии включают в себя открытия и изобретения, связанные с:

- Наноструктурами и наноструктурированными химическими соединениями;
- Приборами, включающими в себя по крайней мере один наноструктурированный элемент;
- Математическими алгоритмами, например компьютерными программами и т.п., предназначенными непосредственно для моделирования формы и свойств наноструктур;
- Методиками и приборами для изготовления, обнаружения, анализа или обработки наноструктур; а также
- Точно определенным использованием данных наноструктур».

данной области наук проявляется в отсутствии общепринятых определений научных терминов.

Даже термин «нанотехнологии» понимают по-разному, и причина этого лежит в том, что определения подогнаны под задачи организаций. ГК «Роснанотех» интересуют продукты, которые выпустят на рынок финансируемые ею компании. Портал «Нанотехнологии и наноматериалы» обслуживает ННС, поэтому там удобнее использовать более общее определение, включающее в себя не только готовые продукты, но в первую очередь результаты фундаментальных и прикладных исследований. Напротив, для патентования важны оригинальность, новизна изобретения, поэтому мы и видим в американском классификаторе смещение акцента в эту сторону. Аналогичная ситуация сложилась в отношении других понятий и терминов. Каждый трактует их в зависимости от своих целей. По мнению Александра Озерина, директора Института синтетических полимерных материалов РАН и члена редколлегии РН, чтобы рубрикатор служил общепризнанным средством интеграции знаний в области нанотехнологий, он должен точно отражать представления ученых об этой области знаний. А такого общего представления до сих пор нет. Его нет ни в нашей стране, ни за границей.

### КАК ДЕЛАЮТ РУБРИКАТОРЫ

В ноябре 2008 года «Информика» приступила к разработке рубрикатора для интернет-портала «Нанотехнологии и наноматериалы» – portalnano.ru, поддерживаемого Роснаукой в рамках ФЦП «Развитие инфраструктуры nanoиндустрии в Российской Федерации на 2008–2010 годы». Портал служит для хранения и обмена информацией участников ННС. «У нас большой опыт по строительству порталов, – рассказал замдиректора ФГУ ГНИИ ИТТ «Информика» Алексей Скуратов на круглом столе в МГУ. – Материалы портала должны сразу сортироваться, раскладываться по полочкам, чтобы их можно было быстро найти». Работу над рубрикатором начали с изучения уже существующих в мире документов. В общей сложности специалисты проанализировали 38 зарубежных и российских источников. «Многие эксперты хвалили патентный классификатор по нанотехнологиям США, мол, в России пока ничего лучше нет. Поэтому мы его использовали при разработке нашего рубрикатора», – продолжал Скуратов.

### Фрагмент рубрикатора ВИНТИ по нанобиотехнологии

- |              |  |
|--------------|--|
| 621.25.07    | Наноконструирование биологических узнающих систем  |
| 621.25.07.02 | Общие проблемы   |
| 621.25.07.07 | Разработка наноструктурных систем детекции биоорганических субстанций, бактерий, вирусов для использования в молекулярной биологии, медицине, экологии, криминалистике и других областях |
| 621.25.07.11 | Создание нанобиосенсоров для генодиагностики, наркодиагностики, диагностики вирусемии и токсемии, мониторинга лекарственных средств  |
| 621.25.07.15 | Создание комплексов на основе нанобиосенсоров для введения в организм, регистрируемых физическими методами   |
| 621.25.07.99 | Другие вопросы нанодиагностики и нанодетекции  |
| 621.25.11    | Наноконструирование лекарственных препаратов   |
| 621.25.11.07 | Наноструктуры направленного воздействия на клетки-мишени и клеточные структуры   |
| 621.25.11.11 | Механизм адресной доставки нанолечений   |
| 621.25.11.15 | Достижения нанотехнологий в создании нового поколения антибиотиков, противоопухолевых, кардиотропных и психотропных средств  |
| 621.25.11.19 | Достижения нанотехнологий в создании иммуномодуляторов, алерготропинов и наноантител для лечения иммунодефицитов, аллергии, опухолей и аутоиммунных заболеваний                          |
| 621.25.15    | Наноконструирование иммуногенов, мини-антител, наноантител   |

К работе над рубрикатором подключились Новгородский государственный университет, Институт информационных технологий «АйТи», АНО «Международное образование и наука», а также специалисты из ВИНТИ, НЭИКОН, Курчатовского института и Владимирского ГУ.

Поскольку портал «Нанотехнологии и наноматериалы» создавали для нужд федеральных целевых программ, финансируемых Роснаукой, то за основу рубрикатора, в качестве рубрик первого уровня, взяли восемь направлений, обозначенных в ФЦП. Не все считают, что повторять структуру ФЦП – это хорошо. Так, Озерин, который с самого начала участвовал в развитии этих программ, считает, что в силу разных причин количество направлений в них ограничено, поэтому они не могут служить хорошим базисом для построения общей системы рубрикации.

«Информика» разработала также тезаурус, который помогает ориентироваться в ветвлении рубрикатора. По словам Скуратова, тезаурус – это особая разновидность словарей, в котором указаны семантические отношения между понятиями. Тезаурус раскрывает тематические связи понятий, иерархические, ассоциативные отношения, которые бывают довольно сложными. Он показывает место термина в системе понятий данной сферы знания.

Подготовка предварительного варианта рубрикатора заняла примерно несколько месяцев. Работа над ним продолжается непрерывно, это достаточно живой процесс. Наука не стоит на месте, появляются новые разработки, темы, а значит, нужно дополнять рубрикатор, т.е. вводить новые разделы. Скуратов отметил: «Наш рубрикатор более развит и полон, чем имеющиеся на сегодняшний день зарубежные рубрикаторы. По количеству рубрик наш рубрикатор в 5–6 раз больше американского».

ГК «Роснанотех» приступила к разработке своего рубрикатора в марте 2008 г., когда пошли первые заявки, и экспертам надо было их сортировать. Первый его вариант сделали в короткий срок специалисты корпорации с помощью ученых из институтов РАН Валерия Рязанова, Михаила Фейгельмана, Галины Цириной. Позже его доработали и стали использовать как один из основных документов Концепции статистических наблюдений в области нанотехнологий. На круглом столе в МГУ Илья Гольдт, ведущий специалист направления

**Людмила Борисова:**

«Материалы по нанотехнологиям должны быть разложены по полочкам»

**Алексей Цыганов:**

«Когда встал вопрос о рубрикаторе по нанотехнологиям, то, честно говоря, мы его сделали по-другому»

**Александр Озерин:**

«Сегодня мы видим очень громоздкие и очень непонятные структуры для работы»

**Алексей Скуратов:**

«По количеству рубрик наш рубрикатор в 5–6 раз больше американского»

**Илья Гольдт:**

«Нам рубрикатор нужен, как минимум, для того, чтобы классифицировать поступающие к нам проекты»

научно-технической экспертизы, пояснил: «При создании рубрикатора нужно руководствоваться теми задачами, которые он должен будет решать. Для корпорации это классификации проектов».

По словам Гольдта, в основе классификатора ГК «Роснано» лежит американский патентный классификатор. Но и эта версия не решает всех задач по сортировке проектов. Проблема в том, что нет единого понимания термина «нанотехнологии». Сейчас корпорация готовит статью в РН совместно с академиком Михаилом Алфимовым, председателем НТС, где будет дано определение нанотехнологий и приведены их примеры. Это определение принято для работы всей корпорации.

РФФИ, рассматривая десятки тысяч научных проектов, давно использует для их сортировки классификаторы. Тематика заявок год от года меняется, и в зависимости от этого меняют и классификацию. Когда стали появляться проекты по нанотехнологиям, которые невозможно было отнести к физике или химии, то сотрудники фонда разработали для них отдельный классификатор. Это самый маленький из рассматриваемых здесь примеров. О его специфике рассказал Сергей Цыганов, начальник управления ориентированных исследований: «Ресурсы фонда ограничены, и мы не можем их распылять. Мы стараемся финансировать инициативные работы, которые могут стать научным прорывом. Поэтому совет фонда выделил среди междисциплинарных исследований 18 тем, которые он считает наиболее перспективными». В список попали четыре пункта по нанотехнологиям. Любопытно, что большинство заявок 2009 года поступило по теме 15 «Разработка и создание наноразмерных и наноструктурных материалов и покрытий на металлической, керамической и полимерной основе». Сформировался конкурс 1:20 — беспрецедентный за все годы работы фонда. «Через год проведем конференции и посмотрим, действительно ли есть научные результаты по этому направлению, стоит ли его дальше поддерживать», — пояснил Цыганов.

**В ПОИСКАХ ОБЩЕГО ЗНАМЕНАТЕЛЯ**

Рассмотренные рубрикаторы и классификаторы решают разные задачи, поэтому в обсуждениях нередко всплывает вопрос: можно ли все-таки разработать такой рубрикатор по нанотехнологиям, который устроит всех. Мнения экспертов расходятся по данному вопросу: одни говорят, что в России столько работ по нанотехнологиям, что навести порядок в них и создать рубрикатор — тяжелая задача, но осуществимая. Так считает Скуратов: «Рубрикатор нужен для наведения порядка в том хаосе материалов, который сейчас существует в сфере российских нанотехнологий». Гольдт не так уверен: «Нужен ли единый нанорубрикатор? У меня нет однозначного ответа на этот вопрос — но, скорее, «Нет», чем «Да». И этот ответ обусловлен тем, что любой классификатор, не исключая

классификатора для нанотехнологий, должен носить целевой характер, т.е. необходимо сначала ответить на вопрос: «Для чего он нужен?» У Озерина более радикальное мнение на этот счет: «В России пока что нет общего рубрикатора по нано, поскольку активность исследовательской, издательской, патентной и производственной деятельности, по сравнению с мировой, близка к нулю. Многие проблемы, актуальные для остального мира, в России не исследуются и не обсуждаются». Раз так, то, может быть, не изобретать колесо, а максимально использовать мировой опыт? Проще говоря, перевести американский классификатор патентов, адаптировать его под российскую специфику и обязать все заинтересованные стороны его использовать. По мнению Скуратова, такой вариант не самый лучший: «Американский классификатор очень маленький. Он прозрачен и понятен, но когда мы начинаем работать с реальными экспертами, проектами, людьми, то его не хватает». Кроме того, классификатор США нельзя совместить с ГРНТИ и УДК — универсальной десятичной классификацией, что, по мнению специалистов «Информики» и ВИНТИ, представляет собой проблему. «Речь идет не столько о едином рубрикаторе по нанотехнологиям, сколько о системном подходе. Любой разрабатываемый рубрикатор должен быть интегрирован в те рубрикаторы, которые сочленены с теми, что используются в больших государственных информационных системах и в отдельных профильных организациях, а также с зарубежными рубрикаторами» — отметила Борисова. Она рассказала о том, как проблему автоматизированного совмещения рубрикатора ВИНТИ, ГРНТИ и УДК пытаются решать в ее институте, располагающем банком данных научно-технической информации из 30 млн документов. В этом массиве публикации по физике наноструктур, наноэлектронике, нанобиотехнологии структурируют по специально разработанным рубрикаторам, которые представляют собой углубленные уровни ГРНТИ.

Совместимость с зарубежными базами данных предлагают сделать через ключевые слова. Найдя с их помощью нужные документы, следует разложить их по разделам отечественного нанорубрикатора. Этот механизм планируют применить в НЭИКОН, который договаривается о покупке в издательстве Elsevier 9 млн публикаций по нанотехнологиям. Эти публикации будут доступны ученым через Российскую электронную библиотеку.

Итак, консолидированного мнения по поводу общего для всех нанорубрикатора пока нет. Как нет и соответствующего документа, который устраивал бы всех разработчиков и пользователей поисковых систем и баз данных, где хранятся нанотехнологические публикации. Единственное, с чем согласно большинство, — сколько бы ни было рубрикаторов и классификаторов в данной области науки, они должны представлять собой систему согласованных средств поиска информации.

*Татьяна Пичугина при участии Дмитрия Чулкина*

**Пример из тезауруса portalnano.ru**

**Золь-гель технология (гелевая технология) (The sol-gel process)**

<i>Тематический раздел (поле):</i>	Конструкционные наноматериалы, Функциональные наноматериалы, Композиционные наноматериалы, Наноинженерия, Нанoeлектроника, Нанотехнологии ТЭК
<i>Функциональный разряд:</i>	Действие/Технология
<i>Акрипиторы:</i>	Гелевая технология
<i>Отношения иерархические (род-вид)</i>	Золь-гель технологии → Методы формирования наноматериалов → Получение, диагностика и сертификация наноразмерных систем
<i>Отношения ассоциативные:</i>	Золь-гель технологии ~ Ксерогель, Гель, Золь, Керамика, Полимер, Коллоид

**Фрагмент рубрикатора интернет-портала «Нанотехнологии и наноматериалы»**

<b>№ рубрики</b>	<b>Заголовок</b>
01	<i>Структуры объектов, относящихся к сфере нанотехнологий, их свойства</i>
01 10	Наноструктурированные материалы
01 10 10	Точечные (нульмерные) наноструктуры
01 10 10 10	Магнитные наноточки (наноразмерные структуры с магнитными свойствами)
01 10 10 20	Квантовые точки. Квантовые точечные контакты
01 10 10 30	Фуллерены
01 10 10 40	Молекулярные нанокластеры
01 10 10 50	Наноразмерные кристаллы
01 10 10 60	Нанопорошки
01 10 10 99	Другие точечные наноструктуры
01 10 20	Линейные (одномерные ) наноструктуры
01 10 20 10	Нанопроволоки
01 10 20 20	Нанотрубки
01 10 20 30	Квантовые кольца
01 10 20 99	Другие линейные наноструктуры

**Классификатор «Роснано» состоит из восьми разделов:**

- T.01. Наноматериалы
- T.02. Нанoeлектроника
- T.03. Нанофотоника
- T.04. Нанобиотехнологии
- T.05. Наномедицина
- T.06. Методы и инструменты исследования и сертификации наноматериалов и наноприборов
- T.07. Технологии и специальное оборудование для опытного и промышленного производства наноматериалов и наноприборов
- T.09. Прочие направления

**Классификатор РФФИ - темы конкурса «офи\_м» 2009 г. по тематике «Нанонаука и нанотехнологии»**

- 002 Криогенные наноструктуры
- 007 Наноразмерные молекулярные и супрамолекулярные системы
- 015 Разработка и создание наноразмерных и наноструктурных материалов и покрытий на металлической, керамической и полимерной основе
  - 015.1 Теоретическое и экспериментальное исследование физико-химических свойств наночастиц в процессе их формирования и развитие методов управления их размером и формой.
  - 015.2 Изучение влияния наноструктурных элементов и модификаторов на физико-механические характеристики материалов и композитов сложного состава.
  - 015.3 Исследование механизмов и закономерностей наноструктурирования поверхностных слоев и формирования наноструктурных покрытий при электронных, ионных и плазменных воздействиях.
  - 015.4 Развитие численных и аналитических методов для изучения природы и условий формирования уникальных физико-механических свойств наноструктурных материалов и покрытий.
  - 015.5 Методы диагностики структуры, состояния и свойств наноструктурных материалов и покрытий.
  - 015.6 Фундаментальные основы создания новых высокоэффективных строительных материалов на основе нанодисперсных материалов
- 016 Фундаментальные проблемы создания полупроводниковых наноструктур для электроники и возобновляемых источников энергии

**Патентный классификатор по нанотехнологиям США. КЛАСС 977. НАНОТЕХНОЛОГИИ (фрагмент)**

- 700 НАНОСТРУКТУРЫ
- 701 \* Интегрированные с несходными структурами на общей подложке
- 702 \*\* Имеющие биологическую составляющую
- 703 \*\*\* Клеточную
- 704 \*\*\* Нуклеиновые кислоты (например, ДНК или РНК и т.п.)
- 705 \*\*\* Белок или пептид
- 706 \*\*\* Углевод
- 707 \*\* Состоящие из различных типов наноразмерных структур или приборов на общей подложке (субстрате)
- 708 \*\* С отдельным переключающим элементом
- 709 \*\*\* С молекулярным переключателем
- 710 \*\*\*\* С биологическим переключателем
- 711 \*\*\*\*\* Переключатель на основе нуклеиновой кислоты
- 712 \*\* Образованные из различных слоев наноразмерных материалов (например, стеклинг-структуры и т.д.)
- 713 \*\*\* Включающие в себя липидный слой

## Чему учат нанотехнологов?

РГТУ им. К.Э. Циолковского известен больше по своей старой аббревиатуре – МАТИ, или Московский авиационно-технологический институт. Тематика некоторых кафедр связана с нанотехнологиями, и сотрудники института занимались ими в то время, когда и термина такого еще не было. Однако найти человека в МАТИ, который бы захотел рассказать об учебной программе по нанотехнологии, оказалось непросто – это направление появилось здесь всего два года назад. «Поговорите со Слепцовым, – посоветовал мне один преподаватель. – Он в этом разбирается». Так я оказался в старом здании института на Таганке, в кабинете заведующего кафедрой «Наукоемкие технологии радиоэлектроники» факультета «Информационные системы и технологии».



Владимир Слепцов: мы будем готовить магистров с узкой специализацией

### Владимир Владимирович, на вашей кафедре есть специальность «нанотехнологии»?

Как отдельное направление у нас эта тематика не выделена. Мы готовим по направлению проектирования и технологии радиоэлектронных устройств. И уже лет пять читаем своим студентам и магистрам курс по нанотехнологиям.

### Чем этот курс отличается от курса с таким же названием на кафедре «Технология обработки материалов потоками высоких энергий»?

Базовые дисциплины, то есть физико-химические основы нанотехнологий, одни и те же, различаются специальные дисциплины прикладного характера. На кафедре «ТОМПВЭ» занимаются созданием корпусных деталей самолетов и авиационных газотурбинных двигателей. Мы же сосредоточены на технике приема и обработки сигналов, СВЧ-технике, телекоммуникационной технике, цифровой обработке сигналов, датчиках первичного приема сигналов.

### Где ваши студенты проходят практику?

Чаще всего на предприятиях электронной промышленности и на кафедре. Нашу кафедру считают ведущей в области создания малошумящих приемных устройств в СВЧ-диапазоне. У нас есть собственное производство СВЧ-техники, серьезные заказчики и партнеры, занимающиеся космической техникой, спецтехникой, среди которых Лианозовский электромеханический завод, ОКБ МЭИ, концерн «ВЕГА», институт Минца, ФГУП «Центр Келдыша». Наши выпускники уже создают собственные предприятия в области радиоэлектроники.

### На кафедре создана лаборатория «Нанотехнологии». Есть ли там необходимое оборудование для обучения студентов – сканирующий зондовый, атомно-силовой микроскопы?

Сканирующий зондовый и атомно-силовые микроскопы находятся в филиале нашей кафедры в НИИ вакуумной техники им. С.А. Векшинского. Там работают преподаватели и

студенты кафедры, они знакомятся с этой техникой на лабораторных или научно-исследовательских работах. Эта техника помогает нам увидеть материалы и покрытия, которые мы создаем на кафедре. Здесь у нас есть набор вакуумного технологического оборудования для синтеза покрытий толщиной до 10 нанометров. Это двумерные и одномерные структуры, монослои. Также разработаны технологии формирования нанокластеров, которые изучают у нас студенты, и некоторые даже работают в этой лаборатории. Проблема оборудования стоит наиболее остро. Оно дорогое, и покупать его для одной кафедры не представляется возможным. Выгоднее использовать центры коллективного пользования – там проводить исследования могут сотрудники различных организаций. Мы взаимодействуем с ЦКП в МИСиС. Возможно, в Дубне будет такой центр. И поскольку оборудования все равно не хватает в ЦКП для каждого студента, то, скорее всего, магистерскую подготовку они будут проходить и на кафедре, и на базовых предприятиях.

**Какие научные задачи смогут решать выпускники кафедры?**

Наша главная цель – научить их создавать передовые технологии и устройства в области радиоэлектроники. Для примера: мощность мобильного телефона – доли ватта. Это серьезная мощность, которая может в некоторых случаях даже повредить здоровью, особенно ребенка. Наши специалисты обеспечивают уверенный прием сигнала на несколько порядков, в некоторых случаях до 105 раз меньше, чем в мобильном телефоне. Эта задача актуальна как для бытовых целей, так и для развития глобальной системы космической связи и цифровой обработки информации. Если бы мы в 10–20 раз снизили энергопотребление и уровень сигнала наших мобильных телефонов, представляете, насколько меньше было бы СВЧ-излучение вокруг нас? Опять же, с увеличением количества работающих точек просто необходимо снижать уровень сигнала, иначе мощности не хватит, и будет слишком много помех для окружающей электроники, людей и т.д. Поскольку беспроводные системы связи будут развиваться, эта задача требует решения. Ее курирует на кафедре профессор Александр Иванович Кирпиченков.

**Как нанотехнологии помогают снизить уровень СВЧ-сигнала? Нанотехнологии в разы снижают габаритные размеры изделия, используют новые принципы создания СВЧ-транзисторов, что позволяет повысить чувствительность и снизить уровень рабочих сигналов.**

Вторая задача, над которой мы работаем, – это локальные накопители энергии. С Роснано у нас есть такой проект: «Организация производства сверхъёмких электролитических конденсаторов (СЭК) на базе наноструктурированных электродных материалов для радиоэлектроники и энергетики». НТС он прошел в конце 2009 г., ведущие организации – МАТИ, МИСиС, ООО «Восток». Ноутбук работает на литиевых батареях 2–3 часа, а хочется, чтобы неделю. Так вот, мы делаем такие конденсаторы, которые накапливают энергию в двойном электрическом слое и позволяют работать ноутбуку несколько дней. Такие локальные источники питания, которые работают недели, месяцы, а лучше – годы, требуются как для хранения и передачи информации в радиоэлектронике, так и в энергетике, машиностроении. Накопители электрической энергии используются в электромобилях и другой технике.

От этих источников питания работают детекторы, которые собирают информацию. Детекторы также беспроводные, и с ними связан еще один наш проект.

Суть его состоит в том, чтобы создать беспроводные датчики на основе наноструктурированных материалов. Допустим, у пилота самолета или машиниста поезда начался сердечный

Студенты учатся создавать элементы для электроники на комплексе «НаноФаб100»



приступ, и датчик, закрепленный на его руке в виде браслета, сразу передаст информацию в центр управления, что нужна помощь. Областей применения беспроводных датчиков все больше – датчики пожарной безопасности, состояния двигателя, элементов фюзеляжа, изменений полетных условий для самолетов. Изменяется окружающая среда – изменяется геометрия планера, а информация об изменении идет через датчики.

Например, обычные датчики пожара сигнализируют: «Ау, караул, горим». Но, когда горюшь, уже поздно что-то делать. Нужны детекторы, которые скажут: «Осторожно, через 20 минут загоримся. Примите меры». А лучше через 30 минут. Сейчас мы разрабатываем такую систему датчиков. Это направление работы ведут профессор Александр Михайлович Баранов и Алексей Владимирович Савкин.

Есть у нас направление, связанное с медициной. Микроэлектроника и медицина – вроде бы вещи разные, но это не так. Когда я начинал свою деятельность в микроэлектронике, то многое делалось для медицины. Сейчас есть масса радиоэлектронных систем и устройств, которые обеспечивают и поддерживают наше с вами здоровье. Мы работаем над различными биосовместимыми материалами. Например, создаем низкотемпературные стерилизаторы нового поколения, безмутагенные биосовместимые материалы, лекарства для животных, средства личной гигиены и многое другое.

Для работы над этими задачами мы и учим наших магистров нанотехнологиям.

**Где работают магистры, которые прослушали курс по нанотехнологиям? Что думают о них работодатели?**

Чем шире специализация, тем больше недовольства выражают работодатели. Их не устраивает, когда мы говорим: «Подучится и года через 2–3 он станет у вас классным специалистом». Им нужен сразу готовый специалист, и желательно, чтобы последние год–два он учился и работал на предприятии. Бизнес требует, чтобы специалист минимальное количество времени тратил на достижение определенных высот в специальности – это приводит к ее узости. И мы будем удовлетворять такие запросы и выпускать магистров с узкой специализацией.

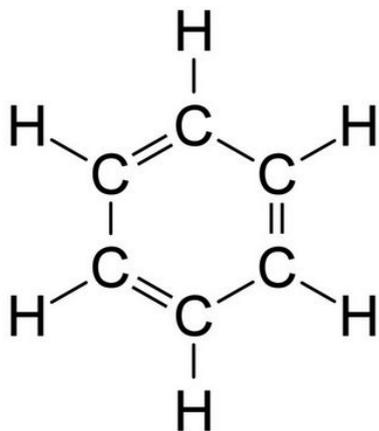
В настоящее время мы работаем не только с отдельными предприятиями типа ЗАО «Предприятие Остек», но и с Ассоциацией производителей электронной аппаратуры и приборов, где представлены более 50 предприятий радиоэлектронной отрасли.

Ребята, которые уже сориентировались, будем учить под задачи конкретного предприятия. Магистратура это сделать позволяет, потому что мы набираем в нее 5–7 человек, и это позволяет готовить их узконаправленно – каждому подобрать специализацию по душе. Но есть и те, кто хочет стать ученым или преподавателем – им будем обеспечивать более широкую подготовку.

*Беседовал Евгений Ануфриев*

## Транзистор

Ученые из Йельского университета (США) и Института науки и технологий в Кванджу (Южная Корея) создали первый транзистор, состоящий всего лишь



из одной молекулы. Они показали, что молекула бензола, соединенная с золотыми контактами, способна вести себя как кремниевый транзистор. Можно управлять различными энергетическими состояниями молекулы, варьируя напряжение электрического тока, подведенного на контакты. Меняя энергетические состояния, исследователи контролировали ток, текущий через молекулу, и заставили ее работать точно таким же образом, как обычный кремниевый транзистор.

Работа основана на исследованиях Марка Рида, профессора технологий и прикладной науки в Йельском университете, проведенных в 1990-е годы. Рид продемонстрировал, что одиночную молекулу можно поймать в электрические контакты. В последующие годы он и Такхи Ли, бывший аспирант Йельского университета, а ныне профессор в Институте науки и технологий, разрабатывали дополнительные методики, позволившие им увидеть, что происходит на молекулярном уровне. Конкретно они создали электрические контакты достаточно малого размера, подобрали идеального вида молекулу для использования, нашли оптимальное их расположение и подсоединение к контактам.

## Плащ-невидимка

Исследователи из Института атомной и молекулярной физики (AMOLF), Нидерланды, впервые осуществили передачу энергии между наноэлектромагнитами с помощью магнитного поля световой волны. Этот успех имеет принципиально важное значение в поисках магнитных мета-материалов, с помощью

которых можно преломлять световые лучи в любом направлении. Это сделает возможным создание идеальных линз, или даже плащей-невидимок.

Исследуемые исследователями искусственные мета-материалы состоят из мельчайших металлических наноклец U-формы. Электромагнитное поле, порождаемое светом, заставляет заряды двигаться в прямом и обратном направлении, навводя тем самым переменный ток в каждом кольце. Крошечный разрыв кольца гарантирует, что частота тока будет изменяться в пределах частоты света. В таком случае каждое кольцо становится крошечным, но мощным электромагнитом, полюсы которого меняются местами с частотой 500 млрд раз в секунду. Когда в наноэлектромагнитах наводятся токи, кольца начинают взаимодействовать друг с другом, тем самым заряжая соседей.

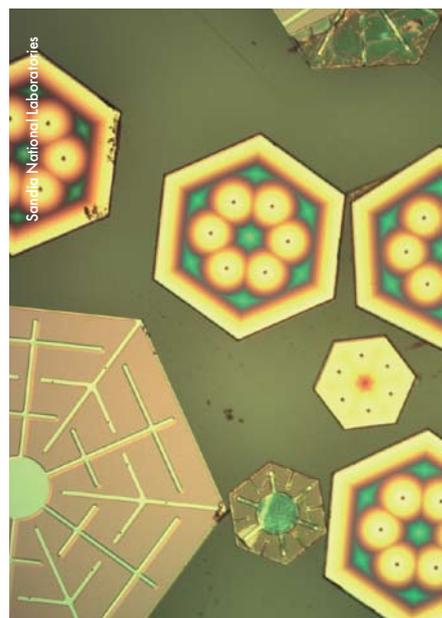
Ученые также показали, что взаимодействие с магнитным полем световой волны в этих материалах очень сильное, практически такое же сильное, как взаимодействие с электрическим полем в лучших классических оптических материалах. Дальнейшее изучение наномагнитного материала поможет создать технологию рассеяния света в любом направлении.

## Фотогальваника

Исследователи из Сандийских национальных лабораторий при Министерстве энергетики США разработали крошечные фотогальванические элементы, способные совершить переворот в улавливании и использовании солнечной энергии.

Эти крошечные батареи, похожие на блестящие, можно просто наклеивать на гибкой подложке на поверхность произвольной формы – например, на одежду; таким образом, хозяин такой одежды может заряжать мобильный телефон, фотоаппарат или ноутбук, находясь под солнцем. В подобные гибкие панели могут интегрироваться и другие функциональные схемы, ранее присутствовавшие только в куда больших по размеру конструкциях: например, в достаточно тонкой пленке, настиленной на крыше дома или склада, могут присутствовать собственно фотогальванический элемент, регулирующая схема, инвертор и даже аккумуляторы для выработанного электричества.

Материалом для микробатарей служит кристаллический кремний; в основу их создания были положены микроэлектронные и микроэлектронно-механические системы (МЭМС), используемые в производстве современной электроники.



Микробатарея – объект диаметром в несколько сотен микрон и толщиной от 14 до 20 микрон, вдесятеро тоньше, чем самые тонкие из традиционных батарей – обладает сопоставимой с ними мощностью. При этом требуемое количество кремния при равной площади стократно ниже. Сборка схемы ведется с помощью обычной для современной микроэлектроники монтажной захватывающей установки со скоростью порядка 130 тыс. микробатареи-блесток в час – при плотности от 10 до 50 тыс. на квадратный метр и цене сборки где-то 0.1 цента за блестящую. Впрочем, в лаборатории уже разрабатываются методы самосборки таких конструкций – по еще более низкой цене.

Поскольку новые микробатареи очень малы, их можно производить из кремниевых пластин любого размера. Благодаря крошечным размерам батарей вся система в целом не прекратит работу, частично оказавшись в тени, – хотя бы часть блестяшек будет на свету.

КПД созданной американскими учеными системы составляет 14.9 %. Целесообразно использование солнечных концентраторов – систем, фокусирующих солнечный свет микролинз над каждой блестяшкой; благодаря сверхмалым размерам батарей концентраторы тоже могут быть очень малыми и, следовательно, дешевыми. Среди иных возможных приложений создатели фотогальванических блестяшек рассматривают применение своей разработки в космических аппаратах и телеметрии.

*Новости подготовлены по материалам ИнформНауки, [www.strf.ru/inform.aspx](http://www.strf.ru/inform.aspx)*

www.photonics-expo.ru

19–22 апреля  
2010



# ФОТОНИКА



## Мир лазеров и оптики

5-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА  
ЛАЗЕРНОЙ, ОПТИЧЕСКОЙ И ОПТОЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

При поддержке:  
Министерства промышленности и торговли РФ

При сотрудничестве:  
**LASER** World of **PHOTONICS**

Под патронатом:



Генеральные информационные  
партнеры:

Организаторы:

Место проведения:  
Россия, Москва, ЦВК «Экспоцентр»



ЛАЗЕРНАЯ АССОЦИАЦИЯ



fairs  
around the  
world