

УДК 620.3+691.3

Королев Е.В. – доктор технических наук, профессор

E-mail: korolevEV@mgsu.ru

Московский государственный строительный университет

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ НАНОТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

АННОТАЦИЯ

В работе представлен анализ проблем применения нанотехнологии в строительном материаловедении, сформулированы задачи, решение которых обеспечивает реализацию нанотехнологии в строительстве.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нанотехнология, строительное материаловедение.

Korolev E.V. – doctor of technical sciences, professor

Moscow State University of Civil Engineering

CHALLENGES AND PROSPECTS OF THE NANOTECHNOLOGY IN CIVIL ENGINEERING

ABSTRACT

The review of the problems arising during practical application of the nanotechnology in material science is presented. The main goals are formulated, which have to be solved for successful application of nanotechnology in civil engineering.

KEYWORDS: nanotechnology, material science.

Проблемы и перспективы нанотехнологии в строительстве обсуждаются весьма широко. Результаты экспериментальных исследований и некоторый практический опыт призваны убедить общественность в перспективах и достижениях, которые ожидаются от применения структурообразования на атомно-молекулярном уровне. Попытки ряда исследователей [1, 2] сформулировать постановочные вопросы о перспективах и областях применения нанотехнологии в настоящее время не находят должного внимания в силу отсутствия надлежащего понимания сущности этой новой технологии.

Для нанотехнологии свойственны мифы и заблуждения [3, 4]. В нанотехнологии строительных материалов также имеются заимствованные и собственные заблуждения, которые порождают проблемы её понимания и применения.

Заблуждение № 1. Нанотехнология или нанотехнологии?

Существует мнение, что нанотехнологий много. Это первое и безобидное заблуждение, но которое также должно быть раскрыто. Разберемся в дефинициях. Технология (от греч. *techne* – искусство, мастерство, умение и ...логия), совокупность методов обработки, изготовления, изменения состояния, свойств, формы сырья, материала или полуфабриката, осуществляемых в процессе производства продукции; научная дисциплина, изучающая физические, химические, механические и другие закономерности, действующие в технологических процессах. Технологией называют также сами операции добычи, обработки, транспортировки, хранения, контроля, являющиеся частью общего производственного процесса [5]. Приставка «нано» – первая составная часть наименований единиц физических величин, служащая для образования наименований дольных единиц, равных миллиардной доле исходных единиц [6]. Отсюда можно заключить, что нанотехнология – это совокупность методов получения продукции (изделий) посредством организации вещества на наноуровне, который занимает особое положение на метрической шкале: между атомами ($1...3 \text{ \AA}$; $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м}$) и макромолекулами полимеров (10^{-5} м). Такие ансамбли атомов и молекул (в иностранной литературе используется термин «*macromolecules*») обладают свойствами, которые существенно отличаются как от свойств отдельных атомов (молекул), так и от свойств макротел. Кроме того, они обладают избыточной энергией, что позволяет существенно снизить затраты на проведение химических и

других процессов. Поэтому объект технологии, посредством которого организуется получение продукции, единственный – нанобъект, а приложений нанотехнологии может быть множество: в химии, металлургии, электронике, строительстве, энергетике и т.д. Таким образом, существует только нанотехнология со множеством приложений.

Заблуждение № 2. Нанотехнология начинается с размеров объектов меньше 100 нм

Классически нанотехнология имеет границы от 1 до 100 нм в одном из направлений. Этот условный размерный диапазон широк и требует уточнения размеров нанобъектов, при которых проявляется размерный эффект. Важно также понимать физическую причину возникновения размерного эффекта. Она заключается в следующем. Все законы химии и молекулярной физики являются статистическими, т.е. проявляющимися точно только на большом количестве атомов или молекул. При этом не все атомы и молекулы обладают требуемыми характеристиками для выполнения рассматриваемого закона (например, ориентации дипольных молекул в магнитном поле). Число таких атомов или молекул пропорционально

$$n \approx \sqrt{N}$$

(где N – общее количество атомов или молекул), а относительная доля с увеличением N уменьшается:

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{\sqrt{N}}{N} \rightarrow 0.$$

Это означает, что для больших групп атомов или молекул законы выполняются полностью и их отклонение незначительно или неопределимо, а для небольших групп (нанобъектов) отклонение от закона существенно и его величина возрастает с уменьшением объекта (рис. 1 а). Причем направленность отклонения не регулируется.

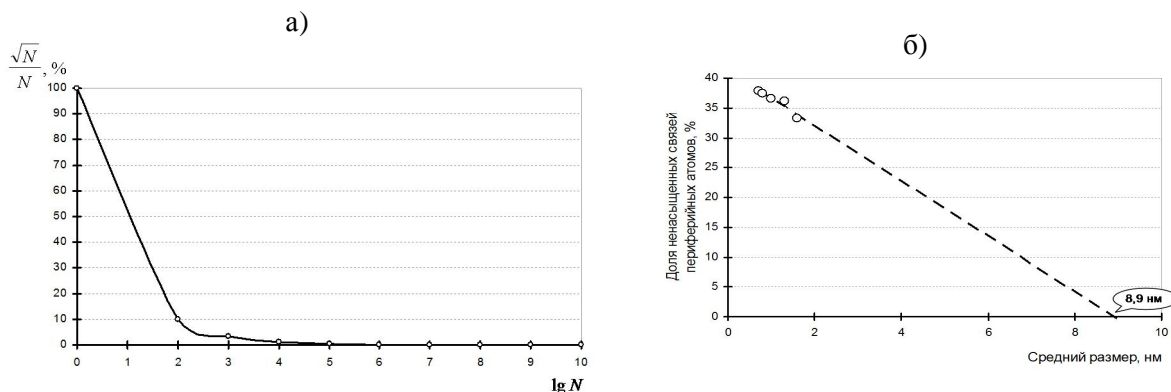


Рис. 1. Определение верхней границы размера нанобъектов

Существует два подхода к определению верхней границы размеров нанотехнологии: феноменологический и структурный. Они предполагают определение относительного количества атомов на поверхности объекта (феноменологический подход) или количества ненасыщенных связей периферийных атомов (структурный подход). Проведем расчет соотношения количества атомов, располагающихся на поверхности нанобъекта, и в его объеме. Количество атомов на поверхности равно:

$$N_s = a_g \left(\frac{L}{a_o} \right)^2,$$

где L – линейный размер нанобъекта; a_o – эффективный размер атома; a_g – геометрический фактор нанобъекта.

Количество атомов в объеме нанобъекта равно:

$$N_v = \left(\frac{L}{a_o} - 2 \right)^3.$$

Сопоставимые количества атомов на поверхности и в объеме достигаются при $L/a_0=10$ или при $N=1000$. Аналогичные результаты получаются при структурном подходе (рис. 1 б) [7, 8].

Таким образом, существенные размерные эффекты можно наблюдать только при размерах нанобъектов менее 10 нм. Однако частицы такого размера сохраняют активность микро- и миллисекунды, а обеспечение их агрегативной устойчивости требует проведения специальных мероприятий (охлаждение до низких температур 50-100 К и/или применение специальных веществ и т.д.) [8]. Отсюда очевидно, что синтез материалов на основе таких нанобъектов в настоящее время может быть реализован только на весьма ограниченном перечне веществ (например, углероде [7]) и их применение ограничено специальными приложениями.

Заблуждение № 3. Утверждается, что применение нанотехнологии позволит получить лёгкие и прочные строительные материалы

Считается, что применение нанотехнологии позволит создать материалы, которые будут обладать высокой прочностью и малой средней плотностью. Эти два свойства связаны в показателе удельной прочности (единица измерения – [Дж/кг]) или в коэффициенте конструктивного качества K_f (единица измерения – [Па]). Прочность изотропного материала определяется количеством связей в единице объема N [9]:

$$R = \gamma f_c N^{2/3},$$

где γ – константа; f_c – прочность единичного контакта.

Используя линейную аппроксимацию между координационным числом и плотностью упаковки, $R = f(N)$ представим

$$R = \gamma f_c \left[27,25 \left(\frac{\rho - \rho_m}{\rho_f - \rho_m} \right) - 13,95 \right]^{2/3}$$

(здесь ρ – плотность материала; ρ_f , ρ_m – плотность структурного элемента и дисперсионной среды), из которого следует, что с увеличением плотности материала его прочность возрастает (рис. 2 а).

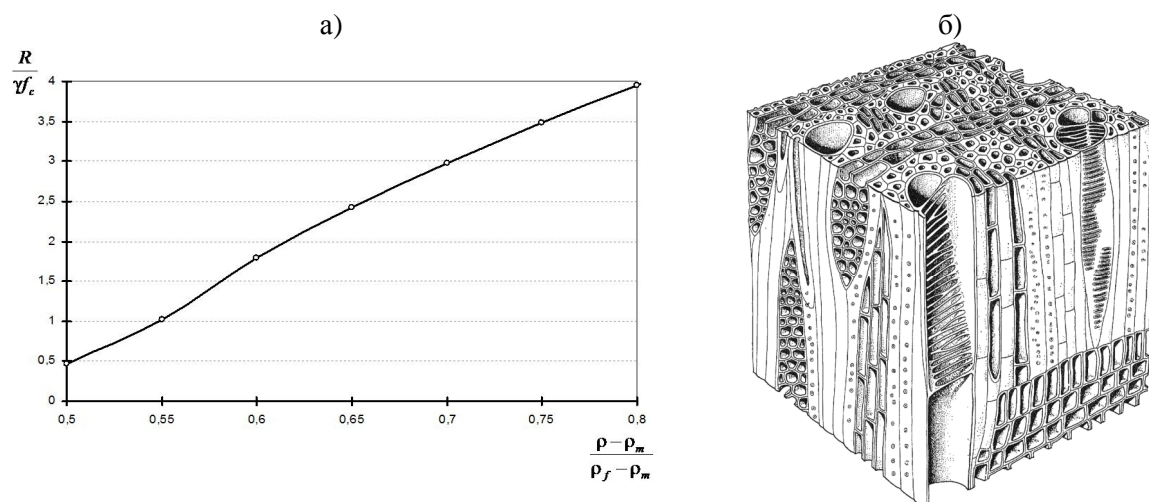


Рис. 2. Зависимость прочности материала от его плотности (а) и структура древесины (б)

Реализация сформулированного заблуждения возможна при организации направленных сотовых структур, аналогичных строению древесины (рис. 2 б). Элементами таких структур могут быть синтезированные наноуглеродные, алюмосиликатные и другие полые структуры (трубки). При этом длина таких трубок должна быть сопоставима с геометрическими размерами изделия. Кроме того, материал с такой структурой будет обладать выраженной анизотропией, так как прочность трубок будет существенно превосходить прочность контакта между ними. Обеспечение разнонаправленного расположения структурных элементов на несколько порядков усложнит технологический процесс изготовления материала.

Безусловно, существуют и другие заблуждения, которые порождают трудности в изучении и продвижении нанотехнологии в строительстве. Однако возможность реализации и перспективность нанотехнологии в строительных материалах определяется идентичностью процессов, протекающих при получении материала, с процессами синтеза нанобъектов.

Внедрение нанотехнологии в строительство требует решения нескольких приоритетных задач, а именно:

- 1) Провести технико-экономическое обоснование внедрения нанотехнологии.
- 2) Установить влияние нанобъектов на здоровье человека.
- 3) Определить рациональную траекторию наноструктурирования строительных материалов.

Очевидно, что развитие нанотехнологии будет формулировать перед исследователями новые задачи, которые направлены на получение новых знаний и преодоление возникающих технологических задач, что в совокупности будет характеризовать направленный поиск научно обоснованных инженерных решений. Указанные вопросы являются центральными, определяющими перспективы и области применения нанотехнологии в строительстве.

Задача № 1. Методология технико-экономической оценки внедрения нанотехнологии в строительство

Считается, что целесообразность внедрения разработки достаточно обосновывать только расчетом финансовых потоков. Этого критерия достаточно только при условии внедрения нового достижения, технические показатели которого не подвергаются сомнению. Отсутствие технического анализа увеличивает вероятность появления продукта, незначительно отличающегося по характеристикам от существующих изделий и являющегося их тиражированием, что может при внедрении нанотехнологии оказывать неблагоприятное влияние на мнение потребителя и, следовательно, на внедрение и продвижение этой технологии. Поэтому целесообразно при внедрении нанотехнологии проводить технико-экономическую оценку. Для этого необходимо разработать критерий, позволяющий учитывать технические достижения и величину экономических затрат на внедрение технологии. Таким показателем является соотношение:

$$k_{ec} = \frac{\bar{F}}{\bar{C}},$$

где \bar{F} – относительное изменение качества материала; \bar{C} – относительное изменение стоимости технологии.

Относительные изменения должны рассчитываться с учетом ближайших аналогов – базовых технологий материалов:

$$\bar{F} = \frac{\Phi_k - \Phi_{k,0}}{\Phi_{k,0}}; \quad \bar{C} = \frac{C_t - C_{t,0}}{C_{t,0}},$$

где $\Phi_{k,i}$ – обобщенный критерий качества; $C_{t,i}$ – стоимость технологии с учетом затрат на внедрение, эксплуатацию и утилизацию; индекс «0» обозначает базовую технологию (материал).

Указанное соотношение фактически определяет эффективность вложения финансовых средств в новую технологию. В фазовом пространстве \bar{F} и \bar{C} можно определить граничные значения, определяющие эффективность внедрения новой технологии (рис. 3).

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

Рис. 3. Техничко-экономические эффекты в фазовом пространстве \bar{F} и \bar{C}

Знаком «+» отмечены области достижений традиционных технологий: как правило, изменения \bar{F} или \bar{C} незначительны. Знаком «??» обозначена область приоритетных технологий, для которых уменьшение стоимости технологии приводит к повышению качества материала – продукта технологии. В этой области указаны развивающиеся прогрессивные технологии. Такие технологии на современном этапе также имеют незначительные изменения \bar{F} и \bar{C} . Знаком «?» отмечена область, эффект которой определяется соотношением величин \bar{F} и \bar{C} . Очевидно, что предпочтительны значения $k_{ec} > 1$. В этой области обозначены новые технологии, в том числе нанотехнологии. Отсюда верно, что развитие нанотехнологии потребует вложения средств, эффективность использования которых зависит от выбора базовой технологии (материала).

Очевидно, что предложенная методология оценки технико-экономической эффективности внедрения нанотехнологии определяет необходимость решения новых подзадач, а именно:

1) Разработать методики расчета экономических показателей, учитывающих весь жизненный цикл работы материала.

2) Сформулировать обобщенные критерии качества материала. Примером такого критерия может быть аддитивная функция, содержащая мультипликативные члены:

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

где α_i – коэффициенты весомости; f, f_* – фактическое и контрольное значение свойства; n – количество групп свойств (например, технологические, механические, теплофизические и т.д.); m – количество свойств, характеризующих группу свойств.

Все показатели, входящие в состав обобщенного критерия качества, должны быть сформулированы для каждого материала. Это потребует не только проведения классификации, но и разработки новых методик определения свойств материалов.

3) Установить значения свойств материалов f . Для решения указанной задачи необходима системная работа и консолидация усилий специалистов многих областей знаний, способных сформулировать требования к новым энергоэффективным и безопасным зданиям и сооружениям.

Задача № 2. Токсикологическое влияние нанобъектов на здоровье человека

Медицинские исследования, проведенные с применением наночастиц (3D-объекты) различной природы (углеродные нанотрубки, фуллерены, наночастицы серебра и титана), на использовании которых базируются современные отечественные приложения нанотехнологии, показывают, что наночастицы могут попасть в организм человека различными путями: желудочно-желудочный тракт, органы дыхания и др. Причём негативные эффекты от попадания нанотрубок превосходят результаты воздействия асбеста и кристаллического кремнезёма. То же выявлено при использовании наночастиц титана и серебра [10]. Отсюда очевидно, что синтез наночастиц, как самостоятельных объектов и являющихся продуктом, может привести к серьезным экологическим проблемам и существенным экономическим расходам. Поэтому рационально получать продукты, являющиеся лиофильными коллоидными дисперсными системами, дисперсионная среда в которых хорошо совместима с технологическими жидкостями, используемыми при производстве строительных материалов. Здесь также возникает несколько подзадач:

1) Подобрать способы и режимы обработки, обеспечивающие однородное распределение наночастиц по объему среды-носителя и строительного материала.

В настоящее время для гомогенизации дисперсных систем, содержащих наночастицы, используют ультразвуковую обработку*. При этом считается, что параметры и режим проводимой обработки обеспечивают получение однородных дисперсных систем. Очевидно, что для определения указанных характеристик необходимо иметь систему генерации звуковой волны с заданными параметрами и систему контроля эффективности воздействия. Для определения параметров звуковой волны, обеспечивающей диспергирование агрегатов наночастиц, необходима физическая модель процесса (рис. 4).

* Библиография по указанному вопросу весьма обширна, см. например [11, 12].

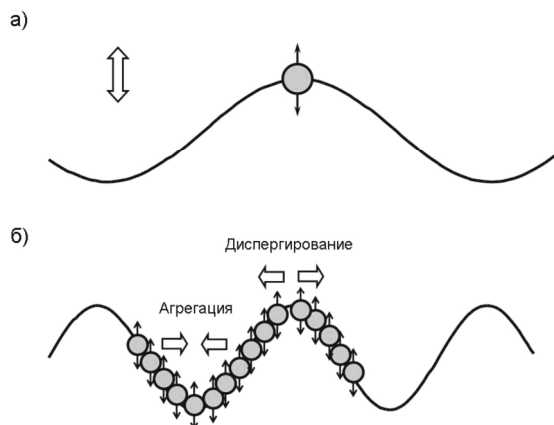


Рис. 4. Влияние параметров звуковой волны на диспергирование агрегатов наночастиц: а) при $\lambda > L_{ар}$; б) при $\lambda < L_{ар}$ (здесь λ – длины волны; $L_{ар}$ – геометрический размер агрегата)

При длине звуковой волны больше линейного размера агрегата наночастиц воздействие ультразвука неэффективно (рис. 4 а). Например, при скорости распространения $v=1500...2000$ м/с и частоте генерируемой волны $\nu = 44$ кГц (наиболее часто встречающиеся значения параметров) длина волны (при условии отсутствия дифракции, интерференции и отражения), а следовательно, минимальный линейный размер агрегата будет равен

$$\lambda = \frac{v}{\nu} = 34...45 \text{ мм.}$$

Уменьшение длины волны, которое может также может происходить вследствие многократного отражения и преломления первоначальной волны, будет приводить к протеканию конкурирующих процессов: агрегирования и диспергирования (рис. 4 б). При обработке ультразвуком могут возникать также более сложные явления, например, кавитация, генерирующая нерегулярное звуковое поле, в локальных зонах которого может возникать резонанс, приводящий к физическим и химическим преобразованиям в веществе (в частности, к дегазации, повышению температуры). Одновременно в других областях звукового поля могут генерироваться колебания наночастиц с фазовым сдвигом, что будет приводить к их агрегации [13]. Максимальная частота ультразвука для эффективного диспергирования нанообъектов размером 10-100 нм должна составлять 15-200 ГГц. Это область гиперзвука, который быстро поглощается средой-носителем, а энергия расходуется на преобразование вещества, в том числе активацию химических реакций. Необходимо отметить, что промышленных аппаратов, генерирующих такие частоты ультразвука, нет.

2) Подобрать вспомогательные вещества, обеспечивающие агрегативную стабильность коллоидных систем и удаляющиеся для реализации потенциала наночастиц. Необходимо отметить, что это наиболее эффективный способ повышения эффективности диспергирования и агрегативной устойчивости коллоидных и других дисперсных систем. Адсорбция на поверхности частиц молекул поверхностно-активного вещества приводит к снижению поверхностного натяжения σ_{wg} и улучшению смачиваемости поверхности твердого тела

$$\cos(\theta) = \frac{\sigma_{tg} - \sigma_{tw}}{\sigma_{wg}},$$

где σ_{tg} – поверхностное натяжение на границе раздела «твердая фаза – газовая фаза»; σ_{tw} – то же «твердая фаза – жидкость»; σ_{wg} – то же «жидкость – газовая фаза».

При этом молекулы поверхностно-активного вещества блокируют активную поверхность наночастицы и препятствуют использованию ее энергетического потенциала:

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

где σ – поверхностное натяжение; r – радиус наночастицы; k – постоянная Больцмана; T – температура; C_∞ – концентрация вакансий в макротеле; C_r – концентрация вакансий в наночастице:

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

здесь ΔV – изменение объема кристалла при замене атома на вакансию.

Первое слагаемое характеризует вклад поверхностной энергии, а второе – вакансий. При нанесении поверхностно-активного вещества снижается поверхностное натяжение и, соответственно, энергетический потенциал будет уменьшаться пропорционально уменьшению этой величины. Поэтому важно подобрать вещества, которые удалялись с поверхности наночастиц.

Задача № 3. Определить рациональную траекторию наноструктурирования строительных материалов

Фактически существует две траектории наноструктурирования и наномодифицирования строительных композиционных материалов:

- 1) Введение в материал синтезированных нанобъектов.
- 2) Синтез нанобъектов в материале в процессе его изготовления.

Первая стратегия имеет очевидные преимущества, связанные с решением задачи стандартизации нанобъектов. Однако для широкого ее внедрения необходимо решить задачу № 2. Некоторые обнадеживающие результаты показывает способ привития на поверхности нанобъектов функциональных групп, облегчающих совмещение с технологическими жидкостями. При этом вопросы обращения с нанобъектами на этапе приготовления полуфабрикатов для модифицирования строительных материалов не решены. Также не решен вопрос устойчивости технологического процесса производства многокомпонентных строительных материалов к случайному варьированию их рецептуры, что особенно актуально для материалов, содержащих нанобъекты.

Вторая траектория является предпочтительной, позволяющей решить практически все технологические и экологические задачи нанотехнологии. Сущность этой стратегии заключается в использовании реактивов (прекурсоров), которые полностью совмещаются с технологической жидкостью и способны в процессе изготовления материала претерпевать физические или химические преобразования и синтезировать наноразмерные объекты, участвующие в его структурообразовании.

В качестве примеров реализации второй траектории приведем результаты зарубежных исследований, которые могут быть реализованы в строительстве.

Пример № 1.

Наноструктурные композиты на основе взаимопроникающих полимерных сеток [14]. Эти нанокompозиты получают посредством синтеза взаимопроникающих полимерных сеток типа полиуретанов, эпоксидных смол и акрилата с SiO_2 , TiO_2 и других оксидов металлов, добавляемых в жидкую технологическую фазу. Использование принципа взаимопроникающих полимерных сеток в производстве композитных материалов дает уникальную возможность управлять как микро-, так и наноструктурными свойствами. Разработка нового класса нанокompозитных материалов характеризуется отсутствием загрязнений при производстве IPN-полимеров. Главным компонентом такой технологии компания «Polymate» предлагает использовать (дендро)-аминосиланы. Гидролиз аминосилановых олигомеров создает вторичные наноструктурированные полимерные сетки, которые улучшают эксплуатационные свойства материала. Такие (дендро)-аминосилановые отвердители – это новое направление в модификации эпоксидной смолы, циклокарбонатов и акриловых смол, которые широко применяются в строительстве.

Пример № 2.

Нанокompозиты на основе гибридной органосиликатной матрицы [15]. Используя принцип формирования наноструктуры, основанный на необходимости создания наночастиц в течение технологического процесса в жидкой фазе, компания «Polymate» разработала соединения, состоящие из нескольких разновидностей растворимых силикатов. Существенное увеличение прочности и ударной вязкости матрицы силиката достигается объединением специальных жидких добавок, типа TFS, которые на технологической стадии выступают в качестве микрокристаллической затравки и в дальнейшем обеспечивают коагуляцию пор матрицы силиката. В последних разработках главным образом применяется новый тип разработанных силикатов с содержанием органических катионов.

Пример № 3.

Полимерные нанокompозиты с очень низкой проницаемостью и высоким сопротивлением агрессивным средам [16]. Новые химические стойкие полимерные материалы разработаны с добавлением наноразмерного неорганического активного наполнителя, реагирующего с агрессивной средой и формирующего новую фазу, состоящую из гидрата высокой прочности. Компания «Polymate» разрабатывает обширную номенклатуру изделий с активными нанонаполнителем для модификации широко применяемых полимеров, являющихся основой для материалов, эксплуатирующихся в разнообразных агрессивных средах, включая кислоты, морскую воду, фтор, щелочи и многие другие.

Пример № 4.

Водно-дисперсионные краски с биоцидными свойствами на основе нанопорошка серебра [17]. Биологическое воздействие краски с добавлением наночастиц серебра было изучено на следующих микроорганизмах:

- Escherichia coli в роли обычной модели бактериального загрязнения окружающей среды;
- Coliphage как модель вирусной инфекции, включая грипп А и В, гепатит А и другие;
- Земляные грибы как модель представителя микрофлоры и модели противогрибковых загрязнений;
- Споры.

Испытания подтверждают преимущества разработанных водных акриловых биологически активных покрытий.

Представленные результаты убедительно свидетельствуют о перспективности нанотехнологии для повышения качества строительных материалов.

Важно отметить также задачи, решение которых будет способствовать широкому внедрению нанотехнологии в строительстве, а именно: подготовка кадров, способных организовать производство строительных материалов по нанотехнологии, а также развитие научно-образовательных центров. В Московском государственном строительном университете в рамках реализации федеральной целевой программы «Развитие инфраструктуры nanoиндустрии в Российской Федерации на 2008-2015 годы» проводится техническое перевооружение научно-образовательного центра по направлению «нанотехнологии». Центр оснащается современным научно-исследовательским оборудованием, позволяющим проводить исследования в различных областях строительного материаловедения: композиционные материалы общестроительного и специального назначения на минеральных и органических вяжущих веществах, керамика различного назначения, дорожные бетоны, модификаторы для бетонов и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баженов Ю.М., Королев Е.В. Технология наномодифицирования в строительном материаловедении // Журнал «Региональная архитектура и строительство», 2008, № 1 (4). – С. 4-7.
2. Баженов Ю.М., Королев Е.В. Оценка технико-экономической эффективности нанотехнологий в строительном материаловедении // Журнал «Строительные материалы», 2009, № 6. – С. 66-67.
3. «Нано» мифы. Мифы о нанотехнологии // <http://antic-r.narod.ru/nano-myth.htm>.
4. Эрхих Г. Нанотехнологии: мифы, блефы и реалии // www.promved.ru/articles/article.phtml?id=2013&nomer=67.
5. Большой энциклопедический словарь. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1998. – 1456 с.
6. Крысин Л.П. Толковый словарь иностранных слов. – М.: Изд-во Эксмо, 2005. – 994 с.
7. Волков Г.М. Объемные наноматериалы. – М.: Кнорус, 2011. – 168 с.
8. Сергеев Г.Б. Нанохимия. – М.: КДУ, 2009. – 336 с.
9. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика дисперсных структур. – М.: Наука, 1966. – 347 с.
10. Фатхутдинова Л.М., Халиуллин Т.О., Залялов Р.Р. Токсичность искусственных наночастиц // Казанский медицинский журнал, 2009, № 4, том 90. – С. 578-584.

11. Лукутцова Н.П. Наномодифицирующие добавки в бетон // Журнал «Строительные материалы», 2010, № 9. – С. 101-104.
12. Ашрапов А.Х., Абдрахманова Л.А., Низамов Р.К. Разработка эффективных способов введения наномодификаторов в ПВХ композиции // Материалы XV Академических чтений РААСН – Международной научно-технической конференции: Достижения и проблемы материаловедения и модернизация строительной индустрии. Том 2. – Казань: КГАСУ, 2010. – С. 267-271.
13. Ультразвук. Маленькая энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1979. – 400 с.
14. Figovsky O.: Active Fillers for Composite Materials: Interaction with Penetrated Media, Encyclopedia of surface and colloid science, N.Y. vol. 1, 2006. – P. 94-96.
15. Figovsky O., Shapovalov L.: Nanocomposite Coatings Based on Nonisocyanate Polyurethanes and Hybrid Binder. Proceedings of the 80th JSCM Anniversary Conference «New Fields in Colour and Coatings», Tokyo, Japan, 2007. – P. 34-37.
16. Figovsky O., Blank N.: Nanocomposite Based on Polymer Matrixes with Increasing Durability. Abstracts of the 12th Israel Materials Engineering Conference, Beer-Sheva, Israel, 2006. – P. 102.
17. Kudryavtzev B., Figovsky O., Egorova E., Revina A., Buslov F., Beilin D.: The use of nanotechnology in production of bioactive paints and coatings, J. Scientific Israel-Technology Advantages, vol. 5, № 1-2, 2003. – P. 209-215.

REFERENCES

1. Bazhenov Ju.M., Korolev E.V. Nanomodification's technology in material science // Journal «Regionalnaya arhitektura i stroitelstvo», 2008, № 1 (4). – P. 4-7.
2. Bazhenov Ju.M., Korolev E.V. Estimation of cost efficiency of nanotechnologies' application in material science // Journal «Stroitelnye materialy», 2009, № 6. – P. 66-67.
3. «Nano» myth. Myth about nanotechnology // <http://antic-r.narod.ru/nano-myth.htm>.
4. Erhih G. Nanotechnology: myth and reality // www.promved.ru/articles/article.phtml?id=2013&nomer=67.
5. Big encyclopedic thesaurus, 2nd ed. – М.: Bolshaya Rossiyskaya Enciklopediya, 1998. – 1456 p.
6. Krysin L.P. Explanatory dictionary of foreign words. – М.: Eksmo, 2005. – 994 p.
7. Volkov G.M. Volumetric nanomaterials. – М.: Knorus, 2011. – 168 p.
8. Sergeev G.B. Nanochemistry. – М.: KDU, 2009. – 336 p.
9. Rebinder P.A. Physical & chemical mechanics of disperse structures. – М.: Nauka, 1966. – 347 p.
10. Fathuddinova L.M., Haliullin T.O., Zalyalov R.R. Toxic properties of artificial nanoparticles // Kazanskiy medicinskiy journal, 2009, № 4, v. 90. – P. 578-584.
11. Lukutcova N.P. Nanomodifiers for concrete // Journal «Stroitelnye materialy», 2010, № 9. – P. 101-104.
12. Ashrapov A.H., Abdrahmanova L.A., Nizamov R.K. Development of efficient method of addition of nanomodifiers in PVC-compositions // Proc. of XV Academic reports of the RAACS – International scientific conference: Successes and problems of material science and reconstruction of construction's industry, v. 2. – Kazan: KSUAE, 2010. – P. 267-271.
13. Ultrasound. Small encyclopedia. – М.: Sovetskaya Enciklopediya, 1979. – 400 p.
14. Figovsky O. Active Fillers for Composite Materials: Interaction with Penetrated Media, Encyclopedia of surface and colloid science, N.Y. vol. 1, 2006. – P. 94-96.
15. Figovsky O., Shapovalov L. Nanocomposite Coatings Based on Nonisocyanate Polyurethanes and Hybrid Binder. Proceedings of the 80th JSCM Anniversary Conference «New Fields in Colour and Coatings», Tokyo, Japan, 2007. – P. 34-37.
16. Figovsky O., Blank N. Nanocomposite Based on Polymer Matrixes with Increasing Durability. Abstracts of the 12th Israel Materials Engineering Conference, Beer-Sheva, Israel, 2006. – P. 102 p.
17. Kudryavtzev B., Figovsky O., Egorova E., Revina A., Buslov F., Beilin D.: The use of nanotechnology in production of bioactive paints and coatings, J. Scientific Israel-Technology Advantages, vol. 5, № 1-2, 2003. – P. 209-215.