



О.Л. ФИГОВСКИЙ и др. Успехи применения нанотехнологий в строительных материалах

УДК 691. 691:620.1

ФИГОВСКИЙ Олег Львович, научный руководитель компании «Nanotechindustries Inc.», Daly City, США;

БЕЙЛИН Дмитрий Александрович, зав. лабораторией, «Polymate Ltd. – Международный Исследовательский Центр Нанотехнологии», Migdal-HaEmek, Израиль;

ПОНОМАРЕВ Андрей Николаевич, генеральный директор ООО «НТЦ Прикладных Нанотехнологий», Санкт-Петербург, Россия

FIGOVSKY Oleg, Director R&D, Nanotechindustries Inc. Daly City, USA;

BEILIN Dmitry, Head of Lab. Polymate Ltd. – International Nanotechnology Research Center, Migdal-HaEmek, Israel;

PONOMAREV Andrey, General Manager, Science & Technical Center of Applied Nanotechnologies LTD, Saint-Petersburg, Russia

УСПЕХИ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛАХ

SUCCESSFUL IMPLEMENTATION OF NANOTECHNOLOGIES IN BUILDING MATERIALS

Статья содержит краткий обзор новейших достижений в области нанотехнологий строительных материалов. На основе работ авторов и анализа опубликованных материалов рассматриваются наноструктурированные бетоны, в том числе с применением нанокompозитной арматуры, модифицированные наночастицами сталь, полимерные покрытия и краски, адгезивы, герметики и строительные материалы специального назначения (полимерные композиты, связующее, стекло), обладающие высокими эксплуатационными качествами.

The article contains a brief review of the latest advances in nanotechnology of building materials. On the basis of authors' works and the analysis of the published materials the following materials are considered: nanostructured concrete including nanocomposite reinforcement, steel modified by nanoparticles, polymer coatings and paints, adhesives, sealants and special building materials (polymer composites, binders, glass etc) with the highest operational properties.

Ключевые слова: строительные материалы, нанотехнология, нанодобавки, наночастицы, наноструктурирование.

Key words: building materials, nanotechnology, nanoadditives, nanoparticles, nanostructuring.

В последнее десятилетие резко возрос интерес к исследованиям в области применения нанотехнологий в строительных материалах, поскольку результат таких исследований может стать основой внедрения в практику принципиально новых материалов, обладающих уникальными физико-механическими и химическими характеристиками [1–11]. Масштабы разработки наноструктурированных строительных материалов в зависимости от их вида [1] можно увидеть на рис. 1.

Ниже приводится краткий обзор некоторых, на наш взгляд, важных аспектов применения нанотехнологии при производстве строительных материалов. Обзор подготовлен на основе ряда опубликованных или находящихся в открытом доступе источников, в том числе, выполненных при участии авторов.

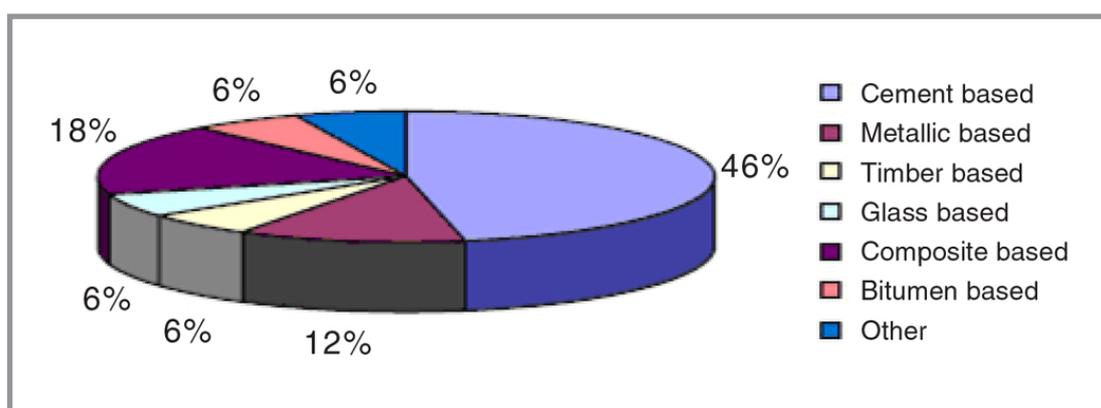


Рис. 1. Научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки в области нанотехнологии строительных материалов

БЕТОН

Работы в области создания наноструктурированного бетона являются одними из самых активных и перспективных направлений нанотехнологии строительных материалов. Им посвящен ряд больших обзоров [1–11,17].

Основные исследования связаны с изучением, описанием и моделированием наноструктур, наноиdentацией и другими измерениями, применением наночастиц, углеродных нанотрубок с целью направленного управления свойствами цементных материалов, проблемами безопасности и влияния на окружающую среду. Кратко рассмотрим некоторые наиболее интересные, на наш взгляд, методы нанотехнологии бетона [12–24].

Микроармирование и динамическое дисперсное самоармирование цементного камня

Введение в бетонные смеси коротких углеродных нанотрубок и наночастиц фуллероидного типа – астраленов – в количестве менее, чем 10^{-3} %, по нашим данным, приводит к росту в составе цементного камня протяженных структур длиной в сотни мкм. Наличие таких образований является ничем иным, как микродисперсным самоармированием цементного камня, что приводит, в свою очередь, к соответствующему упрочнению бетонов на основе таких нанодобавок.

Интересным направлением использования наноинициаторов для направленного структурообразования в бетонных смесях является предварительное нанесение инициаторов на твердые носители и использование сухих комбинированных добавок. В качестве микрофибры – носителя наноинициаторов – авторы использовали высокомолекулярные базальтовые микроволокна длиной 100–500 мкм, волокна. Такой метод можно определить как динамическое дисперсное самоармирование бетона.

Управление подвижностью бетонных смесей

Суспензии разнообразных фуллероидов обеспечивают стабильный во времени и в широком диапазоне внешних условий эффект



О.Л. ФИГОВСКИЙ и др. Успехи применения нанотехнологий в строительных материалах

повышения эффективности действия большинства промышленных пластификаторов бетонных смесей. Модифицированные пластификаторы – это, в первую очередь, инструмент для создания новых марок высококачественных бетонов с максимально высокими служебными параметрами.

Нанокompозитная арматура

Наиболее перспективным направлением получения высокопрочной, коррозионно- и термостойкой арматуры для бетона является создание высокомодульной полимерной композиционной арматуры. В международной строительной практике композитная арматура применяется, преимущественно, в виде бандажей и усиливающих лент. Бетоны, армированные ламинированными композитными арматурными стержнями, в меньшей степени подвергаются кислотной и биологической коррозии.

Авторами предложена нанокompозитная арматура, получаемая из композитного стержня с намотанной углеродной лентой – препрегом, пропитанной связующим. Поверхность углеродных волокон и сама полимерная матрица внешней оболочки легированы углеродными наночастицами фуллероидного типа. Регулируя число слоев конструкционного углепластика и углы намотки, можно управлять физико-механическими показателями нанокompозитной арматуры и коэффициентами термического расширения, получая их характеристики в задаваемых диапазонах значений.

Легкий наноструктурированный бетон для мостостроения, высотного и специального строительства и опыт его применения

Авторами разработан и испытан легкий наноструктурированный бетон (ТУ 5789-035-23380399-2008). Основные его параметры приведены в табл. 1.

Легкий «нанобетон» был испытан и рекомендован для применения в аккредитованном испытательном центре «Дормост». Впервые легкий нанобетон был успешно апробирован при реконструкции моста через р. Волга в г. Кимры.

Таблица 1

**Параметры наноструктурированного бетона
(ТУ 5789-035-23380399-2008)**

Показатель	Значение
Прочность на сжатие, МПа, не менее	45–55
Прочность на растяжение при изгибе, МПа, не менее	6–8
Водонепроницаемость, W, не менее	14–20
Морозостойкость, циклов, не менее	350
Удобоукладываемость	П4–П5
Плотность, кг/м ³ , не более	1500–1600

СТАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ [1,8]

Как известно, концентраторы напряжений в металлических конструкциях являются одной из главных причин появления микротрещин, приводящих к усталостному разрушению конструкции. Опытным путем установлено, что легирование материала наночастицами меди способствует уменьшению числа концентраторов напряжений.

Недавно проведенные исследования показали, что измельчение цементитной составляющей микроструктуры стали до наноразмерных зерен позволяет изготавливать из такой стали высокопрочные кабели и тросы, которые находят широкое применение в мостостроении и армировании железобетонных конструкций.

Введение в микроструктуру стали наночастиц ванадия и молибдена предотвращает водородное охрупчивание стали и, тем самым, опасность замедленного разрушения высокопрочных стальных болтов. Сварные соединения стальных конструкций и зона, примыкающая к сварному шву, оказываются весьма чувствительными к динамическому воздействию, что может повлечь за собой разрушение конструкции, в частности в сейсмически опасных районах. Присадка наночастиц магния и кальция уменьшает размер зерен стали в околошовной зоне и увеличивает вязкость сварного соединения.



ПОКРЫТИЯ И КРАСКИ [25,26,28,29,32]

По данным, содержащимся в докладе «Nanotechnology in Coatings and Adhesive Applications: Global Markets», мировой рынок наноструктурированных покрытий оценивается в 3,4 млрд долларов в 2010 году и достигнет примерно 18 млрд в 2015 году при ежегодном росте 39,5%.

Наноструктурированные полимерные композиты сетчатой структуры [30]

Результатом нашей работы явилась технология получения нанокomпозиционных материалов, содержащих взаимопроникающие полимерные сетки (ВПС) на основе полиуретанов, эпоксидных смол и акрилатов, модифицированных в жидкой фазе наночастицами SiO_2 , TiO_2 или другими окислами металлов. Базовым элементом технологии являются разветвленные (дендровидные) аminosиланы, которые служат отверждающим агентом для многих олигомеров. Предложенные дендро-аминосилановые отвердители позволяют интродуцировать силоксановые фрагменты в структуру эпоксиаминовой композиции, а дополнительный гидролиз аminosиланового олигомера – получить вторичный наноструктурированный сетчатый полимер, который существенным образом повышает эксплуатационные характеристики компаунда. Такие наномодифицированные полимерные сетки создают уникальную возможность управления микро- и наноструктурными характеристиками новых композиционных материалов. Двухкомпонентный компаунд объединяет высокие механические характеристики полиуретана и химическую стойкость эпоксидного связующего. Разработанные разветвленные дендроаминные отвердители являются новым направлением в химической технологии циклокарбонатов, эпоксидных и акриловых смол.

Полимерные нанокomпозиты нового класса являются экологически чистыми материалами, не содержащими вредные или летучие компоненты.



Эпокси-полибутадиеновые композиционные материалы с наногетерогенной структурой [31]

Нами исследованы свойства и разработана технология производства новых композиционных материалов и компаундов наногетерогенной структуры, основанной на эпоксидных смолах, жидком каучуке, аминных отвердителях и фторосодержащих поверхностно-активных веществах. Покрытия на основе этих материалов обладают хорошей химической стойкостью, высокими механическими характеристиками и термостойкостью.

Наноструктурированные эпокси-каучуковые покрытия для бетонных и железобетонных конструкций резко уменьшают их деформативность при кратковременном и длительном действии нагрузки. Испытания железобетонных балок показали, что деформации ползучести при изгибе снижаются в два–три раза по сравнению с балками без таких покрытий. Защитные эпокси-каучуковые покрытия обеспечивают увеличение прочности на растяжение при изгибе бетона в два-три раза и, следовательно, повышают его трещиностойкость.

Вододисперсионные краски с биоцидными свойствами, содержащие нанопорошки серебра [36]

Израильская компания Polymate Ltd., INRC разработала новое биоактивное покрытие с применением наночастиц серебра. Биологическая активность наномодифицированного покрытия была успешно подтверждена при контакте с рядом болезнетворных бактерий и вирусов, фунгицидных контаминантов и другой микрофлоры.

АДГЕЗИВЫ И ГЕРМЕТИКИ [27,33,34]

По данным, содержащимся в упомянутом докладе «Nanotechnology in Coatings and Adhesive Applications: Global Markets», мировой рынок наноструктурированных адгезивов оценивается в 257 млн долларов в 2010 году и достигнет примерно 1,2 млрд в 2015 году при ежегодном росте 36,4%.

Израильская компания Polymate Ltd., INRC предлагает усовершенствованную линейку эпокси-содержащих адгезивов и герметиков,

сочетающих уникальные характеристики эпоксидных смол и полиуретанов. Аминный аддукт, состоящий из гидроксильной и уретановой групп, служит в качестве отвердителя эпоксидной композиции. В процессе твердения образуется наноструктурированная сетчатая структура, обеспечивающая повышение адгезионной прочности ко многим видам субстратов на 60%.

Апробирована экологически чистая и ресурсосберегающая технология промышленного получения nanoцеллюлозы в форме водной дисперсии, пасты или сухого порошка. Nanoцеллюлоза может быть использована в качестве аддитива к адгезивным материалам.

Американское агентство по пищевым продуктам и лекарственным препаратам (FDA) сертифицировало разработанную водную полимерную нанокомпозицию GreenCoat™, предназначенную в качестве покрытия бумаги и картона, защищающего субстрат от воздействия воды, жиров и т.п. Отходы материала с таким покрытием могут быть репульпированы и использованы в промышленности производства бумаги, они способны к разложению микроорганизмами.

НАНОКОМПОЗИЦИОННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ [26–36]

Полимерные нанокомпозиционные материалы с высокой коррозионной стойкостью и прочностью

Авторами предложен ряд новых химически стойких полимерных материалов, в состав которых входят наноразмерные неорганические добавки, которые при взаимодействии с агрессивной средой образуют высокопрочные гидратные комплексы. Иными словами, собственно агрессивная среда активизирует достижение высоких антикоррозионных показателей этих материалов. Израильская компания Polymate Ltd., INRC разработала широкий спектр таких нанодобавок для модификации большинства известных полимеров, работающих в разных коррозионных средах, в том числе кислотных, щелочных, морской воде, фтора и т.п.

Как правило, при изготовлении композиционных материалов с полимерной матрицей используют одномерные или двумерные массивы армирующих элементов типа стальных, кевларовых или углеродных



О.Л. ФИГОВСКИЙ и др. Успехи применения нанотехнологий в строительных материалах

волокон диаметром в несколько десятков микрон. Швейцарские исследователи предложили новый способ «трехмерного» армирования композитных материалов, основанный на использовании слабых магнитных полей. Поскольку традиционные микроразмерные армирующие компоненты плохо реагируют на такое управляющее воздействие, их покрывают суперпарамагнитными наночастицами оксида железа. Армирующие элементы выстраиваются при включении магнитного поля. Механические параметры готовых композитов оказались весьма высокими.

Наноструктурированное связующее для кислотостойких строительных материалов [35]

Кислотостойкие строительные материалы на основе жидкого стекла находят широкое применение в строительстве в качестве силикатных полимербетонов, замазок, шпатлевок и т.п. Растворимые силикаты натрия (жидкие стекла) используются как связующие компоненты для изготовления жаропрочных, химически стойких материалов. Жидкие стекла обладают высокой когезионной прочностью, легки и безопасны, имеют низкую стоимость, не подвергаются коррозии, не испаряют пожароопасных летучих компонентов и не ухудшают окружающую среду в процессе эксплуатации.

Существенное увеличение прочности, термо- и огнестойкости силикатной матрицы достигается путем введения в композицию тетрафурфуриловых сложных эфиров ортокремниевой кислоты (тетрафурфурил оксисиланы – ТФС). Эффект достигается за счет упрочнения контактов между глобулами силикагеля и модификации щелочного компонента благодаря «прививке» фуранового радикала. Введение в связующее добавки ТФС приводит к образованию наночастиц SiO_2 , которые действуют как центры кристаллизации и зародышеобразования, и фурфурилового спирта, который заполняет матрицу и формирует сетчатый полимер. Добавление ТФС увеличивает механическую и химическую стойкость связующего и широко используется для подготовки кислотоупорных бетонов и шпатлевок.

Нанотехнология и изделия из стекла [1]

Исследования в области применения нанотехнологий при производстве строительных изделий из стекла развернуты широким фронтом. Ниже приведем некоторые наиболее интересные результаты.

Так, введение в стеклянную массу наночастиц диоксида титана придает изделию гидрофильные свойства, способствующие к самоочищению поверхности стекла от пыли, в том числе органического происхождения. Огнестойкое стекло – еще одно применение нанотехнологии; огнестойкость достигается с помощью слоя двуоксида кремния, размещенного между стеклянными панелями. Наночастицы этого слоя при нагревании образуют жесткий и непрозрачный теплозащитный барьер.

Следует отметить разработку наноструктурированных пленочных покрытий оконных стекол (термохромная технология), обеспечивающих требуемую теплоизоляцию помещения при сохранении необходимого уровня освещения, а также покрытий, реагирующих на изменение напряжения электро-магнитного поля за счет наночастиц оксида вольфрама (электрохромная технология) – нажатием кнопки оконное стекло делается непрозрачным.

В заключение хотелось бы отметить, что проблемы создания наноматериалов и развития нанотехнологии являются доминирующими во многих областях науки и техники. В работе были кратко рассмотрены успехи применения нанотехнологий в производстве строительных материалов: бетонов, полимерных композитов, включающих покрытия, краски, адгезивы и герметики, изделия из стекла и стали. Особое внимание в обзоре уделено наноструктурированным бетонам и полимерным защитным покрытиям как наиболее широко распространенным материалам. Применение прикладных наноразработок в области строительных материалов создает беспрецедентные возможности регулирования требуемых характеристик материалов и обещает качественно новый уровень их достижения.

Контакты

Contact information

e-mail: sita1@netvision.net.il

e-mail: olf@borfig.com

Библиографический список:

1. Mann S. Nanotechnology and Construction // Nanoforum.org. European Nanotechnology Gateway. 2006.
2. Wegner T., Winandy J., Ritter M. Nanotechnology Opportunities in Residential and Non-Residential Construction // Proceeding of International Symposium on Nanotechnology in Construction. Bilbao: Spain, 2005.
3. Королев Е.В. Проблемы и Перспективы Нанотехнологии в строительстве // Известия КазГАСУ. Строительные материалы и изделия., 2010, С. 200–208.
4. Лотов В.А. Нанодисперсные системы в технологии строительных материалов и изделий // Строительные материалы. 2006. № 8. С. 5–7.
5. Королев Е.В., Баженов Ю.М., Береговой В.А. Модифицирование строительных материалов нанокремнекислотными трубками и фуллеренами // Строительные материалы. 2006. № 8. С. 1–4.
6. Фиговский О.Л., Пономарев А.Н., Бейлин Д.А. и др. Использование нанотехнологических принципов при создании новых строительных материалов / Исследование и инновационные разработки РААСН: сб. статей к общему собранию РААСН. М. 2010. С. 244–252.
7. Figovsky O. Active Fillers for Composite Materials: Interaction with Penetrated Media // Encyclopedia of surface and colloid science edited by P. Somasundaran. N.Y. 2006. Vol. 1. P. 94–96.
8. Usherenko S., Figovsky O. Superdeep Penetration as the New Physical Tool for Creation of Composite Materials / Advanced Materials Research. 2008. Vol. 47–50. P. 395–402.
9. Figovsky O., Beilin D., Blank N. Advanced Environment Friendly Nanotechnologies / Silicon Versus Carbon. Springer Science + Business Media. B.V. 2009. P. 19–29.
10. Figovsky O. Materials Nanotechnology: Risks and Benefits. Proceedings of EuroNanoForum. Prague, Czech Republic. 2009. P.175–176.
11. Гусев Б.В. Проблемы создания наноматериалов и развития нанотехнологий в строительстве // Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал. М.: ЦНТ «НаноСтроительство». 2009. № 2. С. 5–10.
URL: <http://www.nanobuild.ru>
12. Balagura P.N. Nanotechnology and Concrete: Background, Opportunities and Challenges / Applications of Nanotechnology in Concrete Design, Proceeding of the International Conference, University of Dundee Scotland UK. 2005. P. 113–122.
13. Ponomarev A. High Performance Concretes Producing: Opportunities and Practical Application of Nanotechnology Methods // J. Scientific Israel–Technological Advanced. 2009. Vol. 11, № 3. P. 27–38.
14. Пономарев А.Н. Перспективные конструкционные материалы и технологии,



О.Л. ФИГОВСКИЙ и др. Успехи применения нанотехнологий в строительных материалах

создаваемые с применением нанодисперсных фуллероидных систем // Вопросы материаловедения. 2001. Т. 26. № 2. С. 65.

15. *Ивачева С.* Применение нанотехнологий в производстве цемента и бетона позволит не только получать высококачественный продукт нового уровня, но и избавиться от дефицита, считают специалисты // интернет-портал «Стройпульс». URL: <http://stroypuls.ru/technology/detail.php?ID=34483&list=28>
16. *Sobolev K., Ferrada-Gutierrez V.* How Nanotechnology Can Change the Concrete World. Part 2 / American Ceramic Society Bulletin. 2005. № 1. P. 16–19.
17. Applications of Nanotechnology in Concrete Design. Proceeding of the International Conference held at the University of Dundee Scotland UK. 2005.
18. *Пономарев А.Н.* Нанобетон – концепция и проблемы // Строительные материалы. 2007. № 7. С. 2–4.
19. *Shames A.I., Katz E.A., Panich A.M. et al.* Structural and Magnetic Resonance Study of Astralen Nanoparticles // Diamond & Related Materials. 2009. № 2. С. 15.
20. *Фаликман В.Р., Соболев К.Г.* «Простор за пределом», или как нанотехнологии могут изменить мир бетона // Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал. М.: ЦНТ «НаноСтроительство». 2010. № 6. С. 17 – 31. URL: <http://www.nanobuild.ru>
21. *Бартош П.* Экологически активный стеклофибробетон: на пути к улучшению внешней выразительности бетона и снижению загрязнения воздуха в городской среде // Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал. М.: ЦНТ «НаноСтроительство». 2011. № 2. С. 24–40. URL: <http://www.nanobuild.ru>
22. *Гусев Б.В., Минсадров И.Н., Мироевский П.В. и др.* Исследование процессов наноструктурирования в мелкозернистых бетонах с добавкой наночастиц диоксида кремния // Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал. М.: ЦНТ «НаноСтроительство». 2009. № 3. С. 8–14. URL: <http://www.nanobuild.ru>
23. *Епифановский И., Пономарев А.Н., Донской А. и др.* Модификация свойств полимерных материалов малыми концентрациями фуллероидов // Перспективные материалы. 2006. № 2. С. 15–18.
24. *Figovsky O., Beilin D.* Building Materials Based on Advanced Polymer Matrix // J. Scientific Israel– Technological Advantages. 2008. Vol. 10. № 3, 4. P. 1–119.
25. *Figovsky O., Karchevsky V., Beilin D.* Crack-Resistant and Anticorrosive Coatings Based on Vulcanized Water Dispersion Chlorine-Sulphopolyethylene // Anti-Corrosion Methods and Materials. 2003. Vol.50. № 2. P.1–13.
26. *Figovsky O., Shapovalov L.* New Nonisocyanate Polyurethane Coatings // China Coatings Journal (CCJ). 2006. № 2. P. 49–58.
27. *Figovsky O., Shapovalov L.* Cyclocarbonate Based Polymers Including Non-Isocyanate Polyurethane Adhesives and Coatings // Encyclopedia of surface and colloid science. N.Y. 2006. Vol. 3. P. 1633–1652.

О.Л. ФИГОВСКИЙ и др. Успехи применения нанотехнологий в строительных материалах

28. *Figovsky O., Badamshina E., Gafurova M., Shapovalov L.* Fullerene-Containing Nanostructured Polyurethanes. PU Magazine. 2008. Vol. 5. P. 309–316.
29. *Figovsky O.* Nanostructured Oligomers Based Systems and Novel Industrial Materials Based on them / Oligomers 2009. Moscow–Chernogolovka–Volgograd. 2009. P. 53–66.
30. *Figovsky O., Shapovalov L., Buslov F., Blank N.* Nanostructured Hybrid Nonisocyanate Polyurethane Coatings // International Conference «Nano and Hybrid Nonisocyanate Polyurethane Coatings». Manchester, UK. 2005. P. 4/1–4/10.
31. *Blank N., Figovsky O.* Epoxy-Rubber Coatings with Nanoheterogenic Structure. Paint Industry (in Russian). Moscow. 2009. № 10. P. 14–16.
32. *Figovsky O., Blank N.* Novel Active Nanofillers for Increasing Chemical Resistance and Durability of Polymer Composite Materials / The 15th International Conference «Additives 2006». Las Vegas, Nevada: USA. 2006. P. 9/1–9/12.
33. *Ioelovoch M., Leykin A.* Nano-cellulose and its Application // J. Scientific Israel-Technological Advantages. 2004. Vol. 6. № 31. P. 17–24.
34. *Figovsky O., Shapovalov L., Birukova O.* et al. Hybrid Nonisocyanate Polyurethane Adhesives and Sealants. Adhesive & Sealant Convention (ASC) Indianapolis. Indiana, USA. 2011. <http://ascouncil.org/news/past/Presentations/T03-3.Nellis.pdf>.
35. *Figovsky O., Borisov Yu., Beilin D.* Nanostructured Binder for Acid-Resisting Building Materials // J. Scientific Israel-Technological Advantages. 2012. Vol. 14. № 1. P. 7–12.
36. *Kudryavtsev B., Figovsky O., Egorova E.* et al The use of Nanotechnology in Production of Bioactive Paints and Coatings // J. Scientific Israel-Technological Advantages. 2003. Vol. 15. № 1, 2. P. 209–215.

References:

1. Mann S. Nanotechnology and construction // Nanoforum.org. European nanotechnology gateway. 2006.
2. Wegner T., Winandy J., Ritter M. Nanotechnology opportunities in residential and non-residential construction // Proceeding of International Symposium on nanotechnology in construction. Bilbao: Spain, 2005.
3. Korolev E.B. Problems and perspectives of nanotechnology in construction // Proceedings of KSUAE. Building materials and articles. 2010 . PP. 200–208.
4. Lotov V.A. Nanodispersed systems in technology of building material and articles // Construction materials. 2006. № 8. PP. 5–7.
5. Korolev E.B., Bazhenov Yu.M., Beregovoy V.A. Modification of building materials by nanocarbon tubes and fullerenes // Construction materials. 2006. № 8. pp.1–4
6. Figovsky O.L., Ponomarev A.N., Beilin D.A. et.al. Application of nanotechnology principles in new building materials development // Research and innovation developments of RAACS. Proceeding of RAACS. M. 2010. pp. 244–252.
7. Figovsky O. Active fillers for composite materials: Interaction with penetrated media // Encyclopedia of surface and colloid science edited by P. Somasundaran. N.Y. 2006. Vol. 1. P. 94–96.
8. Usherenko S., Figovsky O. Superdeep penetration as the new physical tool for creation of composite materials / Advanced materials research. 2008. Vol. 47–50. P. 395–402.
9. Figovsky O., Beilin D., Blank N. Advanced environment friendly nanotechnologies / Silicon versus carbon. Springer science + business media. B.V. 2009. P. 19–29.
10. Figovsky O. Materials nanotechnology: Risks and benefits. Proceedings of Euro-NanoForum. Prague, Czech Republic. 2009. P. 175–176.
11. Gusev B.V. Problems of nanomaterials creation and nanotechnologies development in construction industry // Nanotechnologies in construction: a scientific internet–journal. Moscow. «NanoStroitelstvo». 2009. № 2. pp. 5–10.
URL <http://www.nanobuild.ru>
12. Balagura P.N. Nanotechnology and concrete: background, opportunities and challenges // Applications of nanotechnology in concrete design, proceedings of the International Conference, University of Dundee Scotland UK. 2005. pp. 113–122.
13. Ponomarev A.N. High performance concretes producing: opportunities and practical application of nanotechnology methods. // J.Scientific Israel-technological advanced. 2009. Vol.11. № 3. pp. 27–38.
14. Ponomarev A.N. Advanced structural materials and technology created by applica-

О.Л. ФИГОВСКИЙ и др. Успехи применения нанотехнологий в строительных материалах

- tion of nanodisperse fulleroid systems // Problems of material science. 2001. V. 26. №.2, p.65
15. *Ivacheva S.* Experts considers that application of nanotechnologies in cement and concrete production will allow us not only to obtain the high quality products but also to eliminate the deficit // Internet Portal «Stroyimpuls». URL:<http://stroyimpuls.ru/technology/detail.php?ID=34483&list=28>
 16. *Sobolev K., Ferrada-Gutierrez V.* How nanotechnology can change the concrete world. Part 2 / American ceramic society bulletin. 2005. № 1. pp. 16–19.
 17. Applications of nanotechnology in concrete design. Proceeding of the International Conference held at the University of Dundee Scotland UK. 2005.
 18. *Ponomarev A.N.* Nanoconcrete: Conception and problems // Construction materials. 2007. №.7. pp. 2–7.
 19. *Shames A.I., Katz E.A., Panich A.M.* et al. Structural and magnetic resonance study of Astralen nanoparticles // Diamond & related materials. 2009. № 2. P. 15.
 20. *Falikman V.P., Sobolev K.G.* «There's plenty room at the bottom», or how nanotechnologies can change the world of concrete // Nanotechnologies in construction: a scientific internet-journal. Moscow. «NanoStroitelstvo». 2010. №. 6. pp. 17–31. URL <http://www.nanobuild.ru>
 21. *Bartosh P.* Ecologically active fiberglass concrete: towards improving the external expressiveness of concrete and reducing of air pollution in urban environment // Nanotechnologies in construction: a scientific internet-journal. Moscow. «NanoStroitelstvo». 2011. №. 2. pp.24–40. URL <http://www.nanobuild.ru>
 22. *Gusev B.V., Minsadrov I.N., Viroevsky* et al. Investigation of nanostructuring processes in fine-grained concretes with silicon dioxide nanoparticles admixture // Nanotechnologies in construction: a scientific internet-journal. Moscow. «NanoStroitelstvo». 2009. № 3. pp. 8–14, URL <http://www.nanobuild.ru>
 23. *Epiphanovsky I., Ponomasrev A.N., Donskoy A.* et al. Modification of properties of polymeric materials with small concentration of fullerenes // Advanced materials. 2006. № 2. pp. 15–18.
 24. *Figovsky O., Beilin D.* Building materials based on advanced polymer matrix // J. Scientific Israel-Technological advantages. 2008. Vol. 10. № 3–4. P. 1–119.
 25. *Figovsky O., Karchevsky V., Beilin D.* Crack-resistant and anticorrosive coatings based on vulcanized water dispersion chlorine-sulphopolyethylene // Anti-corrosion methods and materials. 2003. Vol. 50. № 2. P. 1–13.
 26. *Figovsky O., Shapovalov L.* New nonisocyanate polyurethane coatings // China coatings journal (CCJ). 2006. № 2. P. 49–58.
 27. *Figovsky O., Shapovalov L.* Cyclocarbonate based polymers including non-isocyanate polyurethane adhesives and coatings // Encyclopedia of surface and colloid science. N.Y. 2006. Vol. 3. P. 1633–1652.

О.Л. ФИГОВСКИЙ и др. Успехи применения нанотехнологий в строительных материалах

28. *Figovsky O., Badamshina E., Gafurova M., Shapovalov L.* Fullerene-containing nanostructured polyurethanes. PU Magazine. 2008. Vol. 5. P. 309–316.
29. *Figovsky O.* Nanostructured oligomers based systems and novel industrial materials based on them / Oligomers 2009. Moscow–Chernogolovka–Volgograd. 2009. P. 53–66.
30. *Figovsky O., Shapovalov L., Buslov F., Blank N.* Nanostructured hybrid nonisocyanate polyurethane coatings // International conference «Nano and hybrid nonisocyanate polyurethane coatings». Manchester, UK. 2005. P. 4/1–4/10.
31. *Blank N., Figovsky O.* Epoxy-rubber coatings with nanoheterogenic structure. Paint industry (in Russian). Moscow. 2009. № 10. P. 14–16.
32. *Figovsky O., Blank N.* Novel active nanofillers for increasing chemical resistance and durability of polymer composite materials / The 15th International Conference «Additives 2006». Las Vegas, Nevada: USA. 2006. P. 9/1–9/12.
33. *Ioelovoch M., Leykin A.* Nano-cellulose and its application // J. Scientific Israel-Technological advantages. 2004. Vol. 6. № 31. P. 17–24.
34. *Figovsky O., Shapovalov L., Birukova O.* et al. Hybrid nanoisocyanate. Polyurethane adhesives and sealants. Adhesive & Sealant Convention (ASC) Indianapolis. Indiana, USA. 2011. <http://ascouncil.org/news/past/Presentations/T03-3.Nellis.pdf>.
35. *Figovsky O., Borisov Yu., Beilin D.* Nanostructured binder for acid-resisting building materials // J. Scientific Israel-Technological advantages. 2012. Vol. 14. № 1. P. 7–12.
36. *Kudryavtsev B., Figovsky O., Egorova E.* et al The use of nanotechnology in production of bioactive paints and coatings // J. Scientific Israel-Technological advantages. 2003. Vol. 15. № 1, 2. P. 209–215.