

*The review of the results of master, Ph.D. and Doctorates research in the area of nanotechnologies, nanomaterials, housing and communal services and joint economic spheres*

UDC 66.011

**Author:** KARPOV Alexey Ivanovich, Ph.D. in Engineering, referent, International Academy of Engineering; Gazetny str., 9, bld. 4, 125009, Moscow, Russian Federation, e-mail: info@nanobuild.ru



## **THESES IN THE AREA OF NANOTECHNOLOGIES AND NANOMATERIALS: NOVELTIES AND PRACTICAL APPLICATION. Part 2**

### **EXTENDED ABSTRACT:**

To popularize scientific achievements the main results of Russian and foreign scientists' research are published in the form of abstract. The authors of the research «Fine-grained basalt fiber concrete with nanosilica» showed that joint introduction of silica and basalt fiber additives into fiber concrete enhances freeze resistance of the concrete from F150 to F200-250. The increase of freeze resistance in addition to damping effect is due to considerable decrease of destructive impact of osmotic pressure of hardening concrete. As a result the number of microcracks and interconnected pores in concrete is minimal. The change of fiber concrete microstructure when joint introduction of nanosilica and basalt fiber additives is performed results in water absorption decrease in concrete. The composition of basalt fiber concrete with nanosilica «Tarkosil-05» demonstrated the best parameters: rise of compressive strength by 35%, bending strength – 65% respect to control composition without additives. The concretes with nanosilica are characterized by high performance properties that proves the creation of dense material structure when nanosilica is introduced and hardening effect of it.

The specialists may be also interested in the following research: «Fibro foam concrete based on nanostructured binder», «Increase of concrete strength with carbon nanotubes with hydrodynamic cavitation», «Production of imper-



meable fibroconcrete based on composite binder», «Production and research of physical and chemical properties of composite sorbents based on polystyrene matrices with nanodispersed ferric oxides», «Polystyrene suspensions containing nanoparticles of metal oxides», «Efficient cement compositions modified with carbon materials», «Research of magnetic dynamics of groups of nanoparticles in environment with the Mössbauer spectroscopy», «Particular features of formation of new quasi-twodimensional nanostructures and their properties», «Study of optical and oscillating properties of carbon nanostructures», «Heat-resistant and flame-retardant fibroreinforced composites with implementation of volcanic rocks», «Development of polymer composite materials based on epoxy binder and functional carbon nanotubes», «Multifunctional composite materials based on polypropylene and nanocarbon fillers obtained by polymerization IN SITU», etc.

**Key words:** nanotechnologies in construction, basalt fiber concrete with nanosilica, nanostructured binder, carbon nanotubes, polystyrene matrices with nanodispersed ferric oxide, quasi-twodimensional nanostructured, carbon nanostructured, nanocarbon fillers.

DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-2-82-103](http://dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-2-82-103)

#### MACHINE-READABLE INFORMATION ON CC-LICENSES (HTML-CODE) IN METADATA OF THE PAPER

```
<a rel="license" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/"></a><br /><span xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://purl.org/dc/dcmitype/Text" property="dct:title" rel="dct:type">Theses in the area of nanotechnologies and nanomaterials: novelties and practical application. Part 2. </span> by <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2016, Vol. 8, no. 2, pp. 82–103. DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-2-82-103" property="cc:attributionName" rel="cc:attributionURL">Karpov A.I. </a> is licensed under a <a rel="license" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">Creative Commons Attribution 4.0 International License</a>.<br />Based on a work at <a xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-2-2016/" rel="dct:source">http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-2-2016/</a>.<br />Permissions beyond the scope of this license may be available at <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="info@nanobuild.ru" rel="cc:morePermissions">info@nanobuild.ru</a>.
```

#### References:

1. *Rozina V.E.* Melkozernistyj bazal'to fibrobeton s nanokremnezemom [Fine-grained basalt fibroconcrete with nanosilica]. Electronic library of theses. Available at: <http://dslib.net> (date of access: 17.03.2016). (In Russian).
2. *Sivalneva M.N.* Fibropenobeton na osnove nanostrukturirovannogo vjashushhego [Fibro foam concrete based on nanostructured binder]. Electronic library of theses. Available at: <http://dslib.net> (date of access: 17.03.2016). (In Russian).



3. *Karpov A.I.* An overview of the results of dissertation research in the field of nanotechnology and nanomaterials. Part 3. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2015, Vol. 7, no. 4, pp. 96–114. DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-4-96-114](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-4-96-114). (In Russian).
4. *Fedjuk R.S.* Povyshenie nepronicaemosti fibrobetonov na kompozicionnom vjzhushhem [Production of impermeable fibroconcrete based on composite binder]. Electronic library of theses. Available at: <http://dslib.net> (date of access: 17.03.2016). (In Russian).
5. *Lubencova K.I.* Poluchenie i issledovanie fiziko-himicheskikh svojstv kompozitnyh sorbentov na osnove polistirol'nyh matric s nanodispersnymi oksidami zheleza [Production and research of physical and chemical properties of composite sorbents based on polystyrene matrices with nanodispersed ferric oxides]. Electronic library of theses. Available at: <http://dslib.net> (date of access: 17.03.2016). (In Russian).
6. *Karpov A.I.* An overview of the results of dissertation research in the field of nanotechnology and nanomaterials. Part 4. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2015, Vol. 7, no. 5, pp. 102–122. DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-5-102-122](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-5-102-122). (In Russian).
7. *Serhacheva N.S.* Polistirol'nye suspenzii, sodержashhie nanochasticy oksidov metallov [Polystyrene suspensions containing nanoparticles of metal oxides]. Electronic library of theses. Available at: <http://dslib.net> (date of access: 17.03.2016). (In Russian).
8. *Solov'eva T.A.* Jeffektivnye cementnye kompozicii, modifitsirovannye uglerodnymi materialami [Efficient cement compositions modified with carbon materials]. Electronic library of theses. Available at: <http://dslib.net> (date of access: 17.03.2016). (In Russian).
9. *Karpov A.I.* Theses in the area of nanotechnologies and nanomaterials: novelties and practical application. Part 1. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2016, Vol. 8, no. 1, pp. 127–146. DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-1-127-146](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-1-127-146). (In Russian).
10. *Fronja M.A.* Kompleksnoe issledovanie mehanicheskikh svojstv i struktury polimernyh kompozitnyh materialov s napolniteljami v vide modifikacij ugleroda: nanotrubki i ul'tradispersnye almazy [Complex research of mechanical properties and structure of polymer composite materials with fillers in the form of carbon modification: nanotubes and ultradispersed diamonds]. Electronic library of theses. Available at: <http://dslib.net> (date of access: 17.03.2016). (In Russian).
11. *Gabbasov R.R.* Issledovanie magnitnoj dinamiki ansamblej nanochasticy v srede metodom messbaujerovskoj spektroskopii [Research of magnetic dynamics of groups of nanoparticles in environment with the Mössbauer spectroscopy]. Electronic library of theses. Available at: <http://dslib.net> (date of access: 17.03.2016). (In Russian).
12. *Kvashnin A.G.* Osobennosti obrazovaniya novykh kvazidvumernykh nanostruktur i ih fizicheskie svojstva [Particular features of formation of new quasi-twodimensional nanostructures and their properties]. Electronic library of theses. Available at: <http://dslib.net> (date of access: 17.03.2016). (In Russian).
13. *Karpov A.I.* An overview of the results of dissertation research in the field of nanotechnology and nanomaterials. Part 2. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in



- Construction. 2015, Vol. 7, no. 2, pp. 127–138. DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-2-127-138](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-2-127-138).
14. *Konjahn S.V.* Issledovanie opticheskikh i kolebatel'nykh svoystv uglerodnykh nanostruktur [Study of optical and oscillating properties of carbon nanostructures]. Electronic library of theses. Available at: <http://dslib.net> (date of access: 17.03.2016). (In Russian).
  15. *Zhukov A.Z.* Zharostojkie i ognезashhitnye fibroarmirovannye kompozity s primeneniem vulkanicheskikh gornyh porod [Heat-resistant and flame-retardant fibroreinforced composites with implementation of volcanic rocks]. Electronic library of theses. Available at: <http://dslib.net> (date of access: 17.03.2016). (In Russian).
  16. *Zaharychev E.A.* Razrabotka polimernykh kompozicionnykh materialov na osnove jepoksidnogo svjazujushhego i funkcionalizirovannykh uglerodnykh nanotrubok [Development of polymer composite materials based on epoxy binder and functional carbon nanotubes]. Electronic library of theses. Available at: <http://dslib.net> (date of access: 17.03.2016). (In Russian).
  17. *Karpov A.I.* An overview of the results of dissertation research in the field of nanotechnology and nanomaterials. Part 1. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2015, Vol. 7, no. 1, pp. 107–126. DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-1-107-126](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-1-107-126).
  18. *Pol'shhikov S.V.* Mnogofunkcional'nye kompozicionnye materialy na osnove polipropilena i nanouglerodnykh napolnitelej, poluchennye polimerizaciej IN SITU [Multifunctional composite materials based on polypropylene and nanocarbon fillers obtained by polymerization IN SITU]. Electronic library of theses. Available at: <http://dslib.net> (date of access: 17.03.2016). (In Russian).
  19. *Gusev B.V.* Development of nanotechnologies – the most important technological direction in construction. Nanotechnologies Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2011, Vol. 3, no. 2. pp. 6–20. Available at: [http://nanobuild.ru/ru\\_RU](http://nanobuild.ru/ru_RU) (Accessed: 17.03.2016). (In Russian).

### DEAR COLLEAGUES!

THE REFERENCE TO THIS PAPER HAS THE FOLLOWING CITATION FORMAT:

*Karpov A.I.* Theses in the area of nanotechnologies and nanomaterials: novelties and practical application. Part 2. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2016, Vol. 8, no. 2, pp. 82–103. DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-2-82-103](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-2-82-103). (In Russian).

*Contact information*

**e-mail: [info@nanobuild.ru](mailto:info@nanobuild.ru)**



*Обзор результатов диссертационных исследований магистрантов, аспирантов, докторантов в области нанотехнологий и наноматериалов в строительстве, ЖКХ и смежных отраслях экономики*

УДК 66.011

Автор: **КАРПОВ Алексей Иванович**, канд. техн. наук, референт, Международная инженерная академия; Газетный пер., 9, стр. 4, г. Москва, 125009, Российская Федерация, e-mail: info@nanobuild.ru



## **ДИССЕРТАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ И НАНОМАТЕРИАЛОВ: НАУЧНАЯ НОВИЗНА И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ. Часть 2**

### АННОТАЦИЯ К СТАТЬЕ (АВТОРСКОЕ РЕЗЮМЕ, РЕФЕРАТ):

С целью популяризации научных достижений в реферативной форме публикуются основные результаты исследований российских и зарубежных ученых. По направлению «Мелкозернистый базальтофибробетон с нанокремнеземом» проведены исследования, которые показали, что совместное введение добавок нанокремнезема и базальтового волокна в состав фибробетона способствует увеличению морозостойкости бетона с F150 до F200-250. Увеличение морозостойкости связано, помимо демпфирующего эффекта, с существенным снижением деструктирующего воздействия осмотического давления твердеющего бетона. В результате бетон имеет минимальное содержание микротрещин и сообщающихся пор. Изменение микроструктуры фибробетона при совместном введении добавок нанокремнезема и базальтового волокна приводит к снижению водопоглощения бетона. Состав базальтофибробетона с применением нанокремнезема «Таркосил-05» показал наилучшие показатели: улучшение прочности на сжатие на 35%, прочности при изгибе – 65% относительно контрольного бездобавочного состава. Бетоны с применением нанокремнезема характеризуются высокими эксплуатационными показате-



лями, что является подтверждением создания плотной структуры материала при его введении и упрочняющего эффекта действия нанокремнезема.

Для специалистов также представляют интерес результаты следующих исследований: «Фибропенобетон на основе наноструктурированного вяжущего», «Повышение прочности бетона углеродными нанотрубками с применением гидродинамической кавитации», «Повышение непроницаемости фибробетонов на композиционном вяжущем», «Получение и исследование физико-химических свойств композитных сорбентов на основе полистирольных матриц с нанодисперсными оксидами железа», «Полистирольные суспензии, содержащие наночастицы оксидов металлов», «Эффективные цементные композиции, модифицированные углеродными материалами», «Исследование магнитной динамики ансамблей наночастиц в среде методом мессбауэровской спектроскопии», «Особенности образования новых квазидвумерных наноструктур и их физические свойства», «Исследование оптических и колебательных свойств углеродных наноструктур», «Жаростойкие и огнезащитные фиброармированные композиты с применением вулканических горных пород», «Разработка полимерных композиционных материалов на основе эпоксидного связующего и функционализированных углеродных нанотрубок», «Многофункциональные композиционные материалы на основе полипропилена и нанокремнезема, полученные полимеризацией IN SITU» и др.

**Ключевые слова:** нанотехнологии в строительстве, базальтофибробетон с нанокремнеземом, наноструктурированное вяжущее, углеродные нанотрубки, полистирольные матрицы с нанодисперсными оксидами железа, квазидвумерные наноструктуры, углеродные наноструктуры, нанокремнеземные наполнители.

DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-2-82-103](http://dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-2-82-103)

#### Машиночитаемая информация о СС-лицензии в метаданных статьи (HTML-код):

```
<a rel="license" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/"></a><br />Произведение «<span xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://purl.org/dc/dcmitype/Text" property="dct:title" rel="dct:type">Диссертационные исследования в области нанотехнологий и наноматериалов: научная новизна и практическая значимость. Часть 2</span>» созданное автором по имени <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="Нанотехнологии в строительстве. – 2016. – Том 8, № 2. – С. 82–103. – DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-2-82-103" property="cc:attributionName" rel="cc:attributionURL">Карпов А.И. </a>, публикуется на условиях <a rel="license" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная</a>.<br />Основано на произведении с <a xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://nanobuild.ru/ru_RU/nanobuild-2-2016/" rel="dct:source">http://nanobuild.ru/ru_RU/nanobuild-2-2016/</a>.<br />Паз-решения, выходящие за рамки данной лицензии, могут быть доступны на странице <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="mailto:info@nanobuild.ru" rel="cc:morePermissions">info@nanobuild.ru</a>.
```



## Мелкозернистый базальтофибробетон с нанокремнеземом

### Классификация и виды фибры для производства фибробетона

В настоящее время по критерию прочности при сжатии бетоны подразделяют на 4 группы [1]: I – рядовые, с прочностью до 40 МПа; II – высокопрочные бетоны (40-80 МПа); III – особо высокопрочные (80–120 МПа); IV – сверхвысокопрочные бетоны (более 120 МПа). Растущая потребность в высокопрочных бетонах обусловлена двумя факторами: во-первых, увеличением нагрузок на несущие и, особенно, пролетные конструкции высотных зданий, в которых тяжелый бетон классов В30-В50 уже не удовлетворяет конструктивным требованиям. Второй фактор – рост цен на все сырьевые материалы железобетона – выдвигает новый принцип бетонного строительства: «Экономить не цемент в бетоне, а бетон в конструкции». А это возможно только за счет уменьшения поперечных сечений несущих элементов благодаря существенному росту прочности в них. Однако применение высокопрочных бетонов влечет за собой ряд трудностей и рисков. Так, например, мелкозернистый бетон имеет недостаточную прочность на растяжение при изгибе, ее рост «отстает» от роста прочности на сжатие. К тому же высокопрочные бетоны требуют повышенного расхода цемента, что приводит к росту усадочных деформаций и внутренних напряжений, накоплению микродефектов, увеличивающих опасность хрупкого разрушения конструкций. Устранить эти недостатки высокопрочных бетонов можно с помощью фибры [1].

Опыт применения фибробетонов в зарубежной и отечественной практике показывает, что рациональными областями использования таких бетонов является широкая номенклатура монолитных и сборных бетонных конструкций. Так, применение фибробетона наиболее эффективно в тонкостенных плоских и криволинейных конструкциях, безнапорных и низконапорных трубах, а также при изготовлении ударостойких и изгибаемых конструкций с целью исключения дополнительной арматуры и связанных с ней работ. Чаще всего в цементных бетонах применяется стальная фибра длиной 2–4 см, диаметром 0,7–1 мм при коэффициентах армирования 2,5–4% от массы бетона. Это приводит к увеличению прочности на изгиб на 15–20% и снижению внутренних напряжений. Однако потенциал дисперсного армиро-



вания полностью не реализуется ввиду малой удельной поверхности стальной фибры, невысокой адгезии к ней цементного камня и недостаточной прочности самого бетона, приводящей к «продергиванию» фибр при его разрушении.

В связи с этим перспективно применение базальтового волокна, практически еще не применяемого в цементных бетонах. По прочности оно превосходит сталь и обладает, за счет малого диаметра волокон (9–12 мкм), гораздо большей удельной поверхностью сцепления с цементным камнем, чем стальное, имея с ним химическое средство. При этом относительное удлинение при разрыве базальтовой фибры в два раза ниже, чем стальной, что позволяет ей более эффективно препятствовать образованию микротрещин в бетоне при нагружении. Над вопросами фибробетонов и конструкций на их основе, теорий расчета и проектирования фибробетонных конструкций работали отечественные и зарубежные ученые: В.В. Бабков, Ю.М. Баженов, Е.М. Чернышов, С.С. Каприелов, И.В. Волков, С.Ф. Канаев, Ю.В. Пухаренко, Ф.Н. Рабинович, В.Ф. Степанова, В.Г. Хозин, Г.И. Яковлев, Э. Ву, Г.С. Холистер, Дж. Купер и др. Производство базальтофибробетона (БФБ), изделий и конструкций на его основе регламентируется ВСН 56-97. Для получения базальтофибробетона чаще всего предусматривается использовать конструкционный мелкозернистый бетон со средней плотностью не менее 2000 кг/м<sup>3</sup> на кварцевом песке с крупностью зерен от 1,5 до 2,3 мм. Бетон должен иметь водопоглощение не более 8% по массе.

Мелкозернистый бетон для базальтофибробетонных конструкций в зависимости от вида и условий их работы предусматривается 13 классов и марок: по прочности на сжатие (B20, B25, B30, B35, B40); классов по прочности на осевое растяжение (Bt 1.6, Bt 2, Bt 2.4, Bt 2.8, Bt 3.2, Bt 3.6, Bt 4); марок по морозостойкости (F50, F75, F100, F150, F200, F250, F300, F400, F500); марок по водонепроницаемости (W4, W6, W8, W10, W12).

Как отмечается в литературе, упрочнение волокнами основывается на предположении, что материал бетонной матрицы передает волокнам приложенную нагрузку посредством касательных сил, действующих по поверхности раздела, и, если модуль волокна больше модуля матрицы, то основную долю приложенных напряжений воспринимают волокна, а общая прочность композиции пропорциональна их объемному содержанию.





В исследованиях, относящихся к дисперсному упрочнению бетонных материалов, можно выделить два направления. Первое основано на применении специальных затравок, интенсифицирующих процессы твердения бетона и улучшающих его физико-механические показатели. Определенный интерес представляет направленная кристаллизация новообразований в процессе твердения бетона, т. е. обеспечение дисперсного самоармирования бетона за счет образования в его объеме ориентированных сростков новообразований в виде кристаллогидратов, позволяющих существенно повысить прочность образцов.

Второе направление основано на применении для повышения прочности бетонной матрицы армирующих волокон, отличающихся по своему составу от материала матрицы и способных в процессе работы композиции воспринимать более высокие по сравнению с матрицей растягивающие напряжения. Получаемый эффект упрочнения в значительной мере зависит от вида используемых волокон, характера их сцепления и ориентации в объеме бетона, химической устойчивости по отношению к продуктам гидратации цементных вяжущих.

Методами дисперсного армирования предусматриваются возможности получения направленной и произвольной (свободной) ориентации волокон в объеме бетона. Направленная ориентация реализуется главным образом при использовании непрерывных нитей, жгутов, различного рода тканых и нетканых сеток, разреженных тканей и других аналогичных материалов. Подобный вид ориентации может быть также осуществлен при армировании бетона короткими волокнами, в частности стальными фибрами при формовании изделий, например в магнитном поле. Плоскопроизвольная ориентация характеризуется равновероятным и неограниченным (свободным и хаотичным) распределением волокон в плоскости (в двухмерном пространстве). Дисперсное армирование в этом случае реализуется главным образом в тонкостенных изделиях в виде плоских листов, плит, а также в элементах, обладающих криволинейной формой. Объемно-произвольная ориентация характеризуется равновероятным и неограниченным (свободным и хаотичным) распределением коротких армирующих волокон во всем объеме бетона (в трехмерном пространстве). Чем меньше размеры поперечного сечения изделий, тем в большей мере ограничены возможности свободной ориентации армирующих волокон. Анализ показывает, что эффект стеснения ориентации волокон проявляется в основном



в тех случаях, когда соответствующие размеры изделий превышают длину армирующих волокон не более чем в 5 раз. При более значительных размерах поперечного сечения изделий эффект стеснения заметно снижается, параметры ориентации волокон в бетонной матрице в этом случае приближаются к параметрам плоско- или объемно-произвольного армирования.

### **Исследование реологических характеристик фиброцементных композиций при введении базальтового волокна и нанокремнезема**

Нанодисперсная добавка Таркосил-05 получена на установке, разработанной в Институте теоретической и прикладной механики СО РАН и Институте ядерной физики СО РАН г. Новосибирск. При воздействии ускоренными электронами на твердое тело энергия выделяется непосредственно в объеме вещества на глубине нескольких миллиметров, вызывая ионизацию вещества и разогрев этого слоя. При достаточной мощности на единицу поверхности пучка электронов температура поверхностного слоя вещества достигает температуры кипения, то есть начинается испарение вещества. Энергия ускоренных электронов расходуется в основном на нагрев и испарение кварцевого песка, излучение с поверхности расплавленной жидкости и нагрев воздуха в реакторе.

Ускоритель электронов позволяет при изменении технологических параметров получать НК с различной природой поверхности, придавая ему гидрофильные свойства. НК Таркосил-05 показал наилучшие физико-механические показатели, что связано с характером его поверхности – образованием вокруг частиц гидратной пленки. Толщина гидратной пленки Таркосил-05 меньше, чем у Таркосил-20, что положительным образом сказывается на их распределении в объеме воды затворения. Таркосил-05, используемый в проводимых исследованиях для повышения коррозионной стойкости базальтового волокна, имеет следующие характеристики: средний размер частиц – 53 нм, удельную поверхность – 50,6 м<sup>2</sup>/г (по данным прибора «Сорби-М»). НК состоит более чем на 99% из аморфного кремнезема, содержание примесей в мас. %: Al – 0,01, Fe – 0,01, Ti – 0,03.

Полученный порошок нанокремнезема марки Такросил был опробован для модифицирования эпоксидных смол, силиконовой резины,



лакокрасочных материалов. Исследовано влияние добавок наноразмерного порошка диоксида кремния Таркосил на прочностные и упругие свойства (предел прочности на растяжение и модуль упругости Юнга) силикоанового каучука.

Показано, что при росте концентрации нанопорошка модуль упругости возрастает, а предел прочности на растяжение сначала возрастает, а затем падает. Таким образом, проведенные эксперименты показали, что небольшие добавки наноразмерного порошка диоксида кремния Таркосил повышают прочность и упругость каучука – повышаются его предел прочности на растяжение и модуль упругости Юнга, причем максимальная прочность достигается при концентрации порошка примерно 9%. Кроме того, получены результаты по модификации перхлорвиниловой краски нанокремнеземом марки Таркосил. Износостойкость такого модифицированного покрытия увеличилась в более чем 10 раз, без изменения адгезии, коэффициента отражения в видимой области, упругих свойств.

Исследование роли и значения наноразмерного кремнезема при модифицировании структуры цементного камня является важным этапом в создании строительных композитов нового поколения. Следует отметить, что механизм модифицирования структуры цементного камня микроразмерным кремнеземом различной природы достаточно хорошо изучен, в то время как вопрос о механизме, мере и характере влияния нанокремнезема остается открытым.

В ряде исследований сравнительные результаты определения прочностных характеристик цементного камня, модифицированного с применением Таркосил-05 и промышленного пирогенного НК «HDK Wacker», показали, что с добавкой Таркосил-05 получены более высокие показатели, как в ранние, так и в более поздние сроки твердения. Введение Таркосил-05 привело к повышению прочности цементного камня на 5–10% по сравнению с пирогенным НК «HDK Wacker», что обусловлено наличием в составе Таркосил-05 примесей Al в нанодисперсном состоянии. Это способствует образованию в ранний период гидратации большего количества гидросульфаталюминатов кальция, которые выступают в качестве армирующего компонента и участвуют в раннем наборе прочности цементного камня.

В проводимых исследованиях Таркосил-05 использовали для ускорения твердения и повышения прочности базальтофибробето-



на и улучшения коррозионной стойкости базальтового волокна. Для оценки эффективности использования НК и базальтовой фибры в составе цемента из полученных вяжущих исследуемых составов готовили образцы размером 20x20x20 мм. Образцы хранились в формах при  $t = 20-22^{\circ}\text{C}$ ,  $W 90-95\%$ , затем без форм над водой в течение 28 суток. Определение дисперсности вяжущих осуществляли на приборе ПСХ-2 методом воздухопроницаемости через слой материала. Нормальную плотность и сроки схватывания определяли на приборе Вика, пробу вяжущего подготавливали по ГОСТ 310.1. Физико-механические свойства образцов определяли по ГОСТ 310.4-81 «Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии». Образцы бетонов изготавливали в зависимости от вида испытаний размерами 4x4x160 мм. Образцы твердели в нормальных условиях при  $t = 20 \pm 2^{\circ}\text{C}$  и влажности 95–98% в гидравлической ванне затвора. Испытание вяжущих и бетонов на их основе проводились с использованием стандартных методик, соответствующих требованиям нормативной документации РФ на аттестованном оборудовании.

Определение деформативных показателей базальтофибробетона призмочной прочности и модуля упругости определяли согласно ГОСТ 24452. Деформации усадки и ползучести определяли по ГОСТ 24544, морозостойкость бетонов определяли по ГОСТ 10060. Для получения водной суспензии НК, исследований фазового состава и микроструктуры цементного камня, модифицированного НК и базальтовым волокном, использовали рН-метр «Pen type pH-009», рентгеновский дифрактометр XRD-7000 S Shimadzu (ЦКП «Байкальский центр нанотехнологий», ИрГТУ), растровые электронные микроскопы (Jeol JSM 6510 LV, ЦКП «Прогресс» ВСГУТУ, JEOL JIB-4501, ЦКП «Байкальский центр нанотехнологий», ИрГТУ). Многолучевая система, оснащенная электронной и ионной пушкой JIB-4501 в комплекте с безазотной системой энергодисперсионного микроанализа JEOL JIB-4501, позволяет изучать физико-химические свойства вещества при помощи электронной сканирующей микроскопии с разрешением до 5 нм, ионного травления с низким уровнем повреждения вещества, системы энергодисперсионного анализа элементного состава вещества в области исследования, системы дифракционного анализа параметров кристаллической решетки вещества.



## Исследование микроструктуры и фазового состава базальтофиброцементных композиций

Для установления оптимального процента армирования мелкозернистого базальтофибробетона БВ были разработаны составы с различным содержанием базальтового волокна и определены его основные свойства: прочность при сжатии и изгибе, водопоглощение, морозостойкость, призмная прочность. При варьировании количества вяжущего в составе фибробетонов можно отметить, что максимальные характеристики бетона получены при расходе 550 кг, с достижением показателей, соответствующих классу по прочности В45. При пониженных расходах вяжущих физико-механические характеристики бетонов снижаются на 15–20% при расходе вяжущего 500 кг, и на 25–35% при расходе вяжущего 450 кг.

Результаты исследований показали, что с увеличением армирования БФБ до 4% происходит увеличение прочности бетона на сжатие на 40%, прочности при изгибе – на 65–70%, призмной прочности – на 40%. Установлено, что при 4% армирования от массы вяжущего удается получить максимальные физико-механические показатели: прочность при сжатии – 62 МПа, прочность при изгибе – 15 МПа, призмную прочность – 43 МПа. Дальнейшее увеличение армирования бетона БВ до 6% приводит к незначительному снижению прочности – в среднем на 15–20%. Снижение прочностных характеристик базальтофибробетона связано со снижением технологических показателей бетонной смеси, что приводит к затруднению перемешивания и недостаточно равномерному распределению базальтового волокна в составе фибробетона.

Таким образом, проведенные исследования позволяют выявить оптимальный уровень дисперсного армирования составов мелкозернистого бетона с БВ с обеспечением повышенных физико-механических и эксплуатационных показателей фибробетона. Варьирование процента армирования БВ оказывает влияние на изменение водопоглощения и морозостойкости бетона. Увеличение процента армирования до оптимального уровня (4%) приводит к изменению структуры фибробетона и созданию его высокоплотной структуры. С использованием НК и БВ получен фибробетон с классом по прочности В40–В45 при увеличении марки по морозостойкости от F150 до F250 и снижении водопоглощения от 4 до 2,5%, усадочные деформации лежат в пределах 1,1–2,7 мм/м.



Совместное введение добавок НК и БВ в состав фибробетона не только не изменяет расход воды для получения армированного бетона при одинаковой подвижности, но и определяет изменение структуры затвердевшего бетона. При постоянном В/Ц-отношении происходит рост эффективного радиуса пор вследствие эффекта воздудовлечения. Равномерно распределенные поры данного радиуса способствуют увеличению морозостойкости бетона с F150 до F200-250. Увеличение морозостойкости связано, помимо демпфирующего эффекта, с существенным снижением деструктирующего воздействия осмотического давления твердеющего бетона. В результате бетон имеет минимальное содержание микротрещин и сообщающихся пор. Изменение микроструктуры фибробетона при совместном введении НК и БВ приводит к снижению водопоглощения бетона.

Анализ экспериментальных данных позволяет сделать вывод, что введение базальтового волокна способствует увеличению прочностных показателей по прочности на сжатие на 13%, на изгиб – 40%. Состав базальтофибробетона с применением НК Таркосил-05 показал наилучшие показатели: улучшение прочности на сжатие на 35%, прочности при изгибе – 65% относительно контрольного бездобавочного состава. Бетоны с применением НК характеризуются высокими эксплуатационными показателями, что является подтверждением создания плотной структуры материала при его введении и упрочняющего эффекта действия НК. В составе базальтофибробетона с БВ и НК наблюдается снижение показателя водопоглощения на 40% по сравнению с контрольным составом. Это подтверждают проведенные выше исследования и предположения о создании плотной структуры цементного камня при дисперсном армировании базальтовым волокном и нанокремнеземом. Предотвращение проникновения влаги положительно сказывается на сроках эксплуатации изделий из модифицированного базальтофибробетона, что подтверждается повышением морозостойкости составов БФБ с НК.

Анализ кинетики набора прочности показал, что при введении базальтового волокна и нанокремнезема темп прироста прочности в начальные сроки твердения (3–7 сут) выше, чем в проектном возрасте (28 сут) относительно контрольного состава на 40–50% в начальные сроки и 35–35% – в проектном возрасте. Это подтверждают вышеизложенные предположения и исследования о том, что введение НК влияет на структурообразование базальтофибробетона.



Использование базальтового волокна, полученного центробежно-дутьевым способом и характеризующегося неоднородностью по основным характеристикам, с нанодисперсным кремнеземом позволяет получать высокопрочный мелкозернистый базальтофибробетон с улучшенными свойствами. При дисперсном армировании базальтовым волокном происходит снижение деформаций усадки фибробетона на 60% по сравнению с контрольным составом. Снижение деформаций усадки связано с созданием высокоплотной матрицы при оптимальном уровне дисперсного армирования базальтовым волокном и благоприятным воздействием нанокремнезема на структуру модифицированного фибробетона.

Анализ показателей деформаций усадки свидетельствует, что при введении добавки Таркосил происходит снижение данных показателей. Рациональный подбор составляющих бетонной смеси от заполнителей до микрочастиц вяжущего и наночастиц добавок позволяет создать высокоплотную упаковку материала и снизить усадку. Применение базальтовой фибры совместно с нанокремнеземом является эффективным и способствует значительному улучшению физико-механических и деформационных показателей за счет изменения рационального состава новообразований цементной матрицы при введении нанокремнезема, способствующей лучшей сохранности базальтового волокна и усилению армирующего эффекта от его введения. С учетом проведенных исследований по нахождению оптимального содержания базальтового волокна, нанокремнезема, рациональных способов их введения в состав цемента и бетона, была разработана технология производства базальтофибробетона.

Характер разрушения той или иной системы определяется развитием дефектов, возникающих в структуре под действием напряжений. Процесс развития дефектов, вызывающих разрушение структур, как правило, происходит в две стадии: возникновение и медленный или прерывистый рост трещин и пор до их критического размера, а затем быстрый рост и слияние трещин критического размера, приводящее к полному разрушению. Следовательно, эффект упрочнения волокнами сводится к замедлению образования в материале трещин критического размера. Разрушение композиций, упрочненных волокнами, происходит либо вследствие разрушения отдельных компонентов композиции, либо вследствие расслаивания по поверхностям раздела между армату-



рой и матрицей. Поскольку трещины, как правило, зарождаются в дефектах структуры, роль дефектов в процессе разрушения материала чрезвычайно велика, и при изготовлении композиционного материала особенно важно обеспечить его минимальную дефектность путем прочного сцепления арматуры с матрицей.

### **Деформативные и эксплуатационные свойства базальтофибробетонов**

Эффективность распределения и измельчения волокна до оптимальных размеров по длине (10–12 мм) оценивали по времени перемешивания в двух исследуемых агрегатах. Как показывают результаты исследований, оптимум по времени помола в виброистирателе лежит в пределах 0,25–0,75 мин, при котором получены наилучшие показатели по прочности. В случае использования турбулентного смесителя оптимум времени перемешивания лежит в интервале времени 1,5–2,5 мин. При этом максимальная прочность при данном способе распределения ниже, чем при использовании виброистирателя.

Прочностные показатели БФЦ при таком способе распределения волокна на 15–20% выше по сравнению с показателями при распределении волокна в турбулентном смесителе. Лучшим оказался способ смешивания компонентов в виброистирателе, где сочетаются интенсивные механические воздействия и высокая энергонапряженность в рабочей зоне аппарата. При распределении базальтового волокна в виброистирателе – интенсивном помольном агрегате – за счет кратковременного воздействия в течение 0,5–1,5 мин происходит незначительная активация цемента, что приводит к повышению его реакционной способности и улучшению физико-механических показателей. Интенсивные механические воздействия в сочетании с высокой энергонапряженностью в рабочей зоне измельчителя позволили отнести стержневой виброистиратель к эффективным аппаратам для совместного перемешивания-помола ПЦ и минерального волокна. Используя аналитический и экспериментальный подходы, можно на стадии проектирования приблизиться к оптимальным параметрам измельчителей нового поколения и режимам перемешивания, активации и модифицирования вяжущих композиций, позволяющим при оптимальных энергозатратах передать достаточное количество энергии обрабатываемым материалам





для повышения их реакционной способности и получения заданных свойств.

### **Влияние времени перемешивания–помола при распределении базальтового волокна в цементной матрице на прочность БФЦ**

Базальтовое волокно подвергается частичному измельчению до оптимальных для равномерного распределения размеров по длине – 10–15 мм. В случае применения турбулентного смесителя длина волокон больше (15–25 мм), и они проявляют большую склонность к образованию комков или пучков – «ежей».

При промышленном производстве фибробетонов возможно интенсивное перемешивание цемента с базальтовым волокном в измельчителях нового поколения, таких как центробежно-эллиптическая мельница «ЦЭМ-7», шаровая планетарная мельница «Активатор-2S», где при оптимальных энергозатратах передается достаточное количество энергии обрабатываемым материалам для повышения их реакционной способности и получения заданных свойств.

Ранее указывалось, что при использовании базальтового волокна в качестве армирующего компонента для производства бетона необходимо учитывать его взаимодействие со щелочной средой твердеющего цемента. Решению этой проблемы за последние годы посвящен ряд работ, направленных на повышение коррозионной стойкости базальтового волокна, используемого в качестве дисперсно-армирующего компонента мелкозернистого бетона. Успешное использование минеральных волокон невозможно без обеспечения их коррозионной стойкости различными способами. Обобщив различные подходы к решению данной проблемы, можно выделить основные направления защиты минерального волокна от действия щелочной среды: использование бесцементных и малоцементных вяжущих в фибробетоне; модификация поверхности минеральных волокон; модификация структуры минеральных волокон; введение добавок, снижающих щелочность среды фибробетона. Каждое из направлений имеет свои преимущества и недостатки, применение их должно определяться качественным эффектом улучшения показателей конечного продукта и технико-экономической целесообразностью. По направлению использования добавок, снижающих щелочность среды, проведено достаточно много исследований, и бази-



руются они в основном на применении кремнеземсодержащих добавок различного состава и происхождения. Стоит отметить, что механизм воздействия таких добавок на цемент и базальтовые волокна является достаточно комплексным, и дозировки таких добавок варьируются в широком интервале (5-20%). Кремнеземсодержащие добавки, используемые для этих целей, имеют в основном микроуровневый размер частиц, исходя из которого определяется механизм и кинетика гидратации цементной системы. Исследование механизма действия наноразмерных кремнеземсодержащих добавок на цементную систему, в которой присутствуют дисперсные волокна, изучен недостаточно широко, и поэтому целью проводимых исследований явилось определение изменения коррозионной стойкости базальтового волокна в составе твердеющего цемента при использовании в его составе НК Таркосил-05.

Существует несколько подходов по оценке коррозионной стойкости базальтового волокна в среде твердеющего бетона. В работе базальтовые волокна помещаются в водную вытяжку из цементного молочка, и оценивается изменение их структуры и свойств при выдерживании при обычной температуре. В других работах волокна помещаются в хлоридсодержащую среду при повышенных температурах. Проводятся также исследования по выдерживанию и наблюдению состояния волокна в составе фибробетона в течение длительного времени в естественных условиях.

---

*Для специалистов также представляют интерес результаты следующих исследований:*

- Сивальнева М.Н. «Фибропенобетон на основе наноструктурированного вяжущего» [2];
- Петрунин С.Ю. «Повышение прочности бетона углеродными нанотрубками с применением гидродинамической кавитации» [3];
- Федюк Р.С. «Повышение непроницаемости фибробетонов на композиционном вяжущем» [4];
- Лубенцова К.И. «Получение и исследование физико-химических свойств композитных сорбентов на основе полистирольных матриц с нанодисперсными оксидами железа» [5];



- Подгорный И.И. «Материалы автоклавного твердения с использованием наноструктурированного модификатора на основе магматических пород кислого состава» [6];
- Серхачева Н.С. «Полистирольные суспензии, содержащие наночастицы оксидов металлов» [7];
- Соловьева Т. А. «Эффективные цементные композиции, модифицированные углеродными материалами» [8];
- Сатюков А.Б. «Наномодифицированное композиционное вяжущее для специальных строительных растворов» [9];
- Фроня М.А. «Комплексное исследование механических свойств и структуры полимерных композитных материалов с наполнителями в виде модификаций углерода: нанотрубки и ультрадисперсные алмазы» [10];
- Габбасов Р.Р. «Исследование магнитной динамики ансамблей наночастиц в среде методом мессбауэровской спектроскопии» [11];
- Квашнин А.Г. «Особенности образования новых квазидвумерных наноструктур и их физические свойства» [12];
- Алтынник Н.И. «Газобетон автоклавного твердения с использованием наноструктурированного модификатора» [13];
- Коняхин С.В. «Исследование оптических и колебательных свойств углеродных наноструктур» [14];
- Жуков А.З. «Жаростойкие и огнезащитные фиброармированные композиты с применением вулканических горных пород» [15];
- Захарычев Е.А. «Разработка полимерных композиционных материалов на основе эпоксидного связующего и функционализированных углеродных нанотрубок» [16];
- Киселев Д.Г. «Наномодифицированные серные вяжущие вещества для строительных материалов общестроительного и специального назначения» [17];
- Польщиков С.В. «Многофункциональные композиционные материалы на основе полипропилена и наноуглеродных наполнителей, полученные полимеризацией IN SITU» [18] и др.



**Редакция электронного издания «Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал» предлагает магистрантам, аспирантам, докторантам опубликовать результаты своих исследований в области нанотехнологий и наноматериалов в строительстве, ЖКХ и смежных отраслях экономики [19].**

### **Библиографический список:**

1. *Розина В.Е.* Мелкозернистый базальтофибробетон с нанокремнеземом: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Электронная библиотека диссертаций [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dslib.net> (дата обращения: 17.03.2016).
2. *Сивальнева М.Н.* Фибропенобетон на основе наноструктурированного вяжущего: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Электронная библиотека диссертаций [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dslib.net> (дата обращения: 17.03.2016).
3. *Карпов А.И.* Обзор результатов диссертационных исследований в области нанотехнологий и наноматериалов. Часть 3 // Нанотехнологии в строительстве. – 2015. – Том 7, № 4. – С. 96–114. – DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-4-96-114](http://dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-4-96-114).
4. *Федюк Р.С.* Повышение непроницаемости фибробетонов на композиционном вяжущем: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Электронная библиотека диссертаций [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dslib.net> (дата обращения: 17.03.2016).
5. *Лубенцова К.И.* Получение и исследование физико-химических свойств композитных сорбентов на основе полистирольных матриц с нанодисперсными оксидами железа: Автореф. дис. канд. хим. наук. – Электронная библиотека диссертаций [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dslib.net> (дата обращения: 17.03.2016).
6. *Карпов А.И.* Обзор результатов диссертационных исследований в области нанотехнологий и наноматериалов. Часть 4 // Нанотехнологии в строительстве. – 2015. – Том 7, № 5. – С. 102–122. – DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-5-102-122](http://dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-5-102-122).
7. *Серхачева Н.С.* Полистирольные суспензии, содержащие наночастицы оксидов металлов: Автореф. дис. канд. хим. наук. – Электронная библиотека диссертаций [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dslib.net> (дата обращения: 17.03.2016).



- ций [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dslib.net> (дата обращения: 17.03.2016).
8. *Соловьева Т.А.* Эффективные цементные композиции, модифицированные углеродными материалами: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Электронная библиотека диссертаций [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dslib.net> (дата обращения: 17.03.2016).
  9. *Карпов А.И.* Диссертационные исследования в области нанотехнологий и наноматериалов: научная новизна и практическая значимость. Часть 1 // Нанотехнологии в строительстве. – 2016. – Том 8, № 1. – С. 127–146. – DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-1-127-146](http://dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-1-127-146).
  10. *Фроня М.А.* Комплексное исследование механических свойств и структуры полимерных композитных материалов с наполнителями в виде модификаций углерода: нанотрубки и ультрадисперсные алмазы: Автореф. дис. канд. физ.-мат. наук. – Электронная библиотека диссертаций [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dslib.net> (дата обращения: 17.03.2016).
  11. *Габбасов Р.Р.* Исследование магнитной динамики ансамблей наночастиц в среде методом мессбауэровской спектроскопии: Автореф. дис. канд. физ.-мат. наук. – Электронная библиотека диссертаций [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dslib.net> (дата обращения: 17.03.2016).
  12. *Квашнин А.Г.* Особенности образования новых квазидвумерных наноструктур и их физические свойства: Автореф. дис. канд. физ.-мат. наук. – Электронная библиотека диссертаций [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dslib.net> (дата обращения: 17.03.2016).
  13. *Карпов А.И.* Обзор результатов диссертационных исследований в области нанотехнологий и наноматериалов. Часть 2 // Нанотехнологии в строительстве. – 2015. – Том 7, № 2. – С. 127–138. – DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-2-127-138](http://dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-2-127-138).
  14. *Коняхин С.В.* Исследование оптических и колебательных свойств углеродных наноструктур: Автореф. дис. канд. физ.-мат. наук. – Электронная библиотека диссертаций [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dslib.net> (дата обращения: 17.03.2016).
  15. *Жуков А.З.* Жаростойкие и огнезащитные фиброармированные композиты с применением вулканических горных пород: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Электронная библиотека диссертаций [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dslib.net> (дата обращения: 17.03.2016).
  16. *Захарычев Е.А.* Разработка полимерных композиционных материалов на основе эпоксидного связующего и функционализированных углеродных нано-



трубок: Автореф. дис. канд. хим. наук. – Электронная библиотека диссертаций [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dslib.net> (дата обращения: 17.03.2016).

17. *Карнов А.И.* Обзор результатов диссертационных исследований в области нанотехнологий и наноматериалов. Часть 1 // Нанотехнологии в строительстве. – 2015. – Том 7, № 1. – С. 107–126. – DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-1-107-126](http://dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-1-107-126).
18. *Польщиков С.В.* Многофункциональные композиционные материалы на основе полипропилена и наноуглеродных наполнителей, полученные полимеризацией IN SITU: Автореф. дис. канд. хим. наук. – Электронная библиотека диссертаций [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dslib.net> (дата обращения: 17.03.2016).
19. *Гусев Б.В.* Развитие нанотехнологий – актуальнейшее технологическое направление в строительной отрасли // Нанотехнологии в строительстве. – 2011. – Т. 3, № 2. – С. 6–20. – URL: [http://nanobuild.ru/ru\\_RU](http://nanobuild.ru/ru_RU) (дата обращения: 17.03.2016).

#### УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

При использовании материала данной статьи  
просим делать библиографическую ссылку на неё:

*Карнов А.И.* Диссертационные исследования в области нанотехнологий и наноматериалов: научная новизна и практическая значимость. Часть 2 // Нанотехнологии в строительстве. – 2016. – Том 8, № 2. – С. 82–103. – DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-2-82-103](http://dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-2-82-103).

#### DEAR COLLEAGUES!

THE REFERENCE TO THIS PAPER HAS THE FOLLOWING CITATION FORMAT:

*Karnov A.I.* Theses in the area of nanotechnologies and nanomaterials: novelties and practical application. Part 2. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2016, Vol. 8, no. 2, pp. 82–103. DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-2-82-103](http://dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-2-82-103). (In Russian).

**Контакты**

**e-mail: [info@nanobuild.ru](mailto:info@nanobuild.ru)**

