



## Экономичность использования и влияние наноразмерных частиц на свойства легких высокопрочных бетонов

А.В. Фролов<sup>1</sup>, Л.И. Чумадова<sup>2</sup>, А.В. Черкашин<sup>3</sup>, Л.И. Акимов<sup>4</sup>

ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29.

### Информация о статье

УДК 691.328

Научная статья

### История

Подана в редакцию 24 февраля 2014

Оформлена 20 апреля 2014

Согласована 30 апреля 2014

### Ключевые слова

наномодифицированный бетон;  
наноразмерные частицы;  
микрокремнезем;  
нанокремнезем;  
наношпинель магния;  
золь-гель;  
МБ-01;  
микросферы;  
зола рисовой шелухи;  
метакаолин;

### АННОТАЦИЯ

В статье проводится анализ влияния различных добавок (в основном наноразмерных) на свойства бетона. Из свойств подробно описываются прочность, плотность, проницаемость, пластичность, морозостойкость, огнестойкость, водопоглощение. Наномодифицированные добавки способны кардинально изменить эти свойства. Из добавок рассматриваются: микрокремнезем, нанокремнезем, нанощпинель магния, золь-гель, МБ-01, микросферы, зола рисовой шелухи и метакаолин, углеродные нанотрубки, астралены, золь гидроксида железа, комбинированные модификаторы на основе золя гидроксида железа и золя кремниевой кислоты. Любые нанотехнологии влекут за собой большие затраты денежных средств. Наномодифицированные добавки также считаются достаточно дорогими и не всегда выгодными при использовании. Но благодаря грамотному использованию уникальных свойств легкого наномодифицированного бетона, в особенности низкой плотности при высокой прочности, можно добиться уменьшения себестоимости конструкции в несколько раз.

### Содержание

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| 1. Введение                                      | 52 |
| 2. Постановка задачи                             | 52 |
| 3. Характеристики наномодифицированных бетонов   | 52 |
| 4. Нанокomпоненты, влияющие на технологию бетона | 54 |
| 4.1. Золь-гель как добавка в бетон               | 54 |
| 4.2. Нанодисперсный кремнезем                    | 54 |
| 4.3. МБ-01                                       | 54 |
| 4.4. Нанощпинель магния                          | 55 |
| 4.5. Микросферы                                  | 55 |
| 5. Применение наноразмерных частиц в России      | 56 |
| 6. Заключение                                    | 56 |

<sup>1</sup> Контактный автор:  
+7 (911) 088 0935, artemfrolov007@mail.ru (Фролов Артём Владимирович, студент)  
<sup>2</sup> +7 (921) 760 9300, chumadova.2011@mail.ru (Чумадова Людмила Ивановна, к.т.н., доцент)  
<sup>3</sup> +7 (911) 773 7537, jizm@mail.ru (Черкашин Артемий Викторович, студент)  
<sup>4</sup> +7 (921) 417 8833, lukas-ak@mail.ru (Акимов Лука Игоревич, студент)

## 1. Введение

При проектировании и строительстве конструкций существенную роль играет выбор материалов. В данной работе будет рассмотрен один из важнейших материалов строительства – бетон. И так как отрасль нанопродуктов является одной из наиболее динамично развивающихся в мире, особый интерес проявляется к наномодифицированным добавкам, кардинально меняющих свойства бетона.

Наномодифицированный бетон (НБ) – это группа наноматериалов, с помощью которых можно управлять набором свойств строительных композиций. НБ обладает теми или иными преимуществами по сравнению с обычным бетоном, благодаря своей особой структуре, задаваемой на наноуровне [1].

## 2. Постановка задачи

Целью работы является выявление преимуществ использования наноразмерных добавок к бетону, анализ влияния их на прочность, пластичность, плотность, морозостойкость, проницаемость. У любого проектировщика на первом месте стоит вопрос о «цене – качестве». Необходимо выяснить, выгодно ли использовать наномодифицированные добавки, сравнивая их стоимость и эффект. В работе представлены примеры применения бетонов на наноразмерных добавках в России.

## 3. Характеристики наномодифицированных бетонов

Для наномодифицированных бетонов характерно:

- сверхвысокая прочность при сжатии;
- низкая проницаемость;
- повышенная коррозионная стойкость;
- долговечность;
- низкая плотность;
- высокая морозостойкость;
- высокая огнестойкость.

Особенно эти свойства важны при использовании наномодифицированного бетона в несущих элементах зданий и сооружений.

Первые промышленные опыты производства наномодифицированных бетонных смесей приведены в таблице 1 [2].

**Таблица 1. Сравнительные характеристики бетонных смесей и бетонов**

| № состава | Марка бетонной смеси и класс бетона | Характеристики состава бетонной смеси (В/Ц = 0,45) |                                   | Осадка конуса, см через |      |      | Предел прочности при сжатии в возрасте 28 сут., МПа |
|-----------|-------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|------|------|-----------------------------------------------------|
|           |                                     | Расход цемента (ПЦ500 Д0), кг/м <sup>3</sup>       | Вид и количество добавки, масс. % | 0 ч                     | 1 ч  | 3 ч  |                                                     |
| 1         | П4, В30                             | 405                                                | Лигнопан Б1, 1,1                  | 18,0                    | 16,0 | 12,0 | 38,7                                                |
| 2         | П4, В30                             | 370                                                | Muraplast FK-63, 0,4              | 18,0                    | 16,5 | 14,0 | 39,0                                                |
| 3         | П4, В30                             | 370                                                |                                   | Расплав конуса 50см     |      |      | 42,0                                                |
| 4         | П4, В30                             | 315                                                |                                   | 19,0                    | 18,0 | 16,0 | 40,0                                                |

*Примечание: бетонные смеси составов 1 и 2 приготовлены на воде без наномодификатора; бетонные смеси составов 3 и 4 приготовлены на наноструктурированной воде.*

Из таблицы 1 следует, что бетон с применением наномодификаторов позволяет: снизить расход цемента; уменьшить расход добавки; увеличить время сохранения подвижности бетонной смеси.

Если наночастицы использовать с ПАВ, эффект модификации усиливается. Это позволяет сократить не только количество цемента, но и концентрацию наномодификаторов и пластификаторов

**Таблица 2. Составы наномодифицированных бетонов [3]**

| Класс бетона по прочности на сжатие (Марка по подвижности) | Расходы компонентов                     |                       |                                        |                                       |                                      | Фактическая марка      |                    |
|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|--------------------|
|                                                            | Портландцемент 42,5R, кг/м <sup>3</sup> | Вода л/м <sup>3</sup> | Суперпластификатор, % от массы цемента | Крупный заполнитель кг/м <sup>3</sup> | Мелкий заполнитель кг/м <sup>3</sup> | По водонепроницаемости | По морозостойкости |
| В30 (П4)                                                   | 380                                     | 165                   | 1,00                                   | 1060                                  | 800                                  | W8                     | F300               |
|                                                            | 340                                     | 155                   | 0,40 (с Н.М.)                          | 1100                                  | 820                                  | W12                    | F400               |
| В35 (П4)                                                   | 415                                     | 170                   | 1,10                                   | 1070                                  | 760                                  | W10                    | F300               |
|                                                            | 380                                     | 160                   | 0,40 (с Н.М.)                          | 1090                                  | 790                                  | W14                    | F400               |
| В40 (П4)                                                   | 450                                     | 165                   | 1,10                                   | 1080                                  | 730                                  | W12                    | F400               |
|                                                            | 415                                     | 150                   | 0,42 (с Н.М.)                          | 1120                                  | 750                                  | W16                    | F600               |

Из таблицы 2 видно, что при использовании наномодификатора, количество используемого цемента и пластификатора значительно уменьшается, что непосредственно ведет к немалой экономии. К тому же повышается марки по водонепроницаемости и морозостойкости.

В качестве примера возьмём «Нанобетон лёгкий» ТУ-5789-027-23380399. Он обладает следующими характеристиками:

- плотность бетона,  $\rho$ , 1,2-1,6 [т/м<sup>3</sup>];
- прочность на сжатие, 30-60 [мпа];
- прочность на растяжение при изгибе, 4-8 [мпа];
- теплопроводность – менее 0,2 – 0,4 вт/(м·к);
- водопоглощение не более 0,4%;
- водонепроницаемость – w20;
- огнестойкость – более 780°с;
- морозостойкость – f300 – f350 [4].

По своим прочностным свойствам «нанобетон лёгкий» соответствует бетону В30...В40,  $\rho$ , 2,4 [т/м<sup>3</sup>] [5]. Нанобетон армированный превосходит железобетон по многим показателям:

1. Снижение собственного веса конструкции, благодаря низкой плотности нанобетона.
2. Изменение системы армирования и уменьшение количества потребляемой арматуры.
3. Уменьшение нагрузок на грунт от сооружения в целом, вследствие чего упрощаются конструкции фундаментов и уменьшаются объемы работ нулевого цикла.
4. Исключение из конструкций сооружений специальной и общей гидроизоляции
5. Удешевление и ускорение производства работ по строительству высотных монолитных железобетонных сооружений.
6. Повышение надежности и безопасности сейсмостойкого строительства.
7. Уменьшение количества сейсмоизоляторов при строительстве зданий и сооружений в районах высокой сейсмической активности.
8. Повышение пожарной безопасности зданий и сооружений [1].

## 4. Нанокomпоненты, влияющие на технологию бетона

«Наночастицы получают в реакторе и имеют пяти- шестигранную поверхность. В зависимости от структуры их называют фуллеренами, кластерами и нанотрубками. Ведутся разработки по получению кремнеземистых и глиноземистых наночастиц. Углеродные наночастицы готовят в лабораториях газопламенным способом при температурах (650°-750°С)» [6].

Вводить наномодификаторы можно как в бетонную смесь, так и в пластифицирующие добавки, что существенно увеличит их эффективность. В статье [7] объясняется, что нанотрубки в цементном растворе ведут себя как вытянутые «зародыши» кристаллов. Разрастаясь, они переплетаются, прорастают друг в друга и образуют пространственную сеть, пронизывающую и связывающую в единое целое весь цементный камень.

В данной работе рассмотрены зависимости прочностных характеристик от конкретных минеральных добавок к бетону, а также влияния на другие свойства бетона.

Эффект от комбинирования минеральных добавок, пластификаторов, наномодифицированных частиц приводится в диссертациях [8-12]. «Введение в состав бетона золу рисовой шелухи и метакаолин в сочетании с эффективными для данного цемента гиперпластификаторами обеспечивает повышение предела прочности на сжатие до 70%, повышение модуля упругости бетона до 15%, значение меры ползучести бетона от 0,44 до 1,19 меры равнопрочного бетона без модификатора, снижение контракционной усадки до 30%, что положительно влияет на раннюю трещиностойкость железобетона, практически не влияет на усадку при высыхании.». В ранний период минеральные модификаторы снижают величину тепловыделения в ранний период до 20%, а зола рисовой шелухи и метакаолин сокращают время индукционного периода до 20%. В зависимости от вида минеральных модификаторов и суперпластификаторов пористость цементного камня может понижаться до 37% и повышаться до 13,3%.

### 4.1. Золь-гель как добавка в бетон

Суть золь-гель метода заключается в процессе образовании геля или порошковых дисперсий через стадию золя, при этом возможно получение кремнеземистых наночастиц. Структуру золя используют для создания дополнительного упрочняющего структурного элемента в бетонной смеси, который получается из жидкого натриевого стекла и представляет собой наночастицу кремния, которая переходит при реакции с  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в гидросиликат кальция. Это существенно сокращает количество пор больше 1 нм.

### 4.2. Нанодисперсный кремнезем

Свойства нанодисперсного кремнезема:

- Увеличивает прочность до 2,5 раз;
- Снижает усадку и водопоглощение в 1,5-2 раза;
- Повышает марку по морозостойкости в 2-2,5 раз;
- Снижает расход цемента на 25-30% без потери прочности;
- Снижает энергоёмкость производства бетонов на 15-20%;
- Ускоряет введение конструкций в эксплуатацию [13].

### 4.3. МБ-01

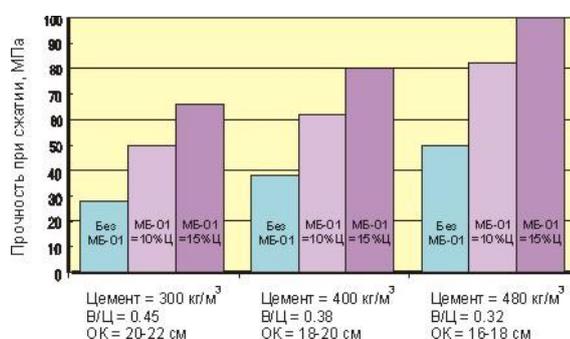


Рисунок 1. Прочность бетона с МБ-01 при сжатии в 28 суток нормального твердения [14]

#### 4.4. Наношпинель магния

С помощью наноразмерных модификаторов провели испытания на морозостойкость и водопоглощение. В данной таблице используется наношпинель магния. Оптимальное количество добавки 0,01%

**Таблица 3. Физико-механические свойства бетона с использованием наношпинели и без использования [15]**

| Состав                        | $\rho$ , (кг/м <sup>3</sup> ) | $\sigma_{сж}$ , (МПа) | W (%) | $\sigma_{ост}$ (МПа) после водопоглощения | $\sigma_{ост}$ (МПа) после промораживания |
|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------|-------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Исходный                      | 2243                          | 7,97                  | 4,99  | 10,4                                      | 7,65                                      |
| Модифицированный (0,01 мас.%) | 2240                          | 9,37                  | 4,73  | 11,2                                      | 10,59                                     |

#### 4.5. Микросферы

Применение микросфер позволяет получить составы с плотностью до 800 кг/м<sup>3</sup>, и при этом прочностные характеристики сильно могут достигать показателей 40-45 МПа. Если модифицировать микросферу с помощью наноразмерных добавок можно увеличить удельную прочность бетонов до 85%, где удельная прочность – это отношение предела прочности при сжатии к относительной плотности. Для конструкционных легких бетонов удельная прочность варьируется от 8,8 до 29,4 МПа. В таблице приведены значения удельной прочности с использованием наночастиц в сочетании с микросферами

**Таблица 4. Удельная прочность наномодифицированных легких бетонов [16]**

| № п/п | Наименование модификатора                                                              | $R_{y0}$ , МПа |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 1     | Углеродные нанотрубки                                                                  | 50,1           |
| 2     | Астралены                                                                              | 40,8           |
| 3     | Золь гидроксида железа                                                                 | 45,4           |
| 4     | Комбинированный модификатор на основе золь гидроксида железа и золь кремниевой кислоты | 48,9           |

Из таблицы 4 следует, что значительное увеличение удельной прочности позволяет классифицировать легкие бетоны на полых стеклянных микросферах как особовысокопрочные легкие бетоны. Использование карбоновых нанотрубок в качестве армирующего материала позволяет переместить укрепляющие характеристики с макроскопического на наноскопический уровень, в добавок к хорошо известным преимуществам этих материалов (чрезвычайно высокая прочность [17] и модуль Юнга [18], упругие свойства [19] и улучшенные электронные [20] и термические свойства [21]).

Прорывом в нано-технологии можно считать создание добавок для нано-структурированных бетонов, таких как многослойные углеродные нанотрубки и астралены [22]. На основе сухих смесей добавок, созданных коллективом ЗАО "НТЦ Прикладных нано-технологий" под руководством генерального директора профессора Пономарева А.Н., разработаны такие новые материалы как:

- легкий бетон нано-структурированный (ЛБН);
- тяжелый нано-модифицированный бетон;
- ячеистый нано-бетон.

## 5. Применение наноразмерных частиц в России

В соответствии с распоряжением администрации Тверской области ЗАО «Институт Стройпроект» в 2004 году проводил реконструкцию моста в городе Кимры методом усиления железобетонных пролетных строений с помощью вантовой системы и впервые применённым в России выравниванием продольного профиля легким наномодифицированным бетоном ТУ5789-027-23380399-2007 [23].



Рисунок 1. Мост в городе Кимры [24]

Новые бетоны уже использовались для реставрации Исаакиевского собора в Санкт-Петербурге для защитной его облицовки. В сыром питерском климате очень часто приходится ремонтировать и даже реставрировать ценнейшие его дворцы и соборы. Нанобетоны могут быть и тяжелыми, например, для изготовления защитных сооружений: они гораздо прочнее и надежнее материалов, из которых такие сооружения изготавливаются сегодня, в частности благодаря тому, что удалось создать их структуру предварительно напряженной.

На реконструкцию Дворцового моста будут использоваться современные материалы. Так, котлованы опор разводного пролета заполняют наномодифицированным бетоном, плотность которого на 25% меньше, чем у традиционного бетона [25].

В настоящее время эта технология применяется в 80% случаев в жилищно-гражданском и дорожном строительстве и лишь в 20% случаев – при строительстве мостов, АЭС и др. уникальных сооружений [26].

Однако, несмотря на положительные аспекты использования наночастиц, необходимо задумываться и об экологической чистоте продукта. На данный момент европейцы сомневаются на счет отсутствия вреда для здоровья рабочих от наноконпонентов. Поэтому, по использованию наномодифицированного бетона в строительстве необходимы дополнительные исследования [27-31].

## 6. Заключение

1. С помощью наномодифицированных добавок можно управлять важнейшими свойствами бетона, такими как: прочность, плотность, пластичность, морозостойкость, проницаемость.
2. Себестоимость бетона с использованием наномодифицированных добавок дороже обычного, но за счёт его низкой плотности при достаточно высокой прочности можно уменьшать себестоимость возводимых сооружений.
3. Экономия также проявляется и в сокращении количества используемого цемента и пластификаторов
4. Применение наноразмерных добавок уже распространено и в России. Но все ещё необходимы дополнительные многостадийные исследования по многовариантному использованию наномодифицированных добавок к бетону в строительстве.

## Литература

1. Пономарев А.Н. Высококачественные бетоны. Анализ возможностей и практика использования методов нанотехнологии // Инженерно-строительный журнал. 2009. №6. С. 25–33.
2. Ковалева А. Ю., Беляева Ж. В., Аубакирова И. У, Староверов В. Д. Опыт промышленного применения наномодифицированных бетонных смесей [Электронный ресурс] // Весь бетон, 22.10.2008 URL: <http://www.allbeton.ru/article/265/18.html> (дата обращения: 25.02.2014).
3. Коррозионностойкие наномодифицированные цементные бетоны / Пухаренко Ю. В., Аубакирова И. У., Староверов В. Д., Гюннер Т. В., Кудобаев М. К. // Технологии бетонов. 2010. № 7/8. С. 24-27.
4. Кишиневская Е.В., Ватин Н.И., Кузнецов В.Д. Перспективы применения нанобетона в монолитных большепролетных ребрестых перекрытиях с постнапряжением // Инженерно-строительный журнал. №2. 2009. С. 54–58.
5. EN 1992 Eurocode 2. Design of concrete structures.
6. Колб Д.А., Чумадова Л.И. Перспективы наномодификации бетона // Материалы научно-практической конференции с международным участием (XLI Неделя науки СПбГПУ) 2011. Ч. 1. С. 14-16.
7. Ваучский М.Н. Нанобетон: мифы и реальность // Строй ПРОФИль, 2007. № 8. С. 48 – 50.
8. Та Ван Фан, Несветаев Г.В., Влияние белой сажи и метакаолина на прочность и деформационные свойства цементного камня // Инженерный вестник Дона, 2012. № 4. Ч.1. 4 с.
9. Контракция портландцемента в присутствии суперпластификаторов и минеральных модификаторов / Несветаев Г.В., Кардумян Г.С., Та Ван Фан, Хомич Л.А., Блягоз А.М. // Новые технологии. Вып. 4/2012. С.125-128.
10. О влиянии суперпластификаторов и минеральных добавок на величину начального модуля упругости цементного камня и бетона / Несветаев Г.В., Кардумян Г.С., Та Ван Фан, Хомич Л.А., Блягоз А.М. // Новые технологии. Вып. 4/2012. С.118-121.
11. О влиянии суперпластификаторов и минеральных добавок на пористость цементного камня / Несветаев Г.В., Кардумян Г.С., Та Ван Фан, Хомич Л.А., Блягоз А.М. // Новые технологии. Вып. 4/2012. С.122-125.
12. Та Ван Фан. Самоуплотняющиеся высокопрочные бетоны с компенсированной усадкой // Материалы международной научно-практической конференции «Строительство 2012» РГСУ, 2012 С.124-126.
13. Матвеева Е. Г. Повышение эффективности бетона добавкой нанодисперсного кремнезема. М.: Белгород . 2011. 21 с.
14. Каприелов С.С. Батраков В.Г., Шейнфельд А.В. Модифицированные бетоны нового поколения: реальность и перспектива // Бетон и железобетон. 1999. № 6. С. 6–10.
15. Даваасенгэ С.С., Буренина О.Н. Физико-механические свойства наномодифицированных «тощих» бетонов для устройства оснований дорожной одежды // Научный журнал КубГАУ. 2011. №10(074). С. 732 – 743.
16. Иноземцев А.С, Королев Е.В. Основы разработки наномодифицированных высокопрочных легких бетонов // Нанотехнологии в строительстве, 2013. Том.23. №1. 24 с.
17. Strength and breaking mechanism of multiwalled carbon nanotubes under tensile load / Yu, M.F.; Lourie, O., Dyer, M.J., Moloni, K., Kelly, T.F., Ruoff, R.S. // Science. 2000. Vol. 287. Pp. 637–640.
18. Mechanical properties of carbon nanotubes / Salvetat J.P., Bonard J.-M., Thomson N.H., Kulik A.J., Forró L., Benoit W., Zuppiroli L. // Applied Physics. A Materials Science and Processing. 1999. Vol. 69. Pp. 255–260.
19. Elastic strain of freely suspended single-wall carbon nanotube ropessingle-wall carbon nanotube ropes / Walters D.A., Ericson L.M., Casavant M.J., Liu J., Colbert D.T., Smith K.A. // Applied Physics Letters. 1999. Vol. 74. Pp. 3803–3805.
20. Sinnott S.B., Andrews R. Carbon nanotubes: Synthesis, properties and applications // Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences. 2001. Vol. 26. Pp. 145–249.
21. Berber S., Kwon Y.K., Tomanek D. Unusually high thermal conductivity of carbon nanotubes // Physical Review Letters. 2000. Vol. 84. Pp. 4613–4616.

22. Brozdnichenko A.N., Ponomarev A.N., Pronin V.P., Rybalko V.V. Magnetic properties of multiwall carbon nanotubes and astralenes in strong electric fields // Journal of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. 2007. Vol. 1. No. 1. Pp. 110–112.
23. Юдович М.Е. О некоторых особенностях нанотехнологии в пластификации // Инженерно-строительный журнал. 2008. №1. С. 30-32.
24. ЗАО «Институт «Стройпроект» URL: <http://www.stpr.ru/> (дата обращения: 30.04.2014)
25. Городской новостной портал «Санкт-Петербург.ру» На реконструкцию Дворцового моста требуется почти 3 млрд рублей и полторы тонны металла [Электронный ресурс]. URL: <http://saint-petersburg.ru/m/307416/> 20.11.2011 (дата обращения: 08.03.2014).
26. Фролов А.В., Кононов Ю.И. Использование нанобетона в строительстве уникальных железобетонных конструкций и сооружений// Материалы научно-практической конференции с международным участием (XLI Неделя науки СПбГПУ), 2012. Ч. 1. С. 420-421.
27. Use of nanomaterials in the European construction industry and some occupational health aspects thereof / Pieter van Broekhuizen, Fleur van Broekhuizen, Ralf Cornelissen, Lucas Reijnders. // Journal of Nanoparticle Research. 2011. Vol. 13. Issue 2. Pp. 447-462.
28. Buzea C., Pacheco I. I., Robbie K. Nanomaterials and nanoparticles: Sources and toxicity // Biointerphases. 2007. Vol. 2. Issue 4. Pp. MR17-MR71.
29. Harri Alenius, Julia Catalán, Hanna Lindberg et. al. Chapter 3 - Nanomaterials and Human Health. Handbook of Nanosafety, 2014. Pp. 59-133.
30. Pietroiusti A., Magrini A., Campagnolo L. 2 - Mechanisms of nanomaterial toxicity. Health and Environmental Safety of Nanomaterials, 2014. Pp. 28-43.
31. Jonathan D. Judy, Paul M. Bertsch. Chapter One - Bioavailability, Toxicity, and Fate of Manufactured Nanomaterials in Terrestrial Ecosystems // Advances in Agronomy. 2014. Vol. 123. Pp. 1-64.

## The economy of use and the impact of nanoparticles on properties of lightweight high-strength concrete

A.V. Frolov<sup>1</sup>, L.I. Chumadova<sup>2</sup>, A.V. Cherkashin<sup>3</sup>, L.I. Akimov<sup>4</sup>

Saint-Petersburg State Polytechnical University, 29 Polytechnicheskaya st., St.Petersburg, 195251, Russia.

### ARTICLE INFO

#### Original research article

### Article history

Received 24 February 2014  
Received in revised form 20 April 2014  
Accepted 30 April 2014

### Keywords

nanomodified concrete;  
nanoscale particles;  
microsilica;  
nanosilica;  
magnesium nanoshpinel;  
sol-gel;  
MB-01;  
microspheres;  
rice hull ash;  
metakaolin;

### ABSTRACT

An impact of various additives (mostly nanoscale) on the properties of concrete is analyzed in this article. Some properties are described in detail, such as: strength, density, permeability, ductility and freeze-thaw durability, water absorption, fire resistance. Nanomodified supplements could cardinaly change all this properties. Some additives are considered: nanoscale particles, microsilica, nanosilica, magnesium nanoshpinel, sol-gel, MB-01, microspheres, rice hull ash, and metakaolin, multiwall carbon nanotubes and astralenes, ferric hydroxide sol, combined modification on the basis of ferric hydroxide sol and hydrated silica sol. Nanomodified supplements are considered quiet expensive and sometimes are not useful economic. Despite of this due to smart using of unique properties of light-weight nanoconcrete especially low density with high strength it is possible to reduce cost price of the construction several times.

1

*Corresponding author:*

+7 (911) 088 0935, artemfrolov007@mail.ru (Artem Vladimirovich Frolov, Student)

2

+7 (921) 760 9300, chumadova.2011@mail.ru (Ludmila Ivanovna Chumadova, Ph.D., Associate Professor)

3

+7 (911) 773 7537, jizm@mail.ru (Artemy Viktorovich Cherkashin, Student)

4

+7 (921) 417 8833, lukas-ak@mail.ru (Luka Igorevich Akimov, Student)

## References

1. Ponomarev A.N. *Vysokokachestvennyye betony. Analiz vozmozhnostey i praktika ispolzovaniya metodov nanotekhnologii* [High-quality concrete. Analysis of the opportunities and the practice of using nanotechnology techniques] // Magazine of Civil Engineering. 2009. №6. Pp. 25–33. (rus)
2. *Opyt promyshlennogo primeneniya nanomodifitsirovannykh betonnykh smesey* [Experience of industrial applications of nanomodified concrete mixtures] [web source] / Kovaleva A. Yu., Belyayeva Zh. V., Aubakirova I. U., Staroverov V. D. // *Ves beton*, 22.10.2008. URL: <http://www.allbeton.ru/article/265/18.html> (date of reference: 25.02.2014). (rus)
3. *Korroziionnostoykiye nanomodifitsirovannyye tsementnyye betony* [Corrosion-resistant nanomodified cement concrete] / Pukhareenko Yu. V., Aubakirova I. U., Staroverov V. D., Gyunner T. V., Kudobayev M. K. // *Tekhnologii betonov*. 2010. № 7/8. Pp. 24-27. (rus)
4. Kishinevskaya Ye.V., Vatin N.I., Kuznetsov V.D. *Perspektivy primeneniya nanobetona v monolitnykh bolshheproletnykh rebrestykh perekrytyakh s postnapryazheniyem* [Prospects of application of nanomodified concrete in monolithic slabs with big span with post-tension] // Magazine of Civil Engineering. №2. 2009. Pp. 54–58. (rus)
5. EN 1992 Eurocode 2. Design of concrete structures.
6. Kolb D.A., Chumadova L.I. *Perspektivy nanomodifikatsii betona* [Prospects of nanomodification of concrete] // *Materialy NPKMU (XLI week of science of SPbGPU)*, 2011. Part 1. Pp. 14-16. (rus)
7. Vauchskiy M.N. *Nanobeton: mify i realnost* [Nano-concrete: Myths and reality] // *Stroy PROFIL*. 2007. № 8. Pp. 48 – 50.
8. Ta Van Fan, Nesvetev G.V. *Vliyaniye beloy sazhi i metakaolina na prochnost i deformatsionnyye svoystva tsementnogo kamnya* [Effect of fumed silica and metakaolin on the strength and deformation properties of cement paste] // *Inzhenernyy vestnik Dona*. 2012. № 4. Part 1. (rus)
9. *Kontraktsiya portlandtsementa v prisutstvii superplastifikatorov i mineralnykh modifikatorov* [Contraction of Portland cement in the presence of superplasticizers and mineral modifiers] / Nesvetayev G.V., Kardumyan G.S., Ta Van Fan, Khomich L.A., Blyagoz A.M. // *Novyye tekhnologii*. 2012. №4. Pp.125-128. (rus)
10. *O vliyani superplastifikatorov i mineralnykh dobavok na velichinu nachalnogo modulya uprugosti tsementnogo kamnya i betona* [About the effect of superplasticizers and mineral supplements on the amount of the initial modulus of elasticity of cement paste and concrete] / Nesvetayev G.V., Kardumyan G.S., Ta Van Fan, Khomich L.A., Blyagoz A.M. // *Novyye tekhnologii*. 2012. № 4. Pp.118-121. (rus)
11. *O vliyani superplastifikatorov i mineralnykh dobavok na poristost tsementnogo kamnya* [About the effect of superplasticizers and mineral supplements on the porosity of the cement stone] / Nesvetayev G.V., Kardumyan G.S., Ta Van Fan, Khomich L.A., Blyagoz A.M. // *Novyye tekhnologii*, 2012. № 4. Pp.122-125. (rus)
12. Ta Van Fan. *Samouplotnyayushchiyesa vysokoprochnyye betony s kompensirovannoy usadkoy* [Self-sealing high-strength concrete with compensated shrinkage] // *Materialy MNPК «Stroitelstvo 2012» RGSU*, 2012 Pp.124-126. (rus)
13. Matveyeva Ye. G. *Povysheniye effektivnosti betona dobavkoy nanodispersnogo kremnezema* [Improving the efficiency of concrete with the addition of nanosized silica]. M.: Belgorod. 2011. 21 p. (rus)
14. Kapriyelov S.S. Batrakov V.G., Sheynfeld A.V. *Modifitsirovannyye betony novogo pokoleniya: realnost i perspektiva* [Modified concretes of a new generation: Reality and Prospects] // *Beton i zhelezobeton*. 1999. № 6. Pp. 6–10. (rus)
15. Davaasenge S.S., Burenina O.N. *Fiziko-mekhanicheskiye svoystva nanomodifitsirovannykh «toshchikh» betonov dlya ustroystva osnovaniy dorozhnoy odezhdy* [Physical and mechanical properties of "lean" nano-modified concrete for structure of pavement of the road] // *Scientific journal of KubGAU*, 2011. №10 (074). Pp. 732 – 743. (rus)
16. Inozemtsev A.S, Korolev Ye.V. *Osnovy razrabotki nanomodifitsirovannykh vysokoprochnykh legkikh betonov* [Basics of Designing a high-strength lightweight nanomodified concrete] // *Nanotekhnologii v stroitelstve*, 2013. Vol.23. №1. 24 p. (rus)
17. Strength and breaking mechanism of multiwalled carbon nanotubes under tensile load / Yu, M.F.; Lourie, O., Dyer, M.J., Moloni, K., Kelly, T.F., Ruoff, R.S. // *Science*. 2000. Vol. 287. Pp. 637–640.
18. Mechanical properties of carbon nanotubes / Salvétat J.P., Bonard J.-M., Thomson N.H., Kulik A.J., Forró L., Benoit W., Zuppiroli L. // *Applied Physics A: Materials Science and Processing*. 1999. Vol. 69. Pp. 255–260.

19. Elastic strain of freely suspended single-wall carbon nanotube ropes / Walters, D.A., Ericson, L.M., Casavant, M.J., Liu, J., Colbert, D.T., Smith, K.A., Smalley R.E. // Applied Physics Letters. 1999. Vol. 74. Pp. 3803–3805.
20. Sinnott, S.B., Andrews, R. Carbon nanotubes: Synthesis, properties and applications // Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences. 2001. Vol. 26. Pp. 145–249.
21. Berber S., Kwon Y.K., Tomanek D. Unusually high thermal conductivity of carbon nanotubes // Physical Review Letters. 2000. Vol. 84. Pp. 4613–4616.
22. Magnetic properties of multiwall carbon nanotubes and astralenes in strong electric fields / Brozdnicenko A.N., Ponomarev A.N., Pronin V.P., Rybalko V.V. // Journal of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques, 2007. Vol. 1. №1. Pp. 110–112.
23. Yudovich M.Ye. *O nekotorykh osobennostyakh nanotekhnologii v plastifikaii* [About some peculiarities of nanotechnology in the plasticizing] // Magazine of Civil Engineering. 2008. №1. Pp. 30-32. (rus)
24. ZAO «Institute Stroiproekt» URL: <http://www.stpr.ru/> (date of reference: 30.04.2014)
25. *City news portal "St. Peterburg.ru" Na rekonstrukciyu Dvortsovogo mosta trebuetsya pochti 3 mlrd rubley i poltory tonny metalla* [To reconstruction of Palace Bridge it is required to nearly 3 billion rubles and one and a half tons of metal] [web source]. URL: <http://saint-petersburg.ru/m/307416/> 20.11.2011. (date of reference: 08.03.2014) (rus)
26. Frolov A.V., Kononov Yu.I. *Ispolzovaniye nanobetona v stroitelstve unikalnykh zhelezobetonnykh konstruktsiy i sooruzheniy* [The use of nanomodified concrete in the construction of unique reinforced concrete structures and buildings] // *Materialy NPKMU* (XLI week of science of SPbGPU), 2012. Part 1. Pp. 420-421. (rus)
27. Use of nanomaterials in the European construction industry and some occupational health aspects thereof / Pieter van Broekhuizen, Fleur van Broekhuizen, Ralf Cornelissen, Lucas Reijnders // Journal of Nanoparticle Research. 2011. Vol. 13. Issue 2. Pp. 447-462.
28. Buzea C., Pacheco I. I., Robbie K. Nanomaterials and nanoparticles: Sources and toxicity // *Biointerphases*. 2007. Vol. 2. Issue 4. Pp. MR17-MR71.
29. Harri Alenius, Julia Catalán, Hanna Lindberg et. al. Chapter 3 - Nanomaterials and Human Health. Handbook of Nanosafety, 2014. Pp. 59-133.
30. Pietrojusti A., Magrini A., Campagnolo L. 2 - Mechanisms of nanomaterial toxicity. Health and Environmental Safety of Nanomaterials, 2014. Pp. 28-43.
31. Jonathan D. Judy, Paul M. Bertsch. Chapter One - Bioavailability, Toxicity, and Fate of Manufactured Nanomaterials in Terrestrial Ecosystems // *Advances in Agronomy*. 2014. Vol. 123. Pp. 1-64.