

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ И ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Д.В. Образцов<sup>1</sup>, В.М. Фокин<sup>2</sup>

*Кафедры: «Уголовное право и прикладная информатика в юриспруденции», ФГБОУ ВПО «ТГТУ» (1); odvru@rambler.ru; «Энергоснабжение и теплотехника», ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет», г. Волгоград (2)*

*Представлена членом редколлегии профессором Н.Ц. Гатаповой*

**Ключевые слова и фразы:** теплофизические свойства; теплоизоляция; теплоусвоение; объемная теплоемкость; коэффициент теплопроводности; строительные материалы; теплозащитные материалы; наномодифицированные материалы.

**Аннотация:** Рассмотрена задача увеличения прочности и уменьшения теплопроводности строительных и теплозащитных материалов путем введения в их структуру наноразмерных частиц. Показано, что объемное внесение наноразмерных частиц в строительные и теплозащитные материалы на этапе изготовления из них изделий способно увеличить их прочностные и теплозащитные характеристики. В качестве наноразмерной добавки предложены углеродные нанотрубки и наноразмерные частицы оксида марганца.

---

### Введение

В настоящее время в связи с необходимостью экономии энергии при обогреве и кондиционировании домов на первый план ставится проблема теплозащиты стен и перекрытий. Как правило, улучшение теплофизических свойств строительных материалов носит экспериментальный характер и обеспечивается введением в качестве заполнителей различных пористых материалов, которые зачастую экологически небезопасны или ухудшают другие важные параметры строительных материалов, такие как прочность, паропроницаемость, водопоглощение и др. Однако современный уровень проводимых исследований и разработка на их основе новых материалов предполагает другие подходы, которые основаны на внутренних резервах цементных самотвердеющих систем, и применение специальных добавок, улучшающих их эксплуатационные свойства [1–4].

Приведенная работа посвящена исследованию влияния наноструктурных добавок к сухим строительным смесям и жидким теплозащитным материалам, позволяющим улучшить их механические и теплофизические свойства.

### Методика эксперимента и образцы

Для проведения экспериментов выбирались стандартные и доступные строительные и теплозащитные материалы. В качестве наномодификаторов использовались наноразмерные частицы, полученные на кафедре «Материалы и технология» ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

**Наномодификаторы:**

- 1) углеродные нанотрубки (УНТ), полученные методом пиролиза [5–7];
- 2) оксид-марганцевые нанобъекты (ОМН), полученные в низкотемпературной плазме [8].

**Сухие строительные смеси:**

- 1) портланд цемент М400-Д0 (белый) ГОСТ 30515–97;
- 2) цементная штукатурка ВОЛМА-Аквапласт ГОСТ 31357–2007.

**Теплозащитные материалы:** жидкая теплоизоляция Астратек и Корунд.

**Оборудование:** смеситель-турбула С2.0; вибропривод ВП-30Т «Вибротехник»; камеры нормального хранения образцов объемом 20 и 300 л с автоматическим поддержанием температуры и влажности; пресс GP 100; ультразвуковая ванна; прибор для проведения измерения теплопроводности ИТП-МГ4 «250».

**Приготовление контрольных образцов для испытаний на сжатие (серия ВА0) из штукатурки ВОЛМА-Аквапласт.** В емкость из расчета на 1 кг смеси добавляют 0,2 л дистиллированной воды (затравочная вода), далее добавляют соответствующее количество сухой смеси штукатурки. Замешивают раствор строительным миксером (в течение 5...8 мин) для достижения однородной пластичной массы без комков, выдерживают рекомендуемую производителем технологическую паузу 3...5 мин для «созревания» растворной смеси, после чего перемешивают смесь повторно. Затем для испытания бетона на сжатие изготавливаются образцы в виде кубов с помощью трехгнездовой формы ЗФК-70 (70,7×70,7×70,7 мм). При этом применяется одновременно до 10 форм, позволяющих получать до 30 образцов для испытания на прочность по программе через 1, 3, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 и 56 суток нормального твердения. После проведения операций замеса бетонной смеси и укладки формы поочередно устанавливаются на вибропривод ВП-30Т для удаления вовлеченного воздуха в процессе замеса. Затем формы помещаются в «первичную» камеру твердения, в которой устанавливается температурный режим (25±0,1) °С при влажности 60 %. После суточного отверждения образцы извлекались из формы, производился их осмотр на предмет видимого брака (трещин, раковин, сколов), их числовая маркировка, взвешивание с занесением результатов в таблицу. Затем три образца подвергались испытанию на сжатие (пресс GP 100). Оставшиеся образцы помещались во «вторичную» камеру нормального твердения, в которой устанавливался тепловой режим (20±0,1) °С при влажности (95±5) %, из которой по программе испытаний проводился отбор по три образца, которые взвешивались, осматривались на предмет образования трещин, затем они подвергались испытанию на сжатие.

**Приготовление модифицированных углеродными нанобъектами образцов для испытания на сжатие (серия ВА1.1) из штукатурки ВОЛМА-Аквапласт.** Приготовление образцов серии ВА1 отличается от приготовления контрольных образцов серии ВА0 дополнительными технологическими операциями. В дистиллированную воду объемом 0,25 л добавляли 0,1 г углеродных нанотрубок (из расчета 0,1 г на 1 кг сухой смеси штукатурки) и катионные ПАВ (из расчета 0,1 г ПАВ на 1 грамм УН). Полученная смесь подвергалась кавитационному воздействию в ультразвуковой ванне в течение 10 мин. В полученную взвесь дополнительно добавляли дистиллированную воду из расчета 0,2 л на 1 кг смеси. Дальнейшие технологические операции по подготовке и испытанию производили по программе приготовления контрольных образцов серии ВА0.

**Приготовление модифицированных углеродными нанобъектами образцов для испытания на сжатие (серии ВА1.2, ВА1.3) из штукатурки ВОЛМА-Аквапласт.** Приготовление образцов серий ВА1.2, ВА1.3 отличается от

приготовления образцов серии ВА1.1 тем, что в дистиллированную воду объемом 0,25 л добавляли 1 и 10 г УН (из расчета 1 и 10 г на 1 кг сухой смеси штукатурки) соответственно. Дальнейшие технологические операции по подготовке и испытанию производили по сокращенной программе в виде уменьшения контрольных точек испытания на прочность после 3, 7, 14, 28, 42 и 56 суток нормального твердения.

**Приготовление модифицированных оксид-марганцевыми нанообъектами образцов для испытания на сжатие (серия ВА2.1) из штукатурки ВОЛМА-Аквапласт.** Приготовление образцов серии ВА2.1 отличается от приготовления контрольных образцов серии ВА0 дополнительными технологическими операциями. В дистиллированную воду объемом 0,25 л добавляли 0,1 г оксид-марганцевых нанообъектов (из расчета 0,1 г на 1 кг сухой смеси штукатурки) и катионные ПАВ (из расчета 0,1 г ПАВ на 1 г ОМН) и производили кавитационное воздействие в ультразвуковой ванне в течение 10 мин. В полученную взвесь дополнительно добавляли дистиллированную воду из расчета 0,2 л на 1 кг смеси. Дальнейшие технологические операции по подготовке и испытанию производили по программе приготовления контрольных образцов серии ВА0.

**Приготовление модифицированных оксид-марганцевыми нанообъектами образцов для испытания на сжатие (серии ВА2.2, ВА2.3) из штукатурки ВОЛМА-Аквапласт.** Приготовление образцов серии ВА2.2, ВА2.3 отличается от приготовления образцов серии ВА2.1 тем, что в дистиллированную воду объемом 0,25 л добавляли 1 и 10 г ОМН (из расчета 1 и 10 г на 1 кг сухой смеси штукатурки) соответственно. Дальнейшие технологические операции по подготовке и испытанию производили по сокращенной программе в виде уменьшения контрольных точек испытания на прочность после 3, 7, 14, 28, 42 и 56 суток нормального твердения.

**Приготовление контрольных образцов для испытания на сжатие (серия ПЦ0) из белого портландцемента М400-Д0.** Приготовление образцов серии ПЦ0 отличается от приготовления образцов серии ВА0 тем, что на 1 кг портландцемента использовали 0,3 л затравочной воды.

**Приготовление модифицированных нанообъектами образцов для испытания на сжатие (серии ПЦ1.1, ПЦ1.2, ПЦ1.3, ПЦ2.1, ПЦ2.2 и ПЦ2.3) из белого портландцемента М400-Д0.** Приготовление образцов серий ПЦ1.1, ПЦ1.2, ПЦ1.3, ПЦ2.1, ПЦ2.2 и ПЦ2.3 отличается от приготовления образцов серий ВА1.1, ВА1.2, ВА1.3, ВА2.1, ВА2.2, ВА2.3 соответственно тем, что вместо сухой смеси штукатурки используется портландцемент, а вместо 0,25 л воды для диспергирования в ультразвуковой ванне используется дистиллированная вода объемом 0,5 л.

**Приготовление контрольных образцов для испытания на теплопроводность (серия ВА\_Термо0) из штукатурки ВОЛМА-Аквапласт.** Приготовление образцов серии ВА\_Термо0 отличается от приготовления контрольных образцов серии ВА0 тем, что использовались три формы для заливки размером 250×250×10 мм. Также отличается программа проведения и методика испытания: три образца подвергались испытанию на теплопроводность (ИТП-МГ4 «250»); взвешивание образцов производилось до и после испытания, результаты заносились в протокол испытаний. Испытание на теплопроводность производили по методикам, описанным в [9, 10].

**Приготовление модифицированных нанообъектами образцов для испытания на теплопроводность (серии ВА\_Термо1.1, ВА\_Термо1.2, ВА\_Термо1.3, ВА\_Термо2.1, ВА\_Термо2.2 и ВА\_Термо2.3) из штукатурки ВОЛМА-Аквапласт.** Операции приготовления образцов серий ВА\_Термо1.1, ВА\_Термо1.2,

ВА\_Термо1.3, ВА\_Термо2.1, ВА\_Термо2.2 и ВА\_Термо2.3 идентичны приготовлению образцов серий ВА1.1, ВА1.2, ВА1.3, ВА2.1, ВА2.2, ВА2.3. Программа проведения и методики испытаний образцов серий ВА\_Термо1.1, ВА\_Термо1.2, ВА\_Термо1.3, ВА\_Термо2.1, ВА\_Термо2.2 и ВА\_Термо2.3 идентична программе проведения и методики испытаний серии ВА\_Термо0.

**Приготовление контрольных образцов для испытания на теплопроводность (серия ПЦ\_Термо0) из белого портландцемента М400-Д0:** Приготовление образцов серии ПЦ\_Термо0 отличается от приготовления контрольных образцов серии ВА\_Термо0 тем, что вместо сухой смеси штукатурки используется портландцемент, а также вместо 0,25 л воды для диспергирования в ультразвуковой ванне используется дистиллированная вода объемом 0,5 л.

**Приготовление модифицированных нанообъектами образцов для испытания на теплопроводность (серии ПЦ\_Термо1.1, ПЦ\_Термо1.2, ПЦ\_Термо1.3, ПЦ\_Термо2.1, ПЦ\_Термо2.2 и ПЦ\_Термо2.3) из белого портландцемента М400-Д0.** Операции приготовления образцов серий ПЦ\_Термо1.1, ПЦ\_Термо1.2, ПЦ\_Термо1.3, ПЦ\_Термо2.1, ПЦ\_Термо2.2 и ПЦ\_Термо2.3 идентичны приготовлению образцов серий ПЦ1.1, ПЦ1.2, ПЦ1.3, ПЦ2.1, ПЦ2.2 и ПЦ2.3. Программа проведения и методики испытаний образцов серий ПЦ\_Термо1.1, ПЦ\_Термо1.2, ПЦ\_Термо1.3, ПЦ\_Термо2.1, ПЦ\_Термо2.2 и ПЦ\_Термо2.3 идентична программе проведения и методики испытаний серии ВА\_Термо0.

**Приготовление контрольных образцов для испытания адгезии к стали покрытия из жидкой теплоизоляции Астратек по силе отрыва (серия А0).** К стальной пластине приклеивают пять стальных грибков диаметром 20 мм, используя в качестве клея жидкую теплоизоляцию Астратек (в объеме, позволяющем получить среднюю толщину высохшего слоя теплоизоляции Астратек  $(0,5 \pm 0,05)$  мм). Полученные образцы сушились при температуре 20 °С в течение 24 ч. Испытание на отрыв проводили по ГОСТ 28574–90.

**Приготовление наномодифицированных образцов для испытания адгезии к стали покрытия из жидкой теплоизоляции Астратек по силе отрыва (серии А\_УНТ1.1, А\_УНТ1.2, А\_УНТ1.3 и А\_ОМН1.1, А\_ОМН1.2, А\_ОМН1.3).** Подготовка к испытанию образцов серий А\_УНТ1.1, А\_УНТ1.2, А\_УНТ1.3 и А\_ОМН1.1, А\_ОМН1.2, А\_ОМН1.3 отличается от подготовки к испытанию образцов серии А0 дополнительными предварительными операциями. В качестве клея при подготовке образцов серий А\_УНТ1.1, А\_УНТ1.2, А\_УНТ1.3 и А\_ОМН1.1, А\_ОМН1.2, А\_ОМН1.3 используется жидкая теплоизоляция Астратек с добавками УНТ и ОМН в количестве соответственно 0,1; 1 и 10 % от веса жидкой теплоизоляции Астратек.

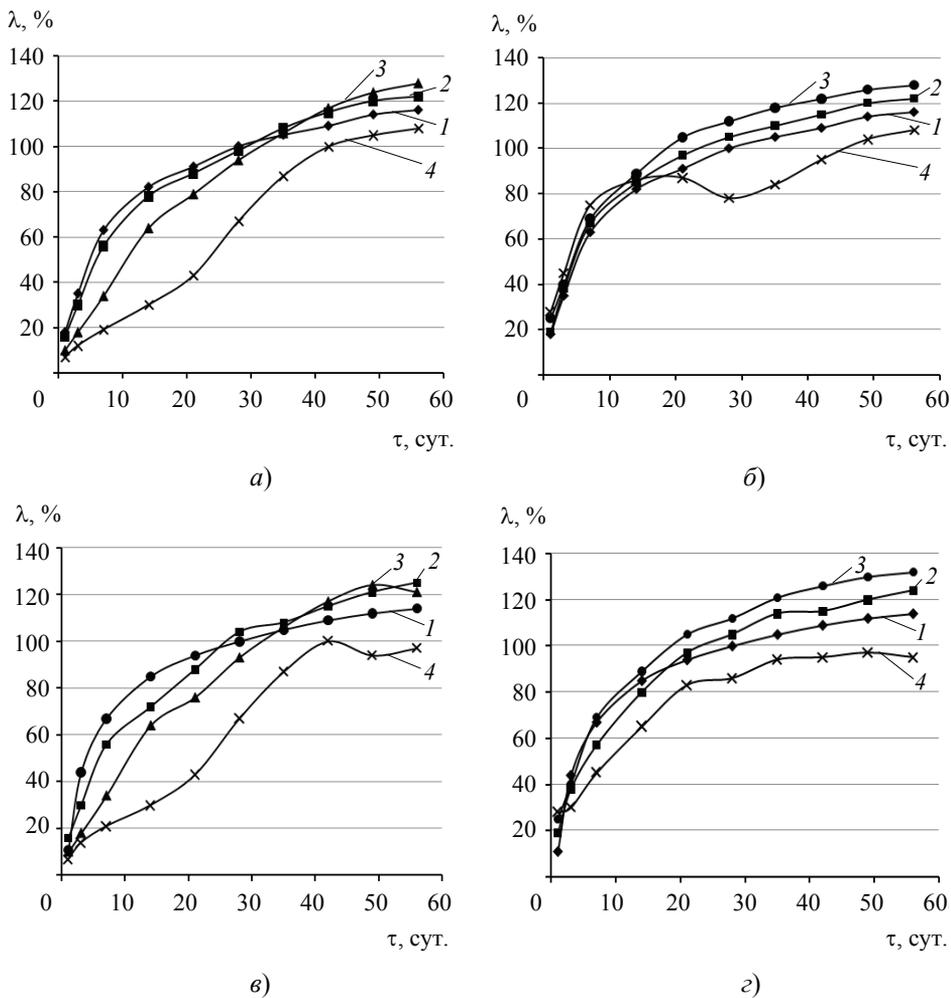
**Приготовление контрольных образцов для испытания адгезии к стали покрытия из жидкой теплоизоляции Корунд по силе отрыва (серия К0).** Приготовление образцов серии К0 отличается от приготовления контрольных образцов серии А0 тем, что в качестве клея вместо жидкой теплоизоляции Астратек используется жидкая теплоизоляция Корунд.

**Приготовление наномодифицированных образцов для испытания адгезии к стали покрытия из жидкой теплоизоляции Корунд по силе отрыва (серии К\_УНТ1.1, К\_УНТ1.2, К\_УНТ1.3 и К\_ОМН1.1, К\_ОМН1.2, К\_ОМН1.3).** Приготовление образцов серий К\_УНТ1.1, К\_УНТ1.2, К\_УНТ1.3 и К\_ОМН1.1, К\_ОМН1.2, К\_ОМН1.3 отличается от приготовления образцов серий А\_УНТ1.1, А\_УНТ1.2, А\_УНТ1.3 и А\_ОМН1.1, А\_ОМН1.2, А\_ОМН1.3 тем, что в качестве клея вместо жидкой теплоизоляции Астратек используется жидкая теплоизоляция Корунд.

Определение теплофизических параметров наномодифицированных образцов жидкой теплоизоляции Астратек (серии А\_Термо\_УНТ1.1, А\_Термо\_УНТ1.2, А\_Термо\_УНТ1.3 и А\_Термо\_ОМН1.1, А\_Термо\_ОМН1.2, А\_Термо\_ОМН1.3) и Корунд (серии К\_Термо\_УНТ1.1, К\_Термо\_УНТ1.2, К\_Термо\_УНТ1.3 и К\_Термо\_ОМН1.1, К\_Термо\_ОМН1.2, К\_Термо\_ОМН1.3) производилось по методикам, описанным в [11].

### Экспериментальные результаты и их обсуждение

Экспериментальные результаты испытаний бетонных образцов на сжатие серий ВА1.1, ВА1.2, ВА1.3 и серий ВА2.1, ВА2.2, ВА2.3 с контрольной серией ВА0, а также серий ПЦ1.1, ПЦ1.2, ПЦ1.3 и серий ПЦ2.1, ПЦ2.2, ПЦ2.3 с контрольной серией ПЦ0 представлены на рисунке.



**Влияние добавок углеродных нанотрубок (а, в) и оксид-марганцевых нанообъектов (б, г) на прочность  $\lambda$  бетонов на основе штукатурки (а, б) и портландцемента (в, г):**

*а:* 1 – ВА0; 2 – ВА1.1; 3 – ВА1.2, 4 – ВА1.3;

*б:* 1 – ВА0; 2 – ВА2.1; 3 – ВА2.2, 4 – ВА2.3;

*в:* 1 – ПЦ0; 2 – ПЦ1.1; 3 – ПЦ1.2; 4 – ПЦ1.3;

*г:* 1 – ПЦ0; 2 – ПЦ2.1; 3 – ПЦ2.2; 4 – ПЦ2.3

На рисунке *a* показана зависимость набора прочности  $\lambda$  бетона на основе штукатурки с течением времени  $\tau$  от процентного содержания УНМ. При концентрации УНМ 0,01 % (кривая ВА1.1) наблюдается уменьшение значений прочности по сравнению с контрольными образцами (кривая ВА0) в первые 28 суток нормального твердения. На 35 сутки и вплоть до 56 суток происходит набор прочности бетона, превышающей значения контрольных образцов. При концентрации УНМ 0,1 % (кривая ВА1.2) наблюдается уменьшение значений прочности по сравнению с контрольными образцами в первые 35 суток нормального твердения, на 42 сутки происходит набор прочности, превышающей значения прочности контрольных образцов, а на 49 и 56 сутки значения прочности образцов ВА1.2 превышают значения прочности образцов серии ВА1.1, что связано с увеличением влагоудержания в твердеющем бетоне (за счет абсорбции свободной воды на поверхности углеродных нанотрубок), которое приводит к улучшенному дозреванию бетона на поздних стадиях твердения. При концентрации УНМ 1 % (кривая ВА1.3) значение прочности значительно меньше контрольной серии ВА0, а также появляется провал в интервале 14–28 суток, что, по-видимому, связано с увеличением влагоудержания в твердеющем бетоне, которое приводит к локальным переупрочнениям и пустотам, что негативно сказывается на общей прочности бетона и, предположительно, должно приводить к увеличению морозостойкости.

На рисунке *б* показана зависимость набора прочности  $\lambda$  бетона на основе штукатурки с течением времени  $\tau$  от процентного содержания ОМН. При концентрации ОМН 0,01 % (кривая ВА2.1) наблюдается увеличение значений прочности по сравнению с контрольными образцами. При концентрации ОМН 0,1 % (кривая ВА2.2) наблюдается увеличение значений прочности по сравнению с контрольными образцами и образцами серии ВА2.1, что, по-видимому, связано с увеличением количества образованных центров кристаллизации при начальном отверждении цементного теста. При концентрации ОМН 1 % (кривая ВА2.3) наблюдается увеличение значений прочности по сравнению с контрольными образцами и образцами серий ВА2.1 и ВА2.2 вплоть до 14 суток нормального твердения, после чего происходит замедление роста прочности и наблюдается провал на 28 сутки нормального твердения. Подобные закономерности можно объяснить локальными переупрочнениями в виде многочисленных кристаллов цемента, образовавшихся на центрах кристаллизации. Добор прочности бетона вплоть до 56 суток связан с дальнейшим ростом и слиянием кристаллов цементного камня.

На рисунке *в* показана зависимость набора прочности  $\lambda$  бетона на основе портландцемента с течением времени  $\tau$  от процентного содержания УНМ. При концентрации УНМ 0,01 % (кривая ПЦ1.1) наблюдается уменьшение значений прочности по сравнению с контрольными образцами в первые 21 сутки нормального твердения, на 28 сутки и вплоть до 56 суток происходит набор прочности, превышающей значения контрольных образцов. При концентрации УНМ 0,1 % (кривая ПЦ1.2) наблюдается уменьшение значений прочности бетона по сравнению с контрольными образцами в первые 21 сутки нормального твердения, на 35 сутки происходит набор прочности, превышающей значения контрольных образцов, а на 49 сутки значения прочности образцов ПЦ1.2 превышают значения прочности образцов серии ПЦ1.1, что связано с увеличением влагоудержания в твердеющем бетоне. Следует отметить, что на 56 сутки твердения замечено снижение прочности бетона, что, по-видимому, связано с локальным образованием пустот на месте включений углеродных нанотрубок. При концентрации УНМ 1 % (кривая ПЦ1.3) значение прочности значительно меньше контрольной серии ПЦ0, а также проявлены провалы на 21 и 49 сутки, что связано с увеличением влагоудержания в твердеющем бетоне, которое приводит к локальным переупрочнениям и пустотам, что негативно сказывается на общей прочности бетона и, предположительно, должно приводить к увеличению морозостойкости.

На рисунке 2 показана зависимость набора прочности  $\lambda$  бетона на основе портландцемента с течением времени  $\tau$  от процентного содержания ОМН. При концентрации ОМН 0,01 % (кривая ПЦ2.1) с 21 по 56 сутки нормального твердения наблюдается увеличение значений прочности по сравнению с контрольными образцами. При концентрации 0,1 % (кривая ПЦ2.2) наблюдается увеличение значений прочности по сравнению с контрольными образцами и образцами серии ПЦ2.1, что связано с увеличением количества образований центров кристаллизации при начальном отверждении. При концентрации ОМН 1 % (кривая ПЦ2.3) наблюдается уменьшение значений прочности по сравнению с контрольными образцами, что связано с локальными переупрочнениями в виде многочисленных кристаллов цемента и образовавшихся рядом с ними дефектов в виде пустот. Далее с 35 до 56 суток нормального твердения происходит замедление набора прочности, что, по-видимому, связано с равновесием роста кристаллов и образованием дефектов в виде пустот.

Исследования влияния УНТ и ОМН на значения теплопроводности бетона представлены в табл. 1. Полученные значения увеличения теплопроводности наномодифицированного бетона объясняются повышенным влагоудержанием в твердеющем бетоне на поверхности нанобъектов на первых стадиях твердения бетона, а на последующих стадиях твердения в виде образования «мостиков» из наноразмерных объектов лучше проводящих тепло, чем кристаллы цемента и другие наполнители бетона.

В таблице 2 полученные значения адгезии жидкой теплоизоляции Астратек и Корунд к стальной поверхности показывают увеличение адгезии при процентном содержании наноразмерных частиц 0,1 и 1 % (что объясняется увеличением

Таблица 1

**Теплопроводность бетонных образцов, Вт/(м·°С)**

| Сутки | ВА_Термо<br>0 | ВА_Термо<br>1.1 | ВА_Термо<br>1.2 | ВА_Термо<br>1.3 | ВА_Термо<br>2.1 | ВА_Термо<br>2.2 | ВА_Термо<br>2.3 |
|-------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 3     | 0,84          | 0,97            | 1,16            | 1,53            | 0,82            | 0,93            | 1,21            |
| 7     | 0,72          | 0,88            | 1,14            | 1,48            | 0,76            | 0,92            | 1,17            |
| 14    | 0,61          | 0,76            | 1,05            | 1,42            | 0,65            | 0,87            | 1,14            |
| 21    | 0,56          | 0,74            | 0,96            | 1,38            | 0,62            | 0,82            | 1,06            |
| 28    | 0,52          | 0,72            | 0,88            | 1,35            | 0,57            | 0,76            | 0,94            |
| 35    | 0,51          | 0,68            | 0,82            | 1,32            | 0,54            | 0,72            | 0,91            |
| 42    | 0,49          | 0,63            | 0,78            | 1,25            | 0,52            | 0,68            | 0,86            |
| 49    | 0,48          | 0,57            | 0,75            | 1,14            | 0,51            | 0,64            | 0,85            |
| 56    | 0,48          | 0,51            | 0,72            | 1,12            | 0,51            | 0,62            | 0,82            |
| Сутки | ПЦ_Термо<br>0 | ПЦ_Термо<br>1.1 | ПЦ_Термо<br>1.2 | ПЦ_Термо<br>1.3 | ПЦ_Термо<br>2.1 | ПЦ_Термо<br>2.2 | ПЦ_Термо<br>2.3 |
| 3     | 1,74          | 1,82            | 1,85            | 1,92            | 1,83            | 1,92            | 2,25            |
| 7     | 1,62          | 1,68            | 1,73            | 1,86            | 1,78            | 1,87            | 1,97            |
| 14    | 1,47          | 1,52            | 1,57            | 1,64            | 1,75            | 1,55            | 1,82            |
| 21    | 1,31          | 1,38            | 1,41            | 1,56            | 1,45            | 1,48            | 1,62            |
| 28    | 1,26          | 1,32            | 1,36            | 1,47            | 1,41            | 1,42            | 1,54            |
| 35    | 1,24          | 1,25            | 1,32            | 1,41            | 1,37            | 1,38            | 1,48            |
| 42    | 1,18          | 1,22            | 1,24            | 1,38            | 1,32            | 1,33            | 1,46            |
| 49    | 1,16          | 1,18            | 1,17            | 1,36            | 1,28            | 1,19            | 1,45            |
| 56    | 1,12          | 1,14            | 1,16            | 1,32            | 1,12            | 1,14            | 1,43            |

Таблица 2

**Результаты испытания адгезии к стали наномодифицированной жидкой теплоизоляции Астратек и Корунд по силе отрыва, МПа**

|      |          |          |          |          |          |          |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| A0   | A_УНТ1.1 | A_УНТ1.2 | A_УНТ1.3 | A_ОМН1.1 | A_ОМН1.2 | A_ОМН1.3 |
| 0,84 | 1,12     | 0,96     | 0,48     | 0,92     | 0,81     | 0,38     |
| K0   | K_УНТ1.1 | K_УНТ1.2 | K_УНТ1.3 | K_ОМН1.1 | K_ОМН1.2 | K_ОМН1.3 |
| 1,24 | 1,37     | 1,28     | 0,53     | 1,32     | 0,93     | 0,41     |

Таблица 3

**Теплопроводность наномодифицированной жидкой теплоизоляции Астратек и Корунд, Вт/(м·°С)**

|              |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| A_Термо<br>0 | A_Термо<br>УНТ1.1 | A_Термо<br>УНТ1.2 | A_Термо<br>УНТ1.3 | A_Термо<br>ОМН1.1 | A_Термо<br>ОМН1.2 | A_Термо<br>ОМН1.3 |
| 0,025        | 0,025             | 0,032             | 0,47              | 0,027             | 0,043             | 0,59              |
| K_Термо<br>0 | K_Термо<br>УНТ1.1 | K_Термо<br>УНТ1.2 | K_Термо<br>УНТ1.3 | K_Термо<br>ОМН1.1 | K_Термо<br>ОМН1.2 | K_Термо<br>ОМН1.3 |
| 0,001        | 0,001             | 0,002             | 0,42              | 0,001             | 0,003             | 0,57              |

удельной поверхностной площади контакта жидкой теплоизоляции и стальной поверхности), при содержании наноразмерных частиц 10 % происходит обратный эффект в виде уменьшения адгезии, что объясняется увеличением жесткости и хрупкости затвердевшего акрилового наполнителя под воздействием наноразмерных частиц. По-видимому, наноразмерные частицы также играют роль разделителя поверхности стали и акрила, что приводит к уменьшению площади контакта.

Как следует из таблицы 3, введение в жидкую теплоизоляцию Астратек и Корунд 0,1 и 1 % наноразмерных частиц незначительно увеличивает их теплопроводность. При содержании наноразмерных частиц 10 % значение теплопроводности теплоизоляции значительно увеличивается, что объясняется большим вкладом в теплопроводность наноразмерных частиц при их равномерном распределении в объеме затвердевшей жидкой теплоизоляции.

### Заключение

Установлено, что при введении наноразмерных добавок непосредственно в сухую цементную смесь влияние их на конечные свойства бетона незначительны. Показано, что для проявления специфических свойств наноразмерных добавок необходимо их предварительная подготовка, а именно ультразвуковое диспергирование наноразмерных частиц (УНМ и ОМН) в воде с ПАВ и добавление полученной суспензии в затравочную воду.

Выявлены взаимосвязи теплопроводности и прочности затвердевшего бетона от природы входящих в ее состав наноразмерных частиц, которые позволили про-

известии рациональный выбор наноразмерных добавок и их концентрации для получения улучшенных прочностных и теплозащитных свойств строительных смесей.

Проведены экспериментальные исследования адгезии наномодифицированной жидкой теплоизоляции к стали, показано влияние процентного содержания наноразмерных добавок на величину адгезии и теплопроводности, позволяющие сделать вывод о том, что процентное содержание наноразмерных добавок от 0,1 до 1 % приводит к увеличению адгезии и незначительному увеличению теплопроводности, при дальнейшем увеличении концентрации наноразмерных добавок к жидкой теплоизоляции происходит уменьшение адгезии и увеличение теплопроводности.

По результатам экспериментов показана практическая трудность достижения улучшения сразу двух основных параметров строительных материалов, таких как прочность и теплопроводность, так как прочность бетона обусловлена его кристаллической структурой, а меньшая теплопроводность проявляется при аморфном строении веществ. Таким образом, для уменьшения теплопроводности наномодифицированного бетона при сохранении величины прочности обычного бетона возможно введение в него дополнительных аморфных заполнителей.

*Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (грант № 12-08-90818-мол\_рф\_нр).*

#### *Список литературы*

1. Изотов, В.С. Химические добавки для модификации бетона : монография / В.С. Изотов, Ю.А. Соколова. – М. : Палеотип, 2006. – 244 с.
2. Коротких, Д.Н. О требованиях к наномодифицирующим добавкам для высокопрочных цементных бетонов / Д.Н. Коротких, О.В. Артамонова, Е.М. Чернышов // Технологии бетонов. – 2009. – № 9-10. – С. 86–88.
3. Пономарев, А.Н. Высококачественные бетоны. Анализ возможностей и практика использования методов нанотехнологии / А.Н. Пономарев // Инженер.-строит. журн. – 2009. – № 6. – С. 25–31.
4. Влияние химических добавок на основе олигомеров  $\epsilon$ -капролактама на прочностные свойства бетонных смесей / В.С. Поляков [и др.] // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер. Политематическая. – 2011. – Вып. 3(17). – Режим доступа : <http://vestnik.vgasu.ru/?source=4&articleno=644>. – Загл. с экрана.
5. Образцов, Д.В. Методика получения и исследование углеродных наноструктур с развитой поверхностью / Д.В. Образцов, В.П. Шелохвостов // Качество науки – качество жизни : 3-я Междунар. науч.-практ. конф., Тамбов, 26–27 февр. 2007 г : сб. науч. ст. / Тамб. гос. техн. ун-т. – С. 125–126.
6. Образцов, Д.В. Исследование продуктов пиролитического синтеза углеродных материалов / Д.В. Образцов, Х.Х. Саламех, В.П. Шелохвостов, М. В. Макачук // Вестн. Тамб. ун-та. Сер. Естеств. и техн. науки. – 2010. – Т. 15, вып. 1. – С. 238–239.
7. Образцов, Д.В. Исследование на дериватографе процесса отжига углеродного наноматериала / Д.В. Образцов, В.П. Шелохвостов // Современ. наукоемкие технологии. – № 10. – 2007. – С. 88–89.
8. Синтез оксид-марганцевых нанообъектов в низкотемпературной плазме / Д.В. Образцов [и др.] // Вопр. современ. науки и практики. Ун-т им. В.И. Вернадского. – 2007. – № 2(8). – С. 187–192.

9. Фокин, В.М. Теоретические основы определения теплопроводности, объемной теплоемкости и температуропроводности материалов по тепловым измерениям на поверхности методом неразрушающего контроля / В.М. Фокин // Вестн. Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер. Стр-во и архитектура. – 2009. – Вып. 14 (33). – С. 123–127.

10. Фокин, В.М. Методика определения коэффициентов теплопроводности, теплоусвоения, тепловой инерции, температуропроводности и объемной теплоемкости строительных и теплоизоляционных материалов методом неразрушающего контроля / В.М. Фокин // Вестн. Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер. Стр-во и архитектура. – 2010. – Вып. 19 (38). – С. 112–117.

11. Определение теплопроводности и термического сопротивления изоляционного материала Астратек / В.М. Фокин [и др.] // Малоэтажное строительство в рамках национального проекта «доступное и комфортное жилье – гражданам России»: технологии и материалы, проблемы и перспективы развития в Волгоградской области : материалы Междунар. науч.-практ. конф., 15–16 дек. 2009 г. / Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. [и др.]. – Волгоград, 2009. – С. 321–322.

---

## Study of Strength and Thermal Physical Properties of Nanomodified Construction and Thermal Insulating Materials

D.V. Obraztsov<sup>1</sup>, V.M. Fokin<sup>2</sup>

*Departments: “Criminal Law and Applied Computing in Jurisprudence”,  
TSTU (1); odvru@rambler.ru; “Energy supply and Thermal Engineering”,  
Volograd State University of Architecture and Civil Engineering, Volograd (2)*

**Key words and phrases:** construction materials; heat absorption; heat-proof materials; nanomodified materials; thermal conductivity; thermal insulation; thermal physical properties; volumetric heat capacity.

**Abstract:** The problem of increasing the strength and reducing the thermal conductivity of construction materials and thermal insulating materials by introducing nanosized particles into their structure. It is shown that the high-volume introduction of nanosized particles in construction and insulating materials during the manufacture of these products can increase their strength and thermal insulating properties. Carbon nanotubes and nanosized particles of manganese oxide have been proposed as nanosized additives.

---

## Untersuchung der Festigkeits- und Wärmepysikalischeigenschaften der nanomodifizierten Bau- und Wärmeschutzmaterialien

**Zusammenfassung:** Es ist die Aufgabe der Vergrößerung der Haltbarkeit und der Verkleinerung der Wärmeleitfähigkeit der Bau- und Wärmeschutzmaterialien mittels der Einleitung in ihre Struktur der Nanomessteilchen betrachtet. Es ist vorgeführt, dass die räumliche Eintragung der Nanomessteilchen in die Bau- und Wärmeschutzmaterialien in der Produktionsstufe von ihnen der Erzeugnisse fähig ist, ihre Festigkeits- und Wärmeschutzcharakteristiken zu vergrössern. Als Nanomesszusätze sind die Kohlenstoffnanoröhre und die Nanomessteilchen des Oxids des Mangans angeboten.

## **Etude des propriétés thermophysiques et celles de solidité des matériaux nanomodifiés de construction et de protection thermique**

**Résumé:** Est examiné le problème de l'augmentation de la solidité et de la diminution de la conductibilité thermique des matériaux de construction et de protection thermique par la voie de l'introduction dans leur structure des particules nanodimensionnelles. Est montré que l'introduction volumineuse des particules nanodimensionnelles dans les matériaux de construction et de protection thermique à l'étape de la fabrication des articles permet d'augmenter leurs caractéristiques de solidité et de protection thermique. En qualité de l'addition nanodimensionnelle sont proposés les nanotubes carbonés et les particules nanodimensionnelles de l'oxyde de manganèse.

---

**Авторы:** *Образцов Денис Владимирович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Уголовное право и прикладная информатика в юриспруденции», ФГБОУ ВПО «ТГТУ»; *Фокин Владимир Михайлович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Энергоснабжение и теплотехника», ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет», г. Волгоград.

**Рецензент:** *Ярцев Виктор Петрович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Конструкции зданий и сооружений», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

---