

УДК 693.620

## ВЛИЯНИЕ НАНОРАЗМЕРНОГО МОДИФИКАТОРА НА ПРОЧНОСТЬ ЦЕМЕНТНОГО КОМПОЗИТА

С. Ю. Петрунин, асп., Л. В. Закревская, к. т. н. доц.,  
В. Е. Ваганов, к. т. н. вед. спец. УНИД

*Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых.*

Проблема энергосбережения в строительстве, в соответствии с требованиями СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий», определила интенсивное направление по созданию и производству дешевых материалов и конструкций с высокими теплофизическими свойствами. Ее решение основывается на производстве теплоизоляционных материалов с минимальными энергозатратами [1].

Одним из таких материалов является газобетон на основе цементного вяжущего. Недостатками такого бетона являются: низкая прочность, автоклавный способ получения изделий на его основе.

Решением данной проблемы может послужить применение существующих нанотехнологий и наноматериалов для создания наномодификаторов, использование которых позволит в значительной степени повысить физико-механические качества, увеличить эксплуатационный период изделий из ячеистого бетона [2].

Из анализа технической литературы для реализации поставленных целей авторы [3] использовали нанокристаллический поризатор, представляющий собой активированный алюминий в оболочке ПАВ.

Как показали результаты исследований, такой бетон обладает однородной структурой, характеризующейся наличием равномерно распределенных замкнутых полидисперсных пор. Нанокристаллический поризатор показал более стабильное газовыделение. Таким образом, нанокристаллический поризатор в силу полидисперсности приводит к более равномерному газовыделению в течении длительного времени. Такое газовыделение не нарушает пористую структуру и уплотняет межпоровые перегородки, смещая частицы вяжущего к уже сформировавшимся порам.

Авторы работы [4] использовали многослойные углеродные нанотрубки поверхность которых была обработана сурфоктантом (ПАВ) соли лингосульфоната для модификации неавтоклавного пенобетона с целью улучшения его физико – механических свойств.

Так добавка многослойных углеродных нанотрубок в количестве 0,05% от общей массы смеси приводит к снижению плотности образца с 330 кг/м<sup>3</sup> до 309 кг/м<sup>3</sup>, в то время как прочность на сжатие увеличивается на 70 % по сравнению с эталонным образцом. Теплопроводность модифицированного образца снижается на 20%.

Однородность по размеру пор наблюдается в образцах с добавкой УНТ, в то время как в образцах без добавки УНТ происходит объединение отдельных пор в более крупные, что приводит к повышению теплопроводности и ухудшению основных физико-механических характеристик пенобетона.

В работе [5] изучается влияние металл-углеродных нанокompозитов на физико-механические свойства ячеистого бетона. Тип металла определяет морфологию наноструктур, и как следствие, их поведение в изменяющейся среде бетона. Для модификации ячеистых бетонов использовались суспензии на основе медь- и железосодержащих наноструктур. Наноструктуры на основе железа и меди получали путем низкотемпературного синтеза в нанореакторах полимерных матриц поливинилхлорида и поливинилхлоридового спирта соответственно. Металл содержащие нанокompозиты были получены на поливинилхлоридовых спиртах, отличающиеся соотношением гидроксильных и ацетатных групп. Для получения стабильных дисперсных систем с металлсодержащими нанокompозитами авторы использовали поверхностно активные вещества.

Результаты испытаний на сжатие образцов ячеистого бетона модифицированных металлсодержащими нанокompозитами показывает, что наибольший прирост прочности в возрасте одних суток по сравнению с эталоном наблюдается у образца ячеистого бетона с добавкой медь содержащего нанокompозита при концентрации 0,001%, полученного в нанореакторе на поливинилхлоридном спирте с 16 гидроксильными и 1 ацетатной группой и составляет 35%. На 28 день прирост прочности у этого же образца составил 70% по сравнению с эталоном.

В работах [6-7] говорится, что при введение 0,001-0,3% от массы сухого вяжущего, достигается повышение прочности и морозостойкости ячеистого бетона.

Основными проблемами применения наномодификаторов в производстве ячеистого бетона являются: сохранение реакционной способности и химических свойств наномодификатора в процессе производства строительного композита, равномерное распределение их по всему объему материала.

Целью работы является изучение влияния добавки многослойных углеродных нанотрубок (УНТ) на структуру и физико-механические свойства газобетона.

УНТ, используемые для модифицирования образцов газобетона, были получены на базе Владимирского государственного университета в «Центре углеродных наноматериалов» способом каталитического пиролиза углеводородов.

Продуктами пиролиза могут быть слои аморфного углерода вокруг частиц катализатора, углеродные волокна, многослойные нанотрубки. Свойства и структура получаемого продукта представлена в таблице 1 и на рисунке 1 соответственно.

Таблица 1

Свойства УНТ

Количество слоев	Не более 30
Длина	$\geq 2$ микрон
Диаметр	10-60 нм
Чистота	95%
Насыпная плотность	560 кг/м <sup>3</sup>
Удельная поверхность	120м <sup>2</sup> /гр

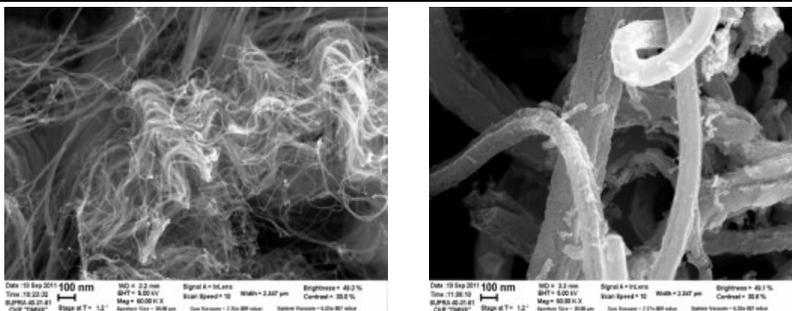


Рис. 1. Изображения электронной сканирующей микроскопии УНС.

Образцы газобетона были изготовлены по стандартной рецептуре. Предварительно порошок УНТ смешивался с дистиллированной водой с добавкой поверхностно-активного вещества. Полученная смесь в дальнейшем помещалась в ультразвуковую установку ИЛ 100-6 для диспергирования УНТ. Полученную суспензию добавляли в воду затворения газобетона. Содержание наномодификатора варьировалось от 0,0005% до 0,05% от массы сухого вяжущего.

Полученные образцы испытывались на сжатие. Испытания проводились в соответствии с ГОСТ 10189-90 на разрывной машине WDW-100 Е класс 1. Результаты испытаний представлены в виде диаграммы рисунок 2.

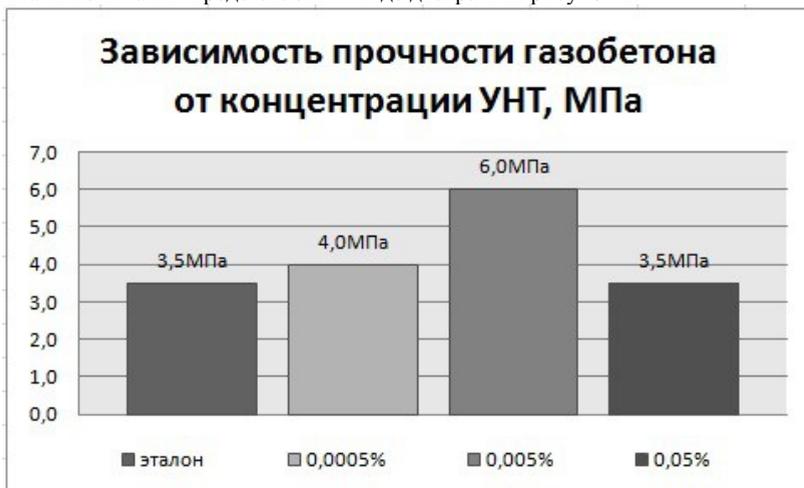


Рис. 2. Диаграмма зависимости прочности газобетона в зависимости от количества вводимого наномодификатора.

После проведения испытаний на сжатие были отобраны образцы из каждой партии для изучения морфологии и микроструктуры. Исследования про-

водились на растровом электронном микроскопе QUANTA 200 3D и электронном сканирующем микроскопе JEOL JSM 6490 LV (рисунок 3)

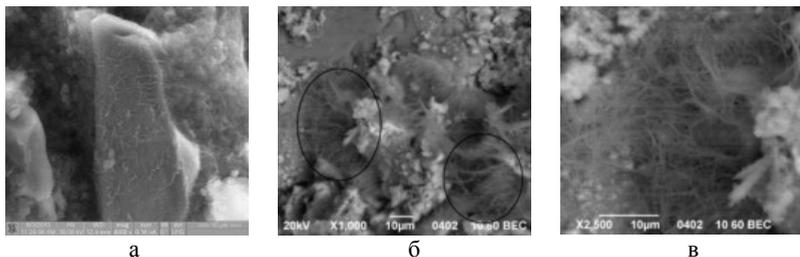


Рис. 3. Структура образца газобетона с добавкой УНТ 0,005% от массы сухого вяжущего.

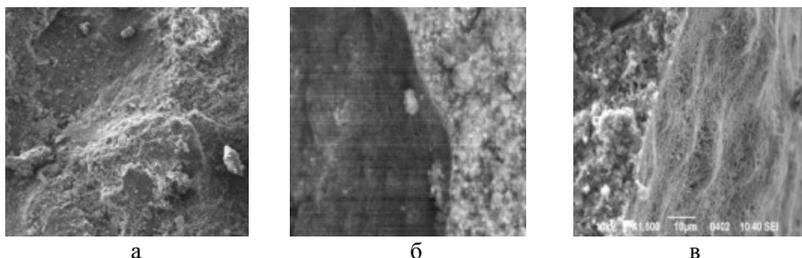


Рис. 4. Структура поры эталонного образца – а, образца с добавкой УНТ – б, в.

#### Обсуждение результатов.

Проведенные исследование показали, что модифицирование газобетона многослойными УНТ приводит к увеличению его прочности на сжатие. Экспериментально установлена оптимальная концентрация УНТ при которой наблюдается наибольший прирост прочности, которая составила 0,005% от массы сухого вяжущего (рис. 2).

1. На рисунке 3а представлено изображение структуры цементного камня, содержащего внутри себя наноразмерные волокнистые включения. Важно отметить, что они равномерно распределены в объеме материала и не образуют крупных агломератов.

2. Известно, что гидросиликат кальция образующийся при гидратации цементного клинкера пористый материал, в котором присутствует большое число капиллярных пор и микро пустот. Характерная пористость составляет около 28%. Анализ изображений структуры наномодифицированного образца (рисунок 3 б, в) показал, что УНТ заполняют микропоры и микропустоты в структуре гидросиликата кальция.

3. На поверхности пор образца, с добавкой УНТ (рисунок 4 б, в) наблюдаются новообразования в виде продолговатых гексагональных кри-

сталлов, по морфологии напоминающие портландит ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), что может приводить к дополнительному упрочнению стенок пор.

**Выводы:**

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о повышении прочности на сжатие ячеистого бетона при добавке УНТ в количестве 0,005% от массы сухого вяжущего на 71%. Данный эффект может быть объяснен тем, что наноструктуры заполняют микропоры и микропустоты, образующиеся в гидросиликатном геле кальция, способствуют росту кристаллов портландита на поверхности стенок пор. В совокупности с дисперсным упрочнением цементного камня это и приводит к повышению прочности в целом.

**Использованная литература**

1. Шахова Л.Д., Тарасенко В.Н., Балясников В.В., Энерго- и ресурсосберегающие технологии в промышленности строительных материалов. Сб. докладов международной научно-практической конференции «Качество, безопасность, энерго- и ресурсосбережение в промышленности строительных материалов в строительстве на пороге XXI века». Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 2000. Ч. I. С. 366-370.
2. Павленко Н.В., Череватова А.В., Сторокова В.В., Особенности получения рациональной поровой структуры пенобетона на основе наноструктурированного вяжущего // Строит. материалы и изделия. 2009. № 10. С. 33-36.
3. Строкова В.В., Бухало А.Б. Пеногазобетон на нанокристаллическом порообразователе // Строит. материалы. 2008. № 1. С. 38-39
4. Grigorij YAKOVLEV, Jadvyga KERIENE, Albinas GAILIUS, Ingrida GIRNIENE MATERIALS SCIENCE (MEDZIAGOTYRA) // Vol. 12, №. 2. 2006. P. 147-151
5. Ахметшина Л.Ф., Кодолов В.И., Терешкин И.П., Коротин А.И. Влияние углеродных металлосодержащих наноструктур на прочностные свойства бетона // Нанотехнологии в строительстве. 2010. № 6. С.35-46
6. Ponomarev A.N. Technology of polymeric and inorganic composite materials micromodification // Science and high technology, 2003. P. 99-101
7. Tkachev A.G., Mihaleva Z.A., Ladonina M.N., Zhutova E.A. Modification of construction composites by carbon nanomaterials // International scientific journal for alternative energy and ecology. 2007, № 9. P. 56-59.