

УДК 666.973.6/666.972.16

Студ. Д.Н. Тупик

Науч. рук. канд. тех. наук, ассистент Е.И. Барановская  
(кафедра химической технологии вяжущих материалов, БГТУ)

## ПОЛУЧЕНИЕ НАНОМОДИФИЦИРОВАННОГО ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА С УЛУЧШЕННЫМИ СВОЙСТВАМИ

На сегодняшний день производство автоклавного ячеистого бетона как эффективного строительного материала является одним из самых перспективных направлений развития промышленности строительных материалов. Наибольший интерес в технологии строительных материалов принадлежит теплоизоляционному автоклавному ячеистому бетону со средней плотностью 250 – 300 кг/ м<sup>3</sup>. Основным фактором, ограничивающим широкое производство и применение теплоизоляционного ячеистого бетона, является его недостаточная прочность при низкой плотности и теплопроводности. В связи с этим особое внимание заслуживает использование добавок, улучшающих физико-механические характеристики бетона.

На сегодняшний день самым актуальным и перспективным направлением в промышленности строительных материалов является использование нанотехнологий, что дает возможность получения новых улучшенных характеристик строительных материалов и способов более эффективного влияния на эти свойства. Значительный интерес представляют углеродные нанотрубки. Связи между атомами углерода в графитовом листе являются самыми сильными среди известных, поэтому бездефектные углеродные трубки на два порядка прочнее стали и приблизительно в четыре раза легче.

Нанотрубки представляют собой нитевидные наночастицы из атомов углерода или других элементов, содержащие протяженную внутреннюю полость. По химическому составу нанотрубки могут относиться к простым веществам, бинарным, тройным и более сложным соединениям, а также иметь слоистое строение из двух и более веществ. Наиболее распространенные и изученные углеродные нанотрубки образуются при сворачивании графеновых плоскостей. Общий вид структуры данного материала представлен на рисунке 1.

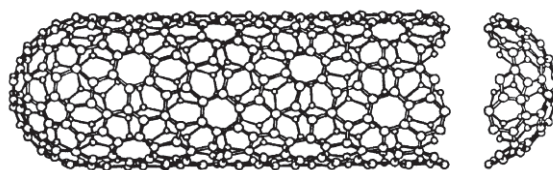


Рисунок 1 – Общий вид структуры углеродной нанотрубки

Углеродные нанотрубки выполняют функцию центров направленной кристаллизации продуктов гидратации и твердения и обеспечивают при своих малых концентрациях, по сравнению с добавками электролитами и микроармированием игольчатыми кристаллами с применением добавок, качественное изменение структуры вяжущих систем.

Эффективность введения углеродных наноматериалов (УНМ) в цемент и цементные композиции в целом основывается на использовании высокого уровня энергии поверхности частиц УНМ, которые могут служить центрами кристаллизации, ускоряя процесс образования кристаллогидратов и обеспечивает повышение набора прочности цементного камня. Другим вариантом эффективности УНМ является эффект армирования. Нанотрубки по сути являются полыми волокнами, имеющими заданную прочность, и абсолютно инертны по отношению к любым кислотам и щелочам. Введенные в бетонную смесь нанотрубки армируют цементный камень, превращая его в композиционный материал. Эффект возникает за счет направленного регулирования кристаллизационных процессов [1].

Особенность и уникальность применения УНМ, характеризующихся огромным потенциалом поверхности ультрадисперсных частиц, заключается в достижении положительного результата, выраженного ростом прочности цементного камня при дозировках в сотых и даже тысячных долях процента от массы цемента.

Особенностью УНМ является значительная длина при малых размерах поперечного сечения, которое может быть в диаметре менее 1 нм. Такой волокнообразный материал, характеризующийся значительной прочностью на растяжение, может оказать огромное влияние на прочностные характеристики цементного камня и бетона. Малые поперечные размеры нановолокон при длине, значительно превышающей размеры собственно гидрокристаллов силикатов, алюминатов и ферритов кальция, соответствующих 8,0–15,0 нм, обеспечивают предпосылки для защемления волокон в межплоскостных пространствах соседствующих поверхностей множества гидрокристаллов, что и обеспечивает эффект армирования нано- и микроструктуры объема новообразований затвердевшего цементного камня. Следствием этого является рост его прочности на растяжение и сжатие [2].

На кафедре химической технологии вяжущих материалов были разработаны составы ячеистого бетона с использованием углеродных нанотрубок различной дозировки. Для проведения испытаний были подготовлены образцы автоклавного теплоизоляционного ячеистого бетона с дозировками углеродных нанотрубок 5, 10, 15 и 20 г/т вяжущего.

В качестве основных сырьевых материалов при производстве теплоизоляционного бетона в соответствии с СТБ 1570–2005 были использованы: портландцемент марки М500, известь негашеную кальциевую с содержанием активных СаО и MgO 72–73 мас.%, песок молотый кварцевый с содержанием общего SiO<sub>2</sub> не менее 85 мас.%, порообразователь – алюминиевую пудру ПАП-1. В качестве основных модифицирующих нанокomпонентов применялись УНТ (ТУ ВУ 690654933.001-2011 Углерод наноструктурированный технический активированный «Арт-нано») в виде порошка.

Приготовление ячеистобетонной смеси производили в лабораторном блендере WARING 8011S (Германия). Последовательность загрузки материалов в мешалку была следующей: вода с температурой 45–50 °С, песок, цемент, известково-песчаное вяжущее. После перемешивания в течение 1 мин в смеситель подавали заданное количество водной суспензии алюминиевой пудры и смесь перемешивали еще 30 с.

Формование изделий осуществляли литьевым способом в разборные металлические формы с размерами 70 × 70 × 70 мм. Перед заполнением формы производили ее смазку трансформаторным маслом и подогрев до температуры 35–40°С. Гидротермальную обработку сырца осуществляли в лабораторном автоклаве фирмы TESTING (Германия) при избыточном давлении насыщенного водяного пара 1,0 МПа и соответствующей этому давлению температуре 184,0°С.

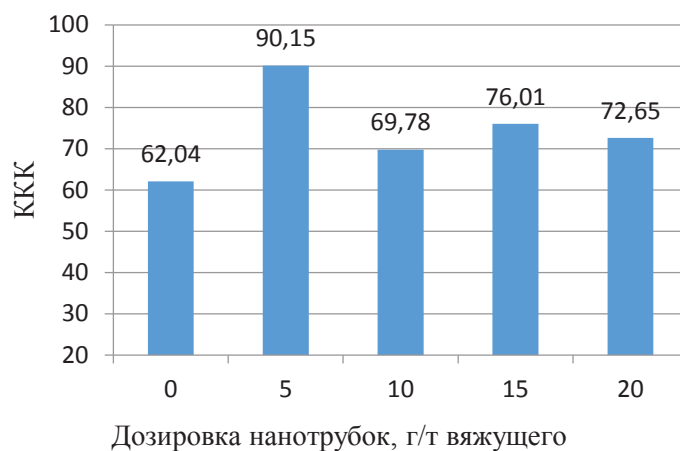
При проведении эксперимента УНТ вводили в состав ячеистобетонных смесей, рассчитанных на получение бетона с маркой по плотности D350. Составы сырьевых смесей рассчитывались в соответствии с производственными данными по технологии Xella.

Результаты испытаний образцов (кубы 7 × 7 × 7 см) на прочность предоставлены в таблице 1.

**Таблица 1 – Физико-механические свойства ячеистого бетона с использованием УНТ в виде порошка**

Состав	Средняя плотность бетона, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, МПа	Коэффициент конструктивного качества (ККК)
1-0	350	0,76	62,04
1-1	338	1,03	90,15
1-2	349	0,85	69,78
1-3	346	0,91	76,01
1-4	350	0,89	72,65

На рисунке 2 представлены зависимости ККК от дозировки нанотрубок.



**Рисунок 2 – Зависимость ККК ячеистого бетона от дозировки УНТ**

По результатам исследований установлено, что оптимальной дозировкой при введении нанотрубок на стадии помола песка и гипса является дозировка 5 г/т вяжущего, повышение прочности при этом составляет 35% по сравнению с контрольным образцом. Проведенные исследования позволили установить положительное влияние углеродных нанотрубок на процесс формирования структуры продуктов гидросиликатного твердения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гритель, Г.Б. Перспективы наноструктурированного бетона в строительстве / Г.Б. Гритель, С.В. Глазкова // Бетон и железобетон.– 2011. – №6. С. 40–44.
2. Механические свойства композитных бетонов, модифицированных углеродными нанотрубками / И.Н. Мазов [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5.