

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ВВЕДЕНИЯ УГЛЕРОДНОГО НАНОМАТЕРИАЛА В ЦЕМЕНТНЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ БЕТОНЫ

Рябчиков П.В., ст. науч. сотр. (БНТУ).

Аннотация. В статье рассматривается ряд способов введения малых дозировок отечественного углеродного наноматериала (УНМ) в различные цементные композиции (цементный камень, раствор, бетон).

Введение

Введение малого количества твердофазного вещества УНМ в бетон представляет собой сложную задачу с позиций его равномерного распределения по объему приготавливаемой бетонной смеси, т.к. это нерастворимое в воде вещество. Кроме этого, вследствие малого собственного размера частицы УНМ при комнатной температуре и атмосферном давлении начинают «самоорганизовываться», объединяясь и укрупняясь вплоть до образования микроскопических «гранул». Поэтому одной из основных и первостепенных задач исследований влияния отечественных углеродных наноматериалов на физико-механические и технологические свойства цементных бетонов, являлось решение проблемы равномерного распределения малых дозировок (при оптимуме, установленном при предварительных поисковых экспериментах на цементном камне ~ 0,05 % от массы цемента) вещества УНМ в объеме цемента (цементного теста, раствора, бетона).

Результаты экспериментальных исследований

Решение этой означенной задачи реализовывали в следующих вариантах.

1) Введение суспензионных и сухих порошкообразных УНМ в воду и образование суспензии в объеме воды затворения цемента (раствора, бетона) путем высоко интенсивной обработки перед введением жидкости в цемент (раствор, бетон).

Этот прием целесообразно осуществлять в агрегатах ультразвукового принципа действия, эффективность которых базируется на проявлении эффекта кавитации, что способствует глубокому диспергированию частиц твердой фазы [1-3].

2) Предварительное смешивание сухого вяжущего с сухим порошкообразным веществом УНМ в скоростных лопастных смесителях.

3) Предварительное смешивание вяжущего с сухим порошкообразным веществом УНМ путем совместной обработки в шаровой лабораторной

мельнице (объем ~ 5л; смешивание (до 5 мин) с использованием стальных шаров Ø 10 мм).

4) Введение сухого порошкообразного УНМ в цемент (раствор, бетон) путем «эжекции», т.е. факелообразным направленным распылением с помощью сжатого воздуха в процессе перемешивания смеси.

5) Введение УНМ с песком, применяемым в качестве заполнителя, используя способность поверхности его зерен «адсорбировать» частицы УНМ с последующим равномерным распределением в объеме смеси при перемешивании твердофазных составляющих.

6) Введение УНМ путем предварительного смешивания с твердофазной порошкообразной химической добавкой (например, порошкообразным сульфатом натрия (СН)), способной «адсорбировать» частицы УНМ на своей поверхности, с последующим равномерным распределением его в объеме приготавливаемого бетона при растворении вещества добавки.

На рисунках 1 – 5 приведены характерные данные оценки прочности образцов цементного камня (20x20x20 мм; из цементного теста нормальной густоты; которые формовали вручную с помощью штыковки Ø 3 мм и уплотняли на встряхивающем столике - количество ударов - 25) и цементно-песчаного раствора (Ц:П=1:3, при Ц=500 кг; образцы-балочки 40x40x160 мм по ГОСТ 310.4-81 [4]), с введением в состав УНМ-1 и без добавки нее, при прочих равных условиях. Каждое единичное значение прочности для цементного камня – среднее из 6 образцов в серии); для цементно-песчаного раствора – среднее по 2 наибольшим значениям при испытании на изгиб и по 4-м наибольшим при испытаниях на осевое растяжение раскалыванием и на сжатие.

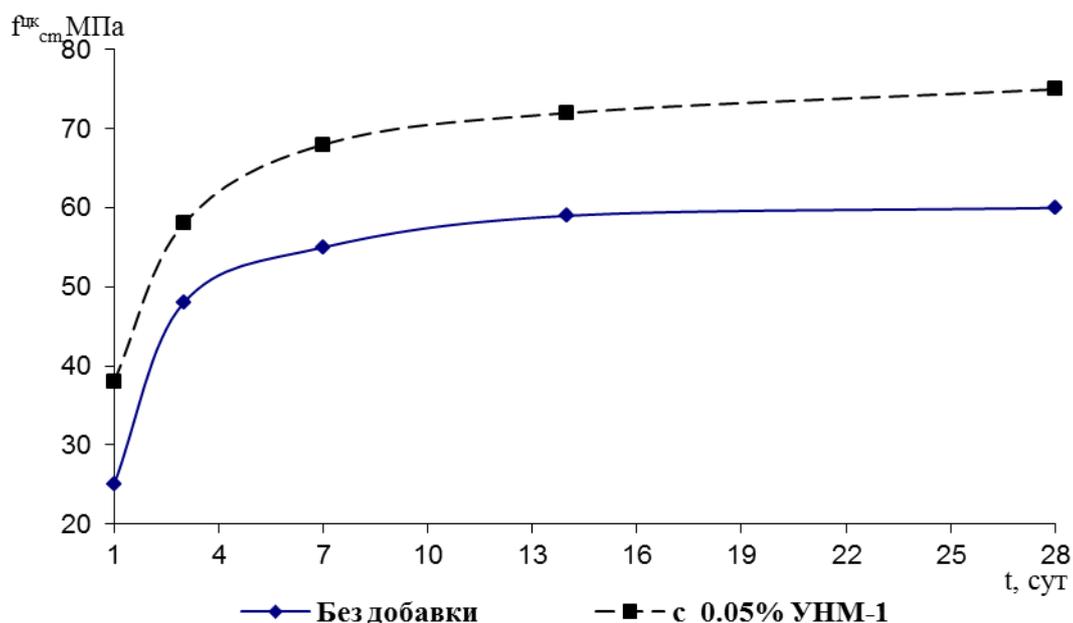


Рисунок 1 – Кинетика роста прочности цементного камня в нормально-влажностных условиях твердения при ведении УНМ с водой затворения

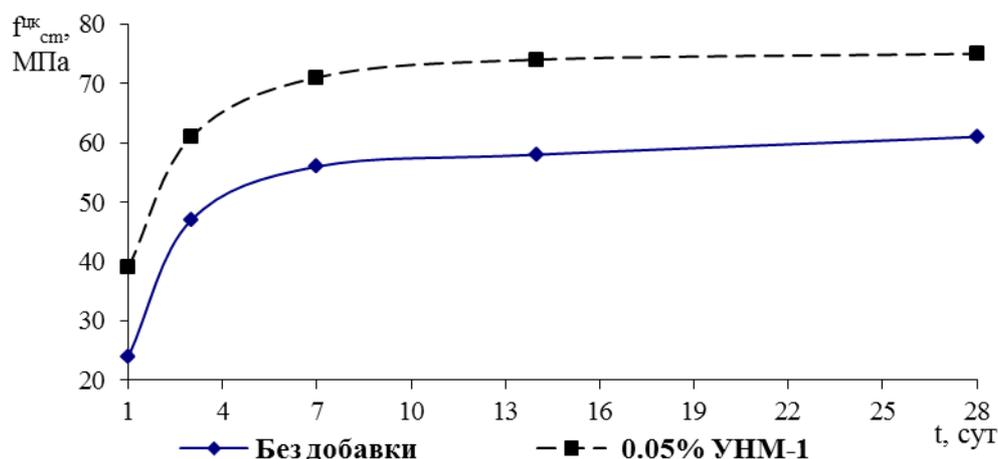


Рисунок 2 – Кинетика роста прочности цементного камня в нормально-влажностных условиях твердения при введении УНМ в цемент путем совместной обработки в шаровой лабораторной мельнице

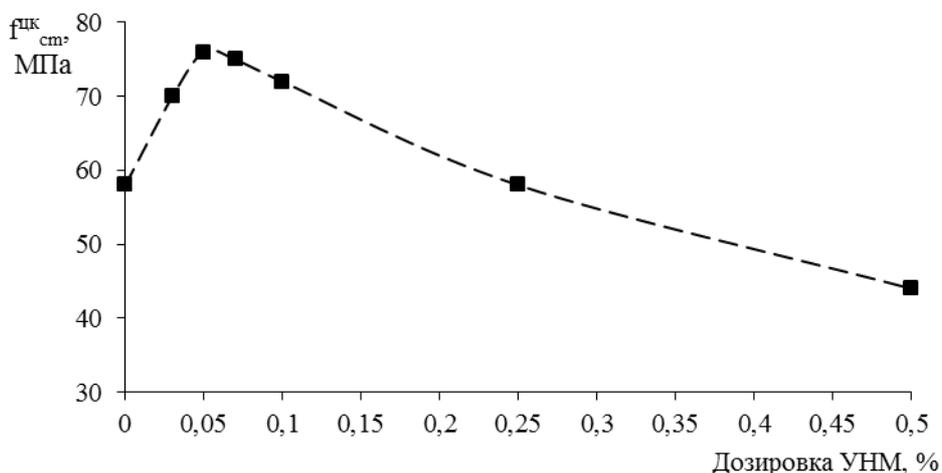


Рисунок 3 – Изменение прочности цементного камня в зависимости от дозировки к 28 сут нормально-влажностного твердения при введении УНМ в цемент путем совместной обработки в шаровой лабораторной мельнице

Анализ полученных экспериментальных данных, частично приведенных в виде графиков на рис.3.1 - 3.5, позволяет сделать следующие выводы.

Принципиально все ранее перечисленные и проверенные способы введения вещества УНМ могут быть реализованы при производстве бетонных смесей (бетонов, растворов). При тщательной проработке и реализации (проектной, технической, исполнительной) технологии введения тем или иным способом возможно обеспечение равномерного распределения УНМ в объеме смеси, что подтверждается примерным равенством увеличения прочности цементного камня и мелкозернистого бетона для различных способов введения, в частности смешиванием с цементом, песком, получением дисперсий с водой затворения, совмещением с традиционными добавками в бетон.

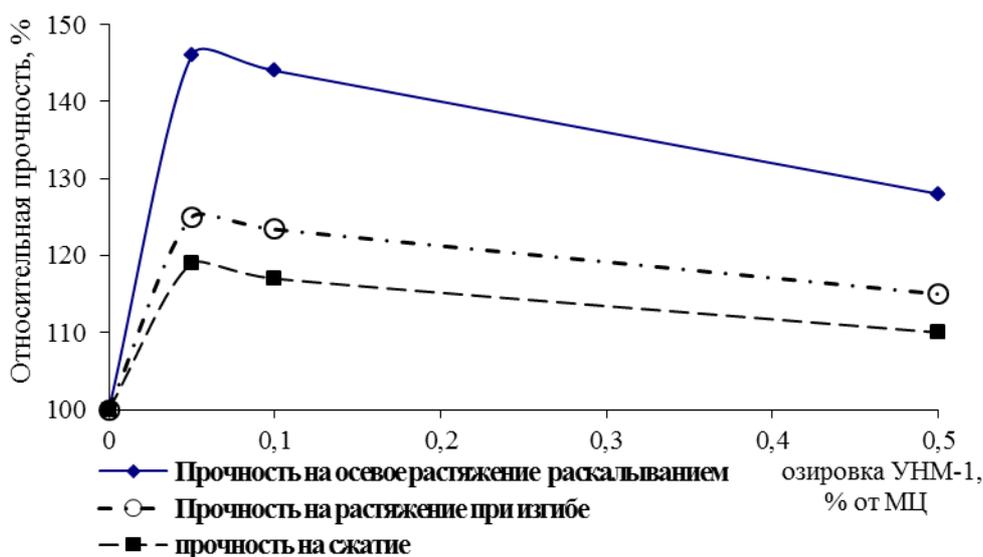


Рисунок 4 – Изменение относительной прочности образцов мелкозернистого (цементно-песчаного) бетона в зависимости от дозировки УНМ-1 к 28 сут нормально-влажностного твердения при введении УНМ с песком (предварительное смешивание с заполнителем)

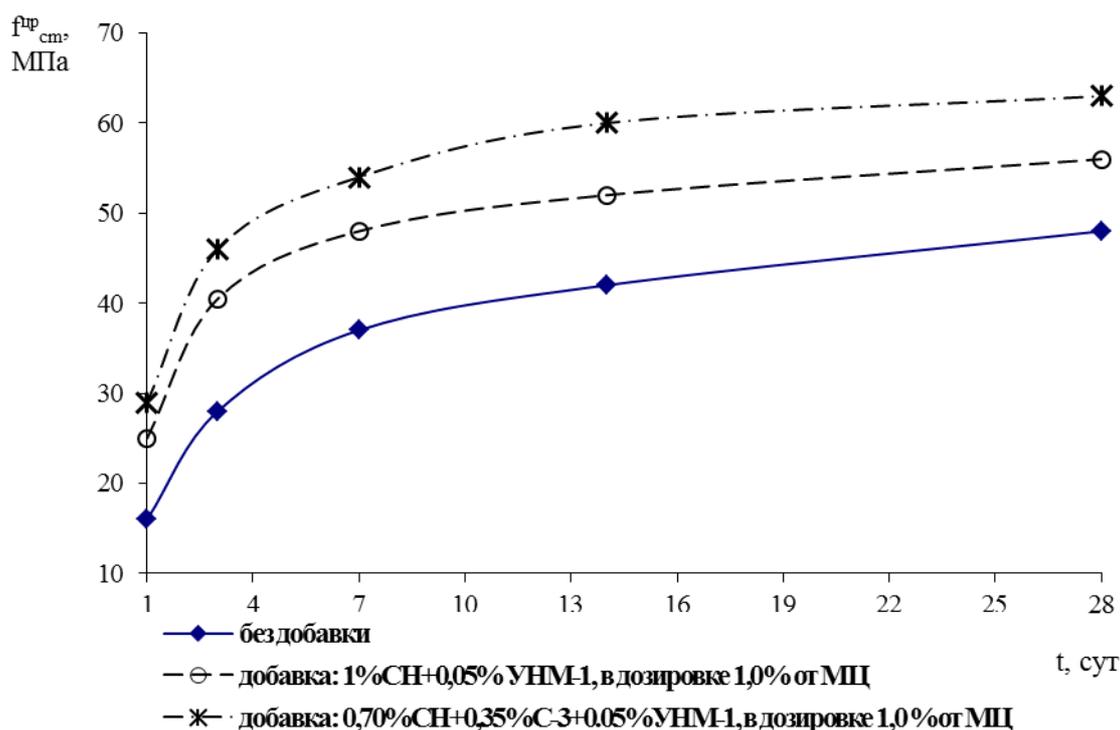


Рисунок 5 – Кинетика роста прочности на сжатие цементно-песчаного бетона (нормально-влажностного твердения) при введении УНМ с ускорителем твердения и в комплексе: пластификатор + ускоритель + УНМ-1, для смесей одинаковой консистенции по расплыву конуса

Вместе с тем у некоторых вариантов из них есть рациональная область реализации. Например, в случае производства цементов, модифицированных УНМ, их рационально вводить при помоле клинкера. Учитывая малую

дозировку вещества, ее можно осуществлять эжекцией, т.е. распылением с помощью сжатого воздуха по значительной зоне потока подаваемого на помол клинкера.

При введении УНМ в приготавливаемую тяжелую бетонную (растворную) смесь вполне приемлемым оказался метод предварительного смешивания вещества УНМ с мелким заполнителем (песком). Частицы УНМ, эжктированные (распыленные) на заполнитель, «адсорбируются» на поверхности зерен песка и благодаря этому равномерно распределяются в объеме приготавливаемой бетонной (растворной) смеси.

Приемы введения УНМ в бетонную (растворную) смесь с цементом или водой затворения могут быть реализованы только в случае тщательного предварительного смешивания УНМ с цементом в скоростных смесителях и при высокоинтенсивной обработке воды с УНМ с образованием устойчивой дисперсии, как это было установлено в исследованиях [1-3].

Особый случай представляет собой прием введения УНМ в комплексе с порошкообразными твердофазными пластифицирующей и ускоряющей твердение цемента химическими добавками для бетона. По результатам экспериментов следует, что это наиболее эффективный вариант введения УНМ в цементные бетоны. В этом случае существенным является то, что частицы вещества УНМ «адсорбируются» и удерживаются электростатически на поверхности частиц ускоряющего компонента (в частности, сульфата натрия) и, при его растворении в воде затворения, равномерно распределяются в ее объеме и, следовательно, в объеме приготавливаемой бетонной смеси. Одновременно молекулы вещества добавки-пластификатора (кроме основной функции в бетоне) способствуют стабилизации водной суспензии вещества УНМ. Этот способ явно перспективен, но требует организации соответствующего производства.

Кроме отмеченного, результаты данных экспериментов существенны следующим.

Во-первых, данные рисунка 3 подтверждают ранее установленный вывод [5] о наличии оптимума в дозировке вещества УНМ-1 и соответствие его величины $\sim 0,05$ % от массы цемента.

Во-вторых, данные (рисунок 4) о соотношении прироста прочности мелкозернистого (цементно-песчаного) бетона на сжатие, растяжение при изгибе и осевое растяжение (определено раскалыванием образцов между «ножами» испытательного приспособления по методике И.Н. Ахвердова - С.М. Ицковича [6]) свидетельствуют о том, что в наибольшей мере за счет УНМ возросла прочность на осевое растяжение. На наш взгляд, это является отражением роста способности цементного камня сопротивляться растягивающим усилиям за счет УНМ. Это свидетельствует в пользу гипотезы «нано-, микроармирования» кристаллогидратной структуры цементного камня волокнообразными составляющими вещества УНМ. В случае «защемления» их между кристаллогидратами – продуктами гидратации клинкерных минералов в цементном камне, они обеспечивают восприятие части нагрузки от растягивающих усилий, повышают его трещиностойкость и, как следствие, прочность на растяжение.

Заключение. 1. Введение в цемент (бетон, раствор) углеродных наноматериалов, обеспечивает рост прочности цементного камня (бетона, раствора) как в условиях естественного (нормально-влажностного) твердения, так и в случае ускоренного твердения при тепловой обработке образцов. 2. На уровень прироста прочности цементного камня (бетона, раствора), в отдельных случаях достигавшего 40...60 %, оказывает основное влияние вид (состав) УНМ и дозировка вещества; оптимальная примерно соответствует 0,05 % от массы цемента. 3. Все проверенные способы введения УНМ могут быть реализованы при производстве бетонных смесей (бетонов, растворов). При тщательной проработке технологии введения тем или иным способом возможно обеспечение равномерного распределения УНМ в объеме смеси, что подтверждается примерным равенством увеличения прочности цементного камня для различных способов введения (смешиванием с цементом, песком, химическими добавками, диспергированием в воде затворения).

Литература. 1. Староверов, В.Д. Опыт промышленного применения наномодифицированных бетонных смесей / А.Ю. Ковалева, И.У. Аубакирова, В.Д. Староверов // Вестник гражданских инженеров. – 2008. – №3(16). – С. 74–76. 2. Пудов, И.Н. Наномодификация портландцемента водными дисперсиями углеродных нанотрубок: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.23.05 / И.Н. Пудов; ФГБОУ ВПО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет». - Казань, 2013. – 22 с. 3. Пудов, И.А. / Гидродинамический способ диспергации многослойных углеродных нанотрубок при модификации минеральных вяжущих / И.А. Пудов, Г.И. Яковлев, А.А. Лушникова, О.В. Изряднова // Интеллектуальные системы в производстве. – Из-ство ИжГТУ, Ижевск. – 2011. - №1(17). – С. 285 – 292. 4. ГОСТ 310.1-5-76(88). Цементы. Методы испытаний. 5. Батяновский, Э.И. Влияние углеродных наноматериалов на свойства цемента и цементного камня / Э.И. Батяновский, А.В. Крауклис, П.П. Самцов, П.В. Рябчиков, П.П.Самцов // Строительная наука и техника. – 2010. - № 1-2 (28-29). - С. 3-10. 6. Ахвердов, И.Н. Исследование метода испытания бетона на растяжение посредством раскалывания образцов / И.Н. Ахвердов, С.М. Ицкович // Бетон и железобетон. - 1961. - №1.- С. 19-23.