

ВЛИЯНИЕ НАНОМОДИФИКАЦИИ НА ПРОЧНОСТЬ И ПОДВИЖНОСТЬ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ И РАЗРАБОТКА ПЕНОНАНОБЕТОНА

В.В. Леденев, В.П. Ярцев, С.А. Струлев, В.Г. Однолько

ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов

Рецензент д-р техн. наук, профессор П.В. Монастырев

Ключевые слова и фразы: водоцементное отношение; наномодификация; подвижность; пенобетон; пластификаторы; прочность на растяжение при изгибе; прочность при сжатии.

Аннотация: Рассмотрено влияние различных фуллероидных наномодификаторов на свойства пластификаторов в цементных бетонах, а также введение наномодифицированной базальтовой микрофибры на прочностные свойства бетонов. Теоретически обоснована и практически доказана целесообразность выпуска пенонанобетона (пенобетона с добавлением нанодобавок) в нашей стране.

В последние десятилетия в строительной химии появились новые виды пластифицирующих добавок к бетонам, основанных на использовании поликарбаксилатов и их производных, отличающихся чрезвычайно высокой пластифицирующей способностью. Однако их широкое применение сдерживается весьма значительной стоимостью в пределах 3–8 долларов за килограмм. В этих условиях крайне актуальной задачей является поиск и дальнейшее исследование путей снижения технологических концентраций пластификаторов в цементных растворах. В работе исследовались свойства следующих пластификаторов: 1 – VP 2500 (Германия); 2 – VP 2453 (Германия); 3 – FK-48 (Россия–Германия); 4 – FK-63 (Россия–Германия); 5 – С-3 (Россия); 6 – Stachement 2000 (Австрия); 7 – Cementol Zete Super-5 (Чехия); 8 – Sika VisconCrete 5-800 (Словакия). В качестве наномодификаторов были выбраны следующие типы фуллероидов:

Леденев Виктор Васильевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструкции зданий и сооружений»; Ярцев Виктор Петрович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Конструкции зданий и сооружений», e-mail: wolk231184@mail.ru; Струлев Сергей Александрович – аспирант кафедры «Конструкции зданий и сооружений»; Однолько Валерий Григорьевич – кандидат технических наук, профессор кафедры «Конструкции зданий и сооружений», декан факультета «Заочное обучение и экстернат», ТамбГТУ, г. Тамбов.

- полностью синтетический наномодификатор – Астрален™ (НТС);
- наномодификатор на минеральной углеродсодержащей основе (NTD0);
- наномодификатор на минеральной основе, допированный астраленами (NTD1 – 1 % астраленов).

Производителем всех перечисленных наномодификаторов является ООО «НТЦ Прикладных Нанотехнологий», Санкт-Петербург, Россия [1].

Исследования показали, что при введении наномодификаторов наблюдается значительное увеличение пластифицирующих свойств пластификаторов всех рассмотренных марок. В дальнейшем основное внимание было уделено наномодификаторам NTD1 и NTD0, что обусловлено тем, что они более доступны и дешевы, хотя и требуют большей дозировки.

Впервые были выполнены предварительные исследования возможности улучшения потребительских свойств карбоксилатного суперпластификатора VP 2500 производства фирмы «Degussa AG» (Германия). В него вводились микроколичества фуллероидного наномодификатора НТС.

Пластифицирующие свойства изучались методом измерения величины расплыва конуса, а прочностные характеристики – методом определения прочности при сжатии и прочности на растяжение при изгибе (по ГОСТ 310.4–81). В качестве модельной смеси была выбрана смесь соотношением цемент : песок = 1 : 2, при фиксированном водоцементном отношении равном 0,37 для VP 2500 и 0,36 для Stachement 2000, Cementol Zete Super-5, Sika VisconCrete 5-800. Цемент использовался марки М400Д0 (г. Пикалево, Ленинградская область, Россия). Модуль крупности песка составил $M_k = 2,7$. Рассчитанное количество нанопорошка (200...400 мг) диспергировалось посредством ультразвукового устройства УЗДН-А в рассчитанном количестве воды (10...15 мл). Затем эта водная суспензия смешивалась с рассчитанным количеством пластификатора (4...6 мл) и в таком виде использовалась как добавка к воде затворения цементно-песчаной смеси. Твердение цементно-песчаной смеси происходило на воздухе (относительная влажность около 90 %) при комнатной температуре в течение двух недель. В таблице 1 приведены прочность и показатель пластичности, осредненные по двум-трем опытам.

Анализ представленных в таблице данных доказывает наличие несомненного эффекта – улучшения потребительских свойств пластификатора VP 2500 при введении в него каталитических количеств фуллероидного наномодификатора.

Изучено влияние наномодификаторов NTD0 и NTD1 на подвижность цементной смеси с использованием пластификаторов № 6, 7 и 8 (см. табл. 1). Исследован широкий интервал концентраций наномодификаторов от 0,001 до 0,03 % по массе по отношению к цементу. В таблице 2 приведены результаты, соответствующие двум концентрациям 0,01 и 0,013 %, так как в области данных значений наблюдается максимальный эффект действия фуллероидных наномодификаторов.

Следует заметить, что полученные значения прочности являются их нижней оценкой, так как при использовании модифицированного пластификатора необходимо было бы уменьшить количество воды. Другими

Таблица 1

Влияние добавки NTC на пластичность раствора и прочность бетона с использованием суперпластификатора VP 2500

№ п/п	Добавки в цементно-песчаную смесь		Расплыв конуса от диаметра 100 мм, мм	Прочность на растяжение при изгибе, МПа	Прочность на сжатие, МПа
	VP 2500, % по массе	NTC, % по массе			
1	0	0	110	7,52	37,4
2	0,25	0	157	7,81	47,0
3	0,75	0	191	7,60	45,8
4	0,75	0,005	210	8,10	54,2
5	0,75	0,001	221	7,56	51,8
6	0,75	0,0005	209,5	8,14	41,7
7	0,4	0,0005	204	7,89	56,0
8	0,25	0,001	197	8,09	51,5
9	1,05	0,005	208,5	7,95	34,9

Таблица 2

Влияние NTD0 и NTD1 на пластичность бетона с пластификаторов Stachement 2000, Cementol Zete Super-5, Sika VisconCrete 5-800

Пластификатор и его содержание, % по массе цемента	Содержание модификатора, % по массе цемента	Разность расплыва/разность расплыва в %* ($R_{сж}$, МПа)	
		NTD0	NTD1
Stachement 2000; 0,5	0,01	43/102	–
Cementol Zete Super-5; 0,5		–	–
Sika VisconCrete 5-800; 0,5		22/55 (37,1)**	–
Sika VisconCrete 5-800; 1		30/35 (35,4)**	37/66 (36,8)**
Sika VisconCrete 5-800; 1,5		17,44	–
Stachement 2000; 0,5	0,013	13/22	–
Cementol Zete Super-5; 0,5		44/112	–
Sika VisconCrete 5-800; 0,5		33/71	36/65
Sika VisconCrete 5-800; 1		33/40	4,25/46
Sika VisconCrete 5-800; 1,5		–	–

* Разность расплывов конуса при величине начального диаметра 100 мм при использовании модификатора и без него; через дробь – та же величина в процентах к величине расплыва конуса при использовании чистого пластификатора, без добавок астраленов.

** Среднее значение прочности для состава с немодифицированным пластификатором составляет $R_{сж}=30,3$ МПа.

словами, необходимо было бы поддерживать постоянную величину подвижности смеси, а не водоцементное отношение, как это было сделано. Результирующая прочность должна вырасти.

На производстве использование настоящего эффекта сводится к следующему. На растворном узле с помощью небольшой ультразвуковой ванны готовится суспензия углеродсодержащего порошка в смеси пластификатора с водой 1:1. Суспензия содержит 1 % (по массе) углеродсодержащего нанопорошка и по сути является концентратом, который в соответствующем (рассчитанном) количестве добавляется в воду затворения. Время жизни суспензии составляет от 5 до 8 ч.

Использование фуллероидных наномодификаторов в каталитических количествах позволяет при прочих равных условиях усилить пластифицирующий эффект на величину 30–100 %. При этом прочность бетона увеличивается на 20–25 %.

С целью определения суточной ползучести и остаточной деформации под нагрузкой были подвергнуты испытаниям образцы легкого нанобетона (призмы $160 \times 40 \times 40$ мм с пластификаторами № 2, 3 и NTD (0,013 %)) в возрасте 20 суток на прессе УМ-5 со шкалой 50 кН. В качестве измерительного прибора использовался тензометр Гугенбергера с базой 100 мм и ценой деления 1 мкм. Через фиксированные промежутки времени снимались показания тензометра и проводилась компенсация нагрузки до первоначальной величины. Результаты испытаний приведены на рис. 1. Пластическая деформация под нагрузкой около 0,7 от разрушающей за сутки составила 0,0009. Остаточная деформация после разгрузки составила 0,00094.

Практическое применение исследованных эффектов может обеспечить снижение стоимости литых бетонов на 10–15 % за счет снижения расхода пластификатора на 50–60 % и снижения расхода цемента на 20–25 % вследствие увеличения прочности бетона за счет снижения водоцементного отношения на 15–20 %.

Проведены исследования свойств нанобетонов, армированных микрофиброй базальтовой модифицированной (МБМ). Для цементных бетонов в первую очередь интересен вопрос о возможности управления структурой цементного камня. Ответ был получен при опытном затворении цементно-песчаной смеси коллоидной системой вода – углеродные нанотрубки и (или) астралены. Оптимизируя концентрацию фуллероидов в водном

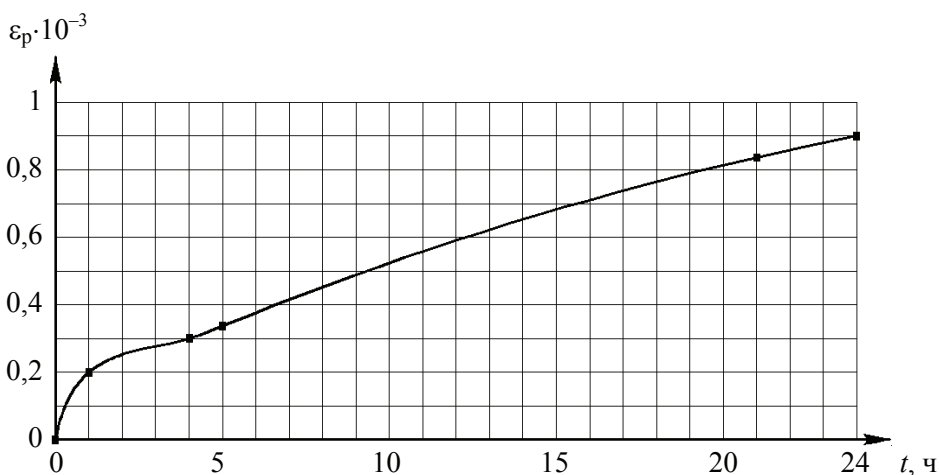


Рис. 1. Развитие деформаций легкого нанобетона во времени

коллоиде, для полномасштабных тестовых образцов низкомарочных (марки В25) строительных бетонов с заполнителем фракции 5...10 мм (песок, керамзитопесок, гранитная крошка) удалось добиться увеличения прочности на сжатие (по ГОСТ 10180–90) на 12–16 % относительно контрольных серий. Данное значение невелико, но статически достоверно (доверительная вероятность 0,98), и связано со структурными изменениями цементного камня. Доказательством этого предположения может служить тот факт, что для бетонов на более крупном заполнителе (щебень фракций 20...40 мм) увеличение прочности составляет не более 5 % при той же доверительной вероятности. Одновременно проявляется новое качество наноструктурированного бетона – резко (в 2–3 раза) возрастает работа разрушения, определяемая интегрированием кривых в координатах σ – ϵ (рис. 2).

Величины концентраций фуллероидов, необходимых для достижения описанного эффекта, лежат в диапазоне 10^{-3} – 10^{-4} % по массе (относительно массы бетона), что составляет от 1 до 10 г на 1 т бетонной смеси.

Возможность изменения свойств бетонов за счет пластификатора и МБМ была проверена при разработке легкого (плотность не более 1,25 %) мелкозернистого бетона класса В25 [2]. В качестве легкого наполнителя были выбраны алюминиевые микросферы цементного вяжущего – цемент марки ПЦ500-Д0, микрофибры – модифицированная базальтовая микрофибра (ТУ 5161-014-13800624–2004, длина волокон 150...600 мкм, диаметр 8...10 мкм), пластификатора – VP 2500 с NTD (0,01 %). При концентрации наномодифицированной микрофибры в 6 % от массы цемента получены показатели прочности на сжатие 32 МПа, водопоглощение, определенное по ГОСТ 12730–78 на уровне 2 %, и определена марка по морозостойкости F300 (ГОСТ 10060–87).

Таким образом, можно прогнозировать применение наноструктурированных бетонов в самое ближайшее время при производстве пенобетонов (ячеистых бетонов). Основанием служат результаты проделанных экспериментальных работ по получению стандартных блоков пенонанобетона плотностью 300...800 кг/м³. Для этого в г. Волхов на базе филиала ООО «НТЦ Прикладных Нанотехнологий» с нашим участием был организован

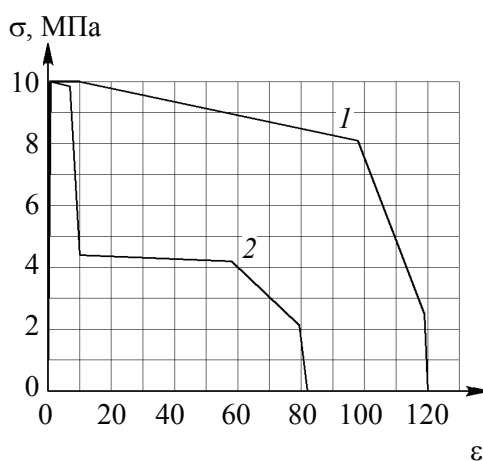


Рис. 2. Диаграмма растяжения фибробетона с нанотрубками 1 и без них 2

опытный участок площадью более 2000 м², состоящий из следующих частей: площадки складирования сухого промытого кварцевого песка (100 м²); площадки складирования «керамзитового песка» с фракциями до 5 мм (100 м²); площадки хранения модифицированной базальтовой фибры (до 300 м²); смесителя, объемом четверть кубометра, с зоной хранения мешков с портландцементом; нескольких форм, объемом 1 м³, для заливки пеноблоков; площадки складирования и упаковки готовых пеноблоков (до 500 м²). Анализ прайс-

листов многих производителей показал, что наибольшим спросом пользуются блоки размером 600×300×200 мм. На такие блоки мы и ориентировались в опытном производстве. В результате в промышленных условиях была получена партия пенонаобетонных блоков с повышенными пределом прочности при сжатии (рост до 500 %) и пределом прочности на растяжение при изгибе (рост до 60 %). Себестоимость одного кубометра готовой продукции на 10–30 % выше немодифицированных пеноблоков. Одним из важнейших достижений стало снижение процента выбракованных блоков при транспортировке из г. Волхов в г. Санкт-Петербург с 15–20 до 3–5 %. Таким образом, организованная опытная линия, при незначительной модернизации, может приносить существенную прибыль, позволяющую и дальше развивать производство.

Список литературы

1. Пономарев, А.Н. Техничко-экономические аспекты и результаты практической модификации конструкционных материалов микродобавками нанодисперсных фуллероидных модификаторов / А.Н. Пономарев // Вопр. материаловедения. – 2003. – № 3 (35). – С. 49–57.

2. Ваучский, М.Н. Направленное формирование упорядоченной надмолекулярной кристаллогидратной структуры гидратированных минеральных вяжущих / М.Н. Ваучский // Вестн. гражд. инженеров. – 2005. – № 2 (3). – С. 44–47.

Impact of Nano Modification on Strength and Mobility of Cement Concrete and Development of Foam Nano Concrete

V.V. Ledenev, V.P. Yartsev, S.A. Struljov, V.G. Odnolko

Tambov State Technical University, Tambov

Key words and phrases: water-cement ratio; nano modification; mobility; foam concrete; plasticizers; tensile strength in bending; compressive strength.

Abstract: The paper explores the influence of different fulleroid nano-modifiers on the properties of plasticizers in the cement concrete, the introduction of the nano-modified basaltic micro-fibre to the strength properties of concretes; the production of foam concrete with nano-additives in our country is theoretically substantiated and practically proven.

© В.В. Леденев, В. П. Ярцев,
С.А. Струлев, В.Г. Однолько, 2012