

шения качества и эффективности функционирования СВВ показал, что существует обобщённый сценарий решения этих проблем, который включает в себя два взаимосвязанных этапа:

-оптимальное управление развитием и функционированием СВВ в современных условиях риска и неопределённости, обеспечивающие целенаправленный переход к многоуровневому зонированию водораспределительных сетей, снижению избыточных напоров и, как следствие, повышение надёжности и устойчивости СВВ, снижению прямых потерь питьевой воды;

-переход на новые многоэтапные технологии водоподготовки, обеспечивающие подготовку питьевой воды, отвечающей наивысшим мировым стандартам и обеспечивающей условия перехода процесса поставки питьевой воды из категории оказания услуг в категорию поставки товара отнесённого к продуктам питания [4].

Приведені результати експериментального дослідження по цілеспрямованому управлінню економічними, технологічними і фізико-механічними властивостями цементобетонів за рахунок використання певного класу наномодифікаторів

Ключові слова: управління, цементобетони, наномодифікатори

Приведены результаты экспериментального исследования по целенаправленному управлению экономическими, технологическими и физико-механическими свойствами цементобетонных за счет использования определенного класса наномодификаторов

Ключевые слова: управление, цементобетоны, наномодификаторы

In work the results of experimental research are resulted on a purposeful management economic, technological, physical and mechanical properties of tsementobetons due to the use of certain class of nanomodifiers

Keywords: management, tsementobetons, nanomodifiers

1. Введение

В последние годы во всем мире все большее внимание уделяется нанотехнологиям, в том числе тех-

Литература

1. Акофф Р. Искусство решения проблем: Пер. с англ. — М.: Мир, 1982. — 224 с.
2. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий: Пер. с англ. — М.: Радио и связь, 1993. — 320 с.
3. Тевяшев А.Д., Коринько И.В., Есилевский В.С., Долгоброд А.Г., Кобылинский К.В., Ярошенко Ю.В., Никитенко Г.В. Прогрессивные информационные ресурсосберегающие и экологически безопасные технологии в системах водоотведения Восточно-европейский журнал передовых технологий, 2005, №2(14), с. 50-61
4. Петросов В.А. Устойчивость водоснабжения, Харьков, Издательский дом «Фактор», 2007. — 357с.
5. Трубопроводные системы энергетики. Развитие теории и методов математического моделирования. - Новосибирск, «Наука», 2008г. — 311с.

УДК 629.104

О ВОЗМОЖНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ СВОЙСТВАМИ ЦЕМЕНТОБЕТОНОВ С ПОМОЩЬЮ НАНО- МОДИФИКАТОРОВ

А.Д. Тевяшев

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой

Кафедра прикладной математики
Харьковский национальный университет
радиоэлектроники
пр. Ленина, 14, г. Харьков, 61166
Контактный тел.: 8 (057) 702-14-36
E-mail: tevjshev@kture.kharkov.ua

Е.С. Шитиков

Кандидат химических наук
ООО «Полигран»
г. Москва
Контактный тел.: 8 (107-495) 357-78-43
E-mail: esh_45@mail.ru

нологиям с использованием ультрадисперсных (нано) материалов, и ведется широкий и активный поиск областей их применения в самых различных отраслях промышленности.

Так, в работе [1] показано, что добавление наночастиц смеси окислов кремния и железа в тампонажные цементные растворы позволяет повысить прочность бетона на 30-50%.

В работе [2] представлены результаты успешного применения в производстве пено- и газобетонных блоков в качестве наномодификаторов так называемых астраленов – многослойных полиэдральных каркасных конструкций из углеродных атомов, что обеспечило увеличение прочности стандартных блоков на 16-18% (при снижении их плотности на 8-10%) и сокращение производственного цикла. Отмечается, что высокая термодинамическая устойчивость и анизотропия большинства фуллероидов (к классу которых принадлежат и астралены) определяют одноосную или двухосную анизотропию свойств, в том числе их способность в определенных условиях превращаться в аномально большие диполи, дипольные моменты которых на порядок выше дипольных моментов всех известных полярных молекул (в том числе и воды), и эта способность является фактором ускорения процессов, происходящих в пограничных слоях частиц цемента – гидратации и образования новых структур цементного камня.

Цель данной работы – показать на конкретных примерах возможность использования ультрадисперсных (нано) добавок как средства управления конструктивно-техническими свойствами «тяжелых» цементобетонов

2. Анализ результатов экспериментальных исследований изменения свойств цементобетонов при использовании наномодификаторов

В качестве наномодификаторов бетонов в проведенных исследованиях использовались следующие ультрадисперсные частицы:

- 1) «наноалмазы», частицы из атомов углерода размером до 150 нм, имеющие структуру алмазов, в виде 5%-ного водного золя;
- 2) порошки окислов металлов Ti, Al, Ca, Mg, кремния и металлов W, Co - с размером частиц 10-50 нм.

Для приготовления бетонных смесей использовались следующие материалы:

- цементы марки ПЦ 500 До-Н, производства Новороссийского (удельная поверхность $S_{уд}=270 \text{ м}^2/\text{кг}$), Вольского ($S_{уд}=240 \text{ м}^2/\text{кг}$), Белгородского ($S_{уд}=210 \text{ м}^2/\text{кг}$), Горнозаводского ($S_{уд}=170 \text{ м}^2/\text{кг}$) и Донецкого ($S_{уд}=220 \text{ м}^2/\text{кг}$) цементных заводов;
- песок кварцевый (“Орешкинский”), Мкр2,5;
- щебень гранитный (“Овручевский”), фр.5-20 мм;
- пластификаторы бетонов – суперпластификатор С-3, лигносульфонатный пластификатор ЛСТ, поликарбоксилатный гиперпластификатор Visko, Crete 5N (фирмы SIKА, Австрия).

Было проведено три серии опытов.

В первой серии опытов, проводившихся на системе «цемент-вода» (например, тампонажные или инъекционные растворы), изучалось влияние количества вводимых наномодификаторов (по отношению к количеству цемента) на эффект изменения прочности таких бетонов. Опыты проводились при водоцементном отношении В/Ц=0,4-0,64 на Вольском цементе.

Первое, что следует отметить, это наличие вполне ощутимого водоредуцирующего эффекта - 3-6% и даже иногда - 10%. Второе - при применении пластификаторов бетона наибольший эффект наномодификации бетонов проявлялся с поликарбоксилатным гиперпластификатором. Третье - с ростом концентрации наномодификаторов изменение прочности бетонов имеет немонотонный характер. На рис.1 представлены типичные зависимости прироста прочности на сжатие (в 28-суточном возрасте) от концентрации наноматериалов.

Максимумы прочности чередуются с минимумами, причем эти минимумы бывают даже ниже прочности исходного ненаномодифицированного (контрольного) бетона. Первый максимум прироста прочности соответствует концентрациям 0,0007-0,0014%, второй максимум приходится на концентрации 0,004-0,007%. Далее характер изменения прочности от концентрации начинает зависеть от вида (природы) наноматериала. Вид и концентрация наномодификатора оказывают существенное влияние и на плотность бетонов,

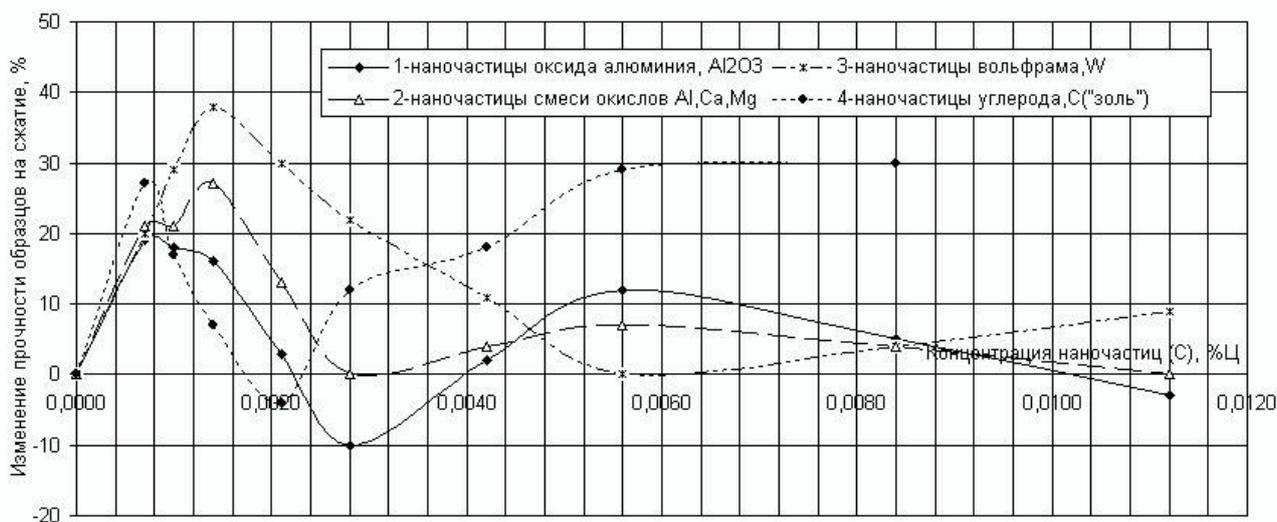


Рис. 1. Изменение прочности бетонов на сжатие в 28-суточном возрасте в зависимости от концентрации ультрадисперсных (нано) частиц по сравнению с бездобавочным бетоном

но не всегда снижение плотности сопровождается снижением прочности (что характерно для обычных

бетонов), как следует из результатов, представленных в табл. 1.

В/Ц	Вид наномодификатора	Концентрация наномодификатора, в % к цементу	Относительное изменение плотности бетона, в % к плотности бетона без добавок	Относительное изменение прочности бетона при сжатии (в 28 сут. возрасте), в % к прочности бетона без добавок
0,40	окись аммония	0,004	- 5	- 20
	золь «нано-алмазов»	0,005	-1,5	+ 9
	окись кремния	0,008	0	0
		0,008	+ 1,5	+ 32
		0,040	- 3,2	+ 38
0,50	композиция окислов: алюминия, кальция, магния, кремния	0,005	+ 2	+ 25
		0,008	- 3	+ 12
	окись алюминия	0,005	+ 7	+ 7
	0,64	окись алюминия	0,007	- 4
золь «нано-алмазов»		0,010	- 1,5	+ 30
композиция окислов: алюминия, кальция, магния, кремния		0,010	0	+ 35

Таким образом, использование различного вида наномодификаторов дает широкие возможности для управления свойствами систем «цемент-вода».

Во второй и третьей серии опытов использовались ультрадисперсные «наноалмазы» в виде водного золя.

Вторая серия опытов проводилась на системе «цемент-песок-вода»: мелкозернистые бетоны (МЗБ) - при соотношении количества песка и цемента П:Ц = 1,5:1

и водоцементном отношении В:Ц = 0,4:0,5. Для таких систем первый максимум эффекта повышения прочности сдвинулся в область больших концентраций наномодификаторов - 0,002-0,006%.

В качестве пластификатора бетона применялся суперпластификатор С-3. Типичные зависимости изменения прочности образцов мелкозернистых бетонов при сжатии за время твердения 28 суток приведены на рис. 2 и 3.

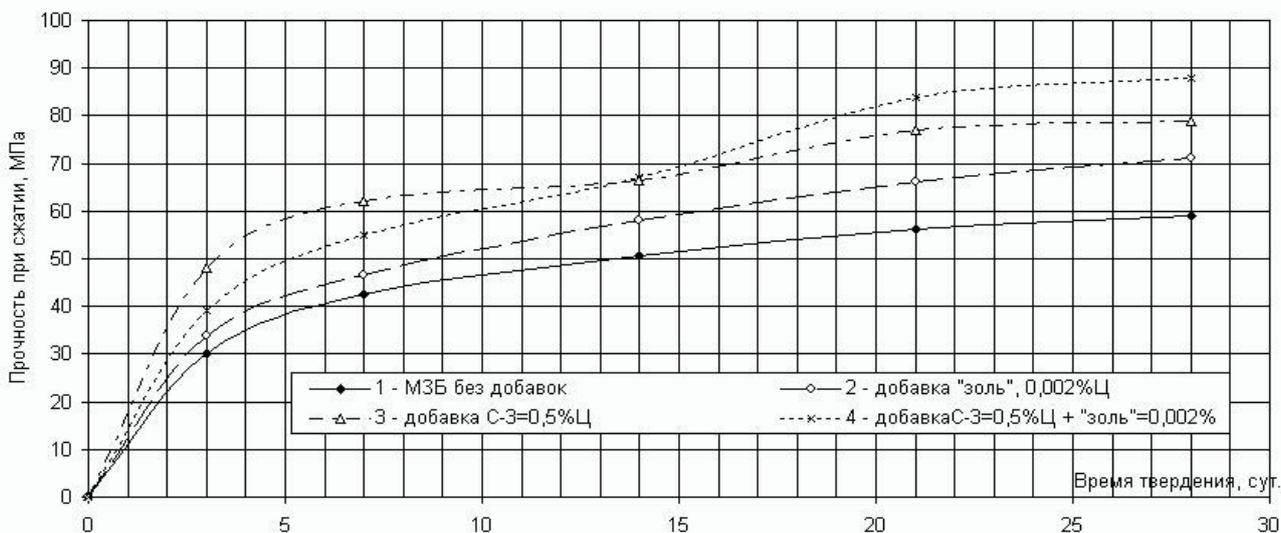


Рис. 2. Зависимость прочности от времени твердения при сжатии образцов мелкозернистых бетонов. (Цемент Новороссийский ПЦ 500ДО-Н, удельная поверхность $S_{уд}=270\text{м}^2/\text{кг}$; П:Ц = 1,5:1)

Анализ зависимостей (Рис. 2,3) показывает, что для менее активного цемента ($S_{уд}=170 \text{ м}^2/\text{кг}$) применение наномодификатора обеспечивает превышение

прочности на 71%, по сравнению с прочностью бездобавочного бетона, а для более активного ($S_{уд}=270 \text{ м}^2/\text{кг}$) это превышение составляет только 47%.

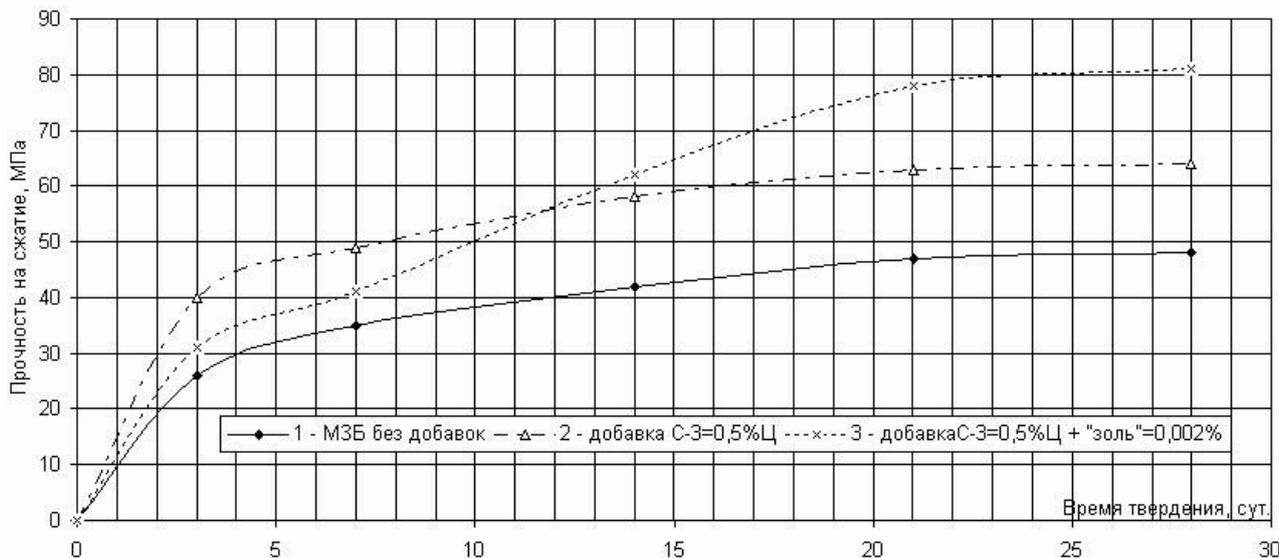


Рис. 3. Зависимость прочности от времени твердения при сжатии образцов мелкозернистых бетонов. (Цемент Горнозаводский ПЦ 500ДО-Н, удельная поверхность $S_{уд}=170 \text{ м}^2/\text{кг}$; П:Ц = 1,5:1)

В последующих экспериментах третьей серии (на тяжелых бетонах) количество применявшихся наномодифицирующих частиц («наноалмазов») также на-

ходило в вышеуказанном диапазоне концентраций – 0,002-0,006% от массы цемента.

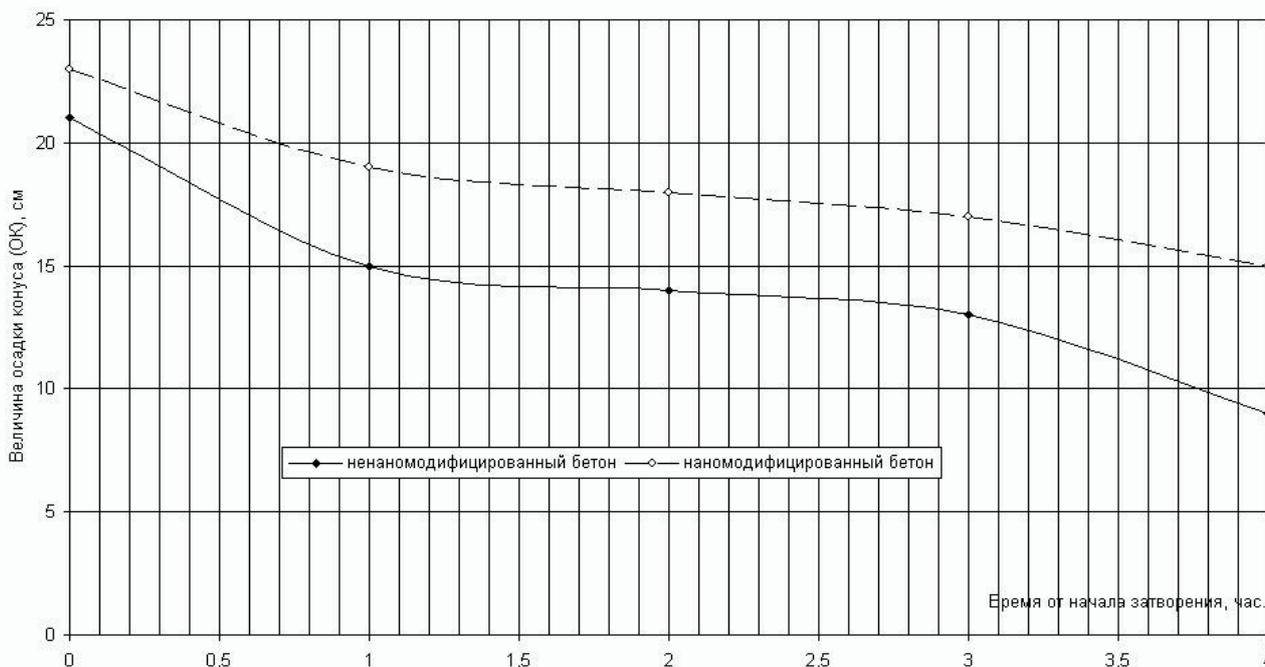


Рис. 4. Зависимость величины изменения подвижности (в см осадки стандартного конуса) бетонной смеси от времени начала затворения её водой (Цемент Донецкий ПЦ 500ДО-Н, удельная поверхность $S_{уд}=220 \text{ м}^2/\text{кг}$)

Опыты третьей серии проводились с цементами средней (обычной) активности с удельной поверхностью от $S_{уд}=210 \text{ м}^2/\text{кг}$ до $240 \text{ м}^2/\text{кг}$ – Белгород-

ского, Вольского и Донецкого цементных заводов. С Донецким цементом проводились замесы бетонных смесей с содержанием цемента $405 \text{ кг}/\text{м}^3$ бетона,

песка - 703 кг/м³ и щебня - 1079 кг/м³. На рис.4 представлены результаты измерений осадки стандартного конуса (ОК) в течение 4 часов от начала затворения сухой смеси водой.

На рис. 5 представлены результаты определения прочности образцов бетонов при сжатии в течение времени твердения (за 28 суток).

В качестве пластификатора использовалась комплексная добавка (С-3 + ЛСТ). С Вольским цементом проводились замесы бетонных смесей с содержанием цемента 450 кг/м³ бетона и соотношением цемента, песка и щебня 1:1,7:2,4 при начальной подвижности

16-18 см осадки стандартного конуса. Использовался тот же комплексный пластификатор бетона – смесь суперпластификатора (С-3 + ЛСТ). Полученные кривые зависимости прочности образцов бетонов от времени твердения (за 28 суток) представлены на рис.6.

С Белгородским цементом проводились замесы бетонных смесей с содержанием цемента 470 кг на м³ бетонной смеси и соотношением количества цемента, песка и щебня 1:1,5:2,5 при начальной подвижности ОК₀=20-25 см. Применялся поликарбоксилатный гиперпластификатор бетонов Visko Crete N5. Количество наномодификатора (золя), как и в предыдущих опытах, было 0,002%.

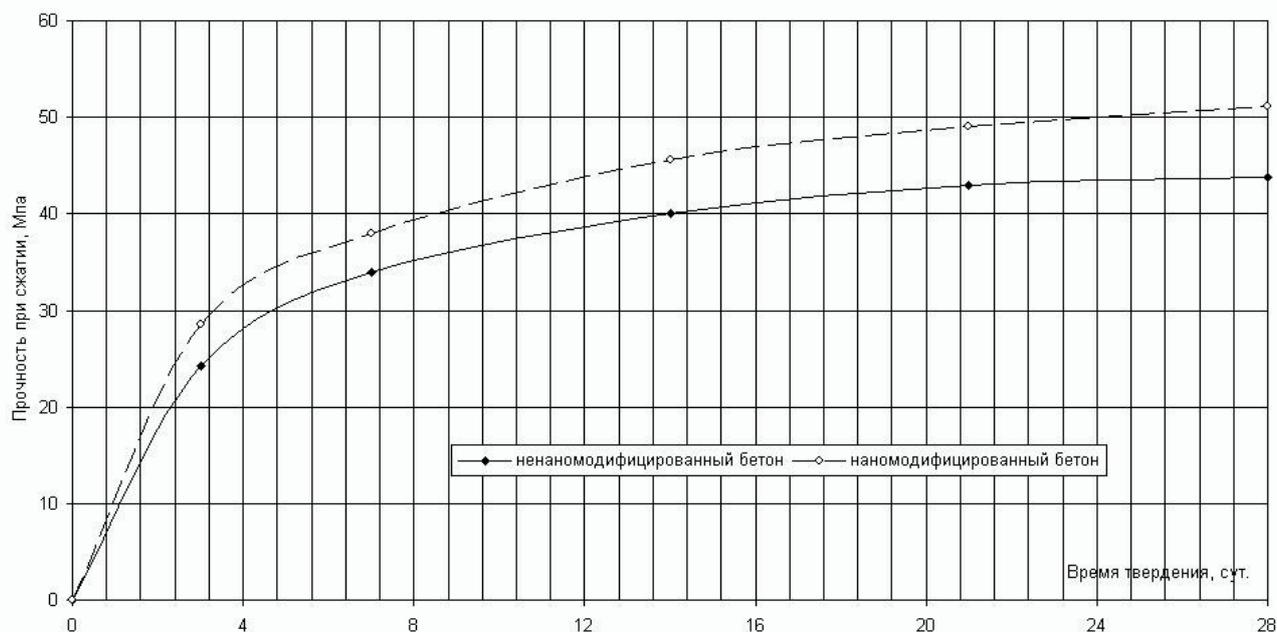


Рис. 5. Зависимость прочности образцов бетонов при сжатии. (Цемент Донецкий ПЦ 500ДО-Н, удельная поверхность $S_{уд.}=220\text{м}^2/\text{кг}$)

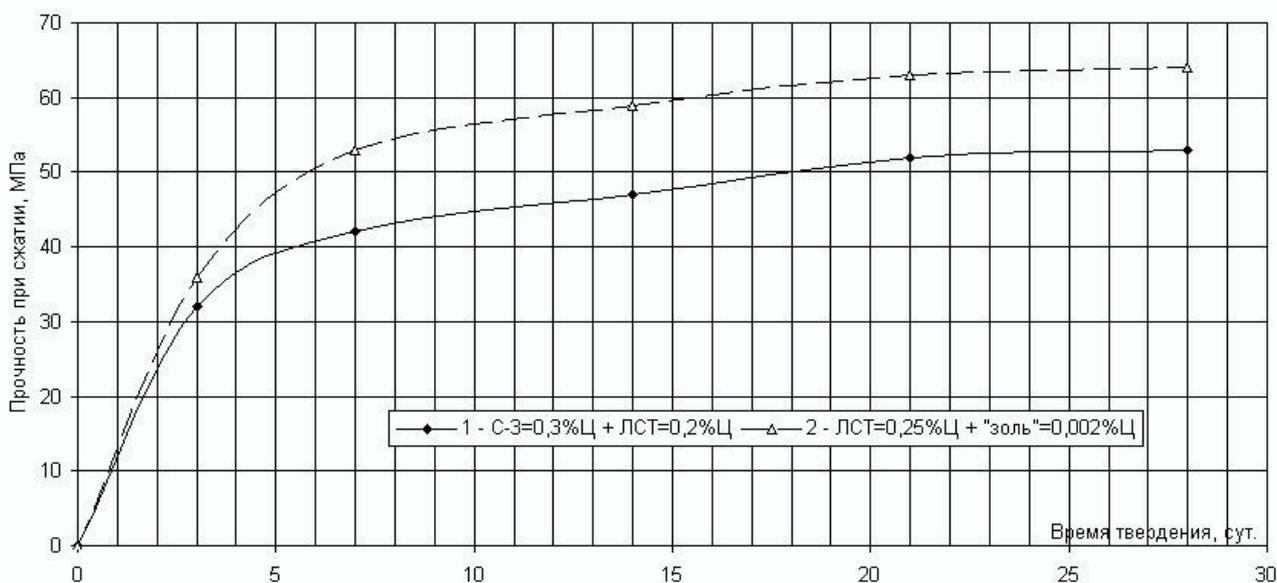


Рис. 6. Зависимость прочности бетонов на сжатие от времени твердения (Цемент Вольский ПЦ 500ДО-Н, $S_{уд.}=240\text{м}^2/\text{кг}$, Ц = 450 кг/м³ бетона, Ц:П:Щ=1:1,7:2,4 ОК₀=16-18 см)

Полученные величины превышения прочности бетонов на сжатие по отношению к бездобавочному бетону (равной начальной подвижности) сведены в таблице № 2.

Таблица 2

Зависимость повышения прочности бетонов от времени твердения и концентрации гиперпластификатора (Цемент Белгородский ПЦ500ДО-Н (S=210 м²/кг), Ц=470 кг/м³ бетона, Ц: П:Щ = 1 : 1,5 : 2,5, ОК₀=20-25 см)

Концентрация гиперпластификатора, %Ц	Превышение прочности, (+ %), за время твердения (суток)				
	3 сут.	7 сут.	14 сут.	21 сут.	28 сут.
0,75	40	30	25	25	25
0,45	50	30	25	40	50
0,30	35	25	20	15	10
0,30+0,002% золя	60	50	60	70	70

Анализ данных, представленных на рис. 4-6 и в табл. 1, позволяет сделать вывод, что использование ультрадисперсных наномодификаторов обеспечивает значительное увеличение сохраняемости подвижности бетонных смесей во времени и при этом не только позволяет повысить прочность бетонов, но и уменьшить расход пластификаторов, что особенно актуально для дорогостоящих гиперпластификаторов. И, наконец, проведенные дополнительные исследования показали, что наномодифицированные бетоны обладают высокой водонепроницаемостью (класс по водонепроницаемости W12-20 вместо обычных W6-10) и высокой морозостойкостью (класс – выше F300).

Как показали результаты экспериментальных исследований с высокопрочными бетонами марок В70-В80 [3], применение ультрадисперсных наномодификаторов бетонов не дает высокого прироста прочности – в среднем на +10% , но существенно изменяет физико-механические свойства бетонов: увеличивается модуль упругости с 400000 до 443000 , а величина предельной деформации усадки бетона снижается более чем в 1,5 раза – с 0,000446-0,000560 до 0,000323.

Возможная причина – в упорядочивании процессов, происходящих в бетоне при его твердении, что можно проиллюстрировать сопоставлением кривых скорости изменения прочности на сжатие (первая производная от прочности по времени) и ускорения изменения усадки (вторая производная от деформации усадки по времени).

Нетрудно убедиться, что кривые имеют одинаковый волнообразный характер, но у бетонов без наномодификатора кривая ускорения деформации усадки

сдвинута по фазе относительно кривой скорости изменения прочности, как бы опережая ее, «увлекая» изменение прочности за собой. У бетонов с наномодификатором обе кривые почти синфазны. Эти результаты, в целом, согласуются с данными работы [1], в которой отмечается, что добавление наноматериалов к водоцементной смеси приводит к большей равномерности структуры цементного камня

3. Выводы

1. Наномодификаторы бетонов различной природы (ультрадисперсные (нано) частицы и структуры из углеродных атомов или окислов металлов и кремния), при весьма малых концентрациях в диапазоне 0,0007-0,006% способствуют не только повышению прочности бетонов или снижению расхода цемента, увеличению срока сохраняемости подвижности бетонных смесей, снижению расхода дорогостоящих гиперпластификаторов, но и обеспечивают значительное улучшение физико-механических свойств бетонов: повышение величин модуля упругости, снижение значений предельной деформации усадки, существенный рост водонепроницаемости и морозостойкости, что несомненно предоставляет большие возможности для управления строительно-техническими свойствами цементобетонов.

2. Использование наномодификаторов бетонов открывает широкие возможности целенаправленного управления экономическими, технологическими и физико-механическими свойствами цементобетонов с целью получения их гарантированных значений с вероятностью не ниже заданной.

Литература

1. Sobolev K. and Ferrada-Gutierrez M. " How Nanotechnology Can Change the Concrete World", American Ceramic Society Bulletin , №10, 2005, pp.14-17, №11, 2005, pp.16-19
2. Пономарев А.Н. «Перспективные конструкционные материалы и технологии, создаваемые применением нанодисперсных фуллероидных систем», - Вопросы материаловедения, 2001, № 2, с.65.
3. Строцкий В.Н. и др. « Исследование физико-механических свойств высокопрочного бетона с добавкой микрокремнезема и ультрадисперсной углеродной добавкой с наночастицами размером 10-50 нанометров», - Научные труды ОАО ЦНИИС, вып.250, «Технология и свойства железобетона в современном транспортном строительстве», М.2008, с.33.