

**ЗАЩИТА МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ
ОТ ТРЕЩИН УСАДОЧНОГО ХАРАКТЕРА**

**PROTECTION OF MONOLITHIC REINFORCED CONCRETE STRUCTURES
OF INDUSTRIAL BUILDINGS
FROM CRACKS SHRINKAGE CHARACTER**

Е.И. ШМИТЬКО, Н.А. ВЕРЛИНА
E.I. SHMITKO, N.A. VERLINA

(Воронежский государственный архитектурно-строительный университет)
(Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: rector@vgasu.ru.ru

Рассмотрены причины появления трещин усадочного характера в поверхностном слое бетонных конструкций производственных зданий. Получены новые результаты, связанные с применением ПАВ, которые, по мнению авторов, в наибольшей степени определяют специфику полученных результатов. Установлено, что введение в цементно-водную композицию добавок ПАВ повышает ее плотность, но эффект повышения в значительной степени связан с составом и видом добавки и ее дозировкой.

The reasons of emergence of cracks of shrinkable character in a blanket of concrete structures of industrial buildings are considered. The new results connected with application surfactant which, according to authors, most define specifics of the results are received. It is established that introduction to cement and water composition of surfactants additives increases its density, but the effect of increase is substantially connected with structure and a type of additive and its dosage.

Ключевые слова: железобетонные конструкции, бетонные смеси, трещины усадочного характера, виды добавок: ЛСТ, СП-3, Glenium, Stachement.

Keywords: reinforced concrete designs, concrete mixes, cracks of shrinkable character, types of additives: LST, SP-3, Glenium, Stachement.

Технология возведения зданий и сооружений за последние 2-3 десятилетия совершила значительный шаг в сторону ее совершенствования. Во-первых, значительно изменилась структура применяемых материалов и изделий. Центральным моментом в этом изменении стал переход от преимущественного применения сборных бетонных и железобетонных конструкций к использованию бетонных смесей в монолитных конструкциях, что в целом способствовало повышению жесткости, несущей способности

возводимых объектов. Этому также способствовало значительное повышение свойств применяемого бетона за счет введения в его состав добавок – модификаторов структуры бетона. Обычными стали бетоны с гарантированной прочностью 60...80 МПа, которые и применяются при возведении особо ответственных конструкций.

Однако однозначность в крайне положительных оценках достигнутых результатов модифицирования структуры бетона относительно только высоких показателей

прочности со временем несколько нарушилась в связи с тем, что на некоторых возведенных из высокопрочного бетона конструкциях стали появляться трещины усадочного характера. Непосредственной причиной таких трещин являются напряжения, возникающие прежде всего в поверхностном слое бетонной конструкции в результате усадки бетона в этом слое при потере им воды. Одной из значимых причин такой высокой влажностной усадки (сжатия) бетона является присутствие в его исходном составе модификаторов структуры, в состав которых в качестве основных компонентов в обязательном порядке входят ультрадисперсный минеральный порошок и суперпластификатор.

Большинство исследователей причин высокой усадочности бетона сосредоточили свое внимание на ультрадисперсном порошке. Мы же в этой статье попытаемся показать, что вид и дозировка применяемого суперпластификатора также имеет немаловажное значение. Но поскольку непосредственной причиной усадки бетона является его обезвоживание, то вначале мы попытаемся хотя бы кратко изложить свое видение этого явления.



Рис. 1

На рис. 1 представлена полученная нами экспериментальная кривая плотности свободноуложенной дисперсии цемент – вода в зависимости от количества в ней воды. Общий вид кривой указывает на то, что в

отсутствии внешних сил плотность частиц цемента является следствием внутренних процессов самоорганизации структуры рассматриваемой системы. Известно [1], [2], что непосредственной причиной процессов самоорганизации структуры влажных дисперсных систем является наличие активных центров на поверхности твердой фазы, которые способны притягивать молекулы воды, изменяя ее структуру, а также то, что вода в свою очередь способна проявлять поверхностное натяжение на границах твердой и газообразной фаз. Исходя из этих теоретических постулатов, можно заключить, что разуплотнение системы при увеличении самых малых доз воды (рис. 1, участок АВ) является следствием того, что вся вводимая в систему вода распределяется на поверхности зерен цемента в форме жестких пленок, которые создают расклинивающий эффект и снижают плотность упаковки зерен цемента. Но толщина образовавшихся пленок поверхностной воды ограничена величиной поверхностной энергии частиц цемента, и поэтому при дальнейшем ее добавлении в рассматриваемую систему она начинает заполнять самые тонкие зазоры между частицами цемента. Таким образом появляется капиллярная вода, обеспечивающая стяжение системы за счет проявления поверхностного натяжения на границе вода – воздух в сочетании его с поверхностным натяжением на границе вода – зерно цемента (рис. 1, участок ВС). Далее мы наблюдаем спонтанное повышение плотности на участке СД. Теоретические изыскания относительно этого эффекта привели к теории Лифшица [2], согласно которой при сближении дисперсных частиц до 100 нм и менее между ними начинают проявляться дополнительные межчастичные силы притяжения (Ван-Дер-Ваальсовы силы). Максимальной плотности система достигает при влажности, соответствующей точке Д на кривой плотности. При этой влажности дисперсная система твердое – жидкость – газ переходит в двухфазную твердое – жидкость. Соответственно из баланса внутренних сил уходят капиллярные силы, и поэтому при дальней-

шем увеличении содержания воды свободно уложенная дисперсная система самоуплотняется.

Таким образом, основной причиной влажностной усадки и связанных с нею внутренних напряжений в бетоне являются капиллярные силы стяжения, которые по мере снижения количества воды в твердеющей системе усиливаются, так как вода остается в более тонких капиллярах, а величина стягивающего систему капиллярного давления обратно пропорциональна радиусу капилляра [3]:

$$P_k = -\frac{2\sigma_{ж-г} \cos \Theta}{r_k},$$

где r_k – эквивалентный радиус капилляра; $\sigma_{ж-г}$ – поверхностное натяжение на границе жидкость – газ; Θ – угол смачивания твердой фазы жидкостью.

Поверхностно-активные вещества (ПАВ) изменяют величины поверхностного натяжения на границах фаз и соответственно динамику проявления усадочных деформаций. Выявлению специфики этих воздействий и посвящены наши дальнейшие исследования.

Но прежде чем приступить к анализу новых результатов, выделим те положения физико-химической механики, на которых основано применение ПАВ, и которые, по нашему мнению, в наибольшей степени определяют специфику получаемых результатов. Обратим внимание на следующее положение [4]. Поверхностно-активные вещества снижают поверхностное натяжение воды на границах вышеотмеченных фаз, в результате их адсорбции на зернах цемента, вытеснении при этом части воды, и, таким образом, расклинивающий эффект пленок воды снижается.

Относительно первого интервала кривых плотности ($V/C < 0,8$) весьма заметным является снижение пленочного расклинивающего эффекта и соответствующее ему повышение плотности дисперсии при применении всех исследованных видов ПАВ любых концентраций. Состав и структура молекул ПАВ находят свое количественное

отражение в виде двух характеристик: адсорбционной емкости монослоя ПАВ на частицах твердой фазы (Γ) и снижения поверхностного натяжения на границе жидкость – газ ($\sigma_{ж-г}$). Первая характеристика является основой для определения практически значимого показателя, именуемого ККМ – критической концентрации мицеллообразования.

С учетом вероятных отличий в этих показателях нами для исследований привлечены 4 вида добавок: ЛСТ, СП-3, Glenium, Stachement (Германия). Добавки объединены в две однотипные группы: первая – ЛСТ и СП-3, вторая – Glenium и Stachement. Проведенными дополнительными исследованиями установлено, что добавки второй группы обладают значительно более высоким показателем ККМ.

А теперь посмотрим, каким же образом эти отличия повлияли на баланс внутренних сил, степень самоуплотнения цементно-водной дисперсии. Для первой группы добавок (с низким показателем ККМ) характерным является следующее. При малых значениях В/Ц-отношения ($V/C < 0,1$) введение совсем незначительного количества добавки (0,15%) существенно (примерно на 30%) повышает плотность дисперсии (против эталона – рис. 2 (изменение плотности цементно-водной дисперсии в зависимости от содержания воды, вида и расхода добавки: а) – с добавкой ЛСТ; б) – с СП-3; в) – с Glenium; г) – с Stachement 2570)). Это связано с тем, что добавка разрушает структуру водных пленок, препятствующих сближению частиц цемента. Увеличение дозировки добавки способствует снижению этого эффекта, так как увеличивается толщина адсорбционного слоя самой добавки.

При значениях В/Ц-отношения, обеспечивающих максимальный стягивающий эффект ($0,15 > V/C > 0,3$), малые дозировки добавки (0,15%) оказались также наиболее эффективными. В частности, при введении СП-3 в количестве 0,15% плотность дисперсии возросла с 2000 кг/м³ до 2350 кг/м³. С повышением дозировки добавки до 0,3% плотность дисперсии оказалась суще-

ственно ниже (2050 кг/м^3), при этом пластифицирующий эффект практически не изменился. И лишь при дальнейшем увеличении

дозировки СП-3 до 0,5% плотность возросла до 2200 кг/м^3 , пластифицирующий эффект достиг максимума.

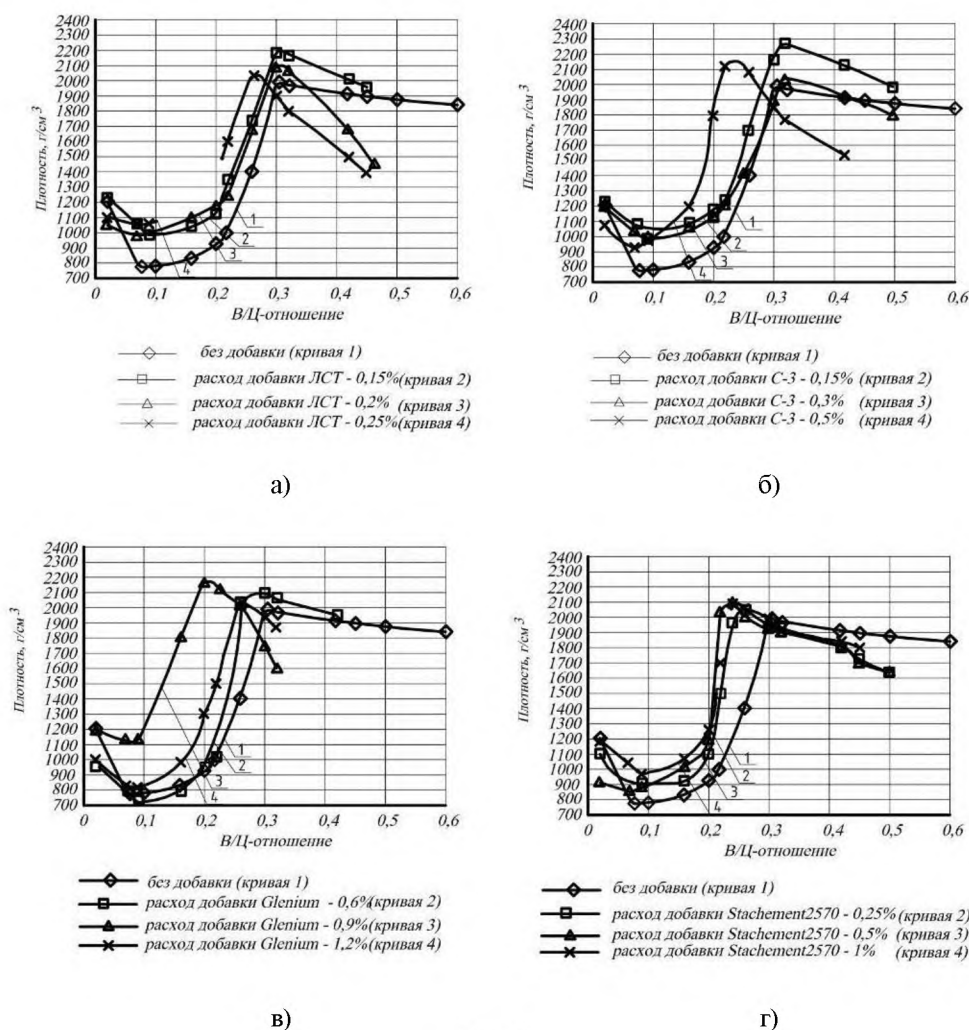


Рис. 2

Такое действие малой добавки СП-3 может быть обосновано тем, что как и для низких значений В/Ц-отношения ее введение способствует разрушению структуры водных оболочек вокруг зерен цемента. В то же время поверхностное натяжение на границе жидкость – газ снизилось незначительно, что мало повлияло на капиллярный стягивающий эффект, который в этом диапазоне В/Ц -отношения достиг максимума. При увеличении дозировки добавки вплоть до значения ККМ поверхностное натяжение снижается, и соответственно максимальный эффект самоуплотнения системы не может быть достигнут.

Для второй группы добавок (Glenium, Stachement) характерным является значи-

тельный пластифицирующий эффект, реализуемый при относительно высоких дозировках добавок. При этом плотность цементно-водной дисперсии остается относительно низкой: даже при дозировке добавки в 1% плотность дисперсии против эталона возросла всего лишь на 80 кг/м^3 и составила 2080 кг/м^3 . Это указывает на то, что структура адсорбционного слоя этого вида ПАВ препятствует тесному сближению частиц цемента.

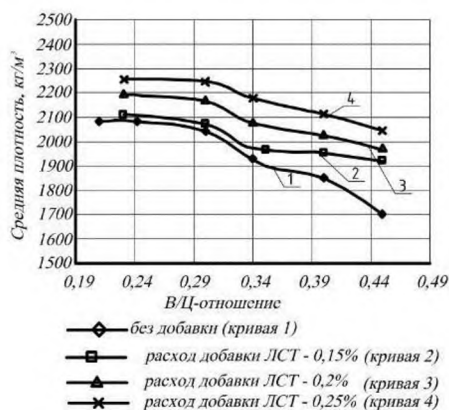
Теперь перенесем наш анализ на влажностный диапазон, в пределах которого плотность цементно-водной дисперсии обеспечивается действием сначала капиллярных сил, а затем сил межчастичного притяжения ($0,1 < \text{В/Ц} < 0,45$). До сих пор на

практике эффект применения ПАВ в бетонах связывают с повышением подвижности формовочной смеси и водоредуцирующим эффектом. Представленные же на рис.2 экспериментальные данные наглядно указывают на то, что эффективность применения ПАВ должна оцениваться не только с учетом обеспечиваемого ими водоредуцирующего или разжижающего эффектов, но и с учетом того, насколько совершенную структуру строительного композита мы получаем в результате их применения.

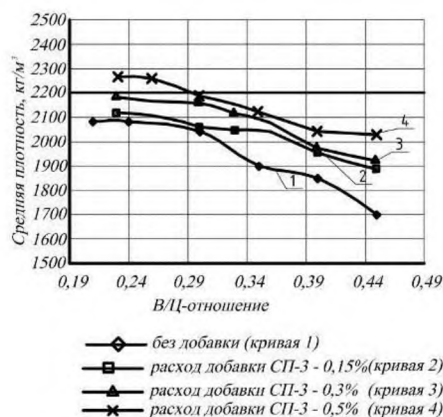
Наиболее объективным мерилom совершенства структуры цементного камня в конструкционном бетоне до сих пор остается его плотность. Из приведенных данных следует, что введение в цементно-водную композицию добавки ПАВ повышает ее плотность, но эффект повышения в зна-

чительной степени связан с составом и видом добавки, ее дозировкой. В наших опытах максимальная плотность составила: для ЛСТ – 2140 кг/м³ при ее дозировке 0,15%; для СП-3 – 2330 кг/м³ при дозировке 0,15%; для Glenium – 2120 кг/м³ при дозировке 0,9%; для Stachement – 2100 кг/м³ при дозировке 1%.

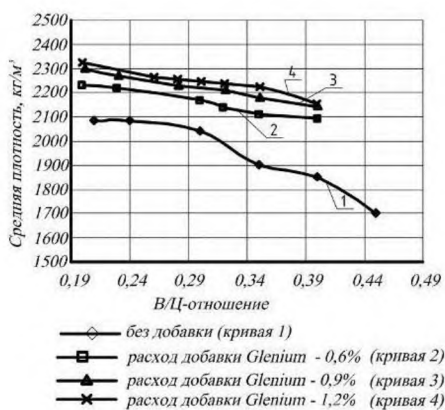
Однако такой вывод ориентирован только на качество ранней структуры цементно-водной композиции. Но окончательный вывод о показателях плотности мы должны получить относительно плотности затвердевшего цементного камня, который является несущей матрицей в бетоне (рис. 3 – изменение плотности цементного камня в зависимости от содержания воды, вида и расхода добавки: а) – с добавкой ЛСТ; б) – с СП-3; в) – с Glenium; г) – с Stachement 2570).



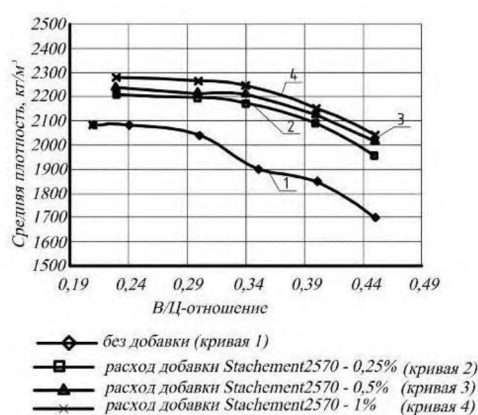
а)



б)



в)



г)

Рис. 3

Результаты оказались несколько неожиданными, так как обнаружилось, что корреляция между плотностями исходной композиции и цементного камня отсутствует. Более того, независимо от вида добавки ПАВ при ее оптимальном, относительно пластифицирующего и стабилизирующего эффектов, содержании плотность цементного камня при фиксированном значении В/Ц-отношения в процессе твердения выходит на одну и ту же величину. В наших опытах: для В/Ц=0,24 – это около 2250 кг/м³ для добавок первой группы и 2280 кг/м³ – для добавок второй группы. На основании этих данных можно предположить, что добавки второй группы в начальный момент времени неравновесно иммобилизуют практически всю воду затворения. Когда удельная поверхность твердой фазы возрастает за счет новообразований, адсорбционные слои ПАВ становятся ненасыщенными, поверхностное натяжение, проявляемое водой, возрастает, что способствует росту капиллярного стяжения всей системы, росту ее плотности. Эти процессы и являются залогом тех высоких прочностей, какие имеют место при введении пластифицирующих добавок второй группы.

Таким образом, на основании результатов, представленных на рис. 3, можно заключить, что конечный эффект относительно достигнутой плотности бетона при применении добавок обеих групп один и тот же. Однако вероятность образования усадочных трещин при применении добавок второй группы выше, так как интервал усадочных деформаций от момента

укладки бетонной смеси в опалубку до периода созревания бетона и набора им расчетной прочности примерно в два раза выше, чем при применении добавок первой группы. Поэтому при применении добавок второй группы, что оправдано некоторыми другими характеристиками бетона, во избежание появления трещин необходимо в построечных условиях обеспечивать длительный влажностный уход за бетоном в конструкциях, особенно в условиях сухого и жаркого лета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ребиндер П.А., Измайлова В.В. Структурообразование в дисперсных системах. – М.: Наука, 1974.
2. Дерягин В.В., Чураев А.В., Овчаренко Ф.Д. и др. Вода в дисперсных системах. – М.: Химия, 1989.
3. Физическая химия / Под ред. Краснова К.С. – 3-е изд., испр. – М.: Высшая школа, 2001.
4. Ланге К.Р. Поверхностно-активные вещества: синтез, свойства, анализ, применение / Под науч. ред. Л. П. Зайченко. – СПб.: Профессия, 2007.

REFERENCES

1. Rebinder P.A., Izmajlova V.V. Strukturoobrazovanie v dispersnyh sistemah. – M.: Nauka, 1974.
2. Derjagin V.V., Churaev A.V., Ovcharenko F.D. i dr. Voda v dispersnyh sistemah. – M.: Himija, 1989.
3. Fizicheskaja himija / Pod red. Krasnova K.S. – 3-e izd., ispr. – M.: Vysshaja shkola, 2001.
4. Lange K.R. Poverhnostno-aktivnye veshhestva: sintez, svojstva, analiz, primenenie / Pod nauch. red. L.P. Zajchenko. – SPb.: Professija, 2007.

Рекомендована кафедрой технологии строительных материалов, изделий и конструкций. Поступила 01.06.16.