

## ПОВЫШЕНИЕ СОХРАННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ САМОУПЛОТНЯЮЩИХСЯ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ В УСЛОВИЯХ СУХОГО ЖАРКОГО КЛИМАТА

Салех Фатиан Исмаэль Салех

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры,  
г.Одесса, Украина*

**Анализ предыдущих исследований.** Самоуплотняющиеся бетоны (Self-compacting concrete, SCC) на основе суперпластификаторов находят все большее применение в практике строительства Ирака [1]. Вместе с тем удлинение времени до укладки бетонных смесей (в результате длительного транспортирования, перерывов в работе и т.п., может существенно изменить их свойства, что приводит к браку при изготовлении монолитных конструкций и невыгодно как для производителя товарного бетона, так и строительных фирм.

Для повышения сохранности бетонной смеси (способности бетонной смеси сохранять соответствующие данному классу показатели в течение определенного времени) в условиях сухого жаркого климата используют технологические приемы: охлаждение заполнителей и регулирование их состава, введение замедлителей схватывания цемента, а также суперпластификаторов т.н. «стерического» механизма действия, применение совместимых цементов и добавок и др.[1, 2].

Как показывает анализ материалов международных симпозиумов, эффективным технологическим приемом восстановления технологических свойств бетонных смесей является введение пластифицирующих добавок в два приема – первая порция в процессе приготовления бетонной смеси, вторая - непосредственно перед укладкой бетонной смеси в конструкцию [2, 3]. В основу повторного модифицирования положено, в частности, представление об увеличении количества «активной субстанции» добавки в системе за счет уменьшения ее адсорбции на гидратированных алюмосодержащих фазах цемента и дальнейшего продолжения диспергации силикатов [4].

В то же время с позиций обеспечения всей группы регламентируемых критериев качества бетонных смесей типа SCC (растекаемости, вязкости, самовыравнивания и др.) эффективность метода повторного введения добавок изучена не достаточно.

**Цель работы** – повышение сохранности технологических свойств самоуплотняющихся бетонных смесей в условиях сухого жаркого климата за счет повторного введения добавок.

**Методика исследований.** Базовый состав самоуплотняющегося бетона: цемент ПЦ II/A–III, состоящий из клинкерного цемента  $-400 \text{ кг/м}^3$  и добавки молотого шлака  $-160 \text{ кг/м}^3$  (40 % от массы цемента), песок  $-703 \text{ кг/м}^3$ , щебень  $793 \text{ кг/м}^3$ , суперпластификатор «Супер ПК»  $-1,3\%$  раствора от массы цемента.

Оценка качества бетонной смеси велась по методикам и критериям (табл.1) европейской комиссии по самоуплотняющемуся бетону (EFRAKС). Определялись диаметр и время расплыва конуса бетонной смеси (характеристики растекаемости), продолжительность истечения из воронки V-funnel (вязкость) и показатель самовыравнивания как отношение уровней  $H_2/H_1$  до ( $H_1$ ) и после ( $H_2$ ) прохождения смеси между прутьями  $d=14 \text{ мм}$  в аппарате L-box, что имитирует распределение смеси в форме [5]. Оценка бетонных смесей по степени расслоения велась визуально по методике Американского института по испытанию материалов (ASTM) [6]. Бетонные смеси изготавливались и хранились по заданным планом эксперимента режимам до повторного тестирования в термокамере с регулируемой температурой.

Исходная бетонная смесь отвечала требованиям к самоуплотняющимся бетонам: расплыв класс SF2 по расплыву ( $D=75 \text{ см}$ ), класс VS2/VF2 по вязкости (время расплыва 3 секунды и истечения из воронки Funnel - 12 секунд); клас по самовыравниванию PA2 (отношение уровней смеси в аппарате L-box  $-0,87$ ); класс по сегрегации - SR2.

По результатам алгоритмизированного эксперимента получен комплекс ЭС-моделей, описывающих влияние повторной дозировки добавки ( $X_1=СП_2=0,2\pm 0,2\%$  массы цемента) в диапазоне изменения температуры ( $X_2=T=30\pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ ) и времени выдержки ( $X_3=\tau=1\pm 0,5 \text{ час}$ ) при данной температуре до повторного введения.

Каждая ЭС-модель позволяла исследовать ситуации получения самоуплотняющейся бетонной смеси:

а) при обычном введении добавки с водой затворения; б) при повторном введении добавки; в) при хранении в нормальной ( $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ) или повышенной ( $40 \text{ }^\circ\text{C}$ ) температурах; г) при короткой (до 30 мин) или длительной выдержке (до 1,5 час) при данной температуре.

**Обсуждение результатов.** С учетом данных многих авторов, можно утверждать, что введенный совместно с водой затворения СП интенсивно адсорбируется содержащимися на поверхности зерен  $C_3A$ ,  $C_3S$  а также этtringита, образующегося на первой стадии в результате реакции  $C_3A$  и гипса. В результате адсорбции СП на образующихся

новых поверхностях содержание «активного вещества» добавки в жидкой фазе быстро уменьшается, что отражается на реологических характеристиках цементных паст.

Таблица 1. Критерии качества (классы) самоуплотняющихся смесей

Класс смеси	Определение	Классы и границы показателей		
<b>по расплыву</b> <i>Slump-Flow classes</i>	Диаметр расплыва конуса, D, мм	<b>SF1</b> (550-650 мм)	<b>SF2</b> (660-750)	<b>SF3</b> (760-850)
<b>по вязкости</b> <i>Viscosity classes</i>	Время расплыва конуса до D=50 см (T <sub>v</sub> , с)	<b>VS1</b> (≤2 с)	<b>VS2</b> (>2 с)	
	Время истечения из воронки V-funnel (T <sub>50</sub> , с)	<b>VF1</b> (≤8 с)	<b>VF2</b> (9-25 с)	
<b>по нивелированию</b> <i>Passing ability classes</i>	отношение уровней h <sub>2</sub> /h <sub>1</sub> в аппарате L-box (2 или 3 стержня)	<b>PA1</b> (≥0,80)	<b>PA2</b> (≥ 0,80)	
<b>по сегрегации</b> <i>Segregation resistance classes</i> <i>Visual Stability Index</i>	отделение цементной пасты (сито 5 мм)	<b>SR1</b> (≤ 20%)	<b>SR2</b> (≤15%)	
	<b>VSI=0</b> Highly Stable (весьма стабильное), <b>VSI=1</b> (стабильное), <b>VSI=2</b> Unstable Stable (нестабильное), <b>VSI=3</b> Highly unstable (очень нестабильное)			

Изменение способа введения добавки сказывается на количестве адсорбированных молекул на продуктах гидратации и, соответственно, на кинетике гидратации в индукционный и ускоренный период. Отсрочка введения добавки понижает адсорбцию добавки. В жидкой фазе сохраняется дополнительное количество «активного вещества» для новой пластификации системы.

Анализ первичных данных позволил установить во-первых, достаточно быстрое ухудшение технологических параметров самоуплотняющейся бетонной смеси, а во-вторых, возможность за счет введения повторно добавки восстановления этих параметров практически до такого же уровня, как и на начальном этапе после смешения компонентов (табл.2).

Изменение диаметра расплыва (в см) описывается зависимостью при уровне риска 0,2 и ошибке эксперимента 0,87 см:

$$D=73,5+7,9x_1-3,9x_2-4,0x_3-3,8x_1^2-0,8x_2^2+2,6x_1x_2+1,1x_1x_3 \quad (1)$$

Таблица 2. Характеристики исходной бетонной смеси и после выдержки

Показатель качества бетонной смеси	Выдержка 1,5 часа при 40 °С			
	Без выдержки	1,3%	+0,2%	+0,4%
Распływ конуса, см	77,0	50,0	65,0	72,7
Время распльва, сек	4,2	22,5	10,0	4,2
Funnel-Test, сек	6,6	31,0	15,0	11,5
L-box-Test, %	95	26	72	90
Прочность 3 сут, МПа	22,9	24,1	28,3	30,7
Прочность 28 сут, МПа	52,7	38,9	37,2	44,7

Анализ по (1) индивидуального влияния факторов показывает (рис.1а), что введение оптимального дополнительного количества добавки компенсирует потерю распльва (рис. 1а) не только в нормальных (кривая 1 –«зона максимум» при  $T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\tau=0,5$  час), но и в «жестких» условиях выдержки бетонной смеси (кривая 2 –«зона минимум» при  $T=40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\tau=1,5$  час).

По комплексу зависимостей типа (1) проанализированы условия обеспечения заданных классов самоуплотняющихся бетонов.

С ростом температуры и времени выдержки область заданного класса распльва бетонной смеси SF2 сохраняется только в случае повышения повторной дозы до  $D_3=0,37\%$  (рис.1б). Выделены области обеспечения класса VS2 по времени распльва (рис.1в), класса VF2 по времени истечения (рис. 1г).

Выявлена область получения саморастекаемых смесей класса PA2 (рис.1д), в которой обеспечивается соотношение уровней смеси после прохождения между прутьями арматуры  $H_1/H_2 \geq 0,85$ .

Обобщенный анализ показал, что после повторного введения добавки распльв конуса может быть увеличен в 1,1-1,4 раза, время распльва и истечения из воронки V-funnel уменьшено в 2-5 раз, показатель нивелирования увеличен до 0,85. При повышении повторной дозы суперпластификатора до 0,4% во всем диапазоне изменения факторов прочность бетона изменяется не более чем на 10%, хотя эффективность повторного введения добавки несколько снижается с ростом температуры и времени выдержки.

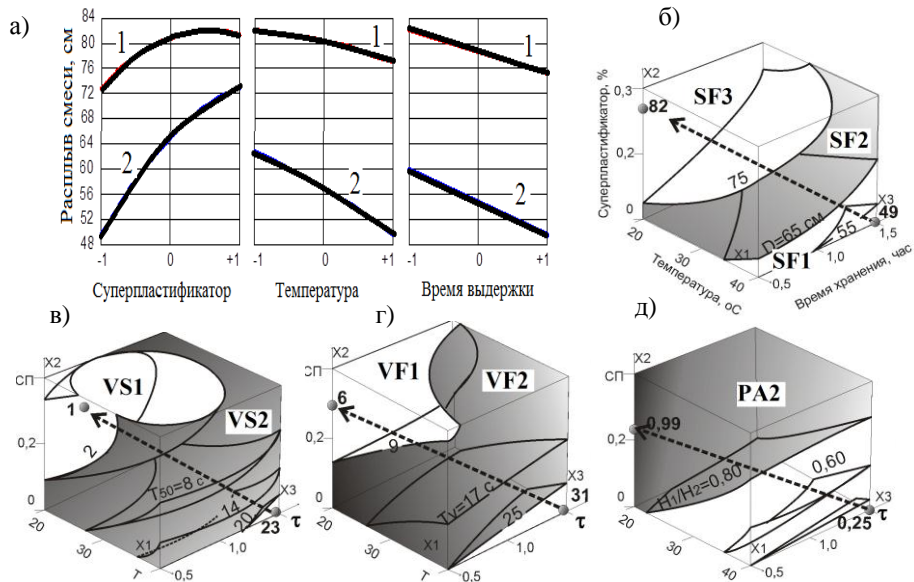


Рис.1. Влияние рецептурно-технологических факторов на расплав конуса (а), а также трансформация границ классов самоуплотняющейся бетонной смеси по расплыву SF (б), времени расплыва VS (в), истечения VF(г) и самоуплотнению PA (д)

## ***Выводы***

Исследовано влияние повторного модифицирования на свойства самоуплотняющегося бетона, рассмотрены новые схемы реализации добавок. Определены начальные и дополнительные дозировки добавок, которые могут восстановить исходные классы бетонной смеси после заданного периода хранения при обычной и повышенной температуре. Проведенные исследования позволили рекомендовать вторичные дозировки добавок для сохранения свойств самоуплотняющейся смеси в условиях сухого и жаркого климата.

### **Summary**

**Effect of re modification on the properties of self-compacting concrete. The primary and additional dosing, which may restore the original classes of concrete mix after the specified retention period, with normal and elevated temperature.**

## ***Литература***

1. Коваль С.В., Абид Н., Ситарский М. Самоуплотняющийся бетон: области применения, тестирование и особенности состава // Строительные материалы и изделия, 2012. –№ 4. –С. 2-5.
2. Neville A.M. Właściwości betonu. Wydanie czwarte, Wydawnictwo Polski Cement, Kraków 2010, 829 s.
3. Jamróży Z. Beton i jego technologie. Nowe wydanie uwzględniające PN-EN206-1, Warszawa: Wyd. PWN, 2005. — 506 s.
4. Батраков В.Г. Модификаторы бетона: новые возможности и перспективы // Строит. материалы, -2006. -№10. –С.4-7.
5. The European Guidelines for Self Compacting Concrete, EFNARC, Specification, Production and Use, 2005.
6. TECHNICAL BULLETIN TB-1506 Test Methods for Self-Consolidating Concrete (SCC) // [www.na.graceconstruction.com/.../TB\\_1506C](http://www.na.graceconstruction.com/.../TB_1506C).