

УДК: 666.972

**Ф. САЛИХ, С. В. КОВАЛЬ**

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

## ПОВЫШЕНИЕ СОХРАННОСТИ БЕТОННОЙ СМЕСИ ПРИ ПОЭТАПНОМ ВВЕДЕНИИ ДОБАВОК

Усовершенствован способ поэтапного введения добавок за счет введения перед укладкой в бетонную смесь ускорителя для компенсации замедляющего действия повторной дозы суперпластификатора, обеспечивающей восстановление технологических свойств смеси после длительного транспортирования или консервации. Предложен инновационный метод работ с бетонной смесью в условиях длительного транспортирования, повышенных температур, а именно двухстадийное введение. Добавки разных типов комбинируются и вводятся по отдельности на разных этапах в зависимости от поры года, схемы организации бетонных работ, расстояния до строительной площадки, с учетом стоимости перевозок и других факторов.

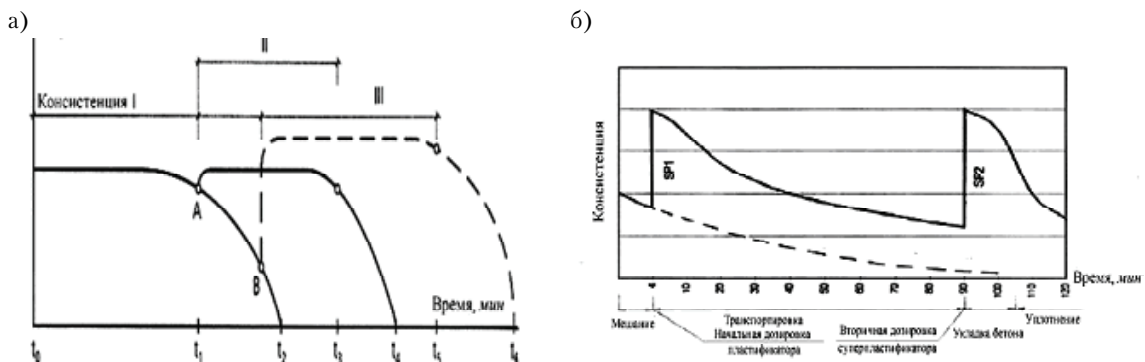
**поэтапный способ введения добавок, суперпластификатор, замедлитель, ускоритель**

### ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

В последние десятилетия в технологии бетона определилась тенденция использования смесей высокой удобоукладываемости, в том числе самоуплотняющихся бетонов [1, 2]. Однако, как показывает практический опыт, существует опасность потери удобоукладываемости бетонных смесей, особенно в условиях длительного транспортирования и при повышенной температуре. Добавление воды после транспортировки вызывает снижение прочности и ухудшение эксплуатационных характеристик бетона.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Необходимость повышения жизнеспособности бетонной смеси определяет целесообразность использования *способа «запоздалого» введения добавок* («two-step mixing method») [3]. Время сохранения удобоукладываемости можно продлить, дозируя суперпластификатор порциями (рис. 1). Количество порций не должно быть большим, так как многократное дозирование может являться причиной формирования худшей структуры и падения прочности бетона [4].



**Рисунок 1** – Схема (а) поэтапного дозирования суперпластификатора ( $t_1, t_2, t_3$  – начало ухудшения действия; I, II и III-периоды полного действия; А и В – моменты введения очередной порции) [1], а также влияние такого дозирования [2] (б).

© Ф. Салих, С. В. Коваль, 2013

Повторное дозирование можно разделить на первичное (ведение пластификатора во время приготовления смеси) и вторичное – непосредственно перед укладкой и уплотнением бетонной смеси в конструкции [1–4].

Нами выдвинуто предположение о возможности совершенствования данного метода с позиций решения обозначенной выше инженерной задачи, используя различные виды добавок, вводимые поэтапно.

Обеспечение заданных параметров технологических смесей в условиях их длительного транспортирования без замедления процессов твердения является сложной инженерной задачей в монолитном строительстве [1]. Эта задача может быть решена за счет поэтапного введения добавок. Для регулирования технологических свойств смеси используются пластифицирующие ПАВ, в том числе суперпластификаторы (СП). В то же время для смесей, модифицированных этими добавками, характерна довольно быстрая потеря удобоукладываемости. Для предупреждения этого явления суперпластификатор может добавляться порциями – одна часть при приготовлении бетонных смесей на БСУ, вторая на месте укладки бетонной смеси в конструкцию (обычно вливается раствор добавки непосредственно во вращающийся барабан бетоносмесителя).

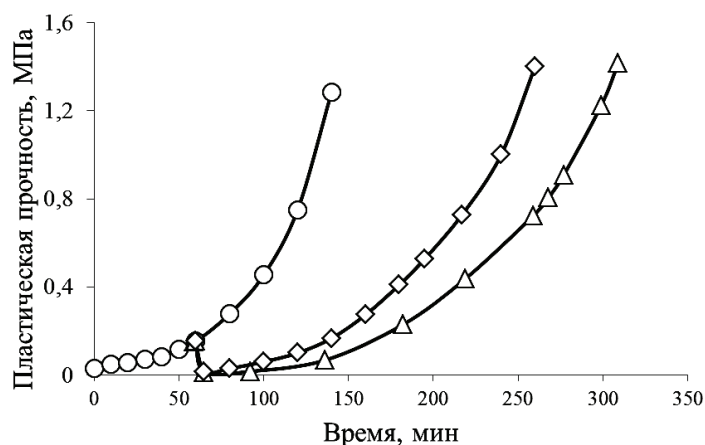
Этот способ позволяет восстановить подвижность бетонной смеси без добавления весьма малого количества воды, входящей в рабочий раствор добавки. Однако приготовленная высокоподвижная бетонная смесь не может быстро набирать прочность после укладки в конструкцию, в связи с замедляющим действием дополнительной порции суперпластификатора. Как уже отмечалось, замедление твердения не дает возможность увеличить оборачиваемость инвентарной опалубки и произвести передачу нагрузок.

Высказана следующая гипотеза. Так как введение СП приводит к раннему снижению прочности, для ее компенсации потери перед началом укладки смеси в опалубку целесообразно дополнительно к повторному введению суперпластификатора вводить в ускоритель твердения, что может быть особенно эффективным при согласовании с процессами структурообразования.

**Целью** данного исследования является повышение сохранности бетонной смеси и регулирование кинетикой твердения бетона при поэтапном введении добавок.

## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

На рис. 2 показано изменение во времени пластической прочности цементных паст при обычном (кривая 1) и повторном (кривая 2) введении суперпластификатора, а также при дополнительном введении комплексной добавки «суперпластификатор + ускоритель твердения» (кривая 3).

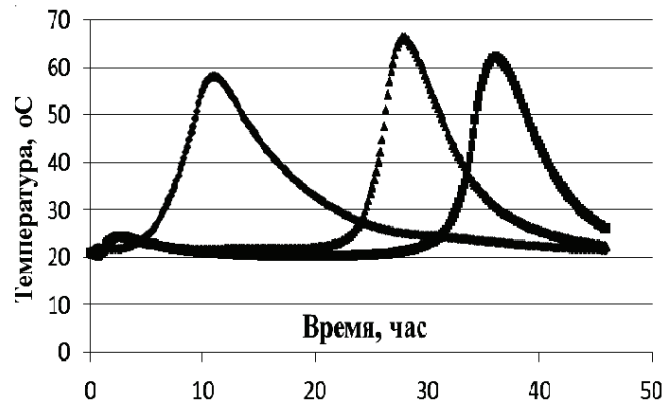


**Рисунок 2** – Кинетика пластической прочности при поэтапном введении добавок: 1 – СП по обычной схеме; 2 – 60 % СП при приготовлении смеси и 40 % СП перед укладкой + 1,2 % ускорителя; 3 – двухстадийное введение СП (60 + 40 %).

Естественно, на набор прочности оказывает влияние и сам процесс повторного перемешивания, однако четко выраженное различие в кинетике позволяет утверждать о преимущественном влиянии именно добавок, а не процесса перемешивания при введении дополнительных порций добавок.

Анализ кинетики пластической прочности (рис. 2) показывает, во-первых, возможность резкого уменьшения структурной прочности в момент введения дополнительных добавок; во-вторых, возможность удлинения индукционного периода, что продлевает время сохранности смеси; в третьих, добавочное введение ускорителя в составе «вторичной» комплексной добавки позволяет ускорить набор пластической прочности цементной пасты, что должно положительно сказаться на росте ранней прочности бетона в конструкции.

Температурные зависимости (рис. 3) указали на изменение при поэтапном введении добавок скорости гидратации цемента.



**Рисунок 3** – Изменение температуры гидратации при поэтапном введении добавок: 1 – СП по обычной схеме; 2 – 60 % СП при приготовлении смеси и 40 % СП перед укладкой + 1,2 % ускорителя; 3 – двухстадийное введение СП (60+40 %).

Введенный совместно с водой СП интенсивно адсорбируется поверхностью С3А, С3S а также этtringита, образующегося на первой стадии в результате реакции С3А и гипса [134]. В результате образования новых поверхностей содержание добавки в жидкой фазе быстро уменьшается, а обнажение активных центров частиц, продолжающих взаимодействовать с водой, приводит к ускорению реакции. Это выражается в повышении температуры гидратации (кривая 1, рис. 3).

В случае повторного введения СП в жидкой фазе появится новое количество добавки; это возобновит ее адсорбцию и вновь покроет молекулами ПАВ активные центры цементных частиц. В результате тепловыделение снижается, что свидетельствует о замедлении процесса гидратации (кривая 3, рис. 3).

Если оценивать действенность повторного введения по схеме «начального замедления с последующим ускорением», то наиболее эффективным будет добавление 40 % СП совместно с ускорителем через 60 мин (кривая 2, рис. 3), так как при увеличении индукционного периода достижение температурного максимума наступает раньше, по сравнению с введением суперпластификатора в повторной дозе.

Помимо введения ускорителя, исследовалась возможность решения поставленной задачи в случае введения и замедлителя для существенного удлинения периода сохранности бетонной смеси, что особенно актуально при проведении строительных работ в условиях повышенных температур.

Схема влияния добавок (суперпластификатор, замедлитель, ускоритель) при поэтапном введении показана на рис. 4.

Для проверки данной схемы были поставлены специальные эксперименты по 15-ти точечному D-оптимальному плану, в котором варьировались концентрации суперпластификатора, замедлителя и ускорителя (табл.). Схема формирования факторного пространства показана на рис. 5. В соответствии с общими рекомендациями [6], уровень  $x_1 = -1$  совмещен с нулевой концентрацией добавок (точка № 1), что позволяет исследовать по моделям ОК и R бездобавочную композицию, а также композиции с индивидуальными и двойными добавками.

Точки № 2–№ 5 отвечают составу «первоначальной» равноподвижной смеси (осадка конуса  $OK_0 = 18 \pm 0,2$  см) с варьируемыми концентрациями стандартного суперпластификатора С-3 (фактор  $X_2$ ) и замедлителя Isola VZ-520 (фактор  $X_3$ ).

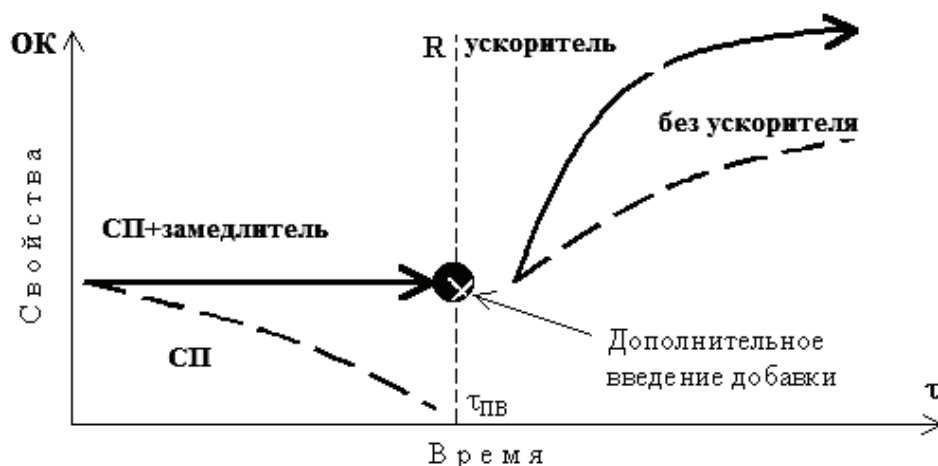


Рисунок 4 – Схема влияния трех добавок при поэтапном введении.

Таблица – Уровни варьирования содержания добавок

№	Код			Дозировка, %		
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	УГ	СП	З
1	-1	-1	-1	0	0	0
2		-1	+1		0,02	
3		0	0		0,3	
4		+1	-1		0,6	
5		+1	+1		0,6	
Дополнительное введение ускорителя						
6	+	-1	0	1,5	0	0,01
7		0	-1		0	
8		0	0		0,3	
9		0	+1		0,3	
10		+1	0		0,6	
11	+1	-1	-1	3,0	0	0
12		-1	+1		0,025	
13		0	0		0,3	
14		+1	-1		0,6	
15		+1	+1		0,6	

Опыты в пяти базовых точках дополняются на первом этапе проектированием смесей в точках № 6–№ 10, но в этом случае смеси не содержат ускорителя ( $X_1 = 0\%$ , фактор, индексированный как  $x_1 = -1$ ). В смеси, полученные в этих опытных точках, после 2-х часовой выдержки при температуре  $28 \pm 1^\circ \text{C}$  вводился в переменных дозировках ускоритель твердения  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Показатель сохранности смеси рассчитывался как:

$$C = (\text{OK}_0 - \text{OK}_{\tau=2}) / \text{OK}_0, \% \quad (1)$$

где  $\text{OK}_0$  – исходная подвижность 18 см;  
 $\text{OK}_{\tau=2}$  – подвижность после 2 часов выдержки.

При исследовании способа двухстадийного введения добавок ЭС-моделирование добавок имеет ряд особенностей, в частности, каждая модель описывает как начальные, так и «поздние» эффекты от их введения.

Влияние трех добавок на прочность бетона после первых суток твердения в нормальных условиях в зоне максимума и минимума  $R_1$  показана на рис. 6а. Воздействие ускорителя на прочность бетона после одних суток твердения сопоставимо с суперпластификатором, при этом возможна полная компенсация негативного действия замедлителя, особенно при введении СП и регулятора твердения в оптимальных дозировках.

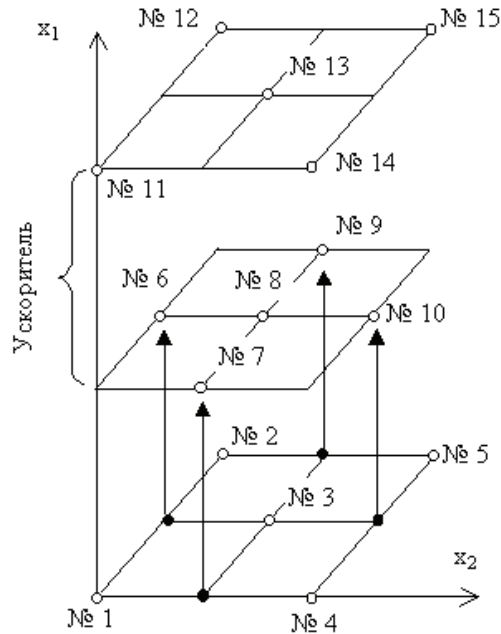


Рисунок 5 – Расположение опытных точек в факторном пространстве.

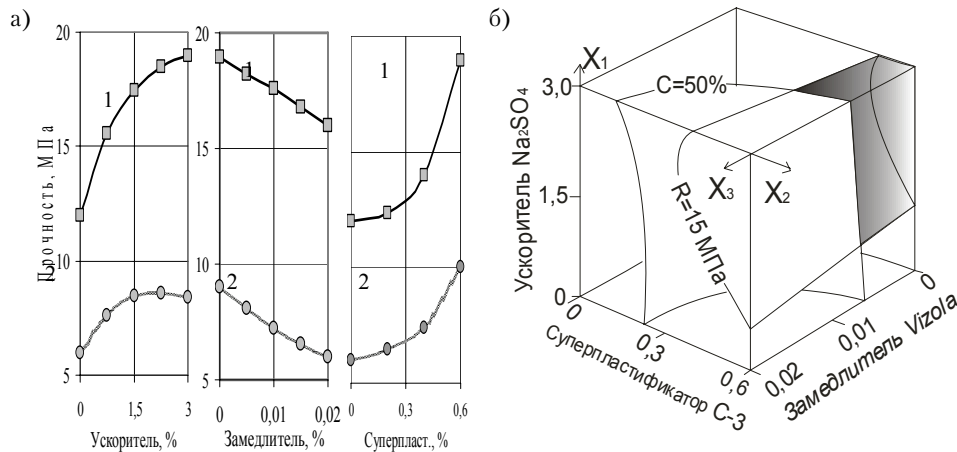


Рисунок 6 – Влияние ингредиентов в зоне максимума и минимума  $R_1$  (а) и поиск компромиссной области концентраций добавок (б).

Графическое решение задачи выбора добавок показано на рис. 6б. На нижней грани куба отображается влияние суперпластификатора ( $X_1$ ) и замедлителя ( $X_3$ ), вводимых непосредственно при приготовлении смеси. По оси  $X_1$  рассматривается влияние ускорителя, вводимого после 2 часов выдержки смеси, а внутри куба – совместное влияние трех добавок.

В пространстве  $\{X_1, X_2, X_3\}$  формируется выделенная область концентраций модификаторов, в которой при поэтапном способе их введения подвижность бетонной смеси снижается менее чем на  $C = 50\%$  после 2 час ( $t = \pm 28^\circ\text{C}$ ) выдержки при обеспечении нормированной для монолитного бетона прочности  $R_1 \geq 15$  МПа.

Анализ изоповерхностей на рис. 6 показывает, что при повышенных концентрациях СП и ускорителя прочность модифицированного композита возрастает на 60 % и более по сравнению с бездобавочным композитом. При этом в области высоких значений  $X_2$  и  $X_3$  замедляющее влияние высоких (в пределах данного эксперимента) концентраций замедлителя снижается. Из графического анализа модели следует, что ускоритель и суперпластификатор, характеризуются положительным влиянием на  $R$  в результате изменения кинетики реакций (прочность возрастает более чем в 1,8 раз по сравнению с эталоном). Дальнейший анализ показал, что растворы с такими концентрациями добавок

имеют наибольшую прочность в возрасте 60 дней, что, вероятно, связано с благоприятным действием добавки на формирование структуры цементного камня.

В качестве ингредиентов полифункциональной добавки могут использоваться не только импортные замедлители, но и более доступные добавки, в том числе технические лигносульфонат, кормовая патока. В зависимости от требований к бетону какая-либо добавка может быть из схемы исключена или добавлена. Таким образом, схемы введения модификаторов становятся двухстадийными, а их эффективность может быть повышена при действии добавок согласовано с процессами структурообразования [5].

## ВЫВОДЫ

Предложен инновационный метод работ с бетонной смесью в условиях длительного транспортирования, повышенных температур, а именно двухстадийное введение. Добавки разных типов (пластификаторы, суперпластификаторы, замедлители, ускорители) комбинируются и вводятся по отдельности на разных этапах в зависимости от поры года, схемы организации бетонных работ, расстояния до строительной площадки, с учетом стоимости перевозок и других факторов. Это также позволяет не вводить лишнее (не учитываемое при проектировании состава бетона) количество воды в миксер, чтобы вернуть потерянную в процессе транспортировки консистенцию бетонной смеси, и тем самым не понизить класс прочности бетона в конструкции.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Neville, A. M. Właściwości betonu [Текст] / A. M. Neville. – Wydanie czwarte. – Kraków : Wydawnictwo Polski Cement, 2000. – 829 s.
2. Jamróy, Z. Beton i jego technologie. Nowe wydanie uwzględniające PN-EN206-1 [Текст] / Z. Jamróy. – Warszawa : Wyd. PWN, 2005. – 506 s.
3. Chiocchio, G. Optimum time for adding superplasticizer to portland cement pastes [Текст] / G. Chiocchio, A. E. Paolini // Cement and Concrete Research. – 1985. – Volume 15 (5). – P. 901–908.
4. Aiad, I. Effect of delaying addition of some concrete admixtures on the rheological properties of cement pastes [Текст] / I. Aiad, S. Abd El-Aleem, H. El-Didamony // Cement and Concrete Research. – 2002. – Volume 32. – P. 1839–1843.
5. Циак, М. Термокинетические особенности гидратации цемента при поэтапном введении добавок в бетонную смесь [Текст] / М. Циак // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури / М-во освіти і науки України, Донбаська нац. академія будівництва і архітектури. – Макіївка, 2009. – Вип. 2009-4(78) : Баштові споруди: матеріали, конструкції, технології. – С. 34–38.
6. Коваль, С. В. Моделирование и оптимизация состава и свойств модифицированных бетонов [Текст] / С. В. Коваль. – Одесса : Астропринт, 2012. – 424 с.

Получено 20.12.2012

Ф. САЛІХ, С. В. КОВАЛЬ

### ПІДВИЩЕННЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ БЕТОННОЇ СУМІШІ ПРИ ПОЕТАПНОМУ ВВЕДЕННІ ДОБАВОК

Одеська державна академія будівництва і архітектури

Вдосконалено спосіб поэтапного введення добавок за рахунок введення перед укладанням у бетонну суміш прискорювача для компенсації уповільнювальної дії повторної дози суперпластифікатора, яка забезпечує відновлення технологічних властивостей суміші після тривалого транспортування або консервації. Запропоновано інноваційний метод робіт з бетонною сумішшю в умовах тривалого транспортування, підвищених температур, а саме двостадійне введення. Добавки різних типів комбінуються й вводяться окремо на різних етапах залежно від пори року, схеми організації бетонних робіт, відстані до будівельного майданчика, з урахуванням вартості перевезень та інших факторів.

**поетапний спосіб введення добавок, суперпластифікатор, уповільнювач, прискорювач**

FETYAN SALIHS, SERGEY KOVAL  
INCREASING THE SAFETY OF CONCRETE MIX WITH A PHASED  
INTRODUCTION OF ADDITIVES

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture

There is an improved method of phased introduction of additives by introducing of accelerator in the concrete mix before the laying to compensate the slowing down effect of the second dose of superplasticizer, which ensures the recovery process of technological properties of the mixture after long transportation or conservation. The innovative method of works with a concrete mix in the conditions of the long transportation, the increased temperatures, namely two-phasic introduction has been offered. Additives of different types are combined and entered separately at different stages depending on a time of year, the scheme of the organization of concrete works, distance to a building site, taking into account cost of transportations and other factors.

**phased method of introducing additives, superplasticizer, retarder, accelerator**

**Фетіан Саліх** – аспірант Одеської державної академії будівництва і архітектури, кафедра процесів та апаратів в технології будівельних матеріалів. Наукові інтереси: будівельне матеріалознавство, модифіковані бетони.

**Коваль Сергій Володимирович** – доктор технічних наук, професор Одеської державної академії будівництва і архітектури, кафедра процесів та апаратів в технології будівельних матеріалів. Наукові інтереси: будівельне матеріалознавство, модифіковані бетони.

**Фетиан Салих** – аспирант Одесской государственной академии строительства и архитектуры, кафедра процессов и аппаратов в технологии строительных материалов. Научные интересы: строительное материаловедение, модифицированные бетоны.

**Коваль Сергей Владимирович** – доктор технических наук, профессор Одесской государственной академии строительства и архитектуры, кафедра процессов и аппаратов в технологии строительных материалов. Научные интересы: строительное материаловедение, модифицированные бетоны.

**Fetyan Salih** – postgraduate student, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Processes and Apparatuses in the Technology of Building Materials Department. Scientific interests: building materials science, modified concretes.

**Sergey Koval** – Doctor in Engineering Sciences, Professor, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Processes and Apparatuses in the Technology of Building Materials Department. Scientific interests: building materials science, modified concretes.