

Е.А.Иванова; Э.И.Батяновский, д-р техн.наук, проф.
УО «БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

ОСОБЕННОСТИ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ С ХИМИЧЕСКИМИ ДОБАВКАМИ

Приведены результаты исследований влияния химических добавок (на примере ускорителя твердения – сульфата натрия, суперпластификатора С-3 и комплексной добавки на их основе) на кинетику схватывания портландцементов марок М400 и М500 белорусских заводов, а также закономерности изменения подвижности бетонных смесей, содержащих эти добавки.

Проблема сохранения формовочных свойств бетонной смеси в процессе работы с ней, включая транспортирование, укладку и уплотнение в опалубке или форме, непосредственно зависит от кинетики схватывания примененного цемента. Введение в бетон химических добавок с целью ускорения роста его прочности, повышения удобоукладываемости смеси сопровождается изменением времени, в течение которого она сохраняет требуемые формовочные свойства. Общие тенденции этих изменений известны, однако количественная оценка их не установлена. В настоящей статье приведены экспериментальные данные о кинетике схватывания портландцементов марок М400 и М500 белорусских цементных заводов (табл. 1) при введении в тесто нормальной густоты добавки: ускорителя твердения – сульфата натрия (СН), суперпластификатора С-3 и комплексной добавки «С-3+СН», включающей этих компоненты, а также установленные закономерности изменения подвижности бетонных смесей, приготовленных с этими добавками.

Схватывание затворенного водой цемента (цементного теста) отражает процесс связывания воды поверхностью частиц твердой фазы. В начальный период их взаимодействия система «цемент-вода» характеризуется неравномерным распределением жидкости, которая мигрирует под действием электростатических сил поверхности вяжущего от «толстых» сольватных оболочек к «тонким». Со временем развивается процесс гидратации, который сопровождается отрывом и «выходом» в объем жидкой фазы множества элементарных частиц вяжущего. Они, в свою очередь, адсорбируют некоторое количество молекул воды, образуя собственную оболочку из ее тончайших слоев. Развитие гидратационного процесса на определенной стадии приводит к зарождению первичных связей между сольватированными частицами (флокулами) вяжущего, проявлению эффекта «дальней коагуляции» [1].

действием сил Ван-дер-Ваальса. Этот момент фиксируется с помощью прибора Вика как начало схватывания.

Табл. 1. Характеристики цемента, использованных в исследованиях

№ п/п	Завод изготовитель	Марка цемента	Группа активн. при пропар.	Минералогический состав, %				K _{нр}	Сроки схватывания, ч; мин	
				C ₃ S	C ₃ A	C ₂ S	C ₄ AF		начало	конец
1.	Бел.цем. завод	M500-D0	1	62	6,5	15	11,5	0,255	2 ⁰⁵	3 ¹⁰
2.	То же	M400-D0	1	56	7,3	18	13	0,265	2 ¹⁰	3 ²⁰
3.	Кричев-цемент-шифер	M500-D0	2	54	5	21	16	0,26	3 ¹⁵	3 ⁵⁵
4.	То же	M400-D20	3	51	4,5	26	15	0,27	3 ²⁰	5 ¹⁰
5.	Красно-сельск-цемент	M500-D0	2	53	2,3	23	15,7	0,25	2 ³⁵	3 ⁵³
6.	То же	M500-D0	1	55	4,7	20	15	0,255	2 ⁰⁵	3 ¹⁷
7.	То же	M400-D20	2	52	3,8	22	17,5	0,265	2 ³⁰	3 ⁴⁰

Углубление процесса гидратации вяжущего сопровождается постепенным переходом от "связывания" воды твердой фазой физически (адсорбция поверхностью) к химическому (образование новых фаз – этtringита, гидроалюминатов, гидроокиси кальция и пр.). С течением времени вся жидкость переходит из свободного в связанное состояние и взаимное расположение частиц твердой фазы, включая остаточные "ядра" взаимодействующего с водой цемента, фиксируется появлением связей между накопившимися в жидкости элементарными частицами новых фаз (новообразованиями). Эти силы незначительны, но достаточны для того, чтобы цементное тесто утратило способность к пластическим деформациям, а его структура приобрела способность удерживать приданную форму. По прибору Вика фиксируют конец периода схватывания. Дальнейшее развитие процесса гидратации вяжущего сопровождается резким ускорением образования новых фаз, уплотнением структуры и ростом прочности цементного камня, т.е. явление схватывания переходит в твердение, которое характеризуется образованием ионно-

кристаллогидратной структуры новообразований из гидросиликатов, гидроалюминатов и ферритов клинкерных минералов портландцемента.

Период времени, предшествующий схватыванию, когда бетонная смесь на портландцементе достаточно устойчиво сохраняет формовочные свойства, называют индукционным. Его продолжительность зависит от сочетания целого ряда факторов, в том числе от вида и количества вводимых в бетон химических добавок. Добавки-ускорители твердения бетона являются истинными электролитами. Их ионы активно влияют на развитие (ускорение) процесса гидролиза клинкерных минералов, способствуют дезагрегации цементных флюкул, интенсифицируют процесс образования новых фаз. В результате сокращается продолжительность индукционного периода, ускоряется схватывание, и потеря формовочных свойств бетонной смеси. Добавки-пластификаторы содержат в своем составе поверхностно-активные вещества, адсорбция молекул которых поверхностью вяжущего приводит к обратному эффекту - торможению гидратационного процесса и увеличению сроков схватывания цементного бетона. Изложенное относится и к исследуемым добавкам СН и С-3, включая и их сочетание в виде комплексного вещества. Их влияние на сроки схватывания цемента изучали по стандартной методике (ГОСТ 310.3), варьируя количество добавки.

Данные об изменении сроков схватывания цементов в зависимости от их активности (минералогического состава), вида и дозировки добавок приведены в таблицах 2, 3 и 4. Введение добавки СН (табл. 2) способствует интенсификации процесса гидратации цемента и вызывает сокращение сроков его схватывания. Этот эффект действия добавки в большей мере проявляется с ростом активности вяжущего. Так, при дозировках СН в 0,5 % и 1 % от массы цемента время начала схватывания вяжущих 1-ой группы эффективности сократилось (от его значения для теста нормальной густоты цемента без добавки СН) на 9...12 % и 20...25 % соответственно; для цементов 2-ой и 3-ей групп эффективности - на 4...6 % и 12...16 % соответственно. Следует отметить, что влияние добавки СН на начало схватывания цемента вполне предсказуемо, а сокращение индукционного периода при дозировке СН в 0,5...1 % от массы цемента, составляющее 10...25 %, может быть учтено.

Влияние добавки суперпластификатора С-3 в дозировке 0,35...0,65 % от МЦ (табл. 3) проявляется в увеличении сроков схватывания всех исследованных видов цемента (в большей степени для вяжущих меньшей активности и с увеличением дозировки добавки).

Табл. 2. Изменение сроков схватывания цементов при введении добавки СН

№ це- мента по табл. 1	Исходные сро- ки схватыва- ния; ч, мин		Сроки схватывания (час, мин) цемента при введе- нии СН в количестве (%):					
			0,5		1,0		1,5	
	Нача- ло	конец	начало	конец	начало	конец	начало	ко- неч
1	2 ⁰⁵	3 ¹⁰	1 ⁵²	2 ⁴⁸	1 ³⁵	2 ²⁴	1 ¹²	2 ⁰⁵
2	2 ¹⁰	3 ²⁰	1 ⁵⁵	3 ⁰²	1 ⁴⁴	2 ³⁵	1 ²⁰	2 ¹⁷
3	3 ¹⁵	3 ⁵⁵	3 ⁰⁴	3 ³¹	2 ⁴⁵	3 ¹⁵	2 ²⁴	2 ⁵⁸
4	3 ²⁰	3 ¹⁰	3 ⁰⁸	4 ⁴⁹	2 ⁴⁹	4 ³⁵	1 ³¹	3 ⁵⁵
5	2 ³⁵	3 ⁵³	2 ²⁷	3 ⁴⁶	2 ¹⁶	3 ³⁰	1 ⁵⁸	3 ⁰⁶
6	2 ⁰⁵	3 ¹⁷	1 ⁵⁴	3 ⁰⁰	1 ³⁶	2 ³⁸	1 ²⁵	2 ²⁹
7	2 ³⁰	3 ⁴⁰	2 ²⁴	3 ³⁰	2 ⁰⁹	3 ¹²	1 ⁵⁸	2 ⁴⁵
Средние данные о сокращении сроков схватывания для вяжущих 1-ой группы эффективности в %:								
	100	100	9..12	7...10	20...25	20...24	32...40	25... 35
То же для вяжущих 2 и 3 – групп эффективности (%) соответственно:								
	100	100	4...6	6...10	12...16	11...17	24...27	22... 25

Табл. 3. Изменение сроков начала схватывания цементов при введении добавки С-3

№ цемента по табл. 1	Начало схватывания (час, мин) цемента при введении С-3 в количестве (%):			
	0	0,35	0,5	0,65
1	2 ⁰⁵	2 ²⁴	2 ³⁹	2 ⁵⁸
2	2 ¹⁰	2 ³⁰	2 ³⁶	3 ¹¹
3	3 ¹⁵	3 ⁴²	4 ²⁴	4 ⁵⁵
4	3 ²⁰	4 ⁰⁵	4 ³³	5 ¹⁰
5	2 ³⁵	3 ⁰⁰	3 ¹⁶	3 ⁴⁵
6	2 ⁰⁵	2 ³⁰	2 ³⁹	3 ⁰³
7	2 ³⁰	3 ⁰⁵	3 ¹⁶	3 ⁵⁰
Средние данные об увеличении времени начала схватывания для вяжущих 1-ой группы эффективности в %:				
	100	15...20	19...27	42...50
То же для вяжущих 2 и 3 групп эффективности (%) соответственно:				
	100	18...25	30...35	47...55

Увеличение срока начала схватывания вяжущего при дозировке С-3 в количестве 0,65 % от МЦ составляет 40...55 %; для дозировки в 0,35...0,5 % от МЦ замедление схватывания цементов 1...3 групп эффективности соответственно составляет 15...35 % от исходного (без добавки).

Влияние комплексной добавки «С-3 + СН» исследовали на цемент: №№ 1, 3, 5 и 6 по табл. 1. Из данных, представленных в табл. 4, очевидно, что при введении комплексной пластифицирующе-ускоряющей твердения добавки "С-3 + СН" сопровождается неоднозначным влиянием на сроки схватывания цемента. Так, начало, и конец схватывания цемента несколько отодвигается во времени с ростом содержания компонента С-3 в комплексной добавке, в сравнении с их значениями при дозировке СН, равной 0,5 от МЦ (табл.2). При этом сроки схватывания цемента с комплексной добавкой во всех случаях меньше, чем с монодобавкой С-3 (табл.3). Снижение количества воды затворения до получения цементного теста нормальной густоты (данные 1*, 3*, 5*, 6*) сопровождается сокращением начала схватывания примерно на 20...35 % и 16...26 %, в сравнении с цементом с комплексной добавкой без корректировки водосодержания и без добавки соответственно.

Табл. 4. Влияние комплексной добавки на сроки схватывания цемента

№ цемента по табл.9	Состав комплексной добавки "С-3 + СН" в процентах от МЦ по сухому веществу	Сроки схватывания цемента в час, мин:	
		Начало	конец
1	0,3 + 0,5	1 ⁵⁸	2 ⁵⁹
1	0,4 + 0,5	2 ¹⁰	3 ¹¹
1	0,5 + 0,5	2 ²⁰	3 ²³
1*	0,5 + 0,5	1 ³²	2 ¹⁰
3	0,5 + 0,5	3 ¹³	3 ³⁵
3*	0,5 + 0,5	2 ³⁶	3 ⁰⁵
5	0,5 + 0,5	2 ⁴⁰	3 ³⁰
5*	0,5 + 0,5	2 ¹⁰	3 ⁰⁰
6	0,5 + 0,5	2 ¹²	3 ²⁴
6*	0,5 + 0,5	1 ⁴⁵	2 ¹⁸

Тенденция изменения подвижности пластичных бетонных смесей различной начальной консистенции отражена на рис. 1а (при постоянной температуре, равной 18...22°C) и рис. 1б (в диапазоне температуры 5...30°C). Во

всех случаях состав бетона соответствовал прочности класса С25/30. Очевидно, что подвижность бетонной смеси без добавок закономерно снижается с течением времени (при нарастающем темпе с повышением температуры до 25...30°C). Добавка СН незначительно влияет на темп снижения формуемости до 45...60 мин от приготовления смеси, а затем этот процесс прогрессирует (особенно с ростом температуры). Комплексная добавка, за счет стабилизирующего действия С-3, не повышает темпа снижения формуемости смеси с ОК ~ П1...П3 до 90 мин от момента приготовления, затем он несколько выше, чем у смеси без добавки.

Литая смесь марки П5 ускоренно теряет формуемость и за 60...90 мин соответствует марке П2. Эта же тенденция просматривается при сравнении темпа снижения подвижности смеси марок П3 и П1. Он выше у смеси с большей начальной подвижностью. Данное явление обусловлено снижением относительного водосодержания цементного теста (X ; в примерах для «П-1» $X \sim 1,68$; «П-3» $X \sim 1,39$; «П-5» $X \sim 1,24$) в бетоне равной прочности при возрастающей подвижности, что способствует повышению темпа протекания процессов, приводящих к схватыванию цемента, особенно в присутствии добавки-ускорителя твердения и с повышением температуры смеси. Статистическая обработка полученных данных позволяет получать зависимости для расчета периода сохраняемости требуемых формовочных свойств бетонной смеси.

Приведенные в статье данные позволяют прогнозировать изменения формуемости бетонной смеси с химическими добавками в период от момента приготовления до укладки в опалубку или форму и определять его продолжительность.

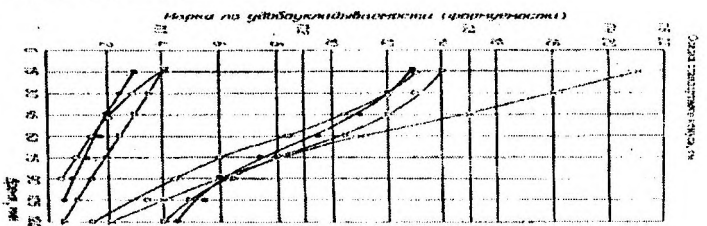
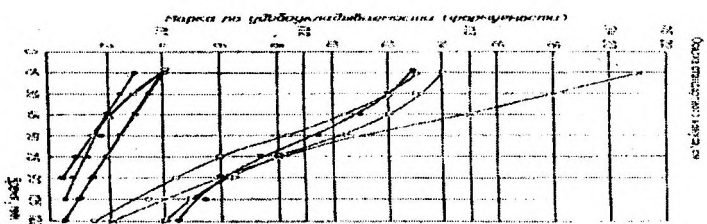


Рис. 1. Тенденция изменения подвижности бетонной смеси с добавками при $t_{см} \sim t_{нв} \sim 18...22 \text{ } ^\circ\text{C}$ (а) и тенденция изменения подвижности бетонной смеси под влиянием температуры среды (б). Условные обозначения: \bullet — смесь без добавок; \circ — с 1 % СН; Δ — Δ с 0,5 % С-3+0,5 % СН; \times — \times литая смесь с 0,5 % С-3+0,5 % СН