

РАЗДЕЛ 2

Энергосберегающие технологии в строительной отрасли

УДК 666.972

О КИНЕТИКЕ ТВЕРДЕНИЯ БЕТОНА С СУЛЬФАТОСОДЕРЖАЩИМИ ДОБАВКАМИ

*Батяновский Э. И., Осос Р. Ф., Белорусская
государственная политехническая академия, Минск,
Республика Беларусь*

Опыт работы ряда предприятий строительной отрасли Беларуси показал, что используя отечественную химическую добавку в бетон – сульфат натрия (СН), можно успешно реализовать изготовление сборных и устройство монолитных строительных конструкций по беспрогревной (малоэнергоёмкой) технологии [1, 2]. Вместе с тем, при одновременном решении задач по повышению морозостойкости, прочности, водонепроницаемости или коррозионной стойкости бетона более рационально использование комплексной добавки на основе применения СН в сочетании с выпускаемым в республике суперпластификатором С-3. Исследуя эффективность комплексной добавки, проверили ее влияние на кинетику твердения бетона различных составов (в диапазоне класса В7,5...В40), консистенции (жесткие – пластичные смеси) при использовании цементов всех заводов Беларуси (марки М400...М550, 1, 2 и 3 групп эффективности при пропаривании).

На начальном этапе определили рациональные дозировки добавок сульфата натрия (СН), суперпластификатора С-3 и комплексной добавки “С-3+СН” по критериям влияния их на кинетику роста прочности бетона в 1...3 суток твердения, экономической целесообразности (исходя из достаточно высокой стоимости добавок) и ограничений по пособию П1-99 к СНиП 3.09.01-85, в части содержания в бетоне сульфатов.

Поскольку целью исследований являлась разработка эффективной беспрогревной технологии изготовления

бетонных и железобетонных изделий, т. е. обеспечение распалубочной и передаточной прочности бетона за максимально короткий период твердения в бортоснастке, использовали составы бетона без снижения расхода цемента; одновременно уменьшали водосодержание бетона с добавкой С-3 до 20% с добавкой СН – до 5%, с комплексной “С-3 + СН” – до 15...18%, сохраняя на расчетном уровне консистенцию (формуемость) бетонной смеси.

Снижение водосодержания бетона с добавкой С-3 основывается на ее пластифицирующем эффекте, который проявляется вследствие адсорбции молекул поверхностно-активной составляющей у активных центров поверхности вяжущего и зерен твердой фазы в целом. В результате частично “блокируется” их поверхностный или термодинамический потенциал, снижается “водоудерживающая” способность твердой фазы и часть воды затворения переходит на какое-то время в свободное состояние – система “разжижается”.

При введении сульфата натрия механизм пластификации несколько иной и проявляется при вибрационном воздействии на бетон в виде более значительного водоотделения, чем у бетона без добавки, и с меньшим, но устойчивым кратковременным эффектом пластификации. Его сущность заключается в способности добавок-электролитов (распадающихся в воде на ионы) “сжимать” 2-ой электрический слой сольватированных частиц твердой фазы (уменьшать его толщину), что также сопровождается кратковременным переходом части жидкости в свободное состояние. Этот эффект для добавки СН проявляется на стадии вибрирования бетонной смеси.

Анализ данных о кинетике роста прочности бетона с добавками, в сравнении с аналогичными результатами для бетона без добавок позволил сделать следующие выводы.

Введение добавки-ускорителя твердения СН в дозировке 0,5...1,5% от массы цемента способствует росту прочности бетона нормально-влажностного твердения в возрасте 1, 2, 3 и 4 суток соответственно до 50...130%; 40...80%; 20...65% и 20...45%. При этом относительный прирост прочности бетона при дозировке СН более 1% снижается.

Уровень прочности бетона с 1...1,5% СН от МЦ не ниже 50% и 70% от ее значения в возрасте 28 суток (марки) достигается соответственно за 24...36 ч твердения и за 48 ч, что обеспечивает возможность распалубки изделий с ненапрягаемой арматурой и передачу усилия на бетон при ее преднапряжении.

Добавка С-3 в первые 1...2 суток снижает темп роста прочности бетона, в сравнении с бетоном без добавки. Эффект снижения водоцементного отношения бетона начинает проявляться через 40...48 часов твердения и выражается в росте прочности на 3-и сутки и в дальнейшем. Отмеченное характерно для дозировки С-3 в 0,4...0,8% от МЦ; в последнем случае "тормозящий" эффект в 1...2 сут. значительнее, но и выше последующий прирост прочности бетона после 3-х суток твердения, т. к. снижение начального водосодержания бетона было наибольшим (20%).

Комплексная добавка "С-3 + СН" по воздействию на прочность бетона в суточном возрасте несколько уступает добавке СН, но уже через 36...40 ч твердения их эффективность сближается, а в дозировке 0,5% С-3 + 0,5% СН комплексная добавка более эффективна. Очевидно, что это сочетание ее составляющих наиболее рационально.

Основой эффективной беспрогревной технологии изготовления изделий из цементного бетона является максимально возможное использование экзотермии вяжущего при организации твердения бетона по методу термоса. Имитируя его, формы герметизировали полиэтиленовой пленкой и устанавливали в пенополистирольный ящик на период твердения. В геометрический центр одного из средних в форме образцов устанавливали датчик-термопару контроля за изменениями температуры. Начальную температуру бетона приняли в диапазоне: 5...8 °С; 12...15 °С и 18...22 °С, как наиболее характерном для весенне-осеннего периода ведения работ на Беларуси. В качестве примера использовали бетон класса "В20; Ц ~ 295 кг (М400); ОК ~ 3...4 см); периодически контролируя изменение температуры и прочности бетона (образцы хранили в аналогичных приведенным условиям) получили данные таблицы 1.

Кинетика изменения температуры и прочности бетона при твердении в условиях термоса

№ п/п	Группа эффективности и цемента М400	Температура бетона в °С к исходу суток				Прочность бетона в % от марки М250 через сутки			
		0	1	2	3	1	2	3	4
Добавка СН в количестве 1% от МЦ									
1	1	6	11	16	22	35	47	59	69
2	1	13	20	27	31	44	55	67	78
3	1	20	30	36	41	57	78	88	95
4	2	6	9	13	18	28	44	55	66
5	2	13	17	25	28	40	51	63	74
6	2	20	28	34	37	54	73	85	92
7	3	6	8	11	16	23	40	49	52
8	3	13	15	21	23	35	47	58	69
9	3	20	23	26	30	39	56	70	75
Добавка "0,5% С-3 + 0,5% СН"									
10	1	6	9	17	24	32	50	65	76
11	1	13	18	28	33	41	58	74	82
12	1	20	28	37	42	54	79	92	96
13	2	6	8	14	21	27	46	63	71
14	2	13	15	25	29	36	51	70	79
15	2	20	25	33	38	51	74	89	95
16	3	6	8	12	16	21	44	53	64
17	3	13	15	22	24	32	52	62	73
18	3	20	21	28	31	35	56	72	76

Очевидно, что сведение к минимуму потерь тепла экзотермии цемента позволяет даже при низкой положительной начальной температуре бетонной смеси создать в твердеющем бетоне с добавками благоприятный температурный режим, а при начальной температуре смеси не ниже 13...15 °С обеспечить температуру в бетоне более 20 °С и, фактически, нормальный режим твердения.

Интенсификация процесса гидратации цемента добавкой ускорителя твердения повышает его тепловыделение, а аккумуляция тепла обеспечивает саморазогрев (прирост температуры от начальной) до 15...26 °С в первые 2...3 суток твердения при использовании цемента 1 и 2 групп эффективности. Применение вяжущего 3 группы эффективности сопровождается низким тепловыделением и со-

ответственно незначительным разогревом бетона и темпом роста его прочности. Фактически использование цемента 3 группы эффективности противоречит цели разработки и нецелесообразно для беспрогревной технологии изготовления сборных изделий.

Влияние комплексной добавки на тепловыделение реагирующего с водой цемента и саморазогрев бетона проявляется в соответствии с воздействием на процессы гидратации ее составляющих. Так, в первые сутки твердения из-за наличия ПАВ в составе "С-3" температура бетона и его прочность несколько ниже аналогичных показателей бетона с добавкой 1% СН. Но уже через 36...48 ч твердения и температура, и прочность образцов бетона с комплексной добавкой сравниваются и начинают превышать показатели бетона с СН.

Из данных о кинетике роста прочности бетона с добавкой 1% СН и комплексной: 0,5% С-3 + 0,5 СН, следует, что ее уровень в 50% от прочности соответствующей марке (т. е., обеспечивающей расчетный класс бетона) достигается через 24 ч естественного твердения в условиях гидро-, теплоизоляции при использовании цемента 1-ой и 2-ой групп эффективности при пропаривании, прочность бетона в 70% в тех же условиях твердения достигается к 40...48 ч.

На следующем этапе экспериментов исследовали (таблица 2) режимы твердения бетона (на примере состава: В20, Ц ~ 270 кг, Ж ~ 10 с; В20, Ц ~ 295 кг, ОК ~ 4 см) по методу "холодного" термоса, моделируя условия беспрогревной технологии для заводских условий работы. С этой целью формы с образцами накапливали до максимального заполнения объема теплоизолированной камеры (лабораторной пропарочной камеры) с гидравлическим затвором и теплоизолированной крышкой, где бетон в формах твердел до момента испытания образцов. Начальная температура бетона и воздушной среды в камере соответствовала 5...8 °С, 13...15 °С и 18...22 °С; наблюдения за ее изменением в процессе твердения бетона показали следующее. При сохранении тенденции роста температуры среды ее повышение менее значительно, чем прирост температуры бетона и составляет 5...10 °С от начальной. Темп повы-

шения температуры бетона и ее уровень оказался несколько ниже, чем при гидро-, теплоизоляции образцов, исключаящей теплообмен с окружающей воздушной средой (см. табл. 1).

Последнее свидетельствует о том, что эффективность беспрогревной технологии по методу “холодного” термоса может быть обеспечена при максимальном заполнении

Таблица 2

**Рост прочности бетона с добавками
в герметичном теплоизолированном
устройстве для твердения**

Температура среды и бетона начальная, °С	Характеристики бетонной смеси		Характеристика цемента	Прочность бетона в % от “марочной” в возрасте, сут.:			
	“Ж”, с	“ОК”, см		1	2	3	4
1	2	3	4	5	6	7	8
а) с добавкой СН (1% от МЦ)							
5...8	10	—	M400, 1	36	48	58	69
	10	—	M400, 2	34	45	56	65
	—	4	M400, 1	32	44	53	63
	—	4	M400, 2	28	41	49	59
12...15	10	—	M400, 1	44	55	66	79
	10	—	M400, 2	41	53	63	77
	—	4	M400, 1	40	52	63	74
	—	4	M400, 2	37	48	58	68
18...22	10	—	M400, 1	58	79	88	94
	10	—	M400, 2	55	77	86	91
	—	4	M400, 1	54	75	83	90
	—	4	M400, 2	51	70	78	85
б) с добавкой 0,5% С-3 + 0,5% СН							
5...8	10	—	M400, 1	33	52	66	75
	10	—	M400, 2	31	48	62	71
	—	4	M400, 1	30	47	61	70
	—	4	M400, 2	26	44	58	66
12...15	10	—	M400, 1	42	58	74	82
	10	—	M400, 2	40	56	72	80
	—	4	M400, 1	39	56	72	79
	—	4	M400, 2	35	50	68	74
18...22	10	—	M400, 1	55	79	89	95
	10	—	M400, 2	53	77	85	92
	—	4	M400, 1	52	76	85	91
	—	4	M400, 2	48	70	82	88

объема установки для выдержки изделий и тщательной герметизации ее.

Вместе с тем температура саморазогрева бетона (ее прирост от начальной) в зависимости от группы эффективности цемента, его расхода (роста класса бетона) составила до 10...18 °С. То есть, на всех этапах твердения бетона в первые 4 суток его температура была значительно выше температуры окружающей среды. Замкнутый объем камеры сдерживает развитие процесса циркуляции формирующейся в ней паровоздушной среды. Она в этом пространстве относительно неподвижна, в результате чего фактически выполняет теплоизолирующую функцию, ограничивая передачу тепла бетоном ограждающим конструкциям камеры.

В целом, анализ данных табл. 2 позволяет сделать вывод, что используя добавки СН и "С-3 + СН" в сочетании с условиями твердения бетона, обеспечивающими накопление тепла экзотермии цемента 1-2 групп эффективности при пропаривании и саморазогрев бетона, возможно изготавливать бетонные и железобетонные изделия по эффективной беспрогревной технологии. При этом время твердения бетона до достижения прочности в 50% от проектной (марки) составляет до 24 ч для $t \sim 18...22$ °С; до 36...48 ч для $t \sim 12...15$ °С; увеличивается до 48...72 ч для $t \sim 5...8$ °С. За этот период бетон набирает прочность, достаточную для бездефектной распалубки бетонных и железобетонных (без предварительного напряжения арматуры) изделий.

Передаточную прочность в 70% и более от проектной для указанных значений температуры среды твердения и бетона (начальной), он приобретает за время выдержки 36...48 ч; 3...3,5 сут. и 4...5 сут. (для $t \sim 5...8$ °С), соответственно.

Таким образом, при создании термосных условий твердения изделий с начальной температурой бетона более 15 °С, введении в его состав 1% Na_2SO_4 или 0,5% С-3 + 0,5% Na_2SO_4 от массы цемента распалубочная и передаточная прочность бетона может быть обеспечена выдержкой без дополнительного подвода тепла в течение 24 ч и 36...48 ч соответственно.

Литература

1. Батяновский Э. И., Осос Р. Ф., Технологические особенности производства железобетонных изделий с ускорителями твердения бетона. Брест., БрПИ, 1998.

2. Батяновский Э. И., Осос Р. Ф., Энергосберегающая технология бетона. Могилев.: ММИИ, 2000.

УДК 693.5/547.3

ПАРАМЕТРЫ ОПАЛУБОЧНЫХ СИСТЕМ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ЗАДАННУЮ ВЕЛИЧИНУ ТЕПЛОВОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА

Бобко И. Ф., Брестский государственный технический университет, г. Брест, Республика Беларусь

Тепловым энергетическим потенциалом процесса возведения монолитных конструкций в зимнее время является необходимая и достаточная, близкая к оптимальной, величина тепловой энергии, обеспечивающая набор прочности бетона, сохраняющей конструкцию от деструктивного влияния криогенных процессов [1]. Среди множества рассматриваемых в литературе параметров наиболее существенными, описывающими взаимосвязи теплового энергетического потенциала с характеристиками теплозащитных ограждений конструкций, возводимых в зимнее время, выделяются их влияющие совокупности. Это – конструктивные характеристики и климатические условия, технологические режимы и экономические показатели.

Принимаемые характеристики, влияющие на организационно-технологические режимы представлены как:

а) физико-механические свойства (вид материала, объемная масса, прочность, толщина теплозащитного слоя конструктивного элемента, плотность, масса одного изделия, масса элементов энергосберегающей опалубочной системы, количество элементов системы, рабочая поверхность опалубки);

б) теплофизические характеристики (величина теплового энергетического потенциала технологического процесса, величина тепловых потерь, температура окружающей среды, температура конструкции опалубки, градиент