

А.К.Далевский, канд. техн. наук,
П.И.Юхневский, канд. хим. наук,
Н.Л.Полейко, С.И.Мартынович,
В.Л.Марцинкевич, канд.техн.наук (БПИ)

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДОБАВОК В БЕТОН С ПОВЫШЕННЫМ ПЛАСТИФИЦИРУЮЩИМ ДЕЙСТВИЕМ

Одним из перспективных направлений совершенствования технологии бетона и железобетона является применение пластифицирующих добавок, и в особенности суперпластификаторов. Работы в области суперпластификаторов в нашей стране получили развитие лишь в последние годы. При этом наметилось направление расширения номенклатуры суперпластификаторов, получаемых из менее дефицитного сырья и добавок на их основе, обладающих полифункциональными свойствами.

В лаборатории модифицированного бетона Белорусского политехнического института исследованы действия химических веществ (синтезированных в БПИ и Институте общей и неорганической химии АН БССР) на пластификацию бетонной смеси и интенсификацию твердения бетона в естественных условиях и при тепловлажностной обработке. Испытано около 40 различных химических веществ и продуктов их обработки. Определено, что одни сильно разжижают бетонную смесь, могут служить в качестве суперпластификаторов, не уступающих по свойствам зарубежным, повышая одновременно прочность бетона при пропаривании на 10–15 МПа, другие, в сочетании с ускорителями, способствуют ускоренному твердению бетона в естественных условиях (достижению в суточном возрасте прочности 20–40 МПа в зависимости от активности цемента и водосодержания бетонной смеси), третьи замедляют этот процесс, однако повышают плотность и морозостойкость бетона. Некоторые испытанные вещества недефицитны, другие – дорогостоящие. Поэтому практически только часть из них может быть использована в качестве добавок к бетону. Одними из наиболее эффективных являются добавки ПО-1 и М-1 [1, 2]. По пластифицирующему действию они могут быть отнесены к классу суперпластификаторов. Теория действия пластифицирующих добавок в настоящее время еще не разработана. Полагают, что органические пластифицирующие добавки, адсорбируясь на поверхности гидратирующегося цемента, приводят на какой-то период к стабилизации коллоидной системы, т. е. затрудняют коагуляцию и гелеобразование в

ной. Стабилизация обусловливается уменьшением межчастичного взаимодействия, так как адсорбированные добавки заряжают частицы цемента одноименно, что проявляется в увеличении текучести дисперсной системы. При этом считается, что суперпластификатор вступает во взаимодействие со свободными ионами Ca^{++} на поверхности цементных частиц, образуя гелеобразную фазу, что способствует устранению трения между частицами и проявлению пластифицирующего эффекта. Степень стабилизации коллоидной системы и разжижающего действия определяется дозой добавок, так как химическая природа этих добавок может явиться причиной нежелательных побочных явлений, в частности значительного замедления сроков схватывания и набора прочности. Таким образом, сродство добавок к минералам цемента и продуктам его гидратации – важнейшее условие проявления пластифицирующих свойств цементных гелей.

Добавка ПО-1 (по химическому составу – продукт взаимодействия диэтиленгликолевой эпоксидной смолы с нитритами) значительно пластифицирует цементный гель. Водоцементное отношение геля нормальной густоты (Волжовыский портландцемент) при введении 0,5% ПО-1 снижается с 0,275 до 0,220, или в три раза больше, чем при введении такого же количества ДЭГ-1. Одновременно сокращается время схватывания геля. Являясь гидрофильным пластификатором, добавка ПО-1 усиливает процессы адсорбционного диспергирования, поскольку она содержит активные заряженные нитроновые группы, увеличивающие заряд частиц цемента [3]. Кроме того, как ионогенное вещество, попадая в трещины, ПО-1 заряжает их одноименно и вызывает расклинивающее действие. В результате пептизации флокул обнажившиеся новые поверхности твердой фазы адсорбируют воду. Усиливающийся процесс гидратации приводит к интенсивному нарастанию пластической прочности в начале процесса твердения. С увеличением содержания ПО-1 от 0,5 до 1% от массы цемента интенсивность роста пластической прочности в начале процесса падает, что связано, по-видимому, с преобладанием эффекта адсорбционного модифицирования кристаллизации новообразований. Добавка ПО-1 – сильный пластификатор бетонной смеси. Она позволяет уменьшить до 20% расход воды для получения бетона заданной удобоукладываемости или повысить осадку конуса смеси с 2–3 до 19–22 см. Вместе с тем эффект от добавки ПО-1 зависит от вида цемента, очевидно, вследствие разного содержания C_3A и минеральных добавок. Введение добавки ПО-1 позволяет получать высокопрочные бетоны с призменной прочностью 60–70 МПа и модулем упругости 34–41 ГПа. При этом возрастают предельные сжимаемость и рас-

тяжимость бетона, снижается на 12–15% усадка. Вследствие уменьшения доли крупных пор и увеличения содержания мелких при одновременном уменьшении общего объема пор (в среднем с 4,6 до 3,5%) в 2–5 раз повышается марка бетона по водонепроницаемости.

С целью интенсификации твердения бетона эффективным является введение ПО-1 в комплексе с ускорителями, например ННХК или Na_2SO_4 . Выявлено, что комплексная добавка позволяет существенно повысить темп твердения бетона и его физико-механические показатели. Однако наиболее существенный результат, достигаемый в этом случае, – возможность свести к минимуму тепловое воздействие на твердеющий бетон или вообще от него отказаться. Так, при пропаривании бетона по режиму 3+2+5+2 через 30 мин после окончания цикла бетон без добавки набирает прочность 70% от заданных марок, а с добавкой – 93–97%. Через 12 ч после тепловой обработки прочность модифицированного бетона соответствует заданной марке. Поскольку испытание контрольных образцов следует производить через 12 ч после извлечения из пропарочной камеры, можно сделать вывод, что комплексная добавка практически позволяет устойчиво получать заданные марки бетона при пропаривании по указанному режиму. Прочность модифицированного бетона естественного твердения значительно превышает таковую без добавки; при марках бетона 200–300 – в 1,5 раза; 400 – в 1,24–1,35 раза и 500 – в 1,22 раза.

Таблица 1

Прочность пропаренного модифицированного
бетона марок 300 и 400

№ п/п	Марка бетона	Длительность периодов пропаривания, ч				Прочность бетона (МПа) после про- паривания в воз- расте		
		предвари- тельная выдержка	подъем темпе- ратуры	изотер- мический прогрев	ох- лаж- дение	4 ч	1 сут	28 сут
1	300	4	2	6	2	20,8	26,4	37,2
2	300	3	2	4	2	23,2	30,6	50,1
3	300	3	2	0	2	17,3	25,0	48,6
4	400	3	3	6	2	27,4	36,0	47,8
5	400	3	3	4	2	34,6	41,6	60,4
6	400	3	3	0	2	22,9	33,0	58,0

Примечание. 1 и 4 – составы бетона без добавки.

Влияние комплексной добавки на прочность пропаренного бетона иллюстрируется табл. 1.

Из табл. 1 видно, что время изотермического прогрева модифицированного бетона при испытании его через 4 ч можно сократить более чем в 1,5 раза, а при испытании его через 12 ч после пропаривания вообще отказаться от изотермического прогрева.

Введение комплексной добавки в бетонную смесь позволяет в отдельных случаях (для жестких бетонных смесей) получить 70%-ную прочность от марочной при твердении бетона в нормально-влажностных условиях в возрасте одних суток (24 ч). Кинетика твердения бетона обобщена в табл. 2.

Образцы формовали из жестких бетонных смесей, выдерживали в течение 1-7 сут при $t = 15-20^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности воздуха не менее 60%. Распалубку производили через 24 ч. Полученные данные показывают возможность получения при этих условиях бетона М 800 в 28-суточном возрасте.

В результате исследований физико-механических характеристик модифицированного бетона установлен повышенный рост прочности во времени - в 3-6 раз по сравнению с общепринятой зависимостью $R_T = 0,7(\lg t / \lg 28)R^{28}$ для обычных бетонов. При этом отмечается:

- незначительное снижение величины начального модуля упругости E_{CT} в суточном возрасте по сравнению со значениями, установленными СНиП-П-21-75 для обычных бетонов естественного твердения;

- повышение уровня линейной зависимости "б-е" и уровня напряжений R_T^0 , соответствующих образованию микротрещин от

Таблица 2

Прочность бетона нормально-влажностного твердения

№ п/п	Вид цемента	Расход цемента, кг/м ³	Жесткость, с	Прочность при сжатии (МПа) в возрасте, сут				
				1	3	7	14	28
1	Портландцемент Волковыский М 500	500	15	28	50	70	74	80
2	Портландцемент Здолбуновский М 600	620	27	60	65	74	77	80
3	Портландцемент Волковыский М 500	410	47	36	48	54	70	80
4	Портландцемент Волковыский М 500	410	33	41	54	60	65	70

Таблица 3

Сравнительные результаты действия добавки М-1 с другими суперпластификаторами
при режиме тепловой обработки 4+3+3+2

Наименование добавки	Количество вводимой добавки, % от массы цемента	Составляющие материалы на 1 м ³ бетона, кг				ОК бетонной смеси, см	Прочность при сжатии, МПа	
		цемент	песок	щебень	вода		после пропаривания через 4 ч	через 28 сут
Без добавки	-	397	645	1200	157	2	42,0	52,5
10-03	0,125	397	645	1200	157	8	40,5	55,0
	0,25	397	645	1200	157	12	42,0	55,0
	0,50	397	645	1200	157	25	44,0	53,0
	30-03	0,125	397	645	1200	157	3,5	41,0
40 С-3	0,25	397	645	1200	157	10	39,0	49,0
	0,50	397	645	1200	157	18	40,0	47,0
	0,25	397	645	1200	157	5	42,0	56,0
	0,50	397	645	1200	157	17	42,5	55,5
МФАС	1,0	397	645	1200	157	25	35,0	43,8
	0,125	397	645	1200	157	8	41,5	50,5
	0,25	397	645	1200	157	13	40,0	45,6
	0,50	397	645	1200	157	23	35,5	50,4
М-1	0,2	397	645	1200	157	7	45,5	57,8
	0,4	397	645	1200	157	12	40,0	57,8
	0,6	397	645	1200	157	15	39,1	56,4
	0,8	397	645	1200	157	21	33,7	52,3
	1,0	397	645	1200	157	25	28,2	51,0

внешних силовых воздействий, в среднем до значений сжимающих напряжений $0,6R_{пр}$;

- отсутствие признаков значительного трещинообразования, разрыхления структуры и резкого нарастания пластических деформаций бетона на стадиях, близких к разрушению.

Несмотря на очевидные преимущества описанных выше добавок, их использование в промышленных масштабах сдерживается дефицитностью сырья и относительно высокой стоимостью. Так, цена 1 т добавки ПО-1 составляет 2620 руб.; при концентрации ее 0,2% и расходе цемента 500 кг/м³ стоимость ее определяется в 2 руб. 62 коп.

В результате дальнейших исследований в лаборатории модифицированного бетона БПИ получена более дешевая добавка - суперпластификатор бетонной смеси М-1, которая является продуктом карбоксилирования фенолоформальдегидного олигомера. Стоимость 1 т добавки М-1 не превышает 300 руб. [4].

Добавка вводится в бетонную смесь с водой затворения в количестве 0,2 - 0,6% от массы цемента. При этом подвижность смесей при неизменном В/Ц возрастает в зависимости от состава цемента с 2 см без добавки до 25 см с добавкой и в обоих случаях достигается практически одинаковая прочность бетона в возрасте 28 сут.

Для смесей одинаковой подвижности добавка М-1 увеличивает прочность бетона на 1 - 1,5 марки. Максимальная эффективность действия добавки М-1 ограничивается ее содержанием 0,6% от массы цемента. Модифицированный бетон характеризуется повышенной сопротивляемостью развитию линейных деформаций под сжимающей нагрузкой. Значение R_T^0 бетона для марок 200 - 500 в среднем повышается на 13%, что обусловлено более прочными связями между частицами цементно-полимерного камня и увеличением сил сцепления его с зернами заполнителя. В табл. 3 приведены сравнительные результаты испытаний отечественных суперпластификаторов, из которых видно, что по пластифицирующему эффекту М-1 не уступает вышеуказанным добавкам, а по упрочняющему действию на бетон в возрасте 28 сут даже некоторые из них несколько превосходит. М-1 может быть применена в комплексе с солями-электролитами, например с сульфатом натрия Na_2SO_4 . При этом 70%-ная прочность бетона достигается при твердении его в нормально-влажных условиях в течение 24 ч при температуре окружающей среды не ниже 18°C и формуемости бетонной смеси порядка 20 - 40 с.

Использование суперпластификатора М-1 совместно с электролитом (0,15% М-1 + 1,5% Na_2SO_4) при изготовлении же-

лезобетонных плит позволило снизить расход цемента на 15% или сократить на 50% режим активной тепловой обработки, т.е. изотермический прогрев бетона.

Разработанные добавки внедрены в опытно-промышленном порядке на заводах железобетонных изделий в системе Минводхоза и Минсельстроя БССР. При этом показана их высокая технико-экономическая эффективность. Разработаны и утверждены Рекомендации по применению добавок в гидротехнических бетонах мелиоративных сооружений в системе Минводхоза БССР, разработаны и согласованы с НИИЖБ Госстроя СССР технические условия на синтез суперпластификатора и Рекомендации по применению добавки М-1, а также проектная документация для участка синтеза и использования модификатора на заводах железобетонных изделий.

Л и т е р а т у р а

1. А. с. 581115 (СССР). Бетонная смесь и способ ее приготовления / В.С.Солдагов, А.А.Барташевич, А.Ф.Пестрак и др. - Оpubл. в Б. И., 1977, № 43. 2. А. с. 833720 (СССР). Добавка для бетонной смеси / С.И.Мартынович, Н.Л.Полейко, П.И.Юхневский и др. - Оpubл. в Б. И., 1981, № 20. 3. Взаимодействие эпоксидной смолы на основе диэтиленгликоля с нитритами / В.С.Солдагов, Г.С.Маненок, А.Ф.Пестрак. - Докл. АН БССР, 1979, т. XXIII, № 9, с. 824-827. 4. Полейко Н.Л., Юхневский П.И. Новая пластифицирующая добавка. - Сельское строительство Белоруссии, 1981, № 4, с. 28-29.

УДК 666.982.02:697.912

Л.С.Ицкович, М.Т.Солдаткин,
д-р техн. наук (БПИ)

ОБ ИСПАРЕНИИ ВЛАГИ ИЗ БЕТОНА В ПРОЦЕССЕ ЗАВОДСКОГО ПРОИЗВОДСТВА БЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Массо- и теплообмен бетонного изделия с окружающей средой на различных стадиях его производства, как известно, существенно влияет на формирование структуры и прочности бетона [1]. С другой стороны, знание количественных характеристик процессов внешнего массообмена бетонных изделий необходимо для расчетов систем отопления и вентиляции формовочных цехов заводов железобетонных изделий.

Действующий нормативный документ для расчета отопительно-вентиляционного оборудования этих цехов [2] предписывает