

УДК 666.972.16

*Чистяков В.В., доктор техн. наук, професор,
КНУСА, г. Киев*

*Шургая А.Г., нач. лаб. Мостоотряда-112,
г. Бровары*

*Дорошенко Ю.М., канд. техн. наук, професор,
НТУ, г. Киев*

*Гудименко К.В., аспірант, каф. ДСМ и химии,
НТУ, г. Киев*

*Сербин В.П., доктор техн. наук, професор,
НТУ КПИ, г. Киев*

Кабусь А.В., аспірант, ХНУБА, г. Харьков

БЕТОНЫ ДЛЯ МОСТОСТРОЕНИЯ

Бетон элементов пролетных строений (плита проезжей части монолитных мостов, выравнивающий слой сборных мостов), подверженных непосредственному постоянному действию атмосферных явлений, наряду с прочностью должен обладать климатической стойкостью, т.е. способностью в течение всего срока службы сооружения без потери прочности и эксплуатационных показателей противостоять атмосферным воздействиям - совместному действию воды и мороза, морозно-солевой коррозии, намоканию и высыханию, нагреванию и охлаждению и т.д.

Поэтому к бетону монолитной плиты проезжей части и выравнивающему слою сборных железобетонных мостов, находящемуся под непосредственным действием атмосферных явлений, должны предъявляться особенно высокие требования, а работы по бетонированию и устройству этих элементов должны производиться тщательно, качественно, и соответствовать нормативным документам.

Анализ решения проблем в области технологии монолитного бетонирования мостовых конструкций, повышения их качества свидетельствует, что решением всех перечисленных выше требований является направленное модифицирование состава бетона, его структуры, состава гидратных новообразований цементного камня, за счет применения комплексных добавок полифункционального действия.

Наибольший научно-практический интерес в технологии бетонов для мостового строительства представляет использование комплексных добавок на основе пластификаторов.

Начиная с 2007 года в Мостоотряде – 112 г. Бровары, авторами данной статьи проводились исследования по подбору и внедрению составов бетона на основе комплексных добавок полифункционального действия. Подвижность бетонных смесей находилась в диапазоне ПЗ ... П5, «живучесть» смеси не менее 2 часов, морозостойкость не менее F 200, класс бетона В30-В50.

В результате была разработана эффективная комплексная добавка для бетона АС-1М [1]. Использование добавки позволило увеличить прочность при сжатии бетона по сравнению с эталонными образцами на более, чем 30%, а так же повысить морозостойкость в 3 раза и уменьшить водопоглощение в 2,5 раза. Так же было проведено успешное внедрение разработанной добавки в составе бетонной смеси В35, F300, W10 при бетонировании плиты автопроезда на мосту через Гавань в г. Киеве в 2008 году [8].

Недостатком разработанной добавки стало наличие в ее состав импортных компонентов, что поставило новую задачу - создание конкурентоспособной добавки из компонентов отечественного производства, с целью получения экономического эффекта.

При проведении исследований были использованы следующие материалы:

- Портландцемент - ПЦ I - 500-Н (ДСТУ Б В.2.7.-46-96)

Заполнители:

- песок кварцевый, днепровский намывной, $M_{кр} = 1,41$;
- щебень гранитный (ДСТУ Б В.2,7-75-98) фракции 5-10 мм, 10-20 мм.

Компоненты комплексных добавок:

- суперпластификатор

- пластификатор
- аэрант
- гидрофобизатор
- пеногаситель

В результате проведенных исследований была разработана комплексная добавка ШАГ [2,9], которую входят компоненты отечественного производства и ближнего зарубежья (Россия). Эффективность использования комплексной добавки ШАГ иллюстрируется табл. 1. Осадка конуса бетонной смеси соответствовала П4...П5, живучесть при $t = 26.^\circ\text{C}$ составляла 8-13 часов.

Таблица 1 - Результаты испытания составов цементобетонных смесей с применением комплексной добавки ШАГ

№ состава	Состав бетонной смеси в кг в расчете на 1м ³				Добав-ки, % сух. в-ва от массы це-мен-та	Осадка конуса, см, через мин		Объем вовлечено-го воздуха, %, через мин		Предел прочности при сжатии, МПа, при нормальном твердении в возрасте, сут.	
	Ц	П	Щ ₅₋₁₀ / Щ ₁₀₋₂₀	В / В/Ц		5	45	5	45	7	28
1. Без добавки	425	741	$\frac{332}{801}$	$\frac{228}{0,52}$	-	22	18	1,9	1,9	28,7	41,6
2. ШАГ	400	707	$\frac{332}{772}$	$\frac{150}{0,360}$	0,9	24	16	4,74	4,25	45,6	54,1
3. ШАГ	425	689	$\frac{332}{772}$	$\frac{148}{0,344}$	0,9	24	20	5,20	4,55	49,1	58,5
4. ШАГ	400	713	$\frac{332}{772}$	$\frac{147}{0,362}$	1,0	22	23	5,32	5,57	46,5	54,7
5. ШАГ	425	700	$\frac{332}{772}$	$\frac{144}{0,335}$	1,0	23	23	5,39	5,65	49,4	58,1
6. ШАГ	400	722	$\frac{332}{772}$	$\frac{144}{0,356}$	1,1	24	24	6,45	6,64	45,4	51,8
7. ШАГ	425	713	$\frac{332}{772}$	$\frac{140}{0,326}$	1,1	23	23	6,40	6,51	48,2	55,4

Для исследования механизма действия комплексной добавки ШАГ на особенности процессов гидратации и структурообразования цементного камня, характеристики бетонной смеси и свойства бетона использовался комплекс анализов и методов: дифференциально-термический анализ (ДТА), рентгенофазовый анализ (РФА), инфракрасная спектроскопия (ИКС). Процессы структурообразования цементного камня изучались с помощью резонансной методики, разработанной д.т.н. И. Г. Гранковским [3], калориметрические исследования твердеющих систем проводились в ХНУСА им. О. П. Мчедлова-Петросяна, руководитель проф. А. В. Ушеров-Маршак.

Для исследования процессов структурообразования цементно-водных систем используются различные методики: калориметрия, пластометрия, определение изменения электрических характеристик систем (электропроводности, диэлектрической проницаемости), ультразвуковые исследования и др.

Отмечая полезность рассмотренных вариантов исследования процессов структурообразования цементно-водных систем, следует отметить, что прямое и однозначное отражение физической сущности взаимодействия дисперсных частиц гидратирующего цемента и процесса структуры достигается при количественных измерениях сдвиговой упругости сис-

характеристики позволяют определять разработанная И. Г. Гранковским методика акустического резонанса дисперсных структур (АРДС) [3]. Указанные выше методики, если их использовать в комплексе, дают возможность более детальной интерпретации и раскрытия закономерностей твердения цемента. Полученные результаты необходимо анализировать также параллельно с процессами образования гидратных фаз цементного камня с использованием ДТА, РФА и ИКС.

Установка ИГ-1Р [3] состоит из звукового генератора, электромагнитного возбудителя колебаний, измерительной кюветы, приемника колебаний, индикатора резонанса – осциллографа или милливольтметра.

Исследуемый состав (цементное тесто) помещается в кювету, которая выполнена из листовой латуни в виде полуцилиндра длиной 150 мм и диаметром 15 мм. Система «кювета - цементное тесто» подвешивается на двух нитях из стекловолокна, соединенных с источником и приемником колебаний. Изменением задаваемой частоты сигнала $\omega_{рез}$ (генератор) подбирается такая частота, при которой на экране осциллографа или милливольтметра будет максимальная амплитуда сигнала $A_{рез}$. Это соответствует совпадению собственной частоты системы «кювета - цементное тесто» и задаваемого сигнала. Так как собственная частота колебаний кюветы остается постоянной изменение амплитудно-частотных характеристик будет отражать структурное состояние цементного камня.

В фундаментальных работах И. Г. Гранковского показано, что частота резонанса твердеющей системы $\omega_{рез}$ свидетельствует об изменении упругих свойств цементно-водной дисперсии и в определенной степени характеризует пластическую прочность цементной пасты. Дальнейшее развитие метода АРДС [4-6] показало возможность однозначно идентифицировать протекание диспергационных и конденсационных процессов в твердеющей системе по амплитуде резонанса $A_{рез}$. Повышение значений $A_{рез}$ свидетельствует о росте степени дисперсности гидратирующейся системы, а уменьшение $A_{рез}$ указывает на протекание агрегационных и конденсационных процессов. При резонансных воздействиях на твердеющую цементно-водную систему их энергия на несколько порядков ниже значений вызывающих деструкцию формирующейся структуры.

С помощью установки ИГ-1Р [3] получены количественные характеристики структурообразования твердеющей системы, модифицированной комплексной добавкой ШАГ и бездобавочным составом (рис. 1).

Сразу после затворения в первые 30 минут у состава с добавкой фиксируются интенсивные процессы диспергации исходных частичек цемента (увеличение значений $A_{рез}$) и незначительное увеличение упругих свойств твердеющей системы (кривая $\omega_{рез}$).

У контрольного состава интенсивность диспергационных процессов исходного цемента существенно уступает модифицированному составу. Об этом свидетельствуют значения $A_{рез}$ (дисперсность системы). $A_{рез}$ контрольного состава более чем в 1,5 раза уступает показателям модифицированного состава. В то же время значения $\omega_{рез}$ (упругие свойства) контрольного состава значительно превосходят показатели модифицированного состава. Что позволяет прогнозировать более интенсивную потерю подвижности бетонной смеси. Полученные результаты подтверждаются данными по измерению осадки конуса во времени бетонных смесей.

Спад значений частоты резонанса в точках А и Б (рис.1) соответствуют разжижению твердеющей системы в результате выделения ранее связанной гидратными новообразованиями воды [4-6]. У контрольного состава этот эффект более существенный. Зафиксированные эффекты позволяют сделать вывод, что по степени сохранности первично сформированной структуры цементно-водной дисперсии контрольный состав существенно уступает составу с комплексной добавкой, для устранения возникших дефектов структуры бетона. Этот эффект негативно отображается на характеристиках бетона [4].

Фиксируемые спады $\omega_{рез}$ по И.Г. Гранковскому соответствуют первой стадии структурообразования цементных систем. В этот период (если бетонная смесь еще не уложена в конструкцию) целесообразно ее дополнительное перемешивание, а после укладки необходимо незначительное повторное вибрирование.

Более интенсивное нарушение первично сформированной структуры контрольной цементной системы в дальнейшем обуславливает недобор прочности бетона, снижение морозостойкости и водонепроницаемости.

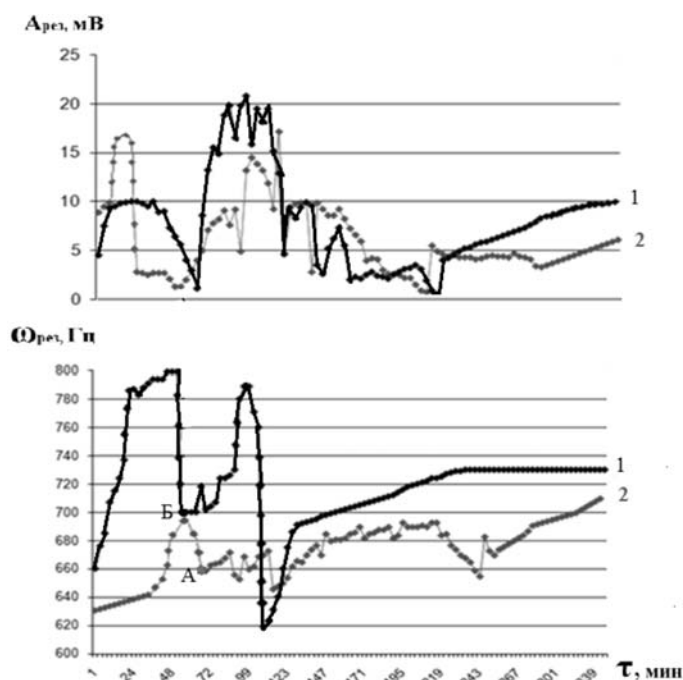


Рисунок 1 – Кинетические кривые структурообразования цементно-водной дисперсии

1 – без добавки, В/Ц = 0,3;

2 – с комплексной добавкой ШАГ, В/Ц = 0,216

$\omega_{рез}$ – частота резонанса, Гц;

$A_{рез}$ – амплитуда резонанса, мВ

На следующих этапах твердения фиксируются циклически повторяющиеся процессы диспергации и конденсации первичных гидратных новообразований ($A_{рез}$) и упругих свойств ($\omega_{рез}$) (пластической прочности) твердеющей системы.

В этот период указанные выше процессы обуславливают периодическую перестройку гидратирующейся системы, приводящую к увеличению межфазной поверхности и степени гидроксирования гидратов [4-6]. На этом этапе твердения, когда формируется и развивается коллоидная структура, эти процессы закладывают основу матрицы, которая формируется в дальнейшем в конденсационно – кристаллизационную структуру - носителя прочности цементного камня и бетона.

Экзо- или эндоэффекты, которые возникают на ранних стадиях взаимодействия компонентов цементной системы, прямо связаны с кинетикой гидратации, которая, в свою очередь, обуславливает скорость твердения и набор прочности цемента и бетона, изменение свойств бетонной смеси во времени.

Исследование термокинетических закономерностей гидратации цемента – один из способов получения объективной количественной информации для оценки физико - химического воздействия добавок, а также прогнозирования их эффективности [7].

Установление взаимосвязи термокинетических показателей с выше представленными результатами, полученные методом АРДС, свойствами бетонной смеси, и особенностями твердения цементов и бетонов является составляющей частью проблемы повышения эффективности использования добавок в бетонах.

Термокинетические зависимости, показанные на рисунке 2, свидетельствуют про то, что у модифицированного состава сразу после затворения цемента фиксируется повышенное тепловыделение в сравнении с контрольным составом. Этот, на первый взгляд, неожиданный эффект, так как комплексная добавка содержит компоненты замедляющие гидратацию цемента (суперпластификатор + пластификатор). Однако это противоречие разрешается с использованием результатов АРДС (рис 1). Как уже отмечалось наличие комплексной добавки приводит к более интенсивному диспергированию исходных частичек цемента (рис.1, кривая $A_{рез}$). Это и приводит

к первичному более интенсивному процессу гидратации цемента в результате существенного увеличения межфазной поверхности. Но через 2-3 мин. вступает в реакцию блокирующее действие пластификаторов.

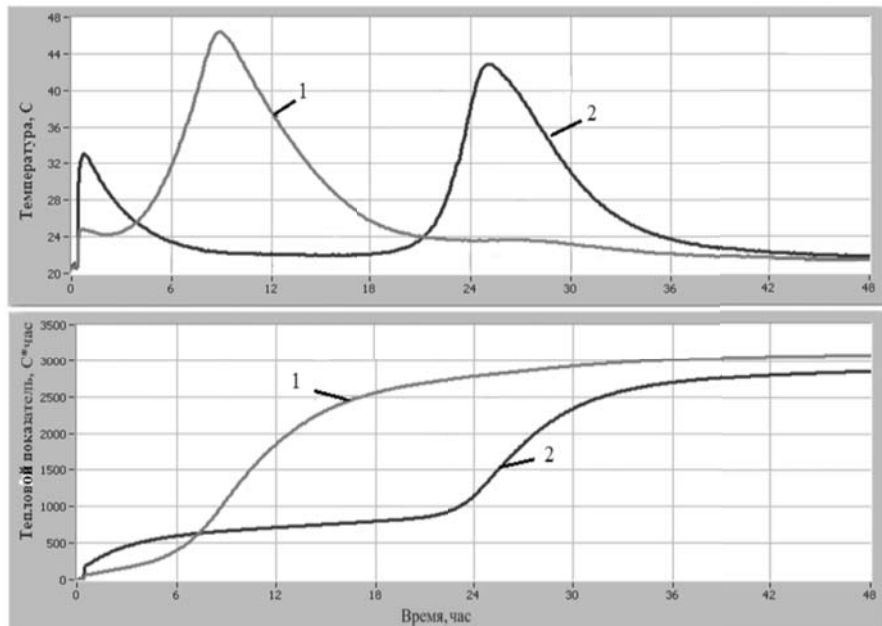


Рисунок 2 - Влияние добавки на тепловыделение портландцемента

- 1- контрольный состав;
- 2- состав с комплексной добавкой ШАГ

Но в последствии тепловыделение модифицированной твердеющей цементно-водной дисперсии бетона значительно уступает контрольному составу, что позитивно отображается на начальных процессах структурообразования бетона, а именно - уменьшение экзотермии уменьшает температурные напряжения в бетоне, что в результате существенно ослабляет процессы трещинообразования на начальных стадиях твердения. В таблице 1 приведены основные термокинетические параметры контрольного и модифицированного составов.

У образца с комплексной добавкой наблюдается значительное увеличение индукционного периода и как следствие процессов схватывания.

Полученные данные указывают на рациональность использования добавки ШАГ в летний период времени при необходимости длительной сохранности удобоукладываемости бетонной смеси и уменьшения экзотермии бетона.

Результаты исследований и испытаний модифицированных бетонов комплексной добавкой ШАГ дали возможность эффективного внедрения разработанного комплекса.

Таблица 2 - Термокинетические параметры цементно-водных дисперсий

№	Окончание индукционного периода, ч	Время достижения T_{max}	$\Delta T_{max}, ^\circ C$	Тепловой показатель 24 ч, $^\circ C \cdot ч$	Тепловой показатель 48 ч, $^\circ C \cdot ч$
1	2,2	8,9	25,6	2780 (1)	3075 (1)
2	17	25,1	21,3	1135 (0,41)	2860 (0,93)

Добавка была применена при бетонировании плиты автопроезда путепровода развязки на Московской площади г. Киева в 2010 году. При бетонировании применялся состав В35, F300, W8. Общий объем захватки 3500м³.

Так же в составе бетонной смеси (В40, F300, W10) добавка была применена при бетонировании плиты автопроезда путепровода на Столичном шоссе в г. Киеве в июле-августе

2011 г. Общим объемом 2700м³, разбитым на 4 захватки по 300-500м³. Бетонная смесь подавалась бетононасосом. Средний темп подачи бетонной смеси 42-45 м³/час. В связи с высокой температурой окружающей среды бетонирование в основном проводилось в ночное время, температура бетонной смеси составляла 26-30°С. Осадка конуса составляла 18-25 см (ПЗ-П4). Количество вовлеченного воздуха после подачи бетононасосом составляло 5,8-6,5%.

Таким образом подтверждена эффективность разработанной и исследованной комплексной добавки – модификатора цементного бетона для бетонирования плиты проезжей части мостов. Его применение позволило повысить физико-механические свойства бетона, его долговечность, стойкость к действию транспортных нагрузок и успешно противостоять атмосферным воздействиям. При этом был достигнут экономический эффект.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент Украины № 37100 «Добавка в бетон»
2. Чистяков В.В., Шургая А.Г., Дорошенко Ю.М., Гудименко К.В. Комплексные модификаторы для повышения качества бетонов для мостового строительства // Сборник к XI Международной научно-практической конференции «Дни современного бетона» Запорожье. – 2010
3. Гранковский И.Г. Структурообразование в цементных вяжущих системах.- Киев: Наукова думка, 1984, 299 с.
4. Чистяков В.В., Дорошенко Ю.М., Гранковский И.Г. Интенсификация твердения бетона.- Киев: Будивельник, 1988, 118 с.
5. Гранковский В.Г., Чистяков В.В. Особенности гидратации и структурообразования портландцемента на ранних стадиях. // Журнал прикладной химии, - 1991.-Т. 54, N 1. с.15-20.
6. Чистяков В.В., Гранковский И.Г., Гоц В.И. Формирование структуры твердения шлакощелочного вяжущего. // Журнал прикладной химии.- 1986.- Т 59, N 3. с. 590-595.
7. Ущеров-Маршак А.В. Калориметрия цемента и бетона.–Х.:Факт, 2002.–184 с.
8. Коваль П.М., Харченко С.З., Шургая А.Г. Особенности технологии бетонирования плиты автопроезда моста в гавань в городе Киеве. Труды Научно - практической конференции «Эффективность применения в бетонах современных добавок». Киев, 2009.
9. Чистяков В.В., Шургая А.Г., Дорошенко Ю.М., Гудименко К.В., Сербин В.П., Дулевич Я.О. Особенности процессов гидратации портландцемента и свойства модифицированных бетонов для мостового строительства // Будівельні матеріали, виробництва та санітарна техніка №39, Київ 2011