

Эффективность тепловой обработки бетона

с суперпластификаторами на поликарбоксилатной основе

Л.И. Касторных, И.В. Трищенко, А.В. Каклюгин, Д.Р. Шершень

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: Проведен анализ влияния суперпластификаторов на основе поликарбоксилатов на формирование физико-механических свойств бетона в условиях теплового воздействия. Установлено, что большая эффективность пропаренного самоуплотняющегося бетона с суперпластификаторами на поликарбоксилатной основе достигается при низкотемпературных режимах тепловой обработки. Рациональный режим тепловой обработки бетона следует назначать по параметру качества, устанавливаемому по результатам экспериментальных исследований.

Статья опубликована в рамках реализации программы Международного Форума «Победный май 1945 года».

Ключевые слова: суперпластификатор на основе поликарбоксилатов, самоуплотняющийся бетон, прочность бетона, режим тепловой обработки, параметр качества тепловой обработки.

Индустриальное производство сборного железобетона предполагает ритмичный режим работы технологического комплекса, который возможен только при ускорении процессов твердения вяжущих и бетонов.

В заводских условиях применяются различные способы интенсификации твердения бетона. Наибольшее ускорение набора прочности бетона достигается при применении комплексных способов, сочетающих физико-механическое, химическое и теплофизическое воздействия. Основным фактором, определяющим кинетику твердения бетона, является температурный, а остальные играют вспомогательную роль. Сроки достижения требуемой прочности при повышении температуры от 20 до 80 °С сокращаются в 8 – 10 раз, в то время как за счет других технологических приемов только на 10 – 30 % [1, 2].

Тепловая обработка является наиболее эффективным способом интенсификации твердения бетона. Однако наряду с ускорением набора прочности тепловое воздействие может вызывать развитие деструктивных явлений, снижающих ряд важнейших физико-механических свойств бетона.

Эффект ускоренного твердения бетонных и железобетонных изделий зависит от того, какая группа явлений – конструктивных или деструктивных – будет преобладать в материале при тепловой обработке.

Отличительной особенностью тепловой обработки бетона является её высокая энергоёмкость и значительная продолжительность. Поэтому в конкретных условиях производства необходимы такие режимы ускоренного твердения бетона, при которых будет обеспечено получение изделий требуемого качества при минимальном расходе тепловой энергии и в экономически оправданные сроки.

Решение поставленной задачи предопределяет необходимость исследования влияния основных технологических факторов на свойства бетона при тепловой обработке. Одним из таких факторов является наличие в составе бетона химических добавок, регулирующих свойства смесей и оказывающих существенное влияние на свойства бетона.

За последние двадцать пять лет в мировой практике строительного производства произошли революционные изменения, связанные с появлением добавок нового поколения – химических модификаторов бетона на основе поликарбоксилатов и полиакрилатов [3, 4]. Эффективность таких добавок намного выше традиционных суперпластификаторов, поэтому их часто называют гиперпластификаторами. Для того, чтобы потенциал высокоэффективных пластификаторов был полностью раскрыт, в условиях реального производства необходимо регулировать все технологические процессы, начиная с проектирования состава бетона.

Производители суперпластификаторов в виде жидкого продукта, отмечая в техническом описании наличие эфиров поликарбоксилатов, не указывают их содержание и электрический заряд. Поэтому производство

бетонных смесей с такими добавками требует научного сопровождения – оценки эффективности их использования.

Известно, что поверхностно-активные вещества пластифицирующего действия, несмотря на снижение водоцементного отношения, на начальных стадиях структурообразования тормозят процессы схватывания цемента и твердения бетона [5 – 7]. Поэтому для создания благоприятных условий формирования бездефектной структуры бетона перед подачей теплоносителя следует предусматривать предварительное выдерживание. Выбор длительности предварительного выдерживания производят путем согласования момента начала теплового воздействия с характером процессов структурообразования цементного теста [8 – 10].

При производстве изделий из высокоподвижных и самоуплотняющихся смесей главным фактором, определяющим эффективность тепловой обработки и длительность набора требуемой прочности бетона, является максимальная температура обогрева. От правильности назначения температуры и длительности изотермического обогрева зависят прочность, морозостойкость, водонепроницаемость и ряд других показателей назначения пропаренного бетона [11 – 16].

Цель настоящих исследований – оценить влияние суперпластификаторов на основе поликарбоксилатов на формирование физико-механических свойств бетона в условиях тепловой обработки.

Выбор добавок для самоуплотняющихся и высокоподвижных смесей был продиктован необходимостью высокой пластификации и доступностью на строительном рынке донского региона (таблица 1).

Бетонные смеси были приготовлены на бездобавочном портландцементе класса ЦЕМ I 42,5Н завода «Пролетарий» и сульфатостойком портландцементе с минеральными добавками класса ЦЕМ II/A-II 42,5Н СС

Верхнебаканского завода. Основные характеристики цементов представлены в таблице 2, а минералогический состав – в таблице 3.

Таблица №1

Характеристика суперпластификаторов

Торговая марка, наименование	Характеристика
МС Bauchemie Muraplast FK 63 (FK 63)	Суперпластификатор на основе эфиров поликарбоксилатов, обладающий сильным разжижающим действием
Sika ViskoCrete 24HE (VC 24HE)	Суперпластификатор на основе водной композиции модифицированных эфиров поликарбоксилата
BASF MasterGlenium ACE430 (MG ACE430)	Суперпластификатор на основе эфира поликарбоксилата с эффектом быстрого набора ранней прочности бетона
BASF MasterGlenium 115 (MG 115)	Суперпластифицирующая добавка на основе эфира поликарбоксилата
Реопласт ПКЭ 2101 (ПКЭ 2101)	Гиперпластифицирующая добавка на основе эфира поликарбоновых кислот
Реопласт ПКЭ 2105 (ПКЭ 2101)	Гиперпластифицирующая добавка на основе полимеров поликарбоксилатных простых эфиров

Таблица №2

Основные характеристики цементов

Показатель, единица измерения	ЦЕМ I 42,5Н ГОСТ 31108	ЦЕМ II/A-П 42,5Н СС ГОСТ 22266
Прочность на сжатие в возрасте 28 сут., МПа	51,1	50,0
Истинная плотность, г/см ³	3,1	3,15
Насыпная плотность, кг/м ³	1120	1170
Нормальная густота цементного теста, %	24,75	27,5
Удельная поверхность, см ² /г	3520	4015
Минеральная добавка (опока), %	-	10,2
Коэффициент эффективности при тепловой обработке	0,79	0,77

Таблица №3

Минералогический состав цементов

Вид цемента	Состав, %						
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	SO_3	MgO	R_2O
ЦЕМ I 42,5Н	63,4	15,1	5,1	13,5	3,06	0,96	0,65
ЦЕМ II/A-П 42,5Н СС	65,0	12,0	4,0	13,0	2,8	0,41	0,46

В качестве заполнителей для приготовления бетонных смесей использованы: пески природные кварцевые карьеров Самарский и Мостовской и дробленый щебень из песчаника карьера ООО «Донской камень». Основные характеристики заполнителей представлены в таблице 4.

Таблица №4

Основные характеристики заполнителей

Показатели, единица измерения	Песок Самарский	Песок Мостовской	Щебень дробленый
Истинная плотность, г/см ³	2,65	2,65	2,66
Насыпная плотность, кг/м ³	1445	1600	1380
Содержание пылевидных и глинистых частиц, %	1,3	1,1	0,15
Модуль крупности	1,23	2,45	-
Пустотность, %	45,5	39,6	48,1
Наибольшая крупность, мм	-	-	10
Марка по дробимости	-	-	1000

Для оценки влияния суперпластификаторов на поликарбоксилатной основе на свойства пропаренного бетона были приготовлены самоуплотняющиеся бетонные смеси марки по удобоукладываемости СУ1 (диаметр расплыва конуса 55-65 см) по СТО НОСТРОЙ 2.6.54-2011 (таблица 5).

При проведении исследований установлено, что суперпластификаторы торговой марки Реопласт: ПКЭ 2101 и ПКЭ 2105 не обеспечивают требуемой растекаемости, поэтому испытание высокоподвижных смесей с этими добавками выполнено по методике ГОСТ 10181 (таблица 5).

Из смеси каждого замеса приготовлены контрольные образцы-кубы, часть из которых пропаривалась по установленному режиму, а другая – твердела в нормальных условиях (температура (20 ±2) °С, относительная влажность воздуха 95-100 %). Изготовление, хранение и испытание контрольных образцов выполнено по методике ГОСТ 10180.

Параметры режима тепловой обработки и результаты испытания образцов на прочность при сжатии приведены в таблице 6.

Таблица 5

Характеристики бетонных смесей

Состав	Вид и расход цемента, кг/м ³		Вид и дозировка добавки на 1 м ³ , кг						Диаметр распыла, см	Осадка конуса, см	Ц/В
	ЦЕМ I 42,5Н	ЦЕМ II/A-П 42,5Н СС	FK 63	VC 24HE	MG ACE430	MG 115	ПКЭ 2101	ПКЭ 2105			
1M	-	361	5,1	-	-	-	-	-	57,0	-	0,57
2M	-	343	3,8	-	-	-	-	-	60,0	-	0,63
3M	380	-	5,1	-	-	-	-	-	56,0	-	0,58
4S	-	468	-	7,1	-	-	-	-	66,0	-	0,42
5S	-	446	-	4,5	-	-	-	-	63,0	-	0,57
6S	455	-	-	6,8	-	-	-	-	65,0	-	0,48
7S	458	-	-	6,9	-	-	-	-	64,0	-	0,47
8B	449	-	-	-	8,98	-	-	-	55,0	-	0,49
9B	513	-	-	-	10,3	-	-	-	58,0	-	0,44
10B	505	-	-	-	-	10,1	-	-	64,0	-	0,44
11B	489	-	-	-	-	9,8	-	-	58,0	-	0,53
12P	-	454	-	-	-	-	6,8	-	-	21,5	0,46
13P	429	-	-	-	-	-	3,3	-	-	22,0	0,58
14P	-	466	-	-	-	-	-	7,0	-	22,0	0,44
15P	434	-	-	-	-	-	-	3,3	-	22,5	0,56

Критерием эффективности тепловой обработки бетона с суперпластификаторами на основе поликарбоксилатов принят параметр качества $ПК_{ТО}$:

$$ПК_{ТО} = (R_n^{28} - R_n^{28}) / R_n^{28}, \quad (1)$$

где R_n^{28} – прочность пропаренного бетона в возрасте 28 суток, МПа;

R_n^{28} – прочность бетона нормального твердения в возрасте 28 суток, МПа.

Таблица №6

Параметры режима тепловой обработки и прочность бетонов

Состав	Добавка	Температура обогрева, °С	Режим тепловой обработки, час	Предел прочности при сжатии, МПа, бетона				PK_{T0}
				нормального твердения в возрасте, сут.		после тепловой обработки в возрасте, сут.		
				1	28	1	28	
1М	FK-63	60	(5)+3+7+4	14,8	49,3	27,1	46,4	- 0,062
2М				10,2	31,6	19,8	31,8	+ 0,006
3М		50	(5)+3+8+3	13,9	38,2	24,9	39,1	+ 0,023
4S	VC 24HE	70	(5)+3+6+4	29,2	69,9	39,7	69,0	- 0,013
5S				13,4	49,4	29,8	48,9	- 0,010
6S		60	(5)+3+7+3	25,9	68,0	44,2	67,6	- 0,006
7S				28,9	69,2	45,4	68,8	- 0,006
8B	MG ACE 430	70	(5)+3+6+4	8,3	50,1	32,9	50,2	+ 0,002
9B				6,9	59,2	33,5	59,8	+ 0,010
10B	MG115	60	(5)+3+7+3	5,1	50,4	31,2	50,3	- 0,002
11B				3,7	44,4	26,6	43,9	- 0,011
12P	ПКЭ 2101	70	(5)+4+6+4	20,9	65,3	43,3	60,0	- 0,088
13P		50	(5)+3+7+3	10,1	37,1	18,4	40,2	+ 0,077
14P	ПКЭ 2105	70	(5)+4+6+4	22,0	66,8	43,0	65,4	- 0,021
15P		50	(5)+3+7+3	9,8	37,0	18,5	38,5	+ 0,039

Примечание – Режим тепловой обработки включает, час.: предварительное выдерживание без подачи теплоносителя, подъем температуры до максимальной, изотермической обогрев и остывание бетона в лабораторной пропарочной камере.

Выполненные исследования свидетельствуют о значительном влиянии вида и дозировки суперпластификаторов на поликарбоксилатной основе на формирование начальной структурной прочности бетона и эффективность тепловой обработки.

Отрицательная величина параметра PK_{T0} характеризует негативное влияние высоких температур на физико-механические свойства бетона, содержащего добавку суперпластификатора в большом количестве (составы 1М, 4S, 5S, 11B, 12P, 14P). Высокая дозировка добавок (1,5 – 2 % массы цемента) снижает водосодержание и обеспечивает требуемую растекаемость бетонных смесей, но прочность бетона при тепловом воздействии снижается.

Это объясняется тем, что суперпластификаторы на основе эфиров поликарбоксилатов, адсорбируясь на частицах цемента, создают пространственный эффект отталкивания и вода, находясь в несвязанном состоянии продолжительное время, при повышении температуры формирует более пористую структуру цементного камня.

Положительная величина $ПК_{ТО}$, отражающая увеличение прочности пропаренного бетона (составы 3М, 13Р, 15Р), свидетельствует о рациональной дозировке суперпластификатора и наличии химического взаимодействия активной минеральной добавки, входящей в состав вяжущего, с продуктами гидратации цемента.

Проведенные исследования показали большую эффективность пропаренного самоуплотняющегося бетона с суперпластификаторами на поликарбоксилатной основе при низкотемпературных режимах тепловой обработки. Длительность теплового воздействия, зависящая от требуемой распалубочной прочности бетона, должна назначаться исходя из конкретных производственных условий. Рациональный режим тепловлажностной обработки бетона следует назначать по параметру $ПК_{ТО}$, устанавливаемому по результатам экспериментальных исследований.

Литература

1. Касторных Л.И. Проектирование предприятий по производству товарного бетона и сборного железобетона. Часть I: учебное пособие. – Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2014. 130 с.
2. Касторных Л.И. Проектирование предприятий по производству товарного бетона и сборного железобетона. Часть II: учебное пособие. – Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2014. 173 с.
3. Батраков В.Г. Модификаторы бетона: новые возможности и перспективы // Строительные материалы. 2006. № 10. С. 1–8.



4. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны. М.: АСВ. 2006. 368 с.
5. Несветаев Г.В. Некоторые вопросы применения добавок для бетонов // Бетон и железобетон. 2011. № 2. С. 78–80.
6. Несветаев Г.В. Технология самоуплотняющихся бетонов // Строительные материалы. 2008. № 3. С. 24–28.
7. Касторных Л.И., Деточенко И.А., Аринина Е.С. Влияние водоудерживающих добавок на некоторые свойства самоуплотняющихся бетонов. Часть 2. Реологические характеристики бетонных смесей и прочность самоуплотняющихся бетонов // Строительные материалы. 2017. № 11. С. 22 – 27.
8. Касторных Л.И., Рауткин А.В., Раев А.С. Влияние водоудерживающих добавок на некоторые свойства самоуплотняющихся бетонов. Часть I. Реологические характеристики цементных композиций // Строительные материалы. 2017. № 7. С. 34–38.
9. Смирнова О. М. Зависимость прочности бетона с добавками на поликарбоксилатной основе от свойств портландцемента после низкотемпературной тепловлажностной обработки // Известия вузов. Строительство. 2012. №9. С. 20–27.
10. Касторных Л.И., Скиба В.П., Елсуфьев А.Е. Об эффективности использования модификатора вязкости в самоуплотняющихся бетонах // Инженерный вестник Дона, 2017, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4346.
11. Петрова Т. М., Смирнова О. М. Пути получения бетона для сборных железобетонных конструкций с использованием низкотемпературной тепловлажностной обработки // Цемент и его применение. 2014. № 1-2. С. 188–190.

12. Коровкин М.О., Гринцов Д.М., Ерошкина Н.А. Исследование самоуплотняющегося бетона для производства железобетонных изделий на универсальном стенде с переставной опалубкой // Инженерный вестник Дона, 2018, №3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2018/5071/.

13. Reinhardt H.-W., Stegmaier M. Influence of heat curing on the pore structure and compressive strength of self-compacting concrete (SCC) // Cement and Concrete Research. 2006. Vol. 36. Is. 5. pp. 879-885.

14. Stegmaier M. Heat curing of self-compacting concrete (SCC) // Otto-Graf-Journal. 2005. Vol. 16. pp. 167-183.

15. Кришан А.Л., Сагадатов А.И., Трошкина Е.А. Режим прогрева высокопрочного самоуплотняющегося напрягающего бетона // Архитектура. Строительство. Образование. 2017. №2 (10). С. 41-49.

16. Касторных Л.И., Фоминых Ю.С. Исследование параметров, влияющих на эффективность тепловой обработки самоуплотняющегося бетона с минеральными добавками // Инженерный вестник Дона, 2018, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2018/5285/.

References

1. Kastornykh L.I. Proektirovanie predpriyatij po proizvodstvu tovarnogo betona i sbornogo zhelezobetona. Chast' I: uchebnoe posobie [Design of enterprises for the production of ready-mixed concrete and precast concrete. Part I: tutorial]. Rostov-on-Don: Rostov State University of Civil Engineering. 2014. 130 p.

2. Kastornykh L.I. Proektirovanie predpriyatij po proizvodstvu tovarnogo betona i sbornogo zhelezobetona. Chast' II: uchebnoe posobie [Design of enterprises for the production of ready-mixed concrete and precast concrete. Part II: tutorial]. Rostov-on-Don: Rostov State University of Civil Engineering. 2014. 173 p.



3. Batrakov V.G. Stroitel'nye Materialy. 2006. №10. pp. 1–8.
4. Bazhenov Yu.M., Demyanova V.S., Kalashnikov V.I. Modificirovannyye vysokokachestvennyye betony [Modified high-quality concrete]. M.: Publishing house ASV. 2006. 368 p.
5. Nesvetaev G.V. Beton i zhelezobeton. 2011. № 2. pp. 78–80.
6. Nesvetaev G.V. Stroitel'nye Materialy. 2008. № 3. pp. 24–28.
7. Kastornykh L.I., Detochenko I.A., Arinina E.S. Stroitel'nye Materialy. 2017. № 11. pp. 22–27.
8. Kastornykh L.I., Rautkin A.V., Raev A.S. Stroitel'nye Materialy. 2017. №7. pp. 34–38.
9. Smirnova O.M. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo. 2012. №9. pp. 20–27.
10. Kastornykh L.I., Skiba V.P., Elsufov A.E. Inzhenernyy vestnik Dona (Rus), 2017, №3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2017/4346/.
11. Petrova T.M., Smirnova O.M. Cement i ego primeneniye. 2014. № 1-2. pp. 188–190.
12. Korovkin M.O., Hryntsov D.M., Eroshkina N.A. Inzhenernyy vestnik Dona (Rus), 2018, №3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2018/5071/.
13. Reinhardt H.-W., Stegmaier M. Cement and Concrete Research. 2006. Vol. 36. Is. 5. pp. 879-885.
14. Stegmaier M. Otto-Graf-Journal. 2005. Vol. 16. pp. 167-183.
15. Krishan A.L., Sagadatov A.I., Troshkina E.A. Arhitektura. Stroitel'stvo. Obrazovanie. 2017. №2 (10). pp. 41-49.
16. Kastornykh L.I., Fominykh Yu.S. Inzhenernyy vestnik Dona (Rus), 2018, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2018/5285/.