

К.т.н. Валиев Д.М., аспирант Макаров П.В., д.т.н. Калашников В.И.
ООО «ВНИИСТРОМ-НВ», Россия

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
Россия*

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВОВ ПРОПАРИВАЕМЫХ ПЕСЧАНЫХ БЕТОНОВ ПОРОШКОВОЙ АКТИВАЦИЕЙ

Улучшение качества изделий, снижение их материалоемкости и стоимости является очевидной необходимостью современного строительства. Так например, использование в составах бетонов песков, взамен щебня является более выгодным решением, так как во многих регионах нет собственных месторождений щебня. Но песчаные бетоны не находят широкого применения в производстве в связи с высоким потреблением цемента, особенно при использовании мелких песков. Расход цемента в бетонах марок М400 – М500 на мелких песках составляет 400–500 кг. Соответственно, для обычных бетонов удельный расход цемента на единицу прочности составляет 10–14 кг на 1 МПа.

В мировой практике уже разрабатываются бетоны нового поколения, позволяющие получать не только высокие прочности бетонов, но и достигать низкого удельного расхода, равного 4–6 кг/МПа. Под термином «бетоны нового поколения» следует понимать бетоны высокой плотности, прочности с новой рецептурой и новым структурно-топологическим строением [1]. Макроструктура и микроструктура в таких бетонах оптимизированы за счет точной градации всех частиц в смеси для получения максимальной плотности [2].

В данном исследовании была поставлена задача определения минимального удельного расхода цемента на единицу прочности.

Для выявления минимального удельного расхода цемента на единицу прочности в порошково-активированных мелкозернистых пропаренных бетонах (ПАМБ) был проведен эксперимент.

В ходе исследований при изготовлении бетонов использовался липецкий шлакопортландцемент ШПЦ 400 Д33 (*Ц*), песок кварцевый молотый (*П_м*), песок тонкий фракции 0,16–0,63 мм (*П_т*), отсев ПГС 0,63–5,00 мм (*П_з*) и гиперпластификатор ХИДЕТАЛ-ГП- 9-γ. В некоторых составах использовался липецкий микрокремнезем (*МК*). Использовались следующие режимы тепловлажностной обработки (*ТВО*): 2ч+44мин+5ч+2ч, 2ч+1ч+5ч+2ч, 2ч+1ч27мин+5ч+2ч, 2ч +2ч+5ч+2ч, с изотермией 60, 70, 80, 90, соответственно. Образцы хранили в камере нормального твердения в течении 28 сут., а испытывали через 1-е, 7-е, и 28-е сут. Для определения прочности пропаренных образцов их испытывали через 24 ч с момента изготовления и после последующего хранения в течение 28 сут.

Было изготовлено четыре состава (**табл. 1**) с отношениями суммарной

**Результаты испытаний ПАМБ с различными соотношениями
молотого песка к цементу**

Наименование показателей	Наименование состава			
	1	2	3	4
Расход цемента, кг/м ³	265	387	432	516
Расход молотого песка, кг/м ³	408	248	238	139
Расход воды, л/м ³	188	151	155	181
Расход микрокремнезема, кг/м ³	27	39	42	52
R _{изг} , на 28 сут. при НУ, МПа	8,5	11,0	11,4	12,1
R _{изг} , на 1 сут. после ТВО, МПа	7,9	12,4	13,1	12,4
R _{сж} , на 28 сут. после ТВО, МПа	37,8	86,0	84,7	71,7
Ц/R _{сж} на 28сут., кг/МПа	7,0	4,5	5,1	7,2
Плотность теоретическая, кг/м ³	2372	2419	2400	2394
Плотность фактическая, кг/м ³	2205	2255	2270	2254

массы цемента и молотого песка к массе тонкого песка и к массе песка-заполнителя, равными, соответственно, 1:0,8:1,4. Во всех составах расход микрокремнезема составлял 10 % от массы цемента, расход гиперпластификатора ХИДЕТАЛ-ГП-9-γ – 9 % от массы цемента. Водотвердое отношение для смеси 2 составило 0,076, для смесей 1, 3, 4 – от 0,082 до 0,088. Диаметр расплыва бетонной смеси из конуса Хегерманна для смеси 2 составил 10,3 см, для смесей 1, 3, 4 – от 12,4 до 12,8 см. Изотермическая выдержка производилась при температуре 90 °С.

Графики зависимости удельного расхода цемента на единицу прочности от расхода цемента после ТВО на 1-е и на 28-е сут. приведены на **рис. 1**.

Значения эмпирических коэффициентов приведены в **табл. 2**.

Данный эксперимент позволяет сделать вывод, что минимальный удельный расход цемента на единицу прочности после ТВО 4,5 кг/МПа наблюдается при расходе цемента 387 кг/м³ в составе 2, а наивысшая плотность 2270 кг/м³ – при расходе цемента 432 кг/м³ в составе 3. Из графика видно насколько значительно снижение удельного расхода цемента на единицу прочности в составе 2, обеспечиваемого за счет сниженного расхода воды.

S (стандартное отклонение) = 1.16
r (корреляционная ошибка) = 0.84

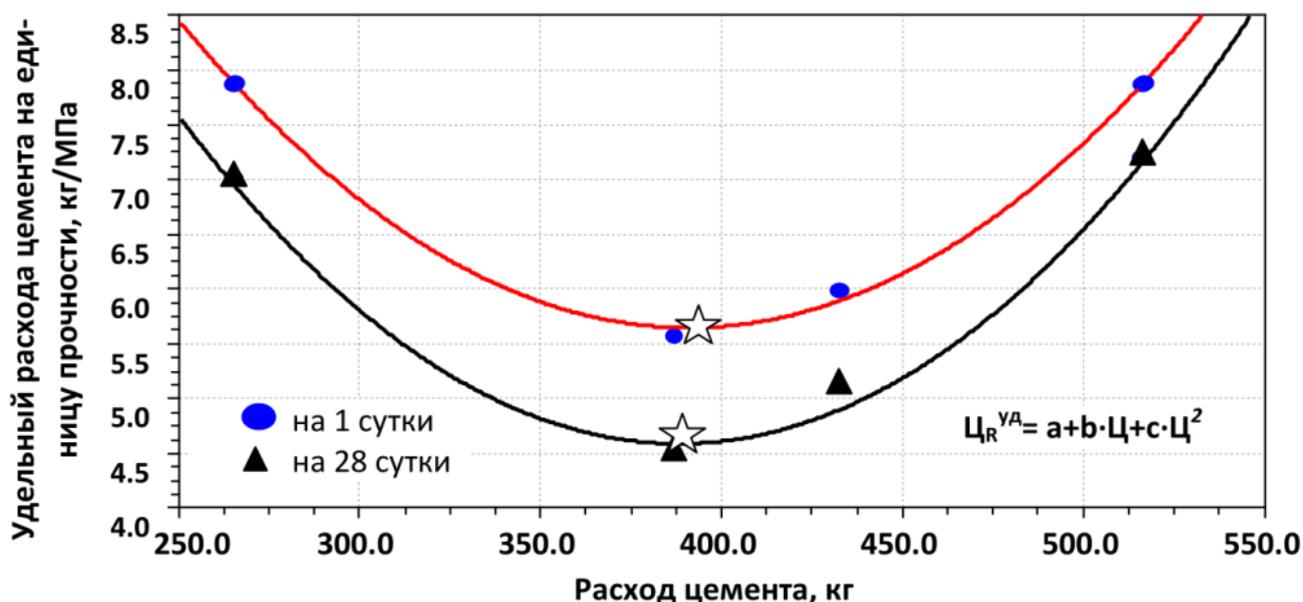


Рис. 1. Зависимость удельного расхода цемента на единицу прочности от расхода цемента после тепловлажностной обработки (ТВО) на 1-е и 28-е сут.

Таблица 2.

Значения эмпирических коэффициентов

Составы бетонов	a	b	c
Нормальное твердение	27,26	-0,11	0,00014
Тепловлажностная обработка	28,17	-0,12	0,00016

С целью исследования влияния режима ТВО на прочность пропариваемого порошково-активированного мелкозернистого бетона, с оптимизированным расходом цемента, был выполнен следующий эксперимент. Образцы состава 2 пропаривались при температуре 60, 70, 80 и 90 °С.

Из табл. 3 по приросту прочности на сжатие на 1-е сут. видно, что наивысшая прочность в состава 2 достигнута при температуре 80 °С. О наиболее интенсивном наборе прочности этого состава при данной температуре свидетельствует рис. 2. Следовательно, состав на шлакопортландцементе, следует пропаривать при повышенных температурах 80 °С с изотермической выдержкой 5 ч, позволяющей достичь коэффициента эффективности при пропаривании 0,88 [3].

Таблица 3.

Результаты испытаний бетона состава 2 при различных температурах изотермической выдержки

Наименование показателей		Нормальные условия твердения T = 20 °C	Температура изотермии с длительностью 5 ч, °C				
			60	70	80	90	
Разность начальной и конечной температуры разогрева бетона, °C		–	40	50	60	70	
Прочность при сжатии, МПа	Сроки испытания, сут	1	31,4	62,8	74,4	92,2	76,6
		7	65,6	70,2	77,2	94,0	82,6
		28	104,6	72,0	80,1	99,0	84,2
Коэффициент эффективности при пропаривании		–	0,60	0,71	0,88	0,73	
Ц/R _{сж} на 28 сут., кг/МПа*		3,7	5,4	4,8	3,9	4,5	

ПАМБ отличаются высокой прочностью при сжатии, однако, при изготовлении предварительно-напряженных несущих конструкций важное значение приобретает усадка бетона. Деформация усадки определялась по стандартной методике ГОСТ 24544–81.

Усадка ПАМБ с соотношением компонентов Ц:П_м:П_т:П_з:МК = 1:0,71:1,38:2,46:0,1 при нормальных условиях твердения составила 0,40 мм/м, а после ТВО – 0,37 мм/м, что существенно ниже по сравнению с усадкой традиционных песчаных бетонов. При этом водопоглощение через 180 суток по массе образцов воздушно-сухого состояния было 1,58 % и 2,16 %, соответственно при начальных условиях и ТВО.

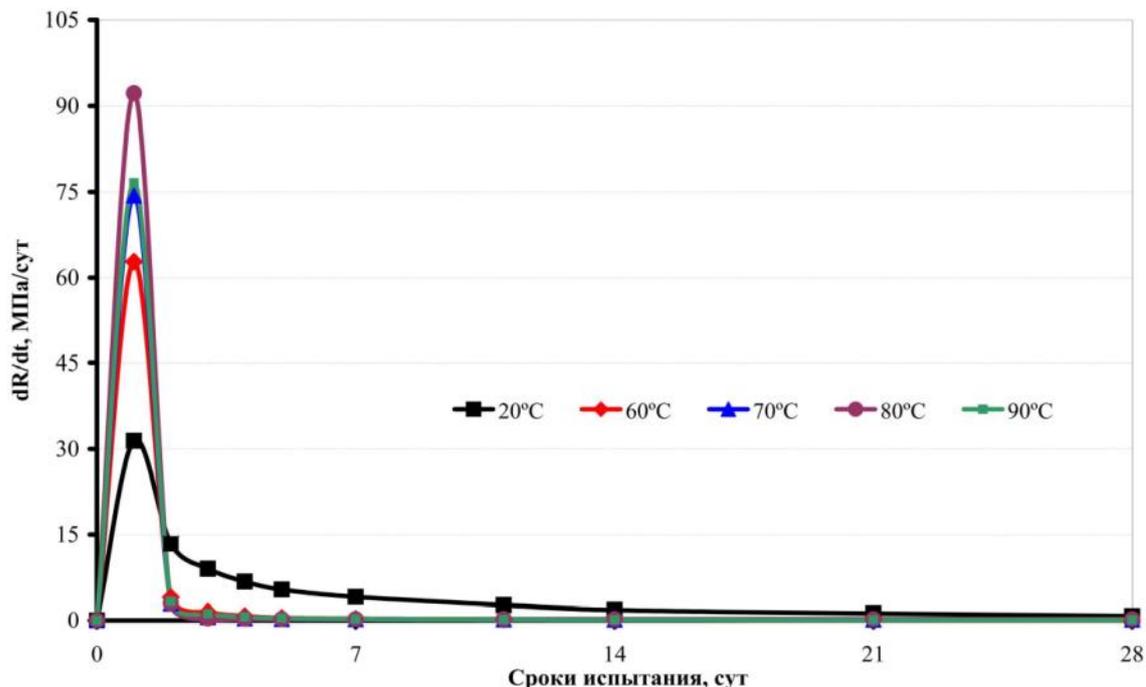


Рис. 2. Скорость набора прочности порошково-активированного мелкозернистого бетона состава 2 при различных условиях твердения

Выводы

Введение реакционно-активных кремнеземистых добавок и реологически-активных дисперсных наполнителей позволяет достигнуть повышенной прочности малоцементных бетонов и довести ее до прочности щебеночных бетонов старого поколения или существенно превысить ее. Оптимизированный состав бетона позволил добиться низкого удельного расхода цемента на единицу прочности – 3,7 кг/МПа при нормальных условиях твердения и 3,9 кг/МПа после ТВО, что значительно ниже, чем у современных щебеночных бетонов с повышенным расходом цемента. Немаловажным является то, что после тепло-влажностной обработки коэффициент эффективности пропаривания превышает 0,7 и достигает 0,93, что важно для заводской технологии.

Литература:

1. Калашников В.И., Терминология науки о бетоне нового поколения // Строительные материалы. 2011. №3. С. 103–106.
2. Садрекареми А., Развитие легковесных реакционно-порошковых бетонов // Журнал о современных технологиях бетона. Япония. 2004. №3. С.409–417.
3. Рекомендации по тепловой обработке тяжелого бетона с учетом активности цемента при пропаривании // НИИЖБ Госстроя СССР, Москва, 1984.