

Смоляков Алексей Владимирович, младший научный сотрудник
НИИЛ бетонов и строительных материалов БНТУ
Федорович Павел Леонидович, инженер НИИЛ бетонов
и строительных материалов БНТУ
Батяновский Эдуард Иванович, докт. техн. наук, профессор,
заведующий кафедрой «Технология бетона и строительные
материалы» БНТУ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРАНИТНОГО ОТСЕВА В ЦЕМЕНТЕ И КОНСТРУКЦИОННОМ БЕТОНЕ

GRANITE SIFTING USE IN CEMENT AND CONSTRUCTION CONCRETE

АННОТАЦИЯ

Приведены результаты исследований применения переработанного гранитного отсева – побочного продукта от дробления горной породы на крупный заполнитель для бетона, в качестве минеральной добавки в бетон (цемент) и в качестве укрупняющих фракций мелкого заполнителя с целью улучшения его гранулометрического состава. Показана возможность и эффективность полного использования отсевов РУПП «Гранит» Брестской области.

ABSTRACT

In the article are cited the data of the results of researches of the application of the processed granite sifting - by-product from splitting of the rock for the large filler for the concrete, as the mineral additive to concrete (cement) and as the enlarging fractions of fine filler for the purpose of an improvement in its granulometric composition. Displayed possibility and efficiency of full use of siftings of «Granite», RUPE of the Brest area is shown.

ВВЕДЕНИЕ

Использование в бетонах и растворах отходов камнедробления, образующихся на РУПП «Гранит» Брестской области Беларуси при производстве крупного заполнителя для бетона и при традиционных технологиях, и в варианте специфической технологии «сухого» формования бетона [1] приводит к ухудшению формемости бетонных (растворных) смесей, снижению плотности и

прочности бетона, росту его проницаемости и водопоглощения при соответствующем ухудшении эксплуатационных характеристик. Эти явления связаны с повышенным содержанием в отсеве тонкодисперсных фракций (менее 0,16 мм), достигающем (40-50) % от его веса, массовым наличием микротрещин и повышенной удельной поверхностью их, явно выраженной лещадностью зерен этих фракций. В совокупности эти факторы обуславливают невозможность прямого эффективного использования гранитного отсева в цементных бетонах и растворах.

Вместе с тем, после переработки гранитного отсева [2, 3], в частности отсева его на две фракции «по размеру зерна ~ 0,5 мм» и помола мелкой фракции, получают качественные продукты в виде молотой минеральной добавки в бетон или в цемент (при совместном помоле с клинкером) и отсеянных крупных фракций (~ 0,5-5,0 мм). Последние можно использовать для обогащения природных мелкозернистых песков и тем самым решить проблему, характерную для многих регионов Беларуси (особенно ее юго-восточных областей), заключающуюся в отсутствии местного качественного мелкого заполнителя для бетона. Улучшение гранулометрии мелкого песка за счет введения крупных фракций гранитного отсева обеспечивает рост плотности и прочности бетона, а на этой основе повышение его физико-технических характеристик и снижение на (5-15) % расхода цемента.

В настоящей статье частично приведены результаты исследований закономерностей влияния минеральной добавки в цемент в виде молотого гранитного отсева (ПРУП «Кричевцементношифер» по состоянию на 01.08.2011 выпустило более 7,0 тысяч тонн портландцемента с этой минеральной добавкой) на прочность бетона и данные о ее росте при обогащении мелкозернистого природного песка крупными фракциями отсева.

ПРОЧНОСТЬ БЕТОНА НА ПОРТЛАНДЦЕМЕНТЕ С МИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКОЙ

Общая методика исследований. В процессе исследований выявили влияние количественного содержания минеральной добавки – продукта помола гранитного отсева, в портландцементе на физико-технические свойства бетона: среднюю плотность,

кинетику роста прочности в различных условиях твердения (стандартных нормально-влажностных; пропаривание), значения прочности бетона классов С12/15...С32/40 в проектном возрасте (диапазон прочности бетона (20...52 МПа) практически используемый для общестроительного производства), а также определили базовые составы бетона, соответствующие применяемым на внедряющем разработку предприятиях (ОАО «Завод СЖБ» г. Борисов; ОАО «Завод СЖБ № 1» г. Минск; ОАО «Завод СЖБ» г. Барановичи).

Во всех случаях применены заполнители стандартного качества и портландцемент с минеральной добавкой, измельченной до тонкости помола $S_{уд} \sim 3000 \text{ см}^2/\text{г}$ ($300 \text{ м}^2/\text{кг}$), по прибору типа «ПСХ-4». Эта тонина помола цемента принята как базовая для вяжущих промышленного изготовления. Одновременно она наиболее рациональна для добавки гранитного отсева, как обеспечивающая положительный эффект роста прочности цементного камня до дозировки ее до 20...30 % от массы цемента [2, 3].

Совместный помол портландцементного клинкера (производства) ПРУП «Кричевцементошифер»), гипсового камня и гранитного отсева осуществляем в лабораторной шаровой мельнице с различной дозировкой гранитного отсева (0; 10; 20 и 30 % от массы клинкера).

На полученных цементах изготавливали образцы бетона стандартизированного (ГОСТ 30459-96) состава (см. далее) при прочих равных условиях для оценки влияния количества добавки на его прочность. По завершении этих экспериментов остальные исследования осуществили на полученном помолом ПЦ Д0; ПЦ Д20 и, для сравнения, на цементе заводского производства (ПРУП «Кричевцементошифер») марки ПЦ М500 Д0 (составы бетона приведены далее).

В разделе статьи, относящейся к прочности бетона, приготовленного на мелком (тонком) песке и после его обогащения крупными ($\geq 0,63 \text{ мм}$) фракциями гранитного отсева, данные получены на указанном далее «стандартизированном» составе бетона.

Методики выполнения отдельных экспериментов приведены в соответствующих разделах статьи.

Во всех случаях эксперименты выполнены с использованием образцов бетона в виде кубов с ребром 100 мм (поправочный масштабный коэффициент: $\alpha = 0,95$, учтен). Бетон уплотняли

на лабораторной виброплощадке со стандартными параметрами вибрирования: амплитуда (A) $\sim 0,5$ мм; частота колебаний (f) ~ 50 Гц.

Прочность бетона стандартизированного состава на вяжущем с различным содержанием минеральной добавки (отсева). На начальном этапе исследований прочностных свойств тяжелого конструкционного бетона различных составов и классов (далее – бетона), приготовленного на портландцементе, содержащем минеральную добавку в виде молотого (совместно с клинкером и гипсом) гранитного отсева, было выявлено влияние количества миндобавки на прочность бетона стандартизированного [1] (ГОСТ 30459-96) состава «при прочих равных условиях».

Целью этих исследований было выявление оптимума и возможного допустимого количества вводимой миндобавки с позиций изменения (снижения) прочности бетона.

Стандартизированный состав бетона принят в соответствии с положением ГОСТ 30459-96 и характеризовался содержанием (расходами) материалов: цемента ($\text{Ц} \sim 350$ кг); гранитного щебня фракций, размерами 5...20 мм ($\text{Щ} \sim 1150$ кг); песка природного ($\text{П} \sim 700$ кг); воды ($\text{В} \sim 175$ кг) при исходном водоцементном отношении: $\text{В/Ц} \sim 0,5$.

Следует отметить, что наличие минеральной добавки в виде молотого гранитного отсева в количестве $\geq 15\%$ от массы цемента способствует незначительному, но определяемому по прибору Вика снижению показателя нормальной густоты [2] вяжущего. Это связано с тем, что молотый гранитный отсев ($S_{\text{уд}} \sim 3000$ см²/г) характеризуется нормальной густотой $\sim 18...20\%$, что ниже данного показателя для клинкерного портландцемента.

С учетом этого обстоятельства прочность бетона определена как при постоянном общем водоцементном отношении, равном 0,5, так и для варианта со снижением начального водосодержания и соответственно водоцементного отношения бетона (В/Ц) б при сохранении «равноподвижности» бетонной смеси. Оценка подвижности (осадки конуса) бетонной смеси осуществляли по СТБ 1545-2005.

Методика проведения экспериментов включала приготовление бетонных смесей, определение осадки конуса, изготовление образцов-кубов с ребром 100 мм (серия – не менее 6 образцов по каждому определению), твердение бетона в двух вариантах:

при нормально-влажностных условиях (температура: $t \sim 20 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$; относительная влажность: $\phi \geq 90 \%$) и при пропаривании по режиму: предварительная выдержка – 2 ч; подъем температуры до $80 \dots 85 \text{ }^\circ\text{C}$ – 3 ч; изотермическая выдержка – 6 ч; остывание образцов в камере – 4 ч; остывание образцов после распалубки – 4 ч. Испытания пропаренных образцов бетона проводили не позже 24 ч от момента их изготовления.

Методика испытаний и обработки их результатов соответствовала ГОСТ 10180-90 и ГОСТ 18105-86. Полученные экспериментальные данные приведены в таблице 1. Каждое значение прочности бетона, это среднее значение (единичное значение) серии из 6-ти образцов. Внутрисерийный коэффициент вариации прочности составил: $V_m \sim 6 \dots 8 \%$, при допускаемой его величине: $V_m \leq 13,5 \%$, принимаемой для тяжелого бетона ГОСТ 18105-86.

Таблица 1. Прочность на сжатие бетона стандартизированного состава

№ п/п	Характеристики вяжущего:			Характеристики бетонной смеси:				Прочность бетона на сжатие в МПа и в процентах:			
	Количество клинкерной составляющей* на 1 м^3 бетона, кг	Количество миндобавок и в цементе		расход воды на 1 м^3 бетона, л (кг)	осадка конуса (ОК), см	водоцементное отношение бетона		после пропаривания:		нормально-влажн. твердение 28 сут:	
		кг	%			общее	к клинкерн. сост. ав.	МПа	%	МПа	%
1	350	-	-	175	2...3	0,5	0,5	32	74	43	100
2	315	35	10	175	3...4	0,5	0,56	34	77	44	102
3	315	35	10	170	2...3	0,49	0,54	38	81	47	109
4	280	70	20	175	5	0,5	0,62	31	75	41	95
5	280*	70	20	167	2...3	0,48	0,6	33	76	43	100
6	255	105	30	175	5...6	0,5	0,71	27	76	36	84
7	255	105	30	163	2...3	0,47	0,64	30	75	40	93

Анализ данных таблицы 1 свидетельствует о следующем. Введение в цемент минеральной добавки в виде молотого гранитного отсева в количестве до 20 % от массы клинкерной (с соответствующей ее свойствам дозировкой гипсового камня) части портландцемента допустимо (применительно к «усредненному» стандартизированному составу бетона) с позиций обеспечения его прочности.

Этот вывод подтверждается практической сопоставимостью результатов, относящихся к образцам бетона из равноподвижных бетонных смесей (№ 1 и № 5 таблицы) и снижением в пределах 5 %

прочности бетона проектного возраста на «ПЦ –Д20» без корректировки воды затворения (№ 4). В последнем случае подвижность смеси составляла ОК ~ 5 см, т.е. перешла в марку «П2» из марки «П1» (ОК ~ 2...3 см) для исходного состава № 1, приготовленного на чистоклинкерном цементе.

Увеличение дозировки миндобавки более 20% от МЦ очевидно приводит к снижению проектной прочности бетона, при прочих равных условиях. Этот отрицательный эффект связан, на наш взгляд, со следующими факторами. Во-первых, введение значительного количества инертного по своей сути минерального наполнителя способствует снижению активности вяжущего.

Во-вторых, в большей мере проявляется эффект понижения качества сцепления цементного камня, содержащего большое количество инертного вещества, с заполнителями в бетоне.

В-третьих, возрастает величина истинного (по отношению к клинкерной части цемента) водоцементного отношения бетона, т.е. растет его пористость, что в совокупности приводит к превышению воздействия отрицательных факторов над положительно действующими на цементный камень и обеспечивающими рост его прочности. В результате при дозировке добавки более 20 % от МЦ прочность бетона существенно снижается и на свежемолотом цементе.

Вместе с тем следует отметить, рост прочности образцов бетона (как нормально – влажностного твердения так и пропаренных) в проектном возрасте (28 сут.) при дозировке миндобавки в 10 % от МЦ, а во-вторых, небольшое увеличение относительной прочности пропаренного бетона. Последнее очевидно связано с общеизвестной тенденцией о большей эффективности цементов с миндобавками при твердении в среде с повышенной температурой.

Кроме этого, при общем положительном результате данного эксперимента, следует учитывать, что он выполнен с использованием свежеприготовленного вяжущего. Экспериментальная оценка фактора «старения» цемента при хранении продолжается.

Дальнейшие исследования прочности бетона были осуществлены с учетом планируемой производственной апробации цемента с миндобавкой из молотого гранитного отсева на внедряющих предприятиях.

Кинетика твердения бетона на цементе с минеральной добавкой. В процессе исследований отслеживали кинетику твердения, т.е. изменение прочности бетона во времени при твердении образцов в стандартных нормально-влажностных условиях и после пропаривания: непосредственно после окончания тепловой обработки и после «дозревания» бетона в камере нормально-влажностного твердения до стандартного возраста в 28 сут.

Целью исследований было выявление влияния минеральной добавки в составе цемента на темп роста прочности бетона различных составов и консистенцию смеси.

Во всех приведенных в разделе экспериментальных данных результаты получены на практически одновременно подготовленных вяжущих: чистоклинкерном цементе и содержащем 10...20 % минеральной добавки. Марка вяжущего определяется степенью помола и процентным содержанием минеральной добавки в смешанном вяжущем. Составы бетона соответствовали данным таблицы 2.

Для получения подвижных бетонных смесей с осадкой конуса: $OK \geq 10$ см (марок ПЗ и П5), в бетон вводили химическую добавку суперпластификатор «Стахемент-Ф Ж35» (Ст. – Ф Ж35; жидкость 35 % концентрации), характеризующуюся кроме пластифицирующего эффекта наличием в ней ускоряющего компонента. Его присутствие частично компенсирует замедление темпа роста прочности бетона пластифицирующими компонентами (органические поверхностно-активные вещества) в нормально-влажностных условиях твердения. Характеристики составов бетона приведены в таблице 2.

Твердение бетона при стандартных нормально-влажностных условиях. В таблице 3 представлены результаты экспериментов определения прочности бетона на сжатие в возрасте 1; 3; 7 и 28 суток (интерпретировано частично рис. 1). Приведенные результаты – данные единичных испытаний серий образцов бетона в количестве 3...6 шт., с обработкой по ГОСТ 10180 – 90. Расчетный внутрисерийный коэффициент вариации прочности $\sim 7...8$ %; для оценки результатов применен $V_m = 13,5$ %.

Данные таблицы 3 и рис. 1 практически подтверждают выводы, сделанные на основе экспериментов с образцами бетона стандартизированного состава (см. ранее изложенное).

Таблица 2. Характеристики составов бетона

№ п/п	Класс бетона	Марка цемента	Расходы материалов на 1 м ³ бетона, кг:				Добавка СП в % от МЦ по сух. веществу	(В/Ц) ₀	Формуемость бетонной смеси	
			цемент	щебень	песок	воды			Ж, с	ОК, см
А. ЖЕСТКИЕ СМЕСИ										
1.	C12/15	M400	275	1100	970	105	-	0,38	5...10	-
2.	C12/15	M500	250	1100	1000	105	-	0,42	5...10	-
3.	C20/25	M400	395	1100	840	160	-	0,40	5...10	-
4.	C20/25	M500	350	1100	880	145	-	0,41	5...10	-
5.	C32/40	M500	510	1160	620	150	0,6	0,30	5...10	-
Б. ПЛАСТИЧНЫЕ СМЕСИ										
6.	C12/15	M400	300	950	1130	142	-	0,50	-	1...4
7.	C12/15	M500	300	950	1180	128	-	0,51	-	1...4
8.	C20/25	M400	375	1150	750	160	0,6	0,45	-	10...15
9.	C20/25	M500	350	1150	800	146	0,6	0,45	-	10...15
10.	C32/40	M500	550	1000	600	247	0,8	0,45	-	21...24

Таблица 3. Кинетика роста прочности бетона в нормально-влажностных условиях

№ п/п	Номер состава бетона по табл. 2	Класс бетона	Расход цемента на 1 м ³ кг	Содержание миндобавки в цементе, %	Прочность бетона: МПа и в % от проектной в возрасте, сут.:							
					1		3		7		28	
					МПа	%	МПа	%	МПа	%	МПа	
А. ЖЕСТКИЕ СМЕСИ												
1	2	C12/15	250	-	6,7	31,3	14,0	65,0	17,8	83,0	21,5	
2	2	C12/15	250	10	7,0	31,9	14,6	66,6	18,7	85,1	22,0	
3	2	C12/15	250	20	6,3	30,6	13,6	66,3	17,2	84,0	20,5	
4	4	C20/25	350	-	11,0	33,3	21,4	64,4	26,6	80,0	33,2	
5	4	C20/25	350	10	11,7	35,0	21,8	65,1	27,8	83,1	33,5	
6	4	C20/25	350	20	10,9	34,3	20,7	65,0	25,6	80,3	31,9	
7	5	C32/40	510	-	16,4	30,8	36,1	67,7	45,9	86,1	53,3	
8	5	C32/40	510	10	17,0	31,5	37,3	69,0	47,0	87,0	54,0	
9	5	C32/40	510	20	15,9	30,0	36,2	68,5	45,0	85,0	52,9	
Б. ПЛАСТИЧНЫЕ СМЕСИ												
10	7	C12/15	300	-	5,1	24,6	12,7	61,0	15,6	75,1	20,8	
11	7	C12/15	300	10	6,2	27,0	14,7	63,9	17,5	76,0	23,0	
12	7	C12/15	300	20	4,9	24,5	12,5	62,5	15,0	75,0	20,0	
13	9	C20/25	385	-	8,6	25,7	21,2	63,2	26,0	77,5	33,6	
14	9	C20/25	385	10	8,7	25,9	21,4	64,0	25,8	77,0	33,5	
15	9	C20/25	385	20	7,8	23,7	20,3	62,0	25,1	75,0	32,8	
16	10	C32/40	550	-	13,2	25,2	33,6	64,0	41,4	78,9	52,5	
17	10	C32/40	550	10	13,9	26,4	34,6	65,5	42,5	82,5	52,8	
18	10	C32/40	550	20	12,4	24,0	33,5	65,0	39,6	77,0	51,5	

Основным результатом этих экспериментов является подтверждение возможности введения до 20 % молотого гранитного отсева в цемент без существенного снижения прочности бетона классов С12/15...С32/40 (прочностью на сжатие $f_c \sim 20 \dots 50$ МПа).

Практически во всех случаях (при использовании жестких и пластичных бетонных смесей марок: П1; П3 и П5) образцы бетона приготовленного на цементе с содержанием добавки до 20 %, обеспечили требуемую прочность, соответствующую заявленному классу при коэффициенте ее вариации $V_{ш} = 13,5$ %. В случае использования расчетного внутри серийного коэффициента вариации прочности бетона $V_{ш.р.} \sim 8$ % уровень требуемой прочности бетона несколько превышает ее минимально необходимые значения.

Следует отметить примерно равный темп роста прочности бетона на цементе с минеральной добавкой в дозировке до 20 % от массы цемента, в сравнении с образцами бетона на цементе без добавки, в пределах исследованного отрезка времени.

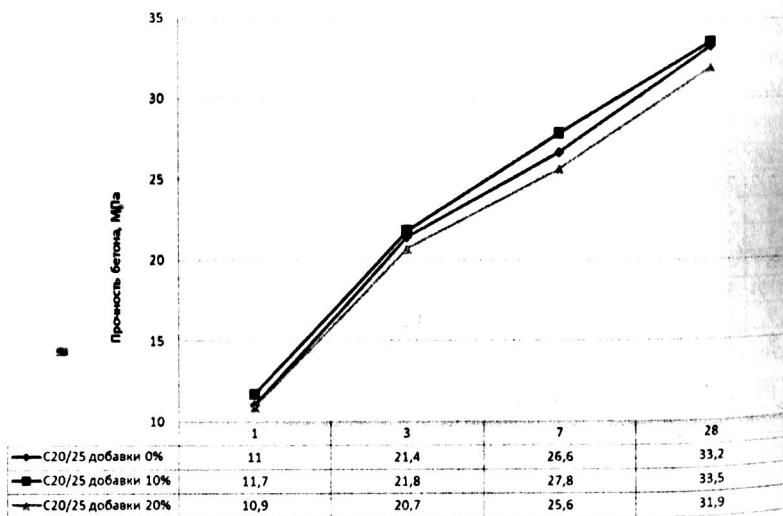


Рис. 1а. Кинетика роста прочности бетона в нормально-влажностных условиях. Жесткие смеси

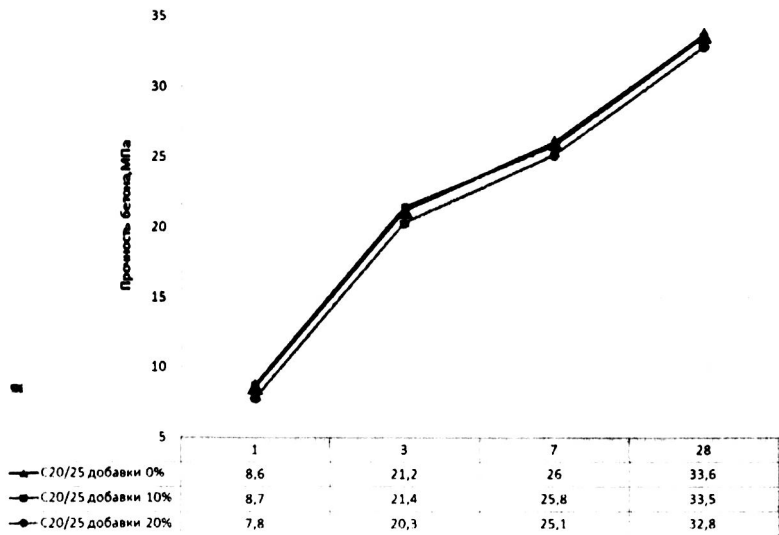


Рис. 16. Кинетика роста прочности бетона в нормально-влажностных условиях. Пластичные смеси

Проявляющаяся тенденция понижения этого параметра с введением 20 %-ов добавки в 1...3 сут. нормально влажностного твердения к проектному возрасту (28 сут.) сохраняется, но не превышает 2...4 %.

Прочность бетона при пропаривании. Оценку изменений прочности образцов бетона в зависимости от наличия и количества в цементе минеральной добавки в виде молотого гранитного отсева осуществляли после их пропаривания в лабораторной (ямной) камере, а также после последующей выдержки серий образцов до проектного 28 сут. возраста в камере нормально-влажностного твердения.

Целью исследований являлось не только выявление закономерностей влияния вещества миндобавки на темп роста прочности бетона в условиях прогрева ($t \sim 80...85^\circ\text{C}$), но и возможное ее влияние на изменения прочности бетона в дальнейшем (при благоприятных условиях твердения). Полученные экспериментальные данные на образцах пропаренного бетона (таблица 4; рис. 2) практически подтверждают результаты исследований предыдущего раздела и согласуются с экспериментальными данными, отно-

Таблица 4. Прочность бетона пропаренных образцов

№ п/п	Номер состава бетона по табл. 2	Класс бетона	Расход цемента на 1 м ³ , кг	Наличие и содержание миндобавки в цементе, %	Прочность бетона:		
					После пропаривания		После 28 сут. дозревания
					МПа	% от 28 сут	
А. ЖЕСТКИЕ СМЕСИ							
1	2	C12/15	250	-	15,6	75,5	20,7
2	2	C12/15	250	10	16,2	77,0	21,1
3	2	C12/15	250	20	15,1	76,0	19,9
4	4	C20/25	350	-	25,3	79,4	31,9
5	4	C20/25	350	10	25,6	80,0	32,0
6	4	C20/25	350	20	25,1	81,0	31,0
7	5	C32/40	510	-	40,8	78,8	51,8
8	5	C32/40	510	10	43,5	82,0	53,0
9	5	C32/40	510	20	40,9	80,0	51,1
Б. ПЛАСТИЧНЫЕ СМЕСИ							
10	7	C12/15	300	-	14,4	71,9	20,0
11	7	C12/15	300	10	14,6	73,0	20,0
12	7	C12/15	300	20	14,1	72,0	19,6
13	9	C20/25	350	-	24,0	73,5	32,6
14	9	C20/25	350	10	24,3	74,0	32,9
15	9	C20/25	350	20	23,3	74,0	31,5
16	10	C32/40	550	-	39,5	76,0	52,0
17	10	C32/40	550	10	41,4	77,7	53,3
18	10	C32/40	550	20	40,2	79,0	50,9

связанными с прочностью образцов бетона нормально-влажностного твердения аналогичных составов и классов.

Результаты экспериментов приведены для образцов после 3...4-х часового остывания; прочность «горячих» образцов была ниже в среднем на ~ 5...7 %.

Важнейшим выводом является подтверждение возможности введения в цемент 20 %-ной добавки молотого гранитного отсева без снижения проектной прочности пропаренного бетона и без снижения прочности непосредственно после пропаривания, что важно для производства преднапряженных железобетонных изделий и конструкций.

Следует констатировать несколько более высокий уровень относительной прочности образцов пропаренного бетона из жестких бетонных смесей сразу после прогрева (75...82 %), в сравнении с бетоном из пластичных смесей (72...79%), несмотря на то, что составы № 14...№ 18 получены с применением добавки СП и при

Жесткие смеси

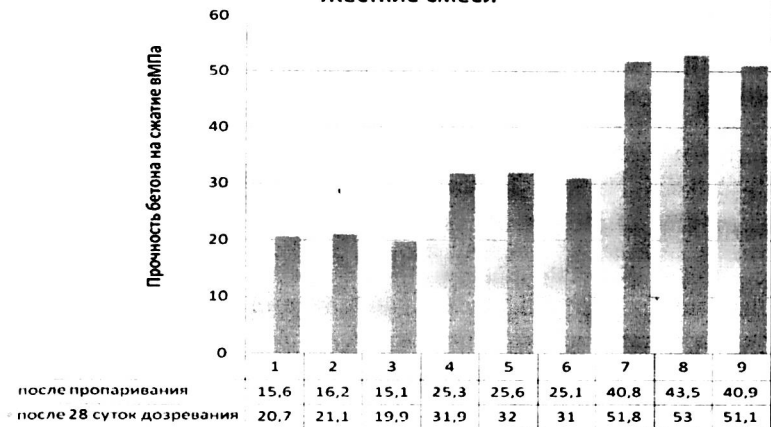


Рисунок 2а. Прочность бетона пропаренных образцов

Пластичные смеси

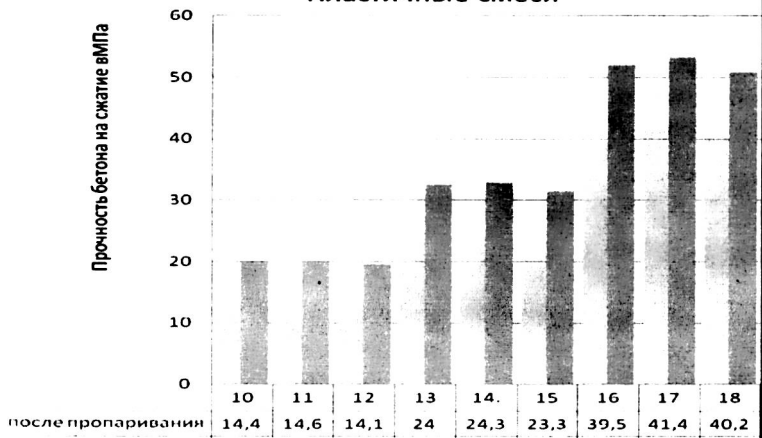


Рисунок 2б. Прочность бетона пропаренных образцов

небольшом снижении исходного водоцементного отношения бетона (подбиралось по заявленной осадке конуса).

Кроме этого сравнение данных таблиц 3 и 4 показывает, что пропаренный бетон (при прочих равных условиях) незначительно, но «недобирает» (примерно, до 3...5 %) прочности к проектному возрасту, в сопоставлении с данными для образцов

нормально – влажностного твердения. Фактически эти результаты подтверждают известное в технологии бетона явления и здесь нет зависимости, связанной с наличием или отсутствием в цементе минеральной добавки.

ПРОЧНОСТЬ БЕТОНА НА ОБОГАЩЕННОМ МЕЛКОМ ЗАПОЛНИТЕЛЕ

Значение рациональной гранулометрии заполнителей в обеспечении физико-технических свойств бетона общеизвестно [5, 6]. Вместе с тем в строительной отрасли Беларуси вынужденно применяются мелкие и тонкие пески, характеризующиеся модулем крупности менее $M_k \leq 1,5$ и даже $M_k \leq 1,0$. Эффективность обогащения тонких песков иллюстрируется данными рис. 3, отражающими зависимость прочности бетона (стандартизированного состава) на сжатие, полученного «при прочих равных условиях» из равноподвижных смесей (марка – П1).

Эти данные свидетельствуют о возможности повышения качества бетона при одновременной экономии цемента путем обогащения мелкозернистых песков крупными (в исследованиях $\geq 0,63$ мм) фракциями гранитного отсева.

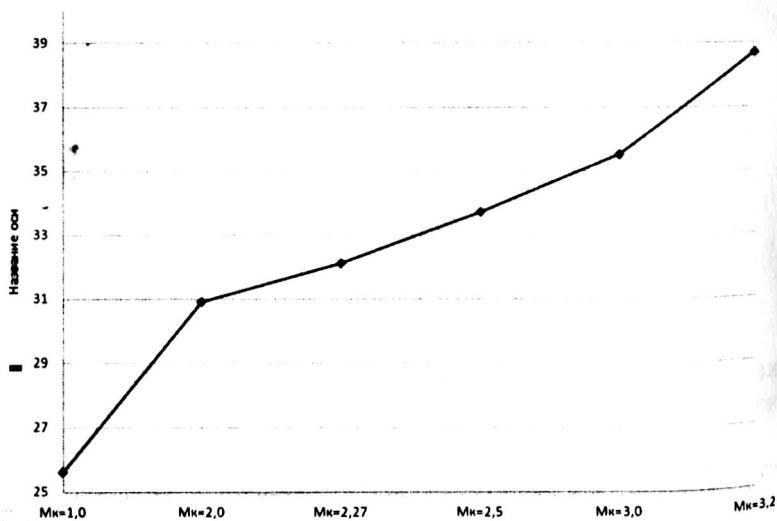


Рис. 3. Прочность бетона (стандартизированного состава) на сжатие

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установленные закономерности влияния минеральной добавки в портландцемент (бетон) на прочность бетона в сочетании с данными об их влиянии на эксплуатационные характеристики и свойства бетона (водопоглощение, водонепроницаемость, стойкость в среде хлоридов и сульфатов, морозостойкость и защитную способность по отношению к стальной арматуре [2, 3]) свидетельствуют о возможности использования такого цемента в бетонах (растворах) общестроительного назначения без ограничений, в соответствии с общими правилами применения вяжущего с минеральными добавками.

Использование крупных фракций гранитного отсева для обогащения природных мелкозернистых песков позволяет решить проблему повышения качества бетона и снижении расхода цемента для целого ряда районов Беларуси, не располагающих местными запасами качественного мелкого заполнителя для бетона.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Батяновский, Э.И. Особопрочный бетон сухого формования. – Мн.: НПООО «Стринко», 2002. – 224 с.
2. Батяновский, Э.И. Свойства цемента и цементного камня с минеральной добавкой в виде молотого гранитного отсева / Э.И. Батяновский; А.А. Дрозд, А.В. Смоляков, // Строительная наука и техника. – 2009 – № 1. – С.73-79.
3. Смоляков, А.В. Технологические свойства бетонных смесей и прочность бетона с добавкой в виде молотого гранитного отсева/ Э.И. Батяновский; А.А. Дрозд, А.В. Смоляков, // Строительная наука и техника. – 2009 – № 1. –С.73-79.
4. Ахвердов, И.Н. Высокопрочный бетон. – М.: Стройиздат, 1961. – 106 с.
5. Ахвердов, И.Н. Основы физики бетона. – М.:Стройиздат, 1981. – С.208-225.
6. Ицкович, С.М. Технология заполнителей бетона / С.М. Ицкович, Л.Д. Чумаков, Ю.М. Баженов. – М.: Высшая школа, 1991. – 272 с.