

Эдуард Иванович БАТЯНОВСКИЙ, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой "Технология бетона и строительные материалы" Белорусского национального технического университета

Александр Алексеевич ДРОЗД, кандидат технических наук, доцент, заведующий сектором НИИЛ бетонов и строительных материалов Белорусского национального технического университета

Павел Леонидович ФЕДОРОВИЧ, инженер НИИЛ бетонов и строительных материалов Белорусского национального технического университета

Алексей Владимирович СМОЛЯКОВ, научный сотрудник НИИЛ бетонов и строительных материалов Белорусского национального технического университета

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ГРАНИТНОГО ОТСЕВА РУПП "ГРАНИТ"

### THE EFFECTIVENESS OF THE DEEP PROCESSING GRANITE DROPOUT RUPP "GRANITE"

*В статье рассматривается проблема полного использования гранитного отсева РУПП "Гранит", образующегося при дроблении исходной горной породы на крупный заполнитель для бетона, по вариантам применения его в качестве обогащающих фракций для мелкозернистых песков при производстве бетонов и растворов и минеральной добавки для цемента.*

*The problem of full use of granite screening RUPP "Granite", formed in the initial crushing of rock coarse aggregate for concrete, on options for its use in an enrichment of fine sand fractions for the production of concrete and mortar and mineral additives for cement.*

#### ВВЕДЕНИЕ

В результате ранее выполненных с участием авторов исследований, частично представленных в публикациях [1–4], был разработан вариант прямого применения технологического гранитного отсева, образующегося на основном производстве РУПП "Гранит" при измельчении (дроблении) исходной горной породы на щебень — заполнитель для бетона крупностью более 5 мм. По разработанной в БНТУ с участием специалистов ПРУП "Кричевцементношифер" технологии и соответствующим техническим условиям (ТУ ВУ 100649721.116-2010) данное предприятие в 2010–2012 гг. выпустило порядка 59,5 тыс. тонн портландцемента с минеральной добавкой из гранитного отсева. По реализованной при этом технологии производства гранитный отсев вводят в вяжущее (до 20 % от массы) при совместном помоле с клинкером. Полученное вяжущее характеризуется стабильными физико-техническими свойствами, так как химико-минералогический состав гранитного отсева (сформировавшийся в глубокой древности) стабилен. Двухлетняя практика его использования строительной отраслью Беларуси и России показала, что эта разновидность портландцемента с минеральной добавкой нашла свою нишу в производстве сборного бетона и железобетона, в монолитном строительстве.

Вместе с тем такой вариант использования гранитного отсева не вполне рационален. Технологический отсев как отход прямого производства РУПП "Гранит", зерновой (гранулометрический) состав которого представлен в табл. 1, содержит как резко ухудшающие технологические и физико-технические свойства бетонов и растворов фракции, размерами менее 0,50–0,63 мм, так и ценные крупные фракции.

По многолетним наблюдениям за гранулометрическим составом технологического отсева, поставляемого РУПП "Гранит" в БНТУ для ведения исследований, он соответствует приведенному в табл. 1 с допуском по фракциям  $0,63 \pm 2,5$  % по массе. При этом соотношении мелких и крупных фракций весьма устойчиво и (относительно размера ячейки сита 0,63) составляет до 45 % по массе зерен меньшего размера и  $\geq 55\%$  более крупных фракций. В случае разделения технологического гранитного отсева по зерну крупностью  $\sim 0,5$  мм это соотношение примерно соответствует 40 % и 60 % по массе.

Таким образом, гранитный отсев на 60 % состоит из крупных фракций, которые практически не входят в гранулометрию природных песков с модулем крупности  $M_k \leq 1,5$  (очень мелких и тонких) и содержатся в недостаточном количестве в песках с  $M_k \leq 2,0$  и даже при  $2,0 \leq M_k < 2,5$ , т. е. мелких и частично средних по крупности песках [6]. Недостаток крупных фракций в массово применяемых

Табл. 1. Гранулометрический состав отсева \*

Номер пробы	Содержание зерен, %, крупностью (фракции), мм							$M_k$ отсева
	Менее 0,14	0,14–0,315	0,315–0,63	0,63–1,25	1,25–2,5	2,5–5,0	Более 5,0	
1	13,0	17,1	14,0	6,7	16,6	27,0	5,1	2,95
2	10,7	18,1	16,2	6,3	14,3	29,0	5,9	2,96
Среднее	11,9	17,6	15,1	6,5	15,4	28,0	5,5	2,96

\* Определен по ГОСТ 8735 [5].

строительной отрасли природных (речных, карьерных) песках сопровождается повышенным расходом цемента в бетонах и растворах из-за роста пустотности и удельной поверхности мелкого заполнителя. Логично и рационально использовать крупные ( $\geq 0,5$  мм) фракции гранитного отсева на обогащение природных песков, а остающиеся мелкие фракции ( $< 0,5$  мм, составляющие ~40 % его массы) — для производства цемента с минеральной добавкой.

Для глубокой переработки гранитного отсева путем отсева его по фракциям (например, стандартного набора сит для песка) с последующим составлением требуемого набора фракций существует два варианта: сухой рассев и мокрый или гидрорассев исходного материала. Оба варианта переработки отсева неизбежно существенно повысят стоимость материала и не решают проблемы использования фракций менее 0,5 мм, так как введение их в бетон (раствор) означает снижение качества этих материалов.

Предложение авторов статьи по переработке гранитного отсева заключается в разделении (например, циклонированием в воздушном потоке на соответствующей установке НПО "Цекстр", г. Минск) на две фракции по граничной крупности зерна ~0,5 мм, с использованием мелкой и крупной фракций по ранее приведенным направлениям. В этом случае крупная фракция будет содержать все недостающие в гранулометрии мелкозернистых природных песков фракции, начиная с 0,315–0,63 мм (в виде зерен размером  $\geq 0,50$ –0,63 мм) и до 2,5–5,0 мм.

Технология обогащения мелкозернистых песков переработанным таким образом гранитным отсевом практически отработана, что подтверждает материал настоящей статьи. Выполненные исследования преемственны по отношению к общепризнанным результатам работ ученых Беларуси: И. Н. Ахвердова [7], Н. П. Блещика [8], А. Я. Барташевич [9] по оптимизации зернового состава смеси заполнителей с целью минимизации расхода цемента при обеспечении требуемых технологических свойств бетонной смеси и качественных характеристик бетона.

### ТЕХНОЛОГИЯ ОБОГАЩЕНИЯ ПЕСКА

Оценка устойчивости (постоянства) зернового состава заранее приготовленной смеси природных мелкозернистых песков, характеризующихся  $M_k \leq 1,5$  (до  $M_k \leq 0,9$ ), с крупными (обогащающими) фракциями гранитного отсева размером  $\geq 0,63$  мм показала, что они не устойчивы и при механических воздействиях (перегрузки, вибрирование, а значит, и при транспортировании и хранении с перегрузками) подвержены расслоению. В результате существенно различаются соотношения фракций и модуль крупности разных порций материала, первоначально полученного (по соотношению фракций природного песка и отсева), например, с модулем крупности  $M_k \sim 3,0$ . Экспериментальная оценка в бетоне (при прочих равных условиях) такого материала показала значительный (до 20 %–25 %) разброс прочности из-за неустойчивой гранулометрии обогащенного песка.

В этой связи авторами предложен вариант обогащения мелкозернистых природных песков на стадии приготовления бетонных смесей путем отдельного дозирования и введения в бетоносмеситель требуемых по расчету долей исходного (обогащаемого) песка и круп-

ной фракции (фактически смеси фракций  $\geq 0,5$  мм) гранитного отсева. Формирующаяся в процессе смешивания компонентов бетона (дозированных по традиционной принятой схеме или последовательности) гранулометрия песка в этом случае точно соответствует принятой по расчету. Дозирование долей исходного песка и крупной фракции отсева осуществляют либо последовательно (дозатором песка), либо, при наличии дополнительного дозатора, одновременно. Единственным дополнением при реализации данного варианта технологии обогащения является необходимость отдельного хранения, подачи и дозирования крупной фракции отсева.

### ГРАНУЛОМЕТРИЯ ОБОГАЩЕННОГО ПЕСКА

При разработке технологии обогащения исходили из задачи получения мелкого заполнителя для бетона, характеризующегося модулем крупности в диапазоне  $M_k \sim 2,0$ –3,5 (при рекомендуемом авторами для обогащения песка  $M_k \sim 2,50$ –3,25), от исходного природного (речного, карьерного) с  $M_k \leq 2,0$  (до  $M_k \sim 0,9$ ). При этом гранулометрия получаемого материала должна соответствовать требованиям ГОСТ 8736 [6], преемственного и дополняющего ранее действовавший ГОСТ 10268 [10], в частности данным, приведенным в табл. 2 и на рис. 1а, б.

На рис. 2 показана тенденция изменений гранулометрии обогащенного до  $M_k \sim 2,00$ –3,25 природного песка с модулем  $M_k \sim 1,00$ . С учетом допустимости к применению в конструкционном бетоне песка с  $M_k = 3,5$  по ГОСТ 8736 [6] обогащенный мелкий заполнитель практически "укладывается" в рекомендуемые (допустимые) границы гранулометрии во всех разработанных и частично приведенных (см. рис. 2) вариантах его зерновых составов. Исключение составляет заполнитель с  $M_k = 3,5$ ; его гранулометрия выходит за рамки рекомендуемой для бетона даже с учетом допущения по ГОСТ 8736 [6] для песка с  $M_k = 3,5$ .

Данные ситового анализа обогащенного песка приведены (для рассматриваемого случая с исходным  $M_k = 1,0$ ) в табл. 3 (раздел А); в разделе Б этой таблицы приведено соответствующее долевое соотношение исходного песка ( $M_k \sim 1,0$ ) и переработанного гранитного отсева (фракции  $\geq 0,63$  мм), которое обеспечивает получение обогащенного материала с  $M_k = 2,00$ –3,25.

Аналогично приведенным на рис. 2 и в табл. 2 данным разработаны зерновые составы и долевое соотношение обогащаемого природного песка в диапазоне

Табл. 2. Стандартизированные значения полных остатков на контрольных ситах

Размер отверстий контрольных сит, мм	Полные остатки на контрольных ситах, %	
	ГОСТ 10268 [10]	ГОСТ 8736 [6]
5	0	0
2,5	0–20	35
1,25	15–45	55
0,63	35–70	70
0,315	70–90	90
0,14	90–100	100
Модуль крупности	2,1–3,25	3,5

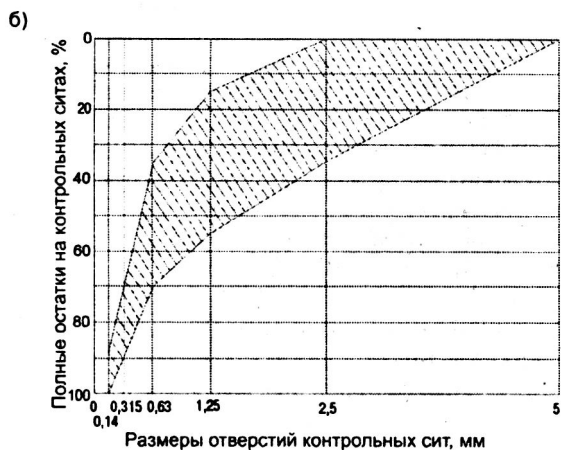
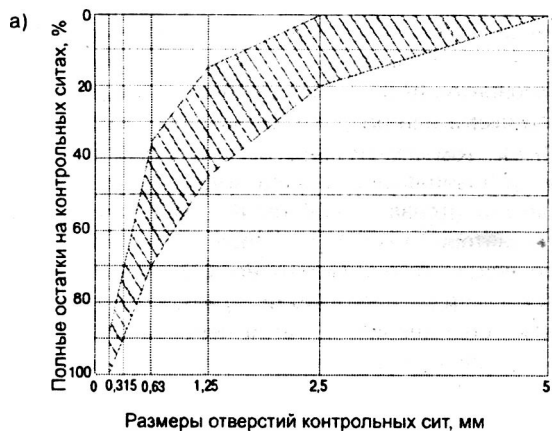


Рис. 1. Область рекомендуемой granulometрии песка: а — по данным ГОСТ 10268 [10]; б — по данным ГОСТ 8736 [6]

модулей крупности от  $M_{к,исх} \sim 0,9-2,0$ , а также технологический регламент на осуществление процесса его обогащения. Установлено, что прием обогащения (по критерию роста прочности бетона при прочих равных условиях) эффективен до  $M_{к,исх} \leq 2,25$ . Пески, характеризующиеся  $M_k \geq 2,5$ , к обогащению не рекомендуются.

**ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЕТОНА НА ОБОГАЩЕННОМ ПЕСКЕ**

Результаты экспериментальных исследований, представленные далее, получены в варианте сравнения уровня показателей прочности на сжатие, водопоглощения, морозо- и солестойкости образцов тяжелого бетона (куб с ребром 100 мм), приготовленных на природном песке с  $M_k = 1,0$ , обогащенном до  $M_k$ , равным 2,0; 2,5; 3,0 и 3,5 переработанным гранитным отсевом, т. е. его крупными фракциями ( $\geq 0,63$  мм) с долевым соотношением по табл. 2, при соблюдении прочих равных условий. Для испытаний использовали стандартизированный состав бетона по оценке эффективности химических добавок по ГОСТ 30459 [11]: вяжущее — ПЦ500-Д20 ( $K_{нр} \sim 0,265$ ; активность  $\sim 49,0$  МПа). Характеристики составов приведены в табл. 4.

Во всех случаях бетон уплотняли на лабораторной виброплощадке со стандартными параметрами вибрарования (амплитуда  $\sim 0,5$  мм; частота колебаний  $\sim 50$  Гц).

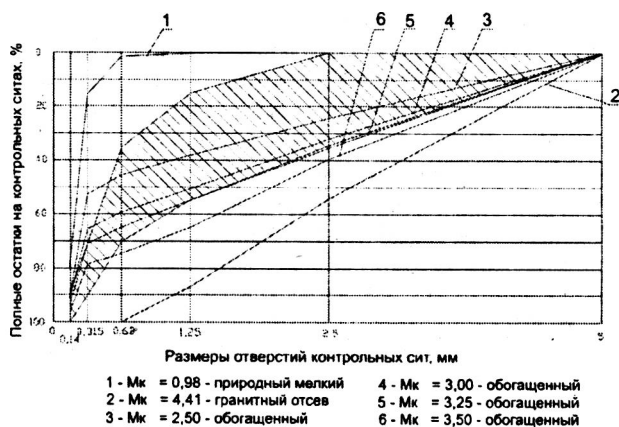


Рис. 2. Тенденция изменения granulometрии обогащенного песка на основе природного ( $M_k \sim 1,0$ )

Табл. 3. Характеристики обогащенного песка (при  $M_{к,исх} = 1,0$ )

№ п/п	Вид мелкого заполнителя	Зерновой состав, %, по фракциям, мм						$M_k$ , доли ед.
		Менее 0,14	0,14	0,315	0,63	1,25	2,5	
<b>А. Гранулометрия обогащенного песка</b>								
1	Средний	14,4	44,3	10,5	4,7	10,0	16,1	2,00
2	Средний	11,4	35,1	8,3	6,5	14,7	24,0	2,50
3	Крупный	9,9	30,5	7,2	7,3	17,1	27,9	2,75
4	Крупный	8,4	26,0	6,2	8,2	19,4	31,8	3,00
5	Повышенной крупности	6,9	21,4	5,1	9,1	21,7	35,8	3,25
<b>Б. Долевое соотношение природного песка и крупных фракций отсева в обогащенном заполнителе, кг/1000 кг</b>								
		Природный тонкий ( $M_k = 1,0$ ), кг		Отсев, кг		$M_k$ , доли ед.		
6	Средний	700		300		2,00		
7	Средний	560		440		2,50		
8	Крупный	484		516		2,75		
9	Крупный	420		580		3,00		
10	Повышенной крупности	340		660		3,25		

Условия твердения образцов бетона оговорены в соответствующих разделах. В случаях пропаривания бетона режим (по ГОСТ 30459 [11]) соответствовал: 2 + 3 + 6 ( $t \sim 80$  °C) + 2 ч (и более), при испытании образцов на прочность или начало экспериментов (с целью ускорения процедуры испытаний, так как в стандартизи-

Табл. 4. Характеристика составов бетона для испытаний

Номер состава бетона	Номинальный расход материалов, кг/м³					$\rho^0$ бетонной смеси, кг/м³ (факт.)	ОК, см	
	Цемент	Щебень фракции 5-20 мм	Мелкий заполнитель, кг					
			Песок	Отсев	$M_k$ , доли ед.			
1	350	1150	700	—	1,0	190 (0,54)	2412	$\approx 3,0$
2	350	1150	492	208	2,0	175 (0,50)	2447	$\approx 3,0$
3	350	1150	389	311	2,5	175 (0,50)	2460	$\approx 3,0$
4	350	1150	288	412	3,0	175 (0,50)	2483	$\approx 2,5$
5	350	1150	185	515	3,5	175 (0,50)	2495	$\approx 2,5$

рованных условиях они делятся до шести и более месяцев) — в пределах 24 ч от момента их изготовления. Возможные изменения режима прогрева бетона отражены в методиках выполнения конкретных экспериментов. Определение и обработка результатов по прочности бетона — по ГОСТ 10180 [12].

### ПРОЧНОСТЬ НА СЖАТИЕ

На рис. 3 отражена тенденция кинетики твердения (роста прочности) бетона на природном ( $M_k = 1,0$ ) и обогащенном песке в наиболее благоприятных водных условиях.

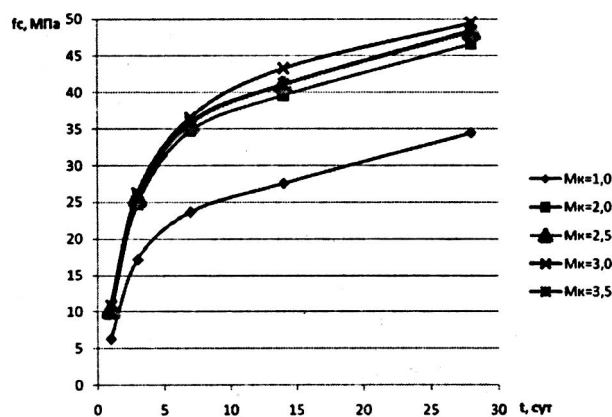


Рис. 3. Тенденция изменения прочности бетона при твердении в воде в зависимости от возраста

Очевиден эффект роста прочности во все сроки твердения образцов за счет улучшения гранулометрии мелкого заполнителя, повышения плотности укладки бетона при уплотнении (см. табл. 4, значения  $\rho^0$ ), повышения качества сцепления в зоне контакта "цементный камень — зерна песка", уменьшения площади этих контактов в связи со снижением удельной поверхности обогащенного песка, некоторого снижения (В/Ц)<sub>0</sub> при равной подвижности бетонной смеси. В совокупности это способствует 35%–45%-ному росту прочности бетона в проектом возрасте.

### ВОДОПОГЛОЩЕНИЕ БЕТОНА

В табл. 5 приведены данные оценки изменения водопоглощения бетона (по массе и объему), являющегося характеристикой объема открытой, сообщающейся капиллярной пористости бетона, которая предопределяет его проницаемость и устойчивость при воздействии агрессивных эксплуатационных сред.

Очевидна общая тенденция его снижения (определение по ГОСТ 12730.3 [13]) с повышением доли

Табл. 5. Водопоглощение бетона по массе ( $W_m$ , %) и по объему ( $W_o$ , %)

Номер состава по табл. 4	Характеристика песка		$W_m$ , %	$W_o$ , %	Изменение $W_m$ в % от $W_o$ бетона состава № 1
	$M_k$ , доли ед.	Содержание, кг			
	песка	отсева			
1	1,0	700	—	4,55	100,0
2	2,0	492	208	3,40	8,0
3	2,5	389	311	3,25	7,6
4	3,0	288	412	2,60	6,2
5	3,5	185	515	2,45	5,9

крупных фракций гранитного отсева и соответствующим ростом средней плотности бетона при формовании (табл. 4).

### СОЛЕСТОЙКОСТЬ БЕТОНА

Циклические испытания на коррозионную устойчивость бетона составов (табл. 6) в среде хлоридов осуществляли по общепринятой методике [14]. Режим одного цикла (один раз в сутки) включал высушивание образцов при температуре в сушильном шкафу  $t \sim 60^\circ\text{C}$  в течение 7–8 ч и последующее насыщение в 5%-ном растворе NaCl при  $t \sim 15^\circ\text{C}$  (в ванне с погружением образцов не менее, чем на 50 мм под уровень раствора) в течение 16–17 ч. Образцы бетона (составы № 1–№ 5 по табл. 4; кубы с ребром 100 мм) после изготовления пропаривали по режиму: предварительная выдержка — 2 ч; подъем температуры за 3 ч до  $t \sim 80^\circ\text{C}$ ; изотермический прогрев — 6 ч; остывание в камере — 10 ч и после распалубки — 3 ч, после чего их подвергали испытаниям. Изменения массы образцов определяли через 5 и 20 циклов испытаний. Прочность бетона определяли в насыщенном жидкостью состоянии через 10 и 20 циклов испытаний. С целью ускорения процесса деструкции бетона при испытаниях на солестойкость и сокращения времени проведения эксперимента образцы бетона после высушивания не охлаждали, а помещали в раствор разогретыми.

Табл. 6. Прочность бетона при циклическом насыщении-высушивании в 5%-ном растворе NaCl

Номер состава по табл. 4	Характеристика песка		Прочность бетона, МПа, после количества циклов					
	$M_k$ , доли ед.	Содержание, кг		0	10	30	50	70
		песка	отсева					
1	1,0	700	—	24,4	33,3	39,5	29,6 *	—
2	2,0	492	208	27,5	37,5	44,4	42,0	36,1 *
3	2,5	389	311	26,5	38,5	43,3	44,8	43,9
4	3,0	288	412	26,3	37,1	45,7	46,6	45,4
5	3,5	185	515	27,5	39,5	45,4	45,9	44,7

\* Эксперимент завершен.

Отмеченные тенденции изменения прочности бетона на песке разной крупности коррелируются с изменениями прироста массы образцов. К моменту образования массовых дефектов структуры в образцах бетона состава № 1 после 30 циклов испытаний количество поглощаемой ими соли резко возрастает к 50 циклам, а прочность закономерно снижается.

Образцы состава № 2 на обогащенном до  $M_k = 2,0$  песке, содержащие значительную долю природного тонкого песка, показали более высокую устойчивость (в сравнении с составом № 1), но также после 50 циклов начался процесс снижения прочности, прогрессирующий к 70 циклам.

Снижение доли природного тонкого песка в составах бетона № 3, № 4 и № 5 в обогащенном до  $M_k = 2,5$ ; 3,0 и 3,5 материале способствовало росту устойчивости бетона и его прочности вплоть до 70 циклов испытаний.

Основу отмеченных явлений составляет повышение плотности и непроницаемости бетона с увеличением доли крупных фракций гранитного отсева в обогащаемом песке. Эти данные однозначно согласуются



с экспериментальными значениями величин водопоглощения бетонов составов № 1–№ 5. Снижение  $W_m$  ( $W_0$ ) (т. е. объема капиллярных открытых, сообщающихся пор) обеспечивает рост коррозионной устойчивости бетона.

### МОРОЗОСТОЙКОСТЬ БЕТОНА

Учитывая сравнительный характер испытаний бетона составов № 1–№ 5 по табл. 4, морозостойкость оценили, используя ускоренную методику. Во-первых, за счет испытаний образцов бетона сразу после пропаривания по ранее приведенному режиму (прочность бетона составила ~70 % от прочности проектного возраста), а во-вторых, используя третий метод по ГОСТ 10060 [15] с насыщением, замораживанием ( $T \sim (-55)$ – $(-60)$  °C) и оттаиванием ( $T \sim 18$  °C) в 5%-ном растворе NaCl.

Результаты испытаний по критерию изменения прочности (табл. 7) и их интерпретации в виде графиков рис. 4 отражают и подтверждают выявленную ранее общую тенденцию существенного роста качественных характеристик бетона на обогащенном песке. Как следствие повышения плотности, непроницаемости и прочности бетона возрастает его устойчивость к циклическим воздействиям. Например, в части морозостойкости прием обогащения мелкозернистого песка крупными фракциями отсева обеспечивает ее рост в 2–3 раза.

### ЭКОНОМИЯ ЦЕМЕНТА

В табл. 8 приведены экспериментальные данные об изменении прочности бетона на обогащенном песке (при исходном  $M_k \sim 0,9; 1,5$  и  $2,0$ ) в случае изменения содержания (расхода) в нем цемента (уменьшение на 10 %–30 %) при твердении образцов в нормально-влажных условиях.

Анализ данных табл. 8 и накопленных в целом по работе показывает, что при сохранении принципа равенства прочности бетона на природном песке с  $M_k \leq 2,0$  и обогащенном до  $M_k \geq 2,5$  возможно снизить расход цемента на 10 %–20 % на каждом производимом на мелкозернистых песках  $1 \text{ м}^3$  бетона. При этом одновременно не только не снижаются, но становятся более высокими качественные характеристики бетона (средняя плотность и плотность, как характеристика структуры материала) и, как следствие, улучшаются эксплуатационные свойства бетона.

### ОБОБЩЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Обобщая результаты приведенных в статье экспериментальных данных, можно сделать следующие выводы о влиянии приема обогащения мелкозернистого природного песка крупными фракциями гранитного отсева на эксплуатационные свойства бетона.

**Водопоглощение** бетона (по массе и объему), характеризующее объем открытой, сообщающейся капиллярной пористости, снижается в соответствии с увеличением доли крупных фракций гранитного отсева. В частности, в рамках приведенных результатов экспериментов — с 4,55 % до

Табл. 8. Прочность бетона при снижении расхода цемента

$M_k$ песка, доли ед.	Расход цемента на $1 \text{ м}^3$ бетона, кг	Снижение расхода цемента		Прочность бетона в проектном возрасте (28 сут)		
		кг	%	МПа	%	? %
0,91	350	—	—	44,1	100	—
2,50	350	—	—	59,8	122	+22
2,50	315	35	10	45,5	103	+3
2,50	280	70	20	45,1	102	+2
2,50	245	105	30	41,2	93	-7
2,50	245 *	105	30	51,5	117	+17
1,50	350	—	—	48,2	100	—
3,00	350	—	—	56,3	117	+17
3,00	315	35	10	53,0	110	+10
3,00	280	70	20	48,4	100	0
2,00	350	—	—	50,4	100	—
3,26	350	—	—	58,6	116	+16
3,25	315	35	10	53,9	107	+7
3,25	280	70	20	51,4	102	+2

\* При снижении  $(B/C)_0$  за счет добавки-пластификатора I группы.

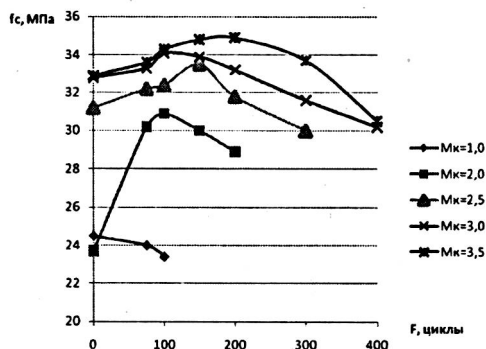


Рис. 4. Тенденция изменения прочности бетона при испытаниях на морозостойкость

3,40 %–2,45 %, т. е. в 1,3–1,85 раза или на 30 %–85 %. Соответственно этому растут плотность структуры и непроницаемость бетона.

Морозостойкость бетона повышается в 2–3 раза (и более) за счет снижения проницаемости бетона, формирования более плотной структуры и повышения прочности, т. е. создания необходимых предпосылок для устойчивости бетона к попеременному замораживанию-оттаиванию и воздействию сопровождающих эти процессы явлений: увеличения в объеме замерзающей свободной жидкости, ее миграции, различных по уровню деформаций в объеме цементного камня и бетона и других деструктивных факторов.

Табл. 7. Прочность бетона в процессе испытаний

Номер состава по табл. 4	Характеристика песка		Прочность бетона, МПа, через количество циклов								Снижение прочности $f_c$ , %	
	$M_k$ , доли ед.	Содержание, кг										
			песка	отсева	0	2 (75)	3 (100)	4 (150)	5 (200)	8 (300)		12 (400)
1	1,0	700	—	24,5	24,0	23,4	—	—	—	—	—	4,5
2	2,0	492	208	29,7	30,2	30,9	30,0	28,9	—	—	—	3
3	2,5	389	311	31,2	32,2	32,4	33,5	31,8	30,0	—	—	4
4	3,0	288	412	32,8	33,3	34,1	33,9	33,2	31,6	30,2	—	9
5	3,5	185	515	32,9	33,6	34,3	34,8	34,9	33,7	30,5	—	7

*Коррозионная стойкость* в среде солей-хлоридов возрастает в закономерной связи со снижением водопоглощения и проницаемости бетона на обогащенном крупными фракциями отсева песке. Это же относится и к устойчивости к воздействию пресной воды, имитируемой испытаниями на переменное увлажнение-высушивание, которые способны вызвать деструкцию бетона, что проявилось в образцах на тонком природном песке с  $M_k = 1,0$  и не оказало влияния на образцы с обогащенным заполнителем.

Проверка водонепроницаемости и защитной способности бетона по отношению к стальной арматуре при внешней агрессии среды, а также модуля упругости и усадки бетона (эксперименты продолжаются) подтверждают общую тенденцию улучшения его характеристик на обогащенном песке.

В целом по всем исследованным и частично представленным в статье эксплуатационным свойствам бетона обогащение исходного песка с  $M_k \leq 2,0$  крупными фракциями гранитного отсева позволяет существенно повысить его эксплуатационные характеристики.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- 1 Безусловная эффективность приема обогащения мелкозернистых природных песков крупными фракциями гранитного отсева (особенно для регионов Брестской, Гомельской и Могилевской областей Беларуси, использующих речные мелкозернистые пески) ставит на повестку дня вопрос организации его практической переработки и использования строительной отраслью страны.
- 2 Наиболее рациональное использование как постоянно образующегося при текущем производстве на РУПП "Гранит" гранитного отсева, так и накопленного в отвалах принципиально возможно по предложенной схеме его переработки (разделения) на две комплексные фракции — крупную (с зерном  $\geq 0,5-5,0$  мм) и мелкую (менее 0,5 мм). Такая схема переработки гранитного отсева целесообразна к организации в первую очередь на РУПП "Гранит" с поставкой сухой мелкой фракции на цементные заводы, как порошкообразного материала по технологии загрузки-выгрузки и транс-

портировки в закрытых вагонах-хопперах, а крупной — по существующей организационно-технологической схеме поставки заполнителей на заводы сборного железобетона и для строительных организаций.

- 3 Организация переработки (рассева) гранитного отсева на предприятиях (например, сборного железобетона) на относительно малых по производительности установках различных типов (циклонирование в воздушном потоке, сухой рассев, гидрорассев) требует решения по использованию отходящих мелких фракций (менее 0,5 мм), содержание которых в гранитном отсеке не менее 40 % его исходной массы. Их применение в качестве минеральной добавки в цемент принципиально возможно [2, 4], но возникает проблема централизованной поставки их на цементные заводы, которая должна быть разрешена до развертывания таких производств. Требуется поиск дополнительных решений по их применению с учетом особенностей строения и свойств мелких фракций — угловатая (лещадная) форма зерен, их трещиноватость, развитая удельная поверхность, шероховатость, повышенная влагоемкость.
- 4 По результатам исследований разворачивается практическая производственная апробация их с участием разработчиков, РУПП "Гранит" и предприятий строительной индустрии. В ноябре-декабре 2011 г. в ОАО "Спецжелезобетон" (г. Микашевичи) с использованием приема обогащения мелкозернистого ( $M_k \sim 1,0$ ) песка были осуществлены пробные формовки виброгидропрессованных напорных труб, безнапорных труб, изготавливаемых роликовым прессованием (вертикально) и железнодорожных преднапряженных шпал в десяти местных формах, подтвердившие основные положения экспериментальных исследований. В настоящее время аналогичная производственная апробация готовится на заводе строительных конструкций ОАО "УКК Забудова" (пос. Чисть). К сотрудничеству в этом направлении приглашаются все заинтересованные предприятия отрасли, так как для организации производства обогащающих фракций отсева на РУПП "Гранит" необходимо оценить объем спроса на практически новый вид продукции.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. 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. — № 2(23). — С. 49–57.
3. Долговечность железобетона с минеральной добавкой в виде молотого гранитного отсева / Э. И. Батяновский [и др.] // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров: сб. науч. ст. / ГрГУ им. Я. Купалы (Гродно, 2010). — Гродно, 2010. — С. 288–291.
4. Смоляков, А. В. Использование гранитного отсева в цементе и конструкционном бетоне / А. В. Смоляков, П. Л. Федорович; Э. И. Батяновский // Проблемы современного бетона и железобетона: матер. III Междунар. симп., Минск, 9–11.11.2011. В 2 т. Т. 2 "Технология бетона". — Минск: Минсктиппроект, 2011. — С. 438–451.
5. Песок для строительных работ. Методы испытаний: ГОСТ 8735-88.
6. Песок для строительных работ. Технические условия: ГОСТ 8736-93.
7. Ахвердов, И. Н. Основы физики бетона / И. Н. Ахвердов. — М.: Стройиздат, 1981. — 464 с.
8. Блещик, Н. П. Структурно-механические свойства и реология бетонной смеси и прессвакуумбетона / Н. П. Блещик. — Минск: Наука и техника, 1977. — 230 с.
9. Барташевич, А. Я. Исследование структурно-технических свойств бетонной смеси, уплотненной прессованием и вакуумированием: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / ИСИА Госстрой БССР. — Минск, 1973. — 37 с.
10. Заполнители для тяжелого бетона. Технические требования: ГОСТ 10268-80.
11. Добавки для бетонов. Методы определения эффективности: ГОСТ 30459-96.
12. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам: ГОСТ 10180-90.
13. Бетоны. Метод определения водопоглощения: ГОСТ 12730.3-84.
14. Лещинский, М. Ю. Испытание бетона: справ. пособие / М. Ю. Лещинский. — М.: Стройиздат, 1980. — С. 286–289.
15. Бетоны. Методы контроля морозостойкости: ГОСТ 10060-95.

Статья поступила в редакцию 19.09.2012.