

обменников позволяют получить минимальный расход топлива на единицу продукции 180 – 200 кг условного топлива на одну тонну извести;

- готовый продукт представляет собой тонкомолотую высокорреакционноспособную известь.

Анализ работы современных заводов по производству извести и цемента, использующих в качестве сырья влажный мел, свидетельствует о принципиальной возможности применения энергосберегающей технологии при производстве извести по «сухому» способу.

Первая опытно-промышленная линия на основе предлагаемой технологии мощностью 120000 тонн порошковой извести в год согласно принятому Министерством архитектуры и строительства решению должна быть введена в эксплуатацию на ОАО «Красносельскстройматериалы» в 2009 году.

Внедрение новой технологии на ОАО «Красносельскстройматериалы» позволит экономить 59,2 млн. м<sup>3</sup> природного газа в год.

### Литература

1. Баланс производства и потребления извести до 2010 года и предложения по развитию ее производства. – Минск, 2008 – 13 с.
2. Монастырев, А.В. Производство извести / А.В. Монастырев. – М.: Высшая Школа, 1978. – 216 с.

УДК 666.972.69

Смоляков А.В., Батяновский Э.И., д-р техн. наук, проф.  
(БНТУ, г. Минск)

### ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕРЕРАБОТАННОГО ГРАНИТНОГО ОТСЕВА В ЦЕМЕНТНОМ БЕТОНЕ

**Состояние проблемы и возможные решения.** Многотоннажные накопления гранитного отсева – побочного продукта дробления гранитной породы на заполнители для бетона на РУПП «Гранит», не нашли широкомасштабного рационального производственного использования ни в одной из отраслей народного хозяйства Беларуси. Экспериментальные исследования их влияния на свойства традиционного бетона, а также бетона «сухого формования» [1] выявили снижение удобоукладываемости бетонных (растворных) смесей, снижение средней плотности и прочности бетона, рост его проницаемости и водопоглощения при соответствующем снижении эксплуатационных свойств, что связано со следующими факторами.

Во-первых, отсеv содержит повышенное количество тонкодисперсных фракций (менее 0,16 мм), характеризующихся высокой удельной поверхностью, значительным водопоглощением, способностью адсорбироваться на поверхности более крупных зерен заполнителя, ухудшая сцепление их с цементным камнем. Во-вторых, в форме зерен отсева явно выражена лещадность, что предполагает рост коэффициента трения такой системы, ограничение во взаимном перемещении их при укладке и уплотнении бетона и неизбежно ухудшает условия его формирования даже с повышенным расходом цемента (с увеличенным объемом цементного теста). В-третьих, зерна мелких фракций отсева характеризуются структурой с массовым наличием микротрещин, которые резко снижают прочность и стойкость при циклических воздействиях (например, замораживании-оттаивании, насыщении-высушивании) как самого материала, так и приготовленного на его основе бетона.

Под влиянием знакопеременных деформаций трещины начинают «развиваться», снижая сопротивляемость бетона при циклических воздействиях, а под нагрузкой — его прочность на сжатие, осевое растяжение и растяжение при изгибе. Все это в целом показало нецелесообразность применения гранитного отсева в качестве заполнителя для бетона и растворов.

Вместе с тем в современных условиях строительства широко и эффективно используют [2 – 9] активные (гидравлические) минеральные добавки; активные минеральные добавки; инертные минеральные добавки или наполнители. Особый случай представляет собой введение в бетон микродисперсной добавки кремнезема, являющейся (вследствие соизмеримости размеров его частиц с образующимися гидрокристаллами клинкерных минералов цемента и гидравлической активности) готовыми «центрами» кристаллизации или «подложкой», вокруг которых с меньшими затратами энергии, а потому ускоренно образуются и формируются гидрокристаллы в твердеющем цементном камне [6 – 8].

Добавка микрокремнезема в количестве 5 – 10 % от массы цемента в сочетании с пластифицирующими добавками I группы (суперпластификаторами и гиперпластификаторами на основе поликарбоксилатов) позволяют получать быстротвердеющие и высокопрочные бетоны по литевой технологии, получившие названия «особопрочные», «особокачественные», «самоуплотняющиеся» бетоны.

Известно [4, 5, 9], что считающиеся инертными тонкоизмельченные наполнители (их микрофракции), содержащие в своем составе кристаллический кремнезем, при определенных условиях [10] проявляют активность в щелочной среде твердеющего при нормальной температуре цементного камня и способствуют росту его плотности и прочности. В этой связи использование тонкоизмельченного гранитного отсева может оказаться более

эффективным, чем применение его в качестве инертного наполнителя, т.к. гранит относится к типу кислых глубинных горных пород магматического происхождения, содержащих значительное количество  $\text{SiO}_2$  (более 65 %), а значит потенциально существует возможность проявления им эффектов, характерных для тонкодисперсных оксидов кремния.

Кроме этого молотый гранитный отсев может быть качественным минеральным наполнителем (заполнителем) для производства клеевых составов сухих смесей различного назначения и, одновременно, является качественным наполнителем для пенобетона неавтоклавного твердения (естественного или при пропаривании при нормальном давлении). При этом наибольшая эффективность может быть достигнута при введении «мокрого» помола отсева в технологический процесс производства пенобетона.

Значительную ценность представляют фракции отсева крупностью более 1,25 мм (составляют в нем до 50 % общей массы), которые пригодны для обогащения природных (мелкозернистых) песков для бетона и строительных растворов с целью восстановления «непрерывной» гранулометрии наполнителей, снижения их пустотности и удельной поверхности, а за этот счет – снижения расхода цемента и повышения их качества.

**Основные данные исследований.** Для подтверждения изложенного далее приведены результаты отдельных экспериментов по выявлению закономерностей получения и влияния добавки молотого гранитного отсева на свойства цемента и бетона.

**Свойства молотого отсева.** В таблице 1 приведены основные характеристики продукта помола (далее миндобавка) при разной удельной поверхности ( $S_{уд}$ ,  $\text{см}^2/\text{г}$ , по прибору типа «ПСХ»).

Таблица 1

Характеристики минеральной добавки

Удельная поверхность порошка, $S_{уд}$ , $\text{см}^2/\text{г}$	$\rho^0$ , $\text{кг}/\text{м}^3$	$\rho^*$ , $\text{кг}/\text{м}^3$	$\rho$ , $\text{кг}/\text{м}^3$	$K_{нр}$ дол.ед
3000	0,95	1,21	2,72	0,18
6000	0,93	1,21	2,74	0,20
9000	0,92	1,20	2,75	0,25
11000	0,91	1,19	2,27	0,28

**Прочность цементного камня.** В таблице 2 приведены данные о прочности цементного камня, полученного на цементе (ПЦ500-Д0) и при различных дозировках минеральной добавки и тонкости ее помола. Из результатов испытаний следует, что введение добавки с  $S_{уд} \sim 3000 \text{ см}^2/\text{г}$  не

только не снижает прочность пропаренного цементного камня, но и в дозировке до 20 – 30 % от массы цемента способствует ее росту. При этом оптимум приходится примерно на 15 – 20 % дозировку добавки; увеличение дозировки сверх 30 % сопровождается снижением прочности цементного камня из смешанного вяжущего. С увеличением тонкости помола до  $S_{уд} \sim 6000 - 9000 \text{ см}^2/\text{г}$ , эффективность добавки снижается при 20 % дозировке, что связано с ростом ее водопотребности.

Таблица 2

Относительная прочность пропаренного цементного камня

Вяжущее и количество введенной добавки в % от МЦ	$S_{уд}$ добавки, $\text{см}^2/\text{г}$	$K_{пр}$	Относительная прочность цементного камня, %
Цемент	–	0,28	100
МД 10	3000	0,24	108
МД 20	3000	0,22	118
МД 30	3000	0,20	102
МД 50	3000	0,19	94
МД 20	6000	0,25	102
МД 50	6000	0,22	95
МД 20	9000	0,26	105
МД 50	9000	0,25	92

**Прочность раствора.** Определена на образцах из раствора равной подвижности, размерами  $70 \times 70 \times 70 \text{ мм}$ , изготовленных вибрированием на стандартной лабораторной виброплощадке ( $A \sim 0,5 \text{ мм}$ ;  $f \sim 50 \text{ Гц}$ ), после предварительной выдержки в течение 2 ч и пропаренных по режиму: подъем температуры до  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  за 3 ч; изотермический прогрев – 6 ч; остывание в камере – 3 ч; через 2 – 3 ч испытаны на сжатие.

**Свойства бетона.** Прочность и эксплуатационные свойства бетона определяли в соответствии со стандартными общепринятыми методиками при дозировке молотого гранитного отсева ( $S_{уд} \sim 3000 \text{ см}^2/\text{г}$ ) в пределах 0 – 0 % от исходной массы цемента (в смешанном вяжущем доля миндобавки достигала 40 – 43 % от его массы) на образцах, изготовленных вибрированием (см. ранее).

В таблице 3 приведены данные об изменении относительной прочности образцов пропаренного бетона, в таблице 5 – при циклическом насыщении-высушивании в воде и растворе соли (5 % NaCl) и в таблице 6 – при испытаниях на морозостойкость.

Таблица 3

## Прочность раствора после пропаривания

№ п/п	Расход составляющих на 1 м <sup>3</sup> :			Прочность на сжатие:	
	цемента, кг	добавки		в МПа	в %
		кг	% от МЦ		
1	300	–	–	36,6	100
2	270	30	10	38,8	106
3	240	60	20	41,7	114
4	210	90	30	39,1	107

Таблица 4

## Составы бетонов

№ п/п	Расход составляющих бетона на 1 м <sup>3</sup> , кг:					Наличие и количество в бетоне		Прочность бетона на сжатие, %
	цемент	песок	щебень	вода	пласти – фикатор «С – 3», (СП)	минеральной добавки, кг	крупных фракций (заполнитель), кг	
1	350	740	1180	175	–	–	–	100
2	315	740	1180	160	–	35	–	100 – 105
3	297	740	1180	160	–	53	–	90 – 100
4	297	740	1180	120	0,6	53	–	100 – 105
5	350	480	1180	160	–	–	260	105

Таблица 5

## Прочность бетона при циклическом насыщении-высушивании (в воде (NN 1...4); в 5 % растворе NaCl (NN 5...8))

№ п/п	Характеристики бетона:				Прочность бетона, МПа, после количества циклов:							
	цемент, кг	миндобавка		добавка СП, % от СВ	0	5	10	15	20	25	30	
кг		%										
1	2	3	4	5	7	8	9	10	11	12	13	
2	350	–	–	–	24,7	26	28	28	26	24	22	
3	315	35	10	–	22,8	23,0	26,4	25	23	23	20	
4	280	70	20	–	22	22,8	22,5	22	21	21	17	
5	280	70	20	1,0	25,5	25	25,0	25	24	24	23	
6	350	–	–	–	25	27	28,5	30	30	29	26	
7	315	35	10	–	22,8	24	26,5	27	27	26	24	
8	280	70	20	–	22	23	25	27	27	26	22	
9	280	70	20	1,0	25,5	28	29	30,5	31	31	30	

## Прочность бетона в процессе испытаний на морозостойкость

№ п/п	Характеристики бетона:				Прочность бетона, МПа, через количество циклов:						
	цемент, кг	миндобавка кг	%	добавка СП, % от СВ	0	2 (75)	3 (100)	4 (150)	5 (200)	8 (300)	12 (400)
1	350	–	–	–	25	27	28	29,5	30,5	26	23
2	315	35	10	–	23	25,5	27,5	28,5	26,5	23	21
3	280	70	20	–	22	24,8	27	27	25	21	18
4	245	105	30	–	18	21	22	20	16	–	–
5	280	70	20	1,0	25	28	29	30	30,5	28,5	22

**Заключение.** Анализ результатов экспериментов свидетельствует о возможности эффективного использования минеральной добавки из молотого гранитного отсева, а также из его отсеянных крупных фракций (1,25 – 5,0 мм) в цементных бетоне и растворах.

## Литература

1. Батяновский, Э.И. Особоплотный бетон сухого формования / Э.И. Батяновский. – Минск: НПО «Стринко», 2002. – 224 с. – М.: Стройиздат, 1996. – 296 с.
2. Строительные материалы: Справочник / ред. А.С. Болдырев, П.П. Золотов. – М.: Стройиздат, 1989. – 567 с.
3. Тейлор, Х. Химия цемента. Пер с англ. / Тейлор, Х. – М.: Мир, 1996. – 560 с.
4. Батраков, В.Г. Модифицированные бетоны / В.Г. Батраков. – М.: Стройиздат, 1998. – 768 с.
5. Калашников, В.И. Реакционная активность измельченных горных пород в цементных композициях / В.И. Калашников, В.С. Демьянова, С.В. Калашников, Ю. С. Кузнецов // Изв. Тульского гос. ун-та. – № 7. – 2004. – С. 26 – 33.
6. Bornemann, R. Ultrahochfester Beton-Entwicklung und Verhalten / R. Bornemann, E. Fenling // Leipziger Massivbauseminar– 2000. – Bd. 10. – S. 1 – 15.
7. Schmidt, M. Ultrahochfester Beton: Perspektive für die Betonfertigteile Industrie / M. Schmidt, E. Fenling, T. Teichmann, K. Bunjek, R. Bornemann // Betonwerk+Fertigteile Technik. – 2003. – Н. 3. – S. 16 – 29.
8. Ратинов, В.Б. Добавки в бетон / В.Б. Ратинов, Т.И. Розенберг. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1989. – 188 с.
9. Демьянова, В.С. Дисперсно-наполненные клинкерные цементы на основе отходов камнедробления / В.С. Демьянова, В.И. Калашников, Г.Н. Казина // Известия вузов. Строительство. – 2006. – № 5. – С. 30 – 36.