

Продолжение таблицы 1

Вид смеси	Область применения
Асфальтобетонные смеси:	<ul style="list-style-type: none"> - для ремонта внутриквартальных городских и сельских дорог и тротуарных покрытий, площадок, а также для ямочного ремонта; - для безыскровых полов в промышленных зданиях и сооружениях
Асфальтовые смеси:	<ul style="list-style-type: none"> - для устройства литой стяжки на крыше; - для устройства противодиффузионных экранов на полигонах ТБО; - для матрицы при футеровке токсичных твердых отходов
Теплоизоляционные смеси:	<ul style="list-style-type: none"> - для монолитной теплоизоляции и изготовления плитных сборных изделий (керамзитобитумные, перлитобитумные, шлакобитумные и др.)
Сухие дозированные сыпучие смеси в упаковке с различными минеральными наполнителями:	<ul style="list-style-type: none"> - для использования в мобильных условиях строительства; - для реализации индивидуальным застройщикам; - в природоохранных сооружениях

Учитывая, что при восстановлении плоских крыш снова применяют рулонные кровельные материалы с покровным слоем из битума, то рассматриваемые технологии и оборудование рассчитаны и на перспективу. При этом решаются вопросы ресурсосбережения и экологии.

Кроме того, решаются и важные социальные вопросы: создаётся повсеместно большое количество дополнительных рабочих мест и обеспечивается занятость населения. Без отселения жильцов из домов и остановки производства в промышленных цехах, осуществляется модернизация кровельных конструкций с дополнительным утеплением крыши и с улучшением комфортности проживания людей, предотвращается сбой в работе и порча технологического оборудования в производственных корпусах.

Данная инновационная работа в 2006-2011г. экспонировалась на международных выставках-конкурсах инновационных проектов в Москве и Санкт-Петербурге и была награждена 2-мя золотыми и 2-мя серебряными медалями.

УДК 666.972.69; 691.32

Федорович П.Л., Смоляков А.В., Дрозд А.А., Батяновский Э.И

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ГРАНИТНЫХ ОТСЕВОВ РУПП «ГРАНИТ» В ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНАХ

ВВЕДЕНИЕ

Результаты исследований, выполненных в БНТУ, показали возможность 100%-го использования отходов камнедробления, образующихся на РУПП «Гранит» Брестской области Беларуси при производстве крупного заполнителя для бетона. Известно, что «прямое» применение гранитного отсева вместо песка в качестве мелкого заполнителя бетона (раствора) практически невозможно, т.к. сопровождается резким ухудшением физико-механических и эксплуатационных свойств этих материалов. Данное явление связано с повышенным со-

держанием в отсеве тонкодисперсных фракций (менее 0,16 мм), достигающем 30...40 % от его веса, массовым наличием микрогрещин и повышенной удельной поверхностью их, явно выраженной лещадностью зерен этих фракций. В совокупности эти факторы обуславливают невозможность прямого эффективного использования гранитного отсева в качестве мелкого заполнителя для цементных бетонов и растворов.

Вместе с тем, после переработки гранитного отсева [1-4], в частности отсева его на две фракции (по граничному размеру зерна ~ 0,5 мм) и помола мелкой фракции, получаются качественные продукты в виде 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 на свойства бетона и данные о возможности обогащения мелкозернистого природного песка его крупными фракциями.

СВОЙСТВА БЕТОНА НА ЦЕМЕНТЕ С МИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКОЙ

Прочность и эксплуатационные свойства бетона определяли в соответствии со стандартными или общепринятыми методиками при дозировке молотого гранитного отсева ($S_{вд} \sim 0,3 \text{ м}^2/\text{т}$) в пределах 0-30 % от исходной массы цемента (в смешанном вяжущем для минеральной добавки достигала 40...43 % от его массы) на образцах, изготовленных вибрированием [1-4].

В таблице 1 приведены данные об изменении относительной прочности образцов пропаренного бетона; в таблице 2 – при испытаниях на солевую (NaCl) коррозию циклическим насыщением-высушиванием; 3 – при испытаниях на морозостойкость. Кроме этого, были выполнены исследования по водостойкости бетона при циклическом насыщении образцов в воде и высушивании, водонепроницаемости, истираемости бетона, по оценке защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре и его упруго-деформационных характеристик.

Таблица 1 – Прочность пропаренного бетона

№ состава	Расход составляющих бетона на 1 м ³ , в кг					Наличие и количество в бетоне		Относительная прочность бетона на сжатие в %
	Цемент	Песок	Щебень	Вода	«С-3», (СП)	Минеральной добавки, кг (% от Мц)		
1	350	740	1180	175	–	–	100	
2	315	740	1180	160	–	35 (10)	100-105	
3	297	740	1180	160	–	53 (15)	95-100	
4	297	740	1180	120	0,6	53 (15)	105-115	
5	280	740	1180	130	0,6	70 (20)	100-105	

Таблица 2 – Прочность бетона при циклическом насыщении (в растворе NaCl)-высушивании

№ состава	Характеристики бетона:				Прочность бетона, МПа, после количества циклов:						
	Ц, кг	Миндобавка		Добавка СП, % от СВ	0	5	10	15	20	25	30
		кг	%								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	350	–	–	–	25	27	28,5	30	30	29	26
2	315	35	10	–	22,8	24	26,5	27	27	26	24
3	280	70	20	–	22	23	25	27	27	26	22
4	280	70	20	0,6	25,5	28	29	30,5	31	31	30

Таблица 3 – Прочность бетона в процессе испытаний на морозостойкость

№ состава	Характеристики бетона:				Прочность бетона, МПа, через количество циклов:						
	Ц, кг	Миндобавка		Добавка СП, % от Мц	0	2 (75)	3 (100)	4 (150)	5 (200)	8 (300)	12 (400)
		кг	%								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
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
7	245	105	30	–	18	21	22	20	16	–	–
5	280	70	20	0,6	25	28	29	30	30,5	28,5	24

Одновременной следует отметить, что если физико-механические свойства бетона на портландцементе с минеральной добавкой в виде молотой гранитной породы обеспечиваются, то при циклических испытаниях с насыщением-высушиванием образцов бетона (в воде и солях NaCl и Na₂SO₄) данный цемент уступает чистоклинкерному равной марки (класса). Это логично, т.к. выявлено, что усадка цементного камня из вяжущего с минеральной добавкой значительно меньше. Морозостойкость бетона на цементе с 20% миндобавки из отсева несколько ниже чистоклинкерного вяжущего, но ее общий уровень, соответствующий марке F300, фактически обеспечивает весь диапазон требований к изделиям (конструкциям) общестроительного назначения. Кроме того, при снижении водоцементного отношения бетона за счет применения пластификаторов I-й группы его морозостойкость обеспечивается вплоть до марки F400. В целом, особенно учитывая низкую стоимость гранитного отсева и необходимость рационального использования его мелких фракций после переработки, решение о массовом выпуске цемента с данной минеральной добавкой в Беларуси целесообразно.

БЕТОН НА ЗАПОЛНИТЕЛЕ, БОГАЩЕННОМ КРУПНЫМИ ФРАКЦИЯМИ ОТСЕВА

Разработка гранулометрических составов обогащенного песка. Принцип подбора требуемого зернового состава песка заключался в определении песодолимого содержания недостающих в зерновом составе исходного природного песка крупных фракций, обеспечивающего расчетный модуль крупности и введение их в состав обогащаемого мелкого заполнителя с последующими испытаниями его в бетонных смесях и бетоне [5-8].

Обобщенные экспериментальные данные (частично приведенные в виде графика на рис. 1) отражают результаты исследований по подбору гранулометрического состава обогащенного крупными фракциями отсева исходного природного песка с начальным модулем от $M_k \sim 0,9$ до $M_k \sim 2,5$ после доведения его до зернового состава, обеспечивающего значения модуля крупности вплоть до $M_k = 3,5$.

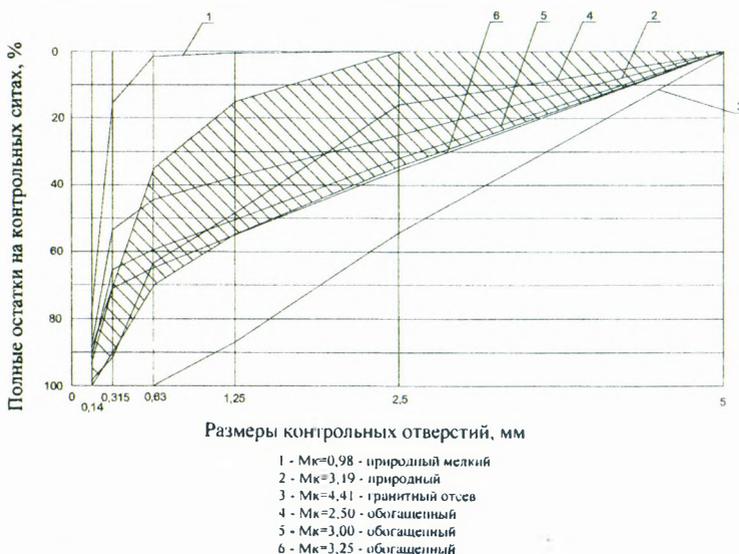


Рисунок 1 – Тенденция изменения гранулометрии обогащенного песка на основе природного завода ОАО “Спецжелезобетон” ($M_k \sim 1,0$)

С учетом допуска к применению в конструкционном бетоне песка с $M_k = 3,5$ по ГОСТ 8736-93 [9] графики, отражающие гранулометрию обогащенного мелкого заполнителя, практически «укладываются» в рекомендуемые границы его гранулометрии во всех разработанных и приведенных на рисунке 1 вариантах зернового состава обогащенного песка.

Свойства бетона на обогащенном отсевом песке. Прочность (таблица 4) и другие характеристики бетона определяли на сериях (4...6 шт.) образцов $100 \times 100 \times 100$ мм, приведенных к базовому размеру ($K=0,95$) по ГОСТ 18105-86; ГОСТ 10180-90 [10, 11]. Данные таблицы 4 получены для стандартизированного состава (ГОСТ 30459-96 [12]) «пропаренного» (режим: $2+3+6(\sim 80^\circ\text{C})+\text{остывание}, \text{ч}$) бетона из равноподвижных бетонных смесей «при прочих равных условиях», отличающегося видом мелкого заполнителя.

Таблица 4 – Прочность образцов пропаренного бетона из равноподвижных бетонных смесей

Вид мелкого заполнителя и нумерация по табл. 6	Прочность образцов бетона, МПа				Прочность бетона,	
					МПа	%
1. Природный тонкий ($M_k=0,91$)	21,4	22,8	23,8	20,4	22,7	100
2. Обогащенный: 2.1 $M_k = 2,00$ 2.2 $M_k = 2,27$ 2.3 $M_k = 2,50$	28,5 33,1 31,4	28,5 32,4 32,8	33,2 30,4 39,7	36,0 30,9 34,7	30,9 32,1 33,7	136 141 148
3. Природный Завода «Спецж/б» (тонкий)	28,1	25,7	26,1	26,6	26,6	100
4. Обогащенный: 4.1 $M_k = 2,5$ 4.2 $M_k = 3,0$ 4.3 $M_k = 3,25$	35,0 35,3 36,9	34,8 33,8 35,0	35,5 35,9 35,5	33,7 36,4 38,0	34,8 35,3 36,3	131 133 136
5. Природный (очень мелкий; $M_k = 1,50$)	32,8	32,8	34,5	31,4	33,3	100
6. Обогащенный: 6.1 $M_k = 2,01$ 6.2 $M_k = 2,47$ 6.3 $M_k = 2,97$	36,1 35,6 43,5	35,2 36,3 41,3	33,1 35,9 35,6	35,2 34,5 38,0	35,5 35,9 40,9	107 108 123
7. Природный (средний; $M_k = 2,02$)*	16,8	16,8	17,3	15,8	16,9	100
8. Обогащенный: 8.1 $M_k = 2,5^*$ 8.2 $M_k = 2,73^*$ 8.3 $M_k = 3,0^*$ 8.4 $M_k = 3,26^*$	17,4 18,9 20,7 21,4	18,6 17,8 20,1 21,7	18,7 20,0 19,8 19,7	18,1 19,5 20,7 20,0	18,5 19,5 20,5 21,0	110 118 121 124

*Режим прогрева образцов отличался от стандартизированного режима, включая подъем температуры до ~ 50°C с последующим остыванием образцов в камере «ТО»

Причины роста прочности бетона на обогащенном крупными фракциями гранитного отсева природном песке связаны со следующим:

- обеспечивается более рациональный фракционный состав как мелкого заполнителя, так и смеси его с крупным заполнителем в бетоне при минимизации их общей пустотности;

- повышается качество сцепления и взаимодействия цементного камня с поверхностью (характеризующейся большей степенью шероховатости) мелкого заполнителя в бетоне;

- снижается водопотребность обогащаемого мелкого заполнителя вследствие снижения его удельной поверхности, что позволяет снизить начальное водосодержание бетона при сохранении равноподвижности смеси;

- с наличием тонкодисперсных частиц гранитоида, которые (при количестве, не превышающем рациональное) способны проявлять эффект «затравок - центров кристаллизации» для твердеющего цемента, особенно при повышенной температуре твердения.

Водопоглощение бетона. Результаты испытаний, приведенные в таблице 5, свидетельствуют о непосредственной взаимосвязи показателя водопоглощения бетона с качеством мелкого заполнителя, при прочих равных условиях.

Очевидно, что уменьшение доли природного тонкого (с развитой удельной поверхностью) песка в обогащаемом мелком заполнителе сопровождается повышением плотности бетона и закономерно отражается в снижении его водопоглощения. Свою часть эффекта вносит нарастающее улучшение гранулометрии, т.е. более рациональное сочетание фракций разных размеров, с увеличением доли крупных фракций в обогащаемом материале.

Таблица 5 – Водопоглощение бетона по массе (W_m , %) и по объему (W_0 , %)

№ состава	Характеристики песка:			W_m , %	W_0 , %	Изменение W_m , в %-х от W_m , бетона состава № 1
	M_k , д.ед.	Содержание, кг				
		песка	отсева			
1	2	3	4	5	6	7
1	1,0	700	—	4,55	~ 10,6	100
2	2,0	492	208	3,4	~ 8,0	74,7
3	2,5	389	311	3,25	7,6	78,0
4	3,0	288	412	2,6	6,2	57,1
5	3,5	185	515	2,45	5,9	53,8

В целом, это способствует более плотной взаимной укладке зерен заполнителя в бетоне и росту качества (плотности) структуры в процессе и по результату его виброуплотнения. Как уже отмечалось, возрастает средняя плотность бетона, а по рассматриваемому эксперименту это отражается снижением W_m и W_0 .

Морозостойкость бетона определили ускоренным методом по ГОСТ 10060.2-95 [13] или 3-м методом: с насыщением, замораживанием (при $T = -55 (-60) ^\circ\text{C}$) и оттаиванием в 5 % растворе NaCl ($t \sim 18^\circ\text{C}$).

На рисунке 2 приведены данные об изменениях прочности бетона в процессе испытаний на морозостойкость, из которых следует, что бетон состава № 1 (на тонком природном песке, $M_k = 1$) выдержал 3 цикла ускоренных испытаний (соответствует марке «F100»), № 2 выдержал 5 циклов ускоренных испытаний или 200 циклов испытаний по базовому методу для бетона общестроительного назначения, а образцы составов № 3, № 4 и № 5 выдержал и 8 ускоренных циклов (или 300 циклов базовых испытаний).

Таким образом, прием обогащения природного тонкого, характеризующегося $M_k = 1,0$ песка может обеспечить 2-3- кратное повышение морозостойкости бетона. А в более общем плане прием обогащения природного песка крупными фракциями гранитного отсева может обеспечить производство любых типов изделий, к которым предъявляют повышенные требования по морозостойкости, включая бетоны и изделия специальных видов строительства. В частности, дорожно-мостового, гидротехнического, аэродромного и приравненных к ним по испытаниям на морозостойкость в солевой среде – тротуарных (и иных) плит, бортовых камней и др.

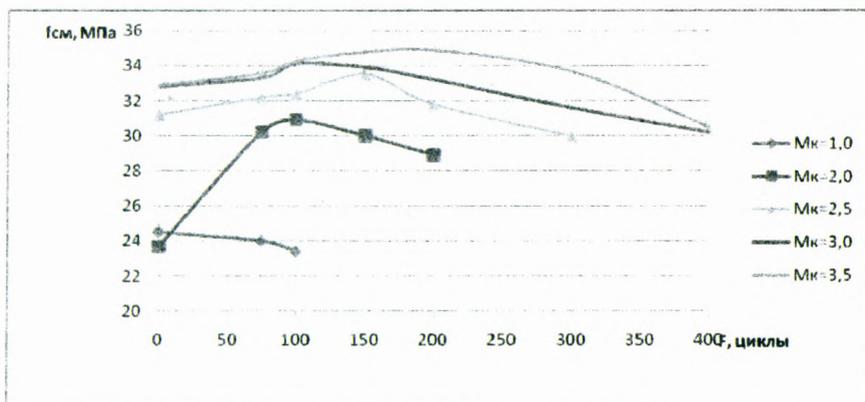


Рисунок 2 – Тенденция изменения прочности бетона при испытаниях на морозостойкость

Солестойкость и защитная способность. Кроме приведенных данных, были выполнены испытания бетона на солестойкость и защитную способность по отношению к стальной арматуре. Наиболее характерной для Беларуси агрессивной средой в процессе эксплуатации бетонных и железобетонных изделий и конструкций являются соли, содержащие ион хлора.

Снижение доли природного тонкого песка в составах бетона 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.

Результаты анализа поляризационных кривых одноциклических электрохимических испытаний, выполненных по СТБ 1168-99 [14], на образцах с тонким песком ($M_k = 1,0$) и обогащенном гранитным отсеком до $M_k = 3,0$, позволили сделать однозначный вывод о том, что, во-первых, вещество гранитного отсева не оказывает активирующего воздействия на стальную арматуру в бетоне, а во-вторых, способствуя росту плотности бетона в сравнении с бетоном на природном ($M_k = 1,0$) песке, повышает его защитную способность и такой заполнитель может применяться в железобетонных изделиях и конструкциях без ограничений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выполненные исследования позволили обосновать возможность полного использования технологических отсеков РУПП «Гранит», как ценного сырьевого материала для строительной отрасли Беларуси. По их результатам ОАО «Кричевцементношифер» на настоящий момент выпустило более 100 тыс. тонн портландцемента с минеральной добавкой из гранитного отсева

2. Разработаны основы технологии обогащения мелкозернистых песков, характеризующихся исходным модулем крупности в диапазоне $0,9 \leq M_k \leq 2,5$ дол. ед.,

крупными фракциями гранитного отсева РУПП «Гранит» (0,5...5,0 мм), что обеспечивает получение мелкого заполнителя для бетона рационального зернового (гранулометрического) состава и позволяет снижать расход цемента на 1 м³ конструкционного тяжелого бетона без ухудшения его физико-технические характеристики.

3. Экспериментально доказана эффективность приема обогащения мелкозернистых природных песков крупными фракциями гранитного отсева, обеспечившего улучшение эксплуатационных свойств и характеристик бетона: морозо-, соле-, водостойкости; водопоглощения (проницаемости) и защитной способности по отношению к стальной арматуре. По совокупности результатов исследований определено, что прием обогащения природного песка крупными фракциями гранитного отсева может применяться для бетонов различного назначения без ограничений.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

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. - №1. - С. 73-79.

3. Батяновский, Э.И. Долговечность железобетона с минеральной добавкой в виде молотого гранитного отсева / Э.И. Батяновский; А.В. Смоляков, А.А. Дрозд, В.И. Мацкевич // 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 / П.И. Федорович; Э.И. Батяновский // Проблемы современного бетона и железобетона: материалы III Межд. симп. (Минск, 9-11.11.2011): в 2 т. - Минск, Минсктиппроект, 2011. Т. 2: Технология бетона. - С. 438-451.

5. Федорович, П.Л. Теоретические и практические основы минимизации содержания цемента в бетоне путем формирования оптимального зернового состава / П.Л. Федорович, А.М. Корсун, Д.Л. Титков, Д.О. Гребенек // Вопросы внедрения норм проектирования и стандартов Европейского Союза в области строительства: международный научно-методический семинар – Минск, 2012. - С. 155-165.

6. Батяновский, Э.И. Эффективность “глубокой” переработки гранитного отсева РУПП «Гранит» / Э.И. Батяновский, А.А. Дрозд, П.Л. Федорович, А.В. Смоляков // Строительная наука и техника. Научно-технический журнал. - Минск, 2012. - С. 38-43.

7. Федорович, П.Л. Эффективность применения «технологического» гранитного отсева РУПП «Гранит» / П.Л. Федорович, А.В. Смоляков // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь: сборник трудов XVIII Международного научно-методического семинара. — Новополоцк, 2012. - С. 148-153.

8. Федорович, П.Л. Взаимосвязь водопоглощения и морозостойкости бетона с крупностью мелкого заполнителя / П.Л. Федорович, Э.И. Батяновский // Современные проблемы внедрения европейских стандартов в области строительства: международный научно-методический семинар. - Минск, 2013. - С. 194-202.

9. Песок для строительных работ. Технические условия: ГОСТ 8736-93.

10. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам: ГОСТ 10180-90.

11. Бетоны. Правила контроля прочности: ГОСТ 18105-86.

12. Добавки для бетонов. Методы определения эффективности: ГОСТ 30459-96.

13. Бетоны. Ускоренные методы определения морозостойкости при многократном замораживании и оттаивании: ГОСТ 10060.2-95.

14. Метод контроля коррозионного состояния стальной арматуры в бетоне и защитных свойств бетона: СТБ 1168-99.