

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ СЕМИНАР

**ВОПРОСЫ ВНЕДРЕНИЯ НОРМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И  
СТАНДАРТОВ ЕВРОПЕЙСКОГО СОЮЗА  
В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА**

(г. Минск, БНТУ — 22–23.05.2013)

УДК 666.972.69; 691.32

**ВЗАИМОСВЯЗЬ ВОДОПОГЛОЩЕНИЯ И  
МОРОЗОСТОЙКОСТИ БЕТОНА С КРУПНОСТЬЮ  
МЕЛКОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ**

*ФЕДОРОВИЧ П.Л., БАТЯНОВСКИЙ Э.И.*

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

**Введение**

В результате выполненных в БНТУ исследований был разработан вариант обогащения природных мелких песков крупными фракциями гранитного отсева ( $\geq 0,5$  мм) для повышения его качества как мелкого заполнителя для бетона.

Технология обогащения мелкозернистых песков переработанным гранитным отсеком практически отработана [1,2,3]. Выполненные исследования преемственны по отношению к общепризнанным результатам работ ученых Беларуси: И.Н. Ахвердова [4], Н.П. Блещика [5], А.Я. Барташевич [6], 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**

Нами предложен вариант обогащения мелкозернистых природных песков на стадии приготовления бетонных смесей, путем раздельного дозирования и введения в бетоносмеситель требуемых по

расчету долей исходного (обогащаемого) песка и крупной фракции (фактически – смеси фракций  $\geq 0,5$  мм) гранитного отсева. Формирующаяся в процессе смешивания компонентов бетона (дозированных по традиционно 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 раздельного хранения, подачи и дозирования крупной фракции отсева.

### **Влияние “крупности” песка на физико-механические свойства бетона**

Анализ работ в области морозостойкости бетона [7-11 и др.] показывает, что основным структурным фактором повышения его способности сопротивляться морозной деструкции является снижение капиллярной (открытой, сообщающейся) пористости, которая характеризуется размерами сечений капилляров более  $0,1$  мкм или  $> 1000\text{Å}$ .

Общие тенденции влияния заполнителей для бетона на морозостойкость последнего в целом известны и связаны с их структурой (плотные-пористые), качеством (наличие пылевидных, глинистых и подобных фракций), дисперсностью (мелкозернистые пески) и пр. Однако конкретные данные по возможному влиянию рассматриваемого в настоящих исследованиях приему обогащения песка гранитным отсевом в научно-технической литературе отсутствуют.

Поэтому необходимо проведение соответствующих экспериментов, а их результаты приобретают существенность и важность для оценки возможных последствий применения гранитного отсева в цементных бетонах и для выработки соответствующих рекомендаций по правилам его применения в качестве обогащающих фракций для природных песков, как для бетона (изделий, конструкций) общестроительного назначения, так и при повышенных требованиях к нему по эксплуатационным свойствам и долговечности.

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  $M_k = 1,0$  и обогащенном до  $M_k = 2,0; 2,5; 3,0$  и  $3,5$  переработанным гранитным отсеком, т.е. его крупными фракциями ( $\geq 0,63$  мм) с долевым соотношением по табл. 2, при соблюдении правила “прочих равных условий”. Для испытаний использовали “стандартизированный” состав бетона по оценке эффективности химических добавок по ГОСТ 30459-96: вяжущее — ПЦ 500 Д20 ( $K_{нг} \sim 0,265$ ; активность  $\sim 49,0$  МПа); характеристики составов — таблица 1.

**Таблица 1. Характеристика составов бетона для испытаний**

№ состава бетона	Номинальный расход материалов, кг/м <sup>3</sup>					$\rho^0$ бетонной смеси, кг/м <sup>3</sup>	ОК, см	
	цемент	щебень фр. 5-20	Мелкий заполнитель, кг			Вода (В/Ц)		факт.
			Песок	Отсев	$M_k$ , д.ед.			
1	350	1150	700	–	1,0	190 (0,54)	2412	$\approx 3$
2	350	1150	492	208	2,0	175 (0,5)	2447	$\approx 3$
3	350	1150	389	311	2,5	175 (0,5)	2460	$\approx 3$
4	350	1150	288	412	3,0	175 (0,5)	2483	$\approx 2,5$
6	350	1150	185	515	3,5	175 (0,5)	2495	$\approx 2,5$

*Водопоглощение бетона*, характеризующее наличие и объем открытой (сообщающейся) пористости бетона, одновременно дает информацию для прогноза его морозостойкости, т.к. последняя непосредственно зависит от количества «поглощаемой порами» бетона воды.

Водопоглощение бетона по массе определили по стандартной методике ГОСТ 12730.3-84 с начальным насыщением (серий из 3-х образцов (куб с ребром 100 мм; возраст – 28 сут. нормально-влажностного твердения) до постоянной массы и последующим высушиванием до постоянной массы. Водопоглощение по объему рассчитано по методике указанного стандарта с учетом  $\rho^0$  бетона в сухом состоянии.

Результаты испытаний, приведенные в таблице 2, 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 щебня в обогащаемом материале. 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  $W_0$ .

**Таблица 2. Водопоглощение бетона по массе ( $W_m$ , %) и по объему ( $W_0$ , %)**

№ состава по табл. 6	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	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

При этом снижение водопоглощения очень значительно:  $4,55/2,45 \sim 1,86$  раза для бетона на обогащенном песке повышенной крупности.

Величины водопоглощения бетона по объему ( $W_0$ ) примерно отражают количество свободной воды, которое «поглотит» высушенный материал единицей объема (л;  $m^3$ ), т.е. от ~ 106 л до 59 л ( $m^3$  для составов бетона № 1 и № 5 по таблице 2. А это одна из важнейших причин деструкции бетона при замораживании-оттаивании. На этом

основании можно ожидать существенного повышения морозостойкости бетона на обогащенном песке.

*Морозостойкость бетона* определили ускоренным методом по ГОСТ 10060-95 или 3-им методом: с насыщением, замораживанием (при  $T = -55$  (-60) °C) и оттаиванием в 5 % растворе NaCl ( $t \sim 18^\circ\text{C}$ ).

Этот метод (применяемый для «дорожного» бетона) использовали с целью ускорения процесса испытаний, ровно как и то, что испытаниям подвергали образцы бетона (кубы с ребром 100 мм) не в проектном возрасте, а пропаренные по режиму п. 1, с обеспечением  $\geq 70$  % прочности от проектного возраста.

Как показали результаты экспериментов использование ускоренного метода оказалось оправданным т.к. морозостойкость бетона на обогащенном гранитным отсевом песке оказалась достаточно высокой и, очевидно, что продолжительность испытаний по базовому для бетона общестроительного назначения методу составила бы более 1-го года.

Кроме этого, абсолютные значения показателя морозостойкости в исследованиях не существенны, хотя и представляют интерес для оценки ожидаемой морозостойкости бетона «стандартизированного» состава на обогащенном песке. Более важны и значимы относительные результаты, или данные сравнения морозостойкости бетона на природном тонком ( $M_k \sim 1,0$ ) песке и при разной степени его обогащения крупными фракциями отсева (до  $M_k = 2,0; 2,5; 3,0$  и  $3,5$ ) при соблюдении правила прочих равных условий дал всех серий образцов. Та как именно эта разница определяет эффективность приема «обогащения» зернового состава мелкого заполнителя для бетона.

В процессе испытаний контролировали изменения массы и прочности образцов бетона составов № 1 – № 5 (таблицы 3 и 4).

*Изменения массы образцов в процессе испытаний.* В соответствии с положениями ГОСТ 10060-95 для бетона общестроительного назначения потери массы в процессе испытаний на морозостойкость не нормируется. Однако в исследовательских целях важно отследить изменение массы образцов в процессе испытаний, т.к. это характеризует развитие деструктивных процессов.

Из данных таблицы 3 видно, что образцы состава № 1 (на тонком песке) теряют массу с началом испытаний. Масса образцов бетона всех остальных составов медленно и стабильно возрастает до 4-5

(150-200) циклов замораживания-оттаивания. После 5 (200) циклов прирост массы прекращается, и она начинает снижаться (округляются ребра образцов), что отражает начало деструктивных процессов в бетоне. Отмеченные изменения массы интенсивнее проявляются с повышением крупности обогащенного песка – составы № 4 и № 5 ( $M_k = 3,0$  и  $M_k = 3,5$ ).

Начальный рост массы за счет поглощения воды свидетельствует об углублении процессов гидратации и твердения цемента и связанных с ними процессов перераспределения воды затворения и проявления эффекта разрежения (вакуума) в твердеющем цементном камне, что обуславливает «подсос» дополнительного количества жидкости. В дальнейшем увеличение массы связано, с одной стороны, с продолжением гидратационного процесса, с другой - с развитием дефектов структуры под влиянием деструктивных факторов [7-11].

**Таблица 3. Изменение массы образцов при испытаниях на морозостойкость**

№ состава	Характеристики песка:			Масса образцов (г) после количества циклов:						
	$M_k$ д.ед	Содержание, кг		0	2 (75)	3 (100)	4 (150)	5 (200)	8 (300)	12 (400)
		песка	отсева							
1	1,0	700	–	2460	2440	2380	–	–	–	–
2	2,0	492	208	2510	2514	2503	2492	2450	–	–
3	2,5	389	311	2510	2516	2520	2500	2480	–	–
4	3,0	288	412	2510	2513	2520	2520	2504	2490	–
5	3,5	185	515	2560	2570	2580	2570	2570	2540	2520

*Изменения прочности образцов бетона в процессе испытаний.* В таблице 4 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).

**Таблица 4. Прочность бетона в процессе испытаний**

№ состава	Характеристики песка:			Прочность бетона, МПа, через количество циклов:							Процент снижения $f_{cs}$ , %
	$M_k$ , д.ед	Содержание, кг		0	2 (75)	3 (100)	4 (150)	5 (200)	8 (300)	12 (400)	
		песка	отсева								
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

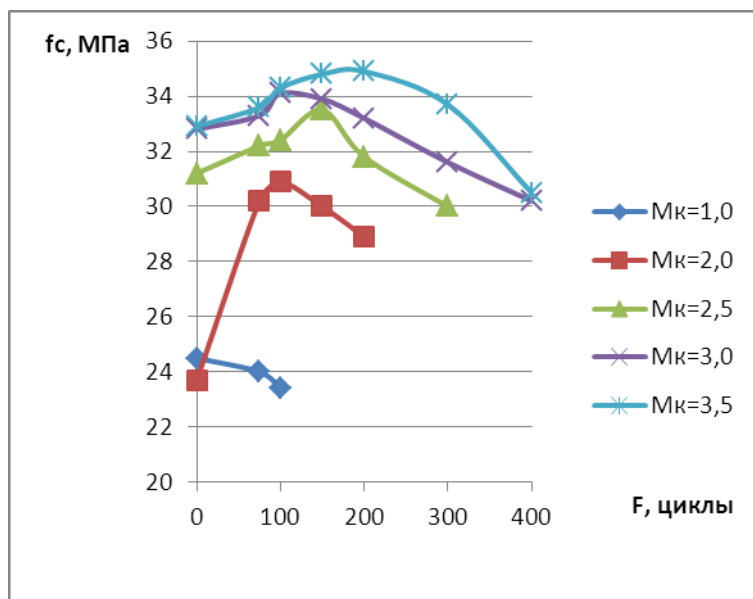


Рисунок 1. Тенденция изменения прочности бетона при испытаниях на морозостойкость

## Вывод

Таким образом, прием обогащения природного тонкого, характеризующегося  $M_k = 1,0$  песка может обеспечить 2-3-х кратное повышение морозостойкости бетона. А в более общем плане совместное сочетание местного природного песка с обогащением его зернового состава 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.

Этот вывод основывается на том, что данные таблицы 4 получены для образцов бетона, испытания которых были начаты сразу после пропаривания. То есть, в условиях, когда бетон характеризовался прочностью  $\sim 70\%$  от прочности в 28 сут., т.е. проектного возраста. Несмотря на это образцы составов № 3, № 4 и № 5 ( $M_k \sim 2,5 \dots 3,5$ ) обеспечили морозостойкость на уровне 300 циклов базовых испытаний. При этом, составы № 4 и № 5 несколько «неотянули» до марки «F400». Очевидно, что при условии стандартных испытаний образцов проектного возраста из бетона, приготовленного на обогащенном песке с  $M_k \geq 2,5$ , они обеспечили бы показатель морозостойкости (в водной среде по первому базовому методу для бетонов общестроительного назначения) не менее «F400». Этот уровень морозостойкости бетона практически удовлетворяет всем возможным вариантам конструкций общестроительного назначения.

Что касается специальных бетонов, то показатель морозостойкости должен оцениваться по конкретным его составам с учетом конкретных требований по этому показателю к строительным конструкциям.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Смоляков А.В Научно-технические основы технологии полного использования гранитного отсева в бетонах/ А.В. Смоляков, П.Л. Федорович, Э.И. Батыновский // Строительная наука и техника. Научно-технический журнал — Минск, 2011. – С35-41



2. 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– С155-165
3. Батыновский Э.И. Эффективность “глубокой” переработки гранитного отсева РУПП «Гранит»/ Э.И. Батыновский, А.А. Дрозд, П.Л. Федорович, А.В. Смоляков// Строительная наука и техника. Научно-технический журнал — Минск, 2012. – С38-43
4. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона. – М.: Стройиздат, 1981. – 464 с.
5. Блещик Н.П. Структурно-механические свойства и реология бетонной смеси и пресс-вакуум бетона. – Минск: Наука и техника, 1977. – 230 с.
6. Барташевич А.Я. Исследование структурно-технических свойств бетонной смеси, уплотненной прессованием и вакуумированием: Автореф. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.23.05/ИСиА Госстрой БССР. – Минск, 1973. – 37 с.
7. Горчаков Г.И., Капкин М.М., Скрамтаев Б.Г. Повышение морозостойкости бетона в конструкциях промышленных и гидротехнических сооружений. – М.: Стройиздат, 1965.
8. Конопленко А.И. К вопросу теории морозостойкости бетона. В сб. тр. Ростовского инженерно-стр. института. Вып. XII. - Ростов-на-Дону, 1958.
9. Collins A. The destruction of concrete by frost, Institute of Civil Engineers 1944 nov.p.5412.
10. Powers T. A working hypothesis for further studies of frost resistance of concrete. J. Am. Coner. Inst., 1945, № 4, v. 16.
11. Powers T., Helmuth R. Theory of volume changes in hardened portlandcement paste during freezing/ Proceedings Hig way Research Board, 1953, v. 32.