

## **Повышение физико-механических свойств бетона путем нормализации гранулометрии заполнителей**

Вышедко М. В., Захарчук И.С.

Научный руководитель – Федорович П.Л.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

Целью данной работы был подбор гранулометрических составов природного песка с целью возможной экономии цемента и повышения физико-механических свойств бетона, путем оптимизации зернового состава для уменьшения пустотности.

Исходным материалом для проведения данной работы стал гранитный отсев предприятия РУПП «Гранит».

Задачи данной работы: изучение свойств гранитного отсева, рационализация зернового состава с целью обеспечения как минимальной пустотности, так и удельной поверхности заполнителя, изучений влияния различных фракций мелкого заполнителя на свойства затвердевшего бетона.

### **Назначение заполнителей**

Заполнители – природные или искусственные материалы, которые в рационально составленной смеси с цементным вяжущим и водой образуют бетон. Стоимость заполнителей достигает 30..50% стоимости бетонных и железобетонных конструкций, а иногда и более. Поэтому изучение, оптимальный выбор, нормализация гранулометрии имеют большое значение.

Заполнители занимают в бетоне до 80% объема и позволяют сократить расход цемента и других вяжущих, путем оптимизации зернового состава для получения минимальной пустотности, являющихся наиболее дорогой составной частью бетона.

Цементное вяжущее, реагируя с водой, способно схватываться и твердеть, переходя их пластичного тестообразного состояние в твердое.

Цементный камень при твердении претерпевает объемные деформации. Усадка его достигает 2 мм/м. Из-за неравномерности усадочных деформаций возникают внутренние напряжения и тре-

щины. Мелкие трещины могут быть невидны невооруженным глазом, но они резко снижают прочность и долговечность цементного камня. Заполнитель же создает в бетоне жесткий скелет, который воспринимает усадочные напряжения и уменьшает усадку обычного бетона примерно в 10 раз по сравнению с усадкой цементного камня.

Жесткий скелет из высокопрочного заполнителя увеличивает прочность и модуль упругости бетона (т.е. уменьшает деформации конструкций под нагрузкой), уменьшает ползучесть (т.е. пластические необратимые деформации бетона при длительном действии нагрузки).

### **Влияние заполнителей на свойства бетонной смеси**

Состав бетонной смеси и ее технологические свойства, необходимые для получения необходимой удобоукладываемости смеси, транспортирования, укладки и уплотнения, в значительной мере определяются содержанием и качеством применяемых заполнителей.

При проектировании состава бетонной смеси, как правило, исходят из необходимости получения бетона заданной прочности и консистенции при минимальном расходе цемента.

При подборе составов смеси стремятся получить смесь с минимально возможной пустотностью. Однако смесь с минимальной пустотностью не всегда будет оптимальной в бетоне, так как при выборе правильного соотношения между песком и щебнем необходимо учитывать расходы цемента и воды, т.е. объем цементного теста и их влияние на подвижность.

С уменьшением количества фракций и их размеров в мелком заполнителе неизбежно возрастает объем цементного теста, т.е. растет расход цемента. Эту проблему для строительной отрасли Беларуси может решить прием обогащения природных песков крупными фракциями гранитного отсева.

### **Результаты экспериментов**

Лабораторией НИИЛ БиСМ были проведены работы по изучению свойств гранитного отсева. Были исследованы физико-технические свойства отсева: влажность; плотность; зерновой состав; содержание пылевидных частиц в крупных фракциях отсева (это было необходимо определить для последующего учета при использовании этих фракций в обогащении мелких песков); дроби-

мость. Фактическая величина средней плотности зерен гранитного отсева соответствует  $\sim 2708 \text{ кг/м}^3$ .

Таблица 1. Влажность отсева

№ пробы	Масса, г		Влажность		
	до высушивания	после высушивания	потери воды, г	%	средняя, %
1.	2000	1943	57	2,9	3,0
2.	2000	1938	62	3,1	

Таблица 2. Гранулометрический (зерновой) состав отсева

№ пробы	Содержание зерен крупностью (фракции), г (%)							M <sub>к</sub> отсева
	<0,14	0,14 ... 0,315	0,315 ... 0,63	0,63 ... 1,25	1,25 ... 2,5	2,5... 5,0	>5	
1	256 (13,0)	336 (17,1)	275 (14,0)	132 (6,7)	327 (16,6)	542 (27,0)	101 (5,1)	2,95
2	210 (10,7)	357 (18,1)	319 (16,2)	125 (6,3)	321 (14,3)	519 (29,0)	117 (5,9)	2,96
Среднее	233 (11,9)	346 (17,6)	297 (15,1)	129 (6,5)	324 (15,4)	530 (28,0)	109 (5,5)	2,96

Анализ данных о зерновом составе отсева показывает, во-первых, повышенное содержание в нем пылевидных фракций менее 0,14 мм, а во-вторых – значительное содержание мелких фракций (< 0,63 мм) в целом. Их количество составляет до 45 % от массы исходного отсева. Также экспериментально было определено, путем отмучивания отсева, что пылевидные фракции (<0,14 мм) содержатся и в более крупных фракциях отсева. В фракции крупнее 0,63 мм пылевидных частиц содержится около 3%. В фракции крупнее 1,25 содержание пылевидных частиц уменьшилось, но не значительно. Они адсорбируются на поверхности более крупных зерен и «сопровождают» их после отсева.

С практических позиций использования крупных фракций отсева можно ориентировочно считать, что они содержат до 3% от массы пылевидных фракций.

Дробимость является косвенной характеристикой прочности исходной горной породы, отражает состояние структуры испытываемой

мого материала. Чем больше в его зернах микротрещин, т.е. дефектов структуры, тем значительнее разрушения и больше количество образующихся измельченных частиц, а значит – ниже качество материала, как заполнителя для конструкционного бетона.

Таблица 3. Дробимость гранитного отсева

Размер меньшей фракции	Масса навески, г	Масса зерен меньше, мм:				Среднее
		0,63	1,25	Отсеянные зерна, г	Показатель дробимости, %	
0,63	700	497	-	203	29,0	29,2
	700	494	-	206	29,4	
1,25	800	-	575	225	28,1	28,0
	800	-	578	222	27,8	

Более крупные фракции характеризуются большей прочностью. Чем мельче фракция отсева, тем в большей степени она «трещиновата» и тем хуже ее собственные физико-механические свойства и значительнее влияние на свойства бетона. Особенно это относится к фракциям менее 0,315 мм, которые кроме массы трещин характеризуются повышенной удельной поверхностью. Все это в совокупности приводит к резкому увеличению водопотребности (при равной подвижности) бетонных смесей, ухудшению их формуемости, повышению расхода цементного теста (цемента) в бетоне равной прочности (в сравнении с бетоном на природном песке стандартного качества).

Исправить ситуацию может предварительное разделение отсева с отделением мелких фракций, которые могут быть использованы при получении портландцемента с минеральной добавкой на их основе.

Принцип подбора требуемого зернового состава песка заключается в определении необходимого содержания недостающих в зерновом составе природного песка крупных фракций, обеспечивающего расчетный модуль крупности и введение их в состав обогащаемого мелкого заполнителя. В данном случае использовались крупные фракции гранитного отсева, начиная с размера 0,63 мм и выше.

Состав бетона для испытаний определен с учетом базового состава бетона по ГОСТ 30459-96, принимаемого для оценки эффективности добавок для бетона [7], и приведен в таблице 4.

Далее приведены результаты испытаний на прочность образцов бетона из равноподвижных бетонных смесей (табл. 5).

Таблица 4. Характеристика состава бетона для испытаний

Номинальный расход материалов, кг/м <sup>3</sup>				ρ <sub>0</sub> бетонной смеси, кг/м <sup>3</sup>		ОК, см
цемент	щебень фр. 5-20	Песок	Вода (В/Ц)	расч.	факт.	
350	1150	700	175(0,5)	2375	2365	3-4

Таблица 5. Прочность образцов пропаренного бетона из равноподвижных бетонных смесей

№ п/п	Вид мелкого заполнителя	Прочность образцов бетона, МПа				Прочность бетона,	
		1	2	3	4	МПа	%
Бетон после тепловлажностной обработки (ТВО)							
1.	Природный						
1.1.	Крупный (M <sub>к</sub> ~3,2)	32,5	33,3	30,9	32,3	32,2	142
1.2.	Тонкий (M <sub>к</sub> = 0,91)	21,4	22,8	23,8	20,4	22,7	100
2.	Обогащенный:						
2.1.	M <sub>к</sub> = 2,00	28,5	28,5	33,2	36,0	30,9	136
2.2.	M <sub>к</sub> = 2,27	33,1	32,4	30,4	30,9	32,1	141
2.3.	M <sub>к</sub> = 2,50	31,4	32,8	39,7	34,7	33,7	148
3.	Природный завода «Спецж/б»	28,1	25,7	26,1	26,6	26,6	100
4.	Обогащенный:						
4.1.	M <sub>к</sub> = 2,5	35,0	34,8	35,5	33,7	34,8	131
4.2.	M <sub>к</sub> = 3,0	35,3	33,8	35,9	36,4	35,3	133
4.3.	M <sub>к</sub> = 3,25	36,9	35,0	35,5	38,0	36,3	136

Бетон проектного возраста (нормально-влажностные условия твердения)							
1.	Природный						
1.1.	Крупный (мытый, $M_k \sim 3,2$ )	55,7	53,2	58,8	46,1	56,0	127
1.2.	Тонкий ( $M_k = 0,91$ )	39,2	46,1	45,6	40,7	44,1	100
2.	Обогащен- ный:						
2.1.	$M_k = 2,00$	41,3	54,6	53,4	51,5	53,2	121
2.2.	$M_k = 2,27$	50,7	55,1	52,3	53,2	53,5	121
2.3.	$M_k = 2,50$	49,9	48,9	55,6	55,8	53,8	122
3.	Природный завода «Спецж/б» (тонкий)	33,9	30,4	43,7	34,9	37,5	100
4.	Обогащен- ный:						
4.1.	$M_k = 2,5$	49,6	39,0	40,4	50,4	46,7	125
4.2.	$M_k = 3,0$	48,5	41,3	42,8	50,4	47,2	126
4.3.	$M_k = 3,25$	51,5	49,4	38,7	45,1	48,7	130

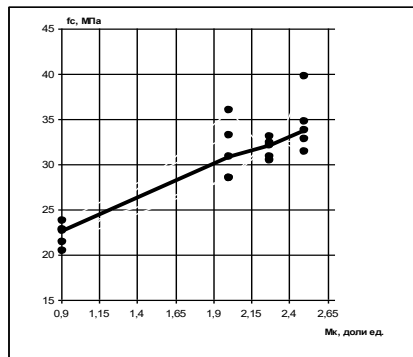
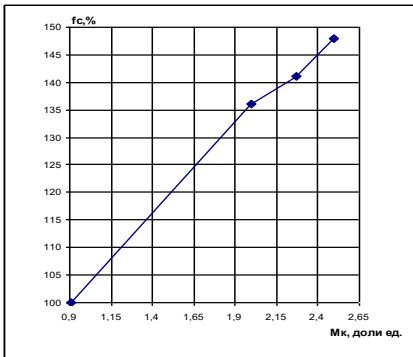


Рис. 1. Тенденция изменений прочности пропаренного бетона в зависимости от модуля крупности песка (исходный  $M_k = 0,91$ )

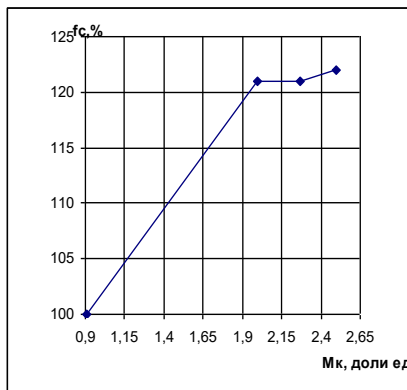
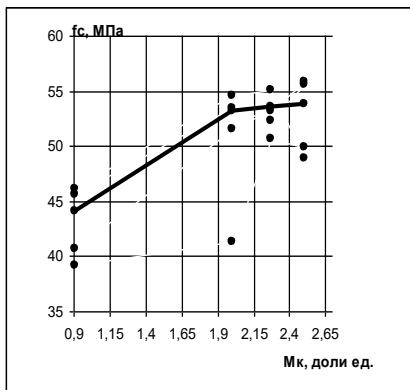


Рис. 2. Тенденция изменений прочности бетона нормально-влажностного твердения в проектном возрасте в зависимости от модуля крупности песка (исходный  $M_k=0,91$ )

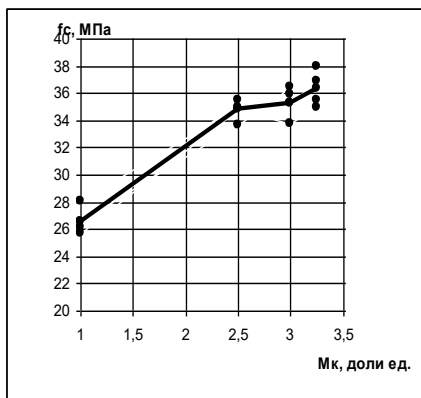
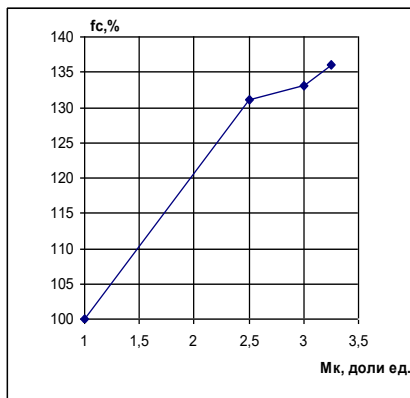


Рис. 3. Тенденция изменений прочности пропаренного бетона в зависимости от модуля крупности песка (исходный песок завода «Спецж/б»  $M_k \approx 1,0$ )

Чем рациональнее зерновой состав, тем выше качественная характеристика бетона (в данном конкретном случае – прочность на сжатие).

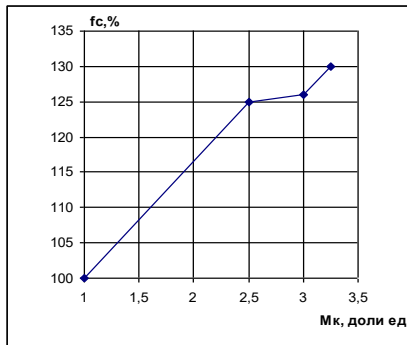
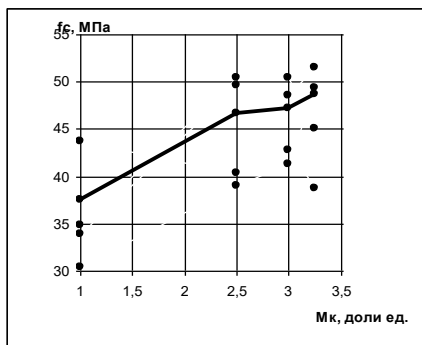


Рис. 4. Тенденция изменений прочности бетона нормально-влажностного твердения в проектном возрасте в зависимости от  $M_k$  песка (исходный песок завода «Спецж/б»  $M_k \approx 1,0$ )

На рост прочности бетона влияет качество поверхности (шероховатости крупных фракций отсева, способствующее росту сил сцепления цементного камня в бетоне с зернами песка). Так, прочность бетона на заполнителе, обогащенном крупными фракциями отсева, уже при модуле крупности  $M_k = 2,27$  практически сравнялась с прочностью образцов на высококачественном (мытом) природном песке с  $M_k = 3,2$ ; начиная со значений  $M_k = 2,5$  – превысила ее для бетона после тепловлажностной обработки.

### Закключение

Установлен зерновой состав гранитного отсева, характеризующийся содержанием фракций размерами менее 0,63 мм – порядка (52...55) %. Фракции менее 0,63 мм в свою очередь, представлены следующим образом: фракция 0,315 – 0,63 мм – 15 %; фракция 0,14 – 0,315 мм – 17,5 % и менее 0,14 мм – 12 %. Именно эти фракции и, особенно,  $\leq 0,315$  способствуют ухудшению свойств отсева как заполнителя для бетона, т.к. они тонкодисперсные, характеризуются развитой удельной поверхностью, наличием микротрещин в структуре и лещадностью зерен.

В результате выполненных исследований разработаны гранулометрические составы обогащенного песка с  $M_k = 2,0 \dots 2,5$  от исходного  $M_k \leq 1,0$  и  $M_k = 2,0 \dots 3,25$  от исходного  $M_k = 1,0 \dots 1,5$ . Исследовано влияние обогащенного песка на прочность бетона, которая



может быть повышена до (15...20)% при его использовании, а также возможной экономии цемента до (10...20)% при замене тонкого песка ( $M_k \leq 1,0$ ) на обогащенный ( $M_k = 2,0...2,5$ ).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона // И.Н. Ахвердов – М.: Стройиздат., 1981. – 464 с: ил
2. Сизов В.П. Проектирование составов тяжелого бетона. М.: Стройиздат, 1980.
3. Ахвердов И.Н. Высокопрочный бетон / И.Н. Ахвердов – М.: Стройиздат., 1961. – 106 с: ил
4. Баженов Ю.М. Технология бетона: учеб. для студентов ВУЗов строит. спец// Ю.М. Баженов. – 3-е изд., – М.: Изд-во АСВ, 2003. – 500 с: ил. – ISBN 5-93093-138-0
4. СТБ 1544–2005. Бетоны конструкционные тяжелые. Технические условия. – введ. 2005 – 07 – 01. – Минск: РУП «Стройтех-норм», 2005, 21 с.
6. ГОСТ 8736–93. Песок для строительных работ. Технические условия. – введ. 1996 – 01 – 01. – Минск: Межгосударственная научно-техническая комиссия по стандартизации и техническому нормированию в строительстве.,1995, 15 с.
7. ГОСТ 30459-96. Добавки для бетонов. Методы определения эффективности. –1998–07–01. – Минск: Межгосударственная научно-техническая комиссия по стандартизации и техническому нормированию в строительстве.,1998, 44 с.
8. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. // Основы бетоноведения. Санкт-Петербург: “Строй Бетон”, 2006.
9. Ицкович С.М., Чумаков Л.Д., Баженов Ю.М. // Технология за-полнителей бетона. М.: Высшая школа, 1991.
10. Виноградов Б.Н. // Влияние заполнителей на свойства бетонов. М.: Стройиздат, 1979.