

СТРОИТЕЛЬСТВО. АРХИТЕКТУРА

УДК 691.322

М. С. Бибик, канд. техн. наук, С. Д. Семенюк, д-р техн. наук

ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЦИКЛИРОВАННОГО ЩЕБНЯ ИЗ ДРОБЛЕННОГО БЕТОНА РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ ПО ПРОЧНОСТИ НА СЖАТИЕ НА СВОЙСТВА БЕТОННОЙ СМЕСИ И БЕТОНА

В статье представлены результаты экспериментальных исследований физико-механических характеристик вторичного (рециклированного) щебня из дробленого бетона трех серий по классам прочности на сжатие – С 12/15 и менее, С 16/20...С 25/30, С 28/35...С 35/45, используемого в бетоне в составе крупного заполнителя взамен части природного щебня, и его влияния на свойства бетонной смеси и бетона. Определена рациональная область применения такого щебня в зависимости от прочности перерабатываемого бетона. Акцентируется необходимость предварительной сортировки утилизируемых отходов бетона и железобетона перед их переработкой.

Проблеме утилизации отходов бетона и железобетона и повторного применения продуктов их переработки в качестве заполнителей в бетоне посвящены комплексные исследования, выполняемые в течение ряда лет в ОАО «Завод сборного железобетона № 1». Экспериментальная часть в данной статье выполнена канд. техн. наук, ст. науч. сотр., вед. инженером по разработке новых материалов и НТИ ОАО «ЗСЖБ № 1» И. И. Тулуповым. Ранее были исследованы физико-механические свойства щебеночно-песчаной смеси и рассеянных из нее щебеночной и песчаной фракций дробленого бетона классов С 20/25 и С 25/30 по прочности на сжатие, а также влияние заполнителей, полученных из бетона класса С 25/30, на свойства бетонных смесей и бетона [1, 2]. В результате проведенных исследований было установлено, что при использовании в качестве заполнителей нерассеянной щебеночно-песчаной смеси из дробленых отходов бетона и железобетона, характеризующейся повышенным, по сравнению с природными заполнителями, водопоглощением, более высокой удельной поверхностью и меньшей

средней плотностью, наблюдается резкое снижение подвижности бетонных смесей и снижение их средней плотности. Проведенный анализ физико-механических характеристик исследованных щебеночно-песчаных смесей позволил установить значительную их неоднородность, в связи с чем был сделан вывод о предпочтительности, с точки зрения обеспечения стабильности и однородности свойств бетонных смесей и бетона, применения в качестве крупного заполнителя рециклированного щебня, отсеянного из щебеночно-песчаной смеси дробленого бетона, с частичной или полной заменой им природного гранитного щебня, а в качестве мелкого заполнителя – природного песка. В свою очередь, отсеянный щебень, полученный из бетонов различной прочности, по своим физико-механическим характеристикам может существенно различаться между собой, что также может привести к неоднородности свойств бетонной смеси и бетона. Для оценки физико-механических характеристик рециклированного щебня, полученного из дробленых бетонов различных классов по прочности на сжатие, и его влияния

на свойства бетонных смесей и бетона были проведены специальные исследования, результаты которых представлены в данной работе.

Рециклированный щебень для проведения экспериментов получали путем дробления разрушенных в процессе испытаний на сжатие в заводской лаборатории образцов-кубов из бетона различных классов по прочности на сжатие с последующим рассевом дробленой смеси на щебень фракции 5..20 мм и песок.

Для этого после проведения испытания на сжатие разрушенные бетонные образцы были рассортированы на три серии по классам прочности на сжатие: серия 1 – С 12/15 и менее, серия 2 – С 16/20...С 25/30 и серия 3 – С 28/35...С 35/45, затем производили их дробление и рассев, после чего отбирали пробы отсеянного щебня и исследовали его физико-механические характеристики. В табл. 1...6 представлены полученные результаты.

Табл. 1. Содержание щебня фракции 5...20 мм и песка в щебеночно-песчаной смеси дробленого бетона исследуемых серий

Серия	Содержание в смеси дробленого бетона, %	
	щебня фракции 5...20 мм	песка
1	43,1...47,5	56,9...52,5
2	52,3...57,5	47,7...42,5
3	49,8...51,0	50,2...49,0

Табл. 2. Насыпная плотность и плотность в виброуплотненном состоянии высушенного щебня

Серия	Насыпная плотность, кг/м ³	Плотность в виброуплотненном состоянии, кг/м ³
1	1290	1530
2	1260	1520
3	1280	1510

Табл. 3. Дробимость отсеянных фракций щебня

Серия	Щебень фракции 10...20 мм	Щебень фракции 5...10 мм
1	<u>15</u>	<u>33,6</u>
	1200	600
2	<u>18,6</u>	<u>23,8</u>
	1000	800
3	<u>15,5</u>	<u>18,7</u>
	1200	1000

Примечание – Над чертой – значение Др, %; под чертой – марка по дробимости в соответствии с ГОСТ 8267-99

Табл. 4. Гранулометрический состав отсеянного щебня из бетона исследуемых серий

В процентах

Серия	Сито с отверстиями, мм					
	20	10	5	2,5	1,25	менее 1,25
1	<u>2,1</u>	<u>45,85</u>	<u>47,7</u>	<u>3,95</u>	<u>0,1</u>	<u>0,3</u>
	2,1	47,95	95,65	99,6	99,7	100
2	<u>3,7</u>	<u>42,8</u>	<u>49,25</u>	<u>3,9</u>	<u>0,15</u>	<u>0,2</u>
	3,7	46,5	95,75	99,65	99,8	100
3	<u>2,75</u>	<u>44,36</u>	<u>48,85</u>	<u>3,65</u>	<u>0,15</u>	<u>0,25</u>
	2,75	47,1	95,95	99,6	99,75	100

Примечание – Над чертой – частные; под чертой – полные остатки на ситах

Табл. 5. Водопоглощение отсеянного щебня (по ГОСТ 8269-97)

Серия	1	2	3
Водопоглощение по массе, %	5,0	5,2	4,8

Табл. 6. Удельная поверхность отсеянного щебня

Серия	1	2	3
Удельная поверхность, м ² /кг	0,38	0,39	0,39

Анализ физико-механических характеристик рециклируемого щебня из дробленого бетона исследуемых серий по классам прочности на сжатие и оценка его соответствия требованиям СТБ 1544 [3] позволяют сделать вывод о возможности его применения по показателю дробимости в составе крупного заполнителя в бетонах следующих классов: щебень из дробленого бетона серии 1 – С 20/25; щебень из дробленого бетона серии 2 – до С 25/30; щебень из дробленого бетона серии 3 – до С 30/37. По содержанию пылевидных частиц данный щебень удовлетворяет требованиям СТБ 1544: поскольку он получен путем отсева продуктов дробления, их содержание не превышает допустимого одного процента.

В экспериментах были использованы следующие материалы:

- в качестве вяжущего – портландцемент ПЦ 500-Д0 производства ПРУП «Кричевцементношифер» с нормальной плотностью 25 % и активностью при пропаривании 29,8 МПа;

- в качестве крупных заполнителей – природный гранитный щебень фракции 5...20 мм Микашевичского месторождения производства РУПП «Гранит» и рециклированный щебень фракции 5...20 мм из дробленого бетона серий 1...3, характеристики которого приведены выше;

- в качестве мелкого заполнителя – природный кварцевый песок карьера «Крапужино» Логойского района с модулем крупности $M_{кр} = 3,16$;

- для пластификации бетонных смесей – суперпластификатор С-3.

Влияние вида рециклированного щебня, вводимого взамен части природного щебня, и его содержания в крупном смешанном заполнителе оценивали путем сравнения исследуемых свойств равноподвижных бетонных смесей и свойств бетона, приготовленных на природном и смешанном щебне. Содержание рециклированного щебня из дробленого бетона принимали равным 20, 30 и 40 % от массы смешанного щебня. В процессе экспериментов определяли подвижность (осадку стандартного конуса) и среднюю плотность бетонных смесей, среднюю плотность и прочность на сжатие бетона после тепловлажностной обработки (ТВО) и в возрасте 7 и 28 сут после нее. В табл. 7 и 8 приведены составы бетона и результаты испытаний.

Из табл. 7 видно, что применение в составе смешанного щебня рециклированного щебня увеличивает водопотребность и водоцементное отношение бетонных смесей. Эти данные свидетельствуют о том, что для обеспечения близких по величине значений подвижности бетонных смесей в пределах 6,5...8 см по мере увеличения содержания рециклированного щебня количество воды затворения и водоцементное отношение бетонных смесей повышалось с 152...154 л/м³ и 0,367 – для контрольного бетона на природном гранитном щебне до 167...171 л/м³ и 0,403...0,411 – для бетона на смешанном щебне с содержанием рециклированного щебня в количестве 40 % от массы смешанного щебня.

Табл. 7. Составы бетонов с применением рециклированного щебня из дробленого бетона исследуемых серий по классам прочности на сжатие

Номер состава	Содержание рециклированного щебня в крупном заполнителе, %	Расход материалов на 1 м ³ бетона						ВЛЦ	Осадка конуса, см	Средняя плотность смеси, кг/м ³		
		цемент, кг	щебень фракции 5...20 мм, кг		песок природный, кг	суперпластификатор С-3					вода, л	
			природный	рециклированный		сухое вещество, кг	10-процентный раствор, кг				всего	в т.ч. в растворе С-3
На рециклированном щебне из дробленого бетона серии 1												
1	0	414	1223	0	648	2,48	24,9	152	22	0,367	7	2437
2	20	420	982	224	656	2,52	25,2	163	23	0,389	7	2446
3	30	417	836	331	652	2,50	25,1	166	23	0,399	8	2403
4	40	416	727	442	650	2,50	25,0	171	23	0,411	7,5	2406
На рециклированном щебне из дробленого бетона серии 2												
1	0	419	1237	0	655	2,51	25,2	154	23	0,367	6,5	2465
2	20	423	990	227	661	2,54	25,4	164	23	0,387	6,5	2464
3	30	427	856	339	668	2,56	25,7	169	23	0,396	6,5	2459
4	40	415	726	443	650	2,49	24,9	169	22	0,407	6,5	2402
На рециклированном щебне из дробленого бетона серии 3												
1	0	416	1228	0	651	2,50	25,0	153	23	0,367	7,5	2448
2	20	420	982	226	656	2,52	25,2	162	23	0,385	6,5	2446
3	30	418	837	333	653	2,51	25,1	164	23	0,393	7	2406
4	40	415	726	446	650	2,49	24,9	167	22	0,403	8	2403

Табл. 8. Прочность на сжатие и средняя плотность бетона с применением в составе смешанного крупного заполнителя рециклированного щебня из дробленого бетона различных классов по прочности на сжатие

Номер состава	Содержание рециклированного щебня в смешанном крупном заполнителе	Расход цемента на 1 м ³ бетона, кг	В/Ц	Прочность на сжатие бетона, МПа			Средняя плотность бетона, кг/м ³		
				после ТВО	через 7 сут после ТВО	через 28 сут после ТВО	после ТВО	через 7 сут после ТВО	через 28 сут после ТВО
На рециклированном щебне из дробленого бетона серии 1									
1	0	414	0,367	35,63	42,75	52,25	2430	2409	2405
2	20	420	0,389	34,20	41,52	49,88	2418	2402	2385
3	30	417	0,399	31,35	39,90	45,60	2392	2370	2365
4	40	416	0,411	30,88	38,00	45,13	2389	2368	2353
На рециклированном щебне из дробленого бетона серии 2									
1	0	419	0,367	39,29	48,83	57,00	2465	2436	2403
2	20	423	0,387	38,76	48,64	53,39	2444	2438	2408
3	30	427	0,396	38,00	47,50	52,25	2440	2428	2399
4	40	415	0,407	34,68	43,70	45,60	2396	2375	2382
На рециклированном щебне из дробленого бетона серии 3									
1	0	416	0,367	39,88	48,96	59,12	2436	2414	2417
2	20	420	0,385	39,14	46,27	55,77	2449	2432	2408
3	30	418	0,393	35,63	45,46	54,63	2382	2365	2360
4	40	415	0,403	33,44	42,75	52,54	2382	2360	2343

При этом их увеличение было одинаковым для рециклированного щебня всех трех исследуемых серий и в зависимости от его содержания составило: при содержании 20 % – 6,5 %, при содержании 30 % – 8,5 %, при содержании 40 % – 12,5 %. Это увеличение было обусловлено влиянием повышенного по сравнению с гранитным щебнем водопоглощения рециклированного щебня с остатками пористой растворной части на его зернах: по нашим данным, для рециклированного щебня величина водопоглощения составляла 4,8...5,5 % против 1...1,5 % для гранитного щебня. Наличием на зернах этого щебня остатков растворной части, характеризующейся пониженной сред-

ней плотностью, обусловлено также и некоторое снижение средней плотности бетонных смесей – до 2,6 %.

Анализ приведенных в табл. 8 результатов испытания на сжатие образцов-кубов 10×10×10 см из бетонов исследованных составов свидетельствует о том, что при замене природного гранитного щебня рециклируемым щебнем из дробленых бетонов всех трех серий наблюдается снижение прочности на сжатие как после ТВО, так и в возрасте 7 и 28 сут после нее.

В табл. 9 приведены данные по величине этого снижения по сравнению с бетоном на природном гранитном щебне.

Табл. 9. Величина снижения прочности на сжатие бетона на смешанном заполнителе

Серия	Содержание рециклированного щебня в смешанном крупном заполнителе	Снижение прочности на сжатие бетона на смешанном крупном заполнителе по сравнению с прочностью бетона на природном гранитном щебне, %		
		после ТВО	через 7 сут после ТВО	через 28 сут после ТВО
1	20	4,0	2,9	4,5
	30	12,0	6,7	12,7
	40	13,3	11,1	13,6
2	20	1,4	0,4	6,3
	30	3,3	2,7	8,3
	40	11,7	10,5	20,0
3	20	1,9	5,5	5,7
	30	10,7	7,1	7,6
	40	16,2	12,7	11,1

Из табл. 9 видно, что прямой зависимости величины снижения прочности бетона с применением рециклированного щебня из дробленого бетона от прочности утилизированного бетона не наблюдается. Вместе с тем, такая зависимость прослеживается при сравнении значений прочности бетонов, приведенных в табл. 8, при одинаковых содержаниях рециклированного щебня из дробленого бетона исследуемых серий. Из этого сравнения видна явно выраженная тенденция к увеличению прочности на сжатие бетона при использовании рециклированного щебня из более прочного бетона.

Сравнение экспериментальных значений прочности на сжатие исследуемых бетонов в возрасте 28 сут [3, приложение А] после ТВО с указаниями, приведенное в табл. 10, позволяет установить достигаемые классы по прочности на сжатие бетонов на смешанном щебне в зависимости от содержания в нем рециклированного щебня.

Заключение

1. Показано, что применение взамен части природного гранитного щебня в составе смешанного крупного заполнителя рециклированного щебня из дробленого бетона исследуемых классов по прочности на сжатие обеспечивает получение бетонов классов С 28/35...С 32/40 по прочности на сжатие.

Табл. 10. Достижимые классы по прочности на сжатие бетонов на смешанном крупном заполнителе

Серия	Содержание рециклированного щебня в смешанном крупном заполнителе	Класс бетона по прочности на сжатие в соответствии с СТБ 1544
1	0	С 32/40
	20	С 30/37
	30	С 28/35
	40	С 28/35
2	0	С 35/45
	20	С 32/40
	30	С 32/40
	40	С 28/35
3	0	С 35/45
	20	С 32/40
	30	С 32/40
	40	С 32/40

2. Применение рециклируемого щебня из бетона более высоких классов по прочности на сжатие обеспечивает получение вторичного бетона с более высокой прочностью на сжатие: при использовании рециклируемого щебня из бетона классов С 16/20...С 25/30 и С 28/35...С 35/45 обеспечивается получение бетона класса С 32/40 по прочности на сжатие.

3. Для обеспечения требуемых характеристик бетона с применением рециклируемого щебня важнейшим условием является сортировка отходов бетона и железобетона, предназначенных для их переработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бирик, М. С. Исследование физико-механических характеристик заполнителей из дробленого бетона / М. С. Бирик, И. И. Тулупов // Строительная наука и техника. – 2008. – № 3. – С. 27–31.
2. Бирик, М. С. Исследование влияния заполнителей из дробленого бетона на свойства бетонной смеси и бетона / М. С. Бирик, И. И. Тулупов // Строительная наука и техника. – 2008. – № 4. – С. 10–17.
3. СТБ 1544-2005. Национальный комплекс нормативно-технических документов в строительстве. Государственный стандарт Республики Беларусь. Бетоны конструкционные тяжелые. Технические условия. – Введ. 01.07.05. – Минск : М-во архитектуры и стр-ва, 2005. – 20 с.

ОАО «Завод сборного железобетона № 1»
Белорусско-Российский университет
Материал поступил 19.04.2010

M. S. Bibik, S. D. Semenyuk
The influence of physicomchanical characteristics of recycled crushed stone made from broken concrete of different grades according to its compressive strength on the properties of concrete mix and concrete

The paper gives the results of experimental researches into the physicomchanical characteristics of recycled crushed stone made from the broken concrete of three grades according to its compressive strength – С 12/15 and less, С 16/20...С 25/30, С 28/35...С 35/45, which is used in concrete as coarse aggregate instead of some part of natural crushed stone, and its influence on the properties of concrete mix and concrete. The rational area of the application of such crushed stone is defined depending on the strength of the processed concrete. The idea of the necessity of preliminary sorting of utilized concrete and reinforced concrete wastes before their processing is emphasized.