

УДК 666.972.125

С. И. ЧУРСИН, А. В. ПОЗДНЯКОВ

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**ТЯЖЕЛЫЕ БЕТОНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННОГО
МЕЛКОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ ИЗ ЛОМА БЕТОНА**

Аннотация. Разработан состав комбинированного мелкого заполнителя. Проведены исследования по изучению эффективности включения фракции 5 мм в состав заполнителя для мелкозернистого бетона. Рассчитаны оптимальные составы мелкозернистых бетонов с использованием комбинированного заполнителя. Определены реологические свойства бетонной смеси и физико-механические характеристики бетонов на комбинированном заполнителе.

Ключевые слова: комбинированный мелкий заполнитель, пространственный каркас, состав бетона, удобоукладываемость, режим тепловлажностной обработки, средняя плотность, водопоглощение, прочность бетона.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Анализ последних исследований и публикаций свидетельствует о том, что вопрос использования вторичных сырьевых ресурсов, а именно бетонного лома, вызывает определенный интерес, так как обеспечивает расширение сырьевой базы заполнителей. Как показали результаты проведенных в [1] исследований, при использовании мелкого заполнителя из отсева лома бетона в бетонных смесях с В/Ц = 0,4 зафиксировано снижение показателя прочностных характеристик бетонов на гранитном щебне до 20 %, на известняковом щебне до 25 %.

Установлено, что с учетом качества формы зерен, крупный и мелкий заполнитель из лома бетона уступает природному. В результате снижаются средняя и насыпная плотность заполнителей на 8...12 % по сравнению с природными. Также средняя плотность тяжелого бетона на основе заполнителей из лома бетона составляет не более 2 300 кг/м³, при требовании стандарта 2 450 кг/м³ [2].

Следует отметить что особенностью заполнителя из лома бетона является его повышенное водопоглощение, что отражается на удобоукладываемости бетонной смеси и на формировании структуры бетона. Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что при использовании такого заполнителя необходимо увеличивать расход воды на 9...11 % с целью сохранения заданной удобоукладываемости [3].

Общеизвестным преимуществом заполнителя из лома бетона является то, что на его поверхности формируются новообразования в виде гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция. Таким образом, при получении заполнителей из бетонного лома путем дробления происходит разрушение образованной структуры с появлением новых химически активных поверхностей как заполнителей, так и цементного камня, негидратированная часть которого может подвергаться дальнейшей гидратации, выступая в процессе структурообразования в качестве зародышей центров кристаллизации [4].

Известно, что мелкозернистый бетон относится к классу тяжелых бетонов и представляет собой рационально подобранный состав из вяжущего и мелкого заполнителя, имеющий среднюю плотность от 2 100 до 2 300 кг/м³. В качестве основного недостатка мелкозернистого бетона следует выделить повышенный расход вяжущего, связанный с применением очень мелкого песка с модулем крупности до $M_{кр} = 1,5$, что также приводит к ухудшению физико-механических характеристик бетона [5].

В результате введения в состав природного мелкого заполнителя отсева лома бетона фракций 0,315, 0,63, 1,25, 2,50 мм достигается повышение качества гранулометрического состава, который соответствует требованиям стандарта [3]. Введение в состав мелкого заполнителя щебеночной фракции размером 5 мм должно отразиться на свойствах бетонной смеси, предполагается, что фракции 2,5 и 5 мм обеспечат формирование каркасообразующей структуры, что приведет к сокращению расхода, вяжущего на 20...25 % при сохранении физико-механических характеристик бетона.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основной целью исследования является разработка мелкозернистых бетонов с использованием комбинированного заполнителя, состоящего из песчаной и мелко-щебеночной фракции с заданными физико-механическими характеристиками. Оптимизировать состав комбинированного заполнителя с целью эффективного использования лома бетона с достижением необходимого качества и прочности мелкозернистого бетона.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для проведения исследований были использованы следующие материалы: природный мелкий заполнитель Краснополянского месторождения и тяжелый бетон класса В20, В30 и В40 в виде образцов-кубов со стороной 10 см, которые хранились в естественных условиях в течение 10–15 лет (Кб.), также был использован лом бетона, полученный из конструкции возрастом более 30 лет (Жб.). В качестве вяжущего применялся портландцемент марки ПЦ I-500 Н.

Исследования перспективности лома бетона в качестве крупного и мелкого заполнителя в мелкозернистом бетоне были условно разделены на такие этапы: исследование свойств комбинированного заполнителя, изготовление мелкозернистых бетонов с последующим определением физико-механических характеристик бетона и в дальнейшем исследования влияния фракции размером 5 мм на свойства мелкозернистого бетона.

Исходный материал из лома бетона для комбинированного заполнителя был получен в результате разрушения бетонных образцов на прессе с определением R_b и двухстадийного дробления с последующим рассевом на фракции 2,5; 1,25; 0,63; 0,315 мм. Фракции размером 0,16 мм и менее были исключены поскольку ухудшают подвижность бетонной смеси, снижают прочностные характеристики, а также увеличивают усадочные деформации бетона.

Для повышения качества природного мелкого заполнителя осуществлялся промыв песка с удалением глинистой составляющей, содержание которой превышает 12 %. В результате был получен песок с $M_{кр} = 1,36$, что не соответствует требованиям, предъявляемым к гранулометрическому составу. Мелкий заполнитель, получаемый из лома бетона, характеризуется повышенным содержанием фракции 2,5 мм, что также свидетельствует о несоответствии. Для приведения гранулометрического состава мелкого заполнителя в соответствие со стандартом была применена смесь мелкого песка и отсева лома бетона в соотношении 60/40 %. В таблице 1 приведен гранулометрический состав предложенного мелкого заполнителя для мелкозернистого бетона.

Таблица 1 – Состав мелкого заполнителя для мелкозернистого бетона

№ сита, мм	Мелкий песок		Отсев лома бетона		Доля каждой фракции, %		Скорректированный состав	
	ai, %	Ai, %	ai, %	Ai, %	Песок	Отсев	ai, %	Ai, %
2,5	0,0	0,0	62,0	62,0	0,0	23,4	24,8	24,8
1,25	0,0	0,0	7,4	69,4	0,0	3,0	2,9	27,8
0,63	2,6	2,6	12,9	82,4	0,0	6,4	5,2	32,9
0,315	34,0	36,6	17,8	100,0	20,4	7,6	27,5	60,5
0,16	66,0	100,0	0,0	0,0	39,6	0,0	39,6	100,1
Мкр		1,36	Мкр	3,07	Сумма	100	100	2,48

График представленный на рисунке 1а свидетельствует что фракционирование комбинированного заполнителя позволило поместить кривую гранулометрического состава в рекомендованные стандартом рамки.

Расчет составов мелкозернистого бетона был выполнен для получения марки М400. В рамках исследований физико-механических характеристик мелкозернистых бетонов были изучены такие

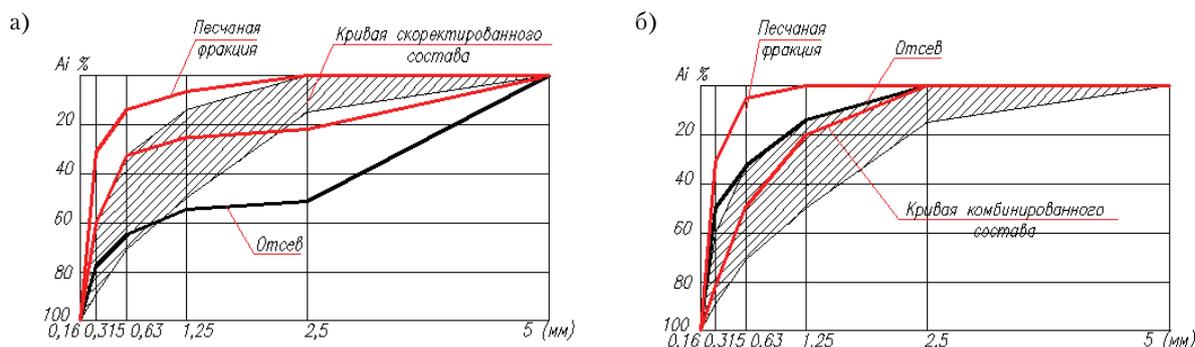


Рисунок 1 – Гранулометрический состав: а) комбинированный заполнитель, б) песчаный компонент заполнителя для комбинированного заполнителя.

факторы: происхождение материала, возраст исходного бетона, $M_{кр}$. Контроль прочности бетона осуществился на 7, 14 и 28 сутки, образцы твердели при влажности 90 % и температуре 20 ± 2 °С. Результаты испытаний приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Прочностные характеристики мелкозернистых бетонов

№	Компоненты заполнителя	Удобоукладываемость, см	Прочностные при сжатии, МПа		
			7 сутки	14 сутки	28 сутки
1	Мелкий песок + отсев дробленного лома бетона (Кб), $M_{кр} = 2,5$	2	26,6	38,9	41,0
2	Мелкий песок + отсев дробленного лома, (Жб), $M_{кр} = 2,5$	4	31,2	36,2	40,1
3	Мелкий песок, $M_{кр} = 1,34$	1	17,17	19,22	29,1
4	Мелкий песок + отсев дробленного щебня, $M_{кр} = 2,5$	4	27,6	30,9	34,5

Динамика изменения прочности (рис. 2) свидетельствуют о том, что составы бетона с использованием комбинированного мелкого заполнителя, содержащего отсев лома бетона набрали 100 % марочной прочности. Фактически составы бетона 1 и 2 не отличаются по показателю прочности. При

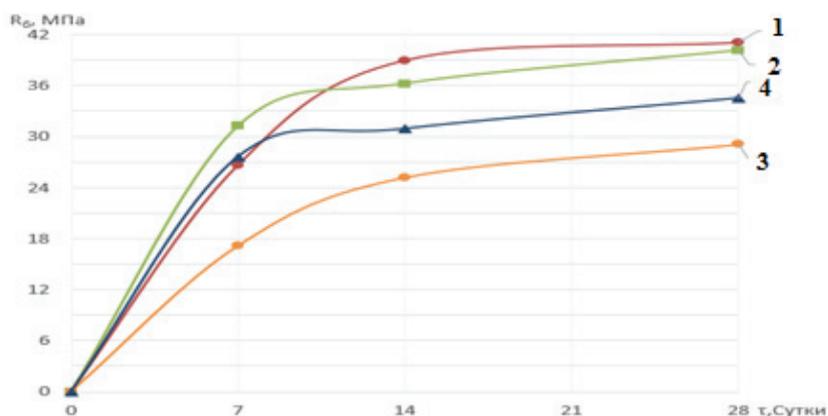


Рисунок 2 – Скорость набора прочности различных составов мелкозернистых бетонов.

этом образцы с использованием заполнителя, содержащего отсев лома бетона, набрали прочность на 17 % выше, чем образцы на основе отсева дробления гранитного щебня. Важным показателем эффективности проведенной научно-исследовательской работы является то, что образцы бетона на основе мелкого природного песка набрали только 72 % от марочной прочности, что подтверждает факт негативного влияния мелких фракций песка на показатель прочности бетона, и это свидетельствует о целесообразности введения в состав мелкого заполнителя более крупных фракций лома

бетона (5 мм). Также удалось достичь снижения расхода портландцемента на 8 % за счет повышения модуля крупности с 1,36 до 2,45.

На основе полученных результатов, было выдвинуто предположение, что введение в состав мелко-го заполнителя щебеночной фракции размером 5 мм должно отразиться на свойствах бетонной смеси, предполагается что фракции 2,5 и 5,0 мм обеспечат формирование каркасообразующей структуры, что приведет к сокращению расхода вяжущего на 20...25 % при сохранении физико-механических характеристик бетона.

Рассматривая реальный состав мелкого комбинированного заполнителя, установлено что содержание фракции 2,5 мм незначительно превышает допустимое, 24,8 %, при требовании не более 17 %. Таким образом, предпочтительно было бы отнести фракцию размером 2,5 мм к «мелко-щебеночной», добавив фракцию 5 мм для получения полноценной модели двухфракционной каркасообразующей системы, подобной крупному заполнителю. Рекомендуются соотношения фракций 2,5/5 мм – 60/40 %. В результате предлагаемой трансформации комбинированного мелкого заполнителя удалось достичь повышения качества гранулометрического состава, характеризующегося $M_{кр} = 2,5$, о чем свидетельствует таблица 3 и рисунок 16.

Таблица 3 – Состав мелкого комбинированного заполнителя

№ сита, мм	Мелкий песок		Отсев лома бетона		Доля каждой фракции, %		Скорректированный состав	
	ai, %	Ai, %	ai, %	Ai, %	Песок	Отсев	ai, %	Ai, %
2,5	0,0	0,0	62,0	62,0	0,0	0,0	0,0	0,00
1,25	0,0	0,0	7,4	69,4	0,0	19,9	20,0	20,0
0,63	2,6	2,6	12,9	82,4	0,0	27,9	28,0	48,0
0,315	34,0	36,6	17,8	100,0	27,9	7,1	35,0	83,0
0,16	66,0	100,0	0,0	0,0	17,0	0,0	17	100,0
Мкр		1,36	Мкр	3,07	Сумма	100	Мкр	2,50

Поскольку в состав заполнителя вводится фракция размером 5 мм, для корректности расчет производился в соответствии с ГОСТ 27006-14 «Бетоны. Правила подбора состава бетона». Состав бетона рассчитывался для бетона марки М400. В расчете состава бетона были учтены такие факторы, как:

1. При снижении максимального размера зерен крупного заполнителя происходит увеличение ориентировочного расхода воды на 6...8 %, для сохранения заданной удобоукладываемости.

2. Многие источники, а также экспериментальные данные утверждают о том, что щебень из лома бетона имеет повышенное водопоглощение, это приводит к увеличению расхода воды при приготовлении бетона, для устранения данного недостатка ориентировочный расход воды следует увеличить на 9...11 %.

В результате расход воды возрос на 16 %, с 200 до 234 л/м³, что привело к увеличению расхода портландцемента и увеличению себестоимости бетона. Для устранения данного недостатка в состав бетона вводился суперпластификатор СЗМ, действие которого было направлено на возвращение расхода воды в рекомендованные рамки, а также повышение подвижности бетонной смеси. Суперпластификатор вводился в бетонную смесь в виде 25 % водного раствора в количестве от 0,5 до 0,8 % от массы портландцемента. В/Ц бетонной смеси принято равное 0,5. С целью оценки эффективности действия на прочность бетона мелко-щебеночных фракций 2,5 и 5 мм из лома бетона, были исследованы также составы с мелко-щебеночной фракцией из гранита. Образцы твердели при тепловлажностной обработке по режиму 3 + 6 + 2 ч при температуре 80±5 °С, а также при естественном твердении в течение 28 суток. Данные по компонентам смеси, а также результаты испытаний исследуемых составов приведены в таблице 4 и графике 3.

Исследования прочностных характеристик бетона показали:

1. Состав с использованием щебня из лома бетона без применения добавок фактически не уступает идентичному составу на гранитном щебне и имеет прочность при сжатии выше на 7 %, что связано с повышенным расходом вяжущего, что свидетельствует о необходимости применения суперпластификатора для снижения расхода портландцемента. При сравнении составов 2 и 5 установлено, что при применении суперпластификатора с дозировкой 0,5 % и расходом цемента равном 420 кг/м³ прочность образцов с применением щебня из лома бетона выше на 10 %, чем у образцов на гранитном

Таблица 4 – Компоненты составов и физико-механические характеристики бетона

№	Компоненты бетонной смеси							Подвижность, см	Прочность при сжатии		
	Щебень из:	Мелкий заполнитель	Ц, кг	М.З, кг	Щ, кг	В, л	СЗМ, %		ТВО		28 суток
									МПа	%	
1	лома бетона	Мелкий песок + отсев лома бетона	458	567	955	234	–	П1, 2 см	29,6	74,0	41,8
2			420	644	957	203	0,5	П1, 3 см	31,1	75,7	44,7
3			420	644	957	208	0,8	П2, 7 см	34,8	87,0	42,6
4	гранита	Мелкий песок	420	566	1 117	215	–	П2, 6 см	26,9	67,2	39,0
5			420	590	1 118	209	0,5	П2, 6 см	29,4	73,0	40,6
6	гранита	Мелкий песок	420	567	1 117	215	–	П1, 1 см	22,3	55,7	34,7
7			420	600	1 118	209	0,5	П2, 6 см	25,0	62,5	36,6

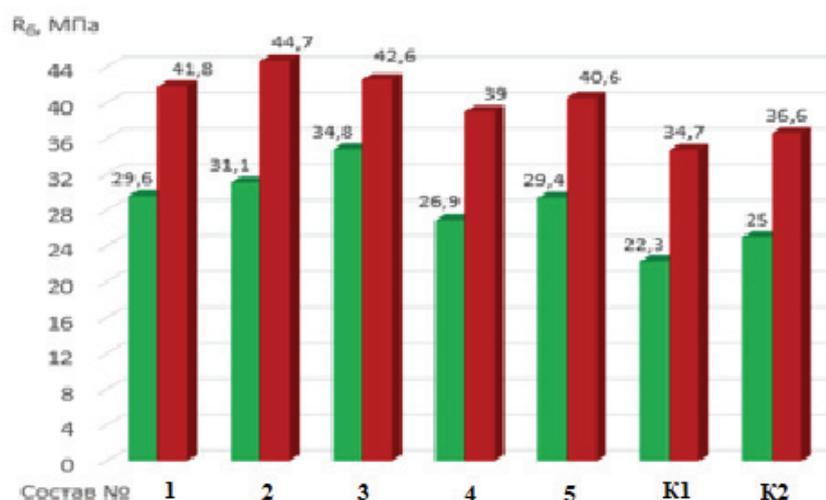


Рисунок 3 – Сравнительный анализ прочности мелкозернистого бетона.

щебне. Также следует отметить, что составы бетона на мелком песке набрали прочность ниже на 20 %, чем у бетона на основе комбинированного мелкого заполнителя. Полученные результаты свидетельствуют о том, что заполнитель из лома бетона является активным участником процесса твердения, выступая в качестве центров кристаллизации.

2. Применение суперпластификатора СЗМ в количестве 0,5 % от массы цемента позволило снизить расход воды, увеличение которого связано с повышенной шероховатостью поверхности щебня из лома бетона, при этом прочность бетона с применением СЗМ оказалась на 7 % выше при естественном твердении. Следует также отметить, что введение суперпластификатора в количестве 0,8 % обеспечило более высокую подвижность ($OK = 7$ см), более высокую скорость набора прочности в начальный период твердения, однако прочность при естественном твердении на 28 суток оказалась ниже на 5 %, чем у состава 2 (СЗМ = 0,5 %).

ВЫВОД

Исследования подтвердили целесообразность использования мелкого комбинированного заполнителя и «мелко-щебеночной» фракции (2,5...5,0 мм) в бетонах в сочетании с суперпластификатором СЗМ (в количестве 0,5 % от массы цемента). В результате предложенные составы мелкозернистых бетонов характеризуются достаточно высокой прочностью при сжатии (на 7...12 % выше, чем у контрольных образцов), при этом обеспечено снижение расхода вяжущего на 28 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кальгин, А. А. Эффективность использования дробленого бетона в производстве бетонных и железобетонных изделий [Текст] / А. А. Кальгин, М. А. Фахратов // СРІ Международное бетонное производство. – 2007. – № 5. – С. 162–163.

2. Гусев, Б. В. Вторичное использование бетонов [Текст] / Б. В. Гусев, В. А. Загурский. – Москва : СИ, 1988. – 95 с.
3. Чурсин, С. И. Повышение качества мелкого заполнителя получаемого, из отсева дробленого бетона [Текст] / С. И. Чурсин, А. В. Поздняков // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2016. – Вып. 2016-3(119) Здания и сооружения с применением новых материалов и технологий. – С. 93–97.
4. Коровкин, М. О. Использование дробленого бетонного лома в качестве заполнителя для самоуплотняющегося бетона [Текст] / М. О. Коровкин, А. И. Шестернин, Н. А. Ерошкина // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 3. – С. 85–96.
5. Липей, О. А. О прочности на сжатие бетона на заполнителях из дробленого бетона [Текст] / О. А. Липей // Новые исследования по технологии, расчету и конструированию железобетонных конструкций. – М. : НИИЖБ Госстроя СССР, 1980. – С. 112.

Получено 19.05.2018

С. І. ЧУРСИН, О. В. ПОЗДНЯКОВ
ВАЖКІ БЕТОНИ З ВИКОРИСТАННЯМ МОДИФІКОВАНОГО ДРІБНОГО
ЗАПОВНЮВАЧА З БРУХТУ БЕТОНУ
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Розроблено склад комбінованого дрібного заповнювача. Проведені дослідження з вивчення ефективності включення фракції 5 мм до складу заповнювача для дрібнозернистого бетону. Розраховані оптимальні склади дрібнозернистих бетонів з використанням комбінованого заповнювача. Визначено реологічні властивості бетонної суміші та фізико-механічні характеристики бетонів на комбінованому заповнювачі.

Ключові слова: комбінований дрібний заповнювач, просторовий каркас, склад бетону, легкоукладальність, режим тепловологісної обробки, середня густина, водопоглинання, міцність бетону.

CHURSIN SERGEY, ALEXANDR POZDNYAKOV
HEAVY CONCRETE WITH THE USAGE OF A MODIFIED FINE AGGREGATE
FROM SCRAP CONCRETE
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The composition of the combined fine aggregate is developed. Researches on studying of efficiency of inclusion of fraction of 5 mm in structure of filler for fine-grained concrete are carried out. Optimum compositions of fine-grained concrete with the use of the combined filler are calculated. Rheological properties of concrete mix and physical and mechanical characteristics of concrete on the combined filler are defined.

Key word: combined fine aggregate, spatial frame, concrete composition, workability, mode of heat-and-moisture treatment, medium density, water absorption, strength of concrete.

Чурсин Сергей Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: переработка промышленных отходов в строительные материалы.

Поздняков Александр Валериевич – магистрант кафедры технологии строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: применение лома бетона как техногенного сырья в качестве заполнителя для бетонов.

Чурсін Сергій Іванович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: переробка промислових відходів у будівельні матеріали.

Поздняков Олександр Валерійович – магистрант кафедри технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: застосування брухту бетону як техногенної сировини в якості заповнювача для бетону.

Chursin Sergey – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: processing of industrial wastes in building materials.

Pozdnyakov Alexandr – Master's degree student, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: the use of scrap concrete waste as aggregate for concrete.