

УДК 666.972.125

**С. И. ЧУРСИН, А. В. ПОЗДНЯКОВ**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## **ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА МЕЛКОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ, ПОЛУЧАЕМОГО ИЗ ОТСЕВА ДРОБЛЕННОГО БЕТОНА**

Дан анализ перспективы использования песчаных фракций из отсева дробленного бетона. Изучены различные факторы влияния на свойства мелкого заполнителя при производстве бетонов. Выполнена оценка качества мелкозернистой смеси по гранулометрическому составу. Приведены составы мелкозернистого бетона и обоснованы способы повышения качества мелкого заполнителя. Показано, что песчаная фракция из отсева дробленного бетона имеет перспективы применения в строительстве в качестве мелкого заполнителя.

**отсев дробленного бетона, активация цементных структур, водопоглощение, зерновой состав песка, мелкозернистый бетон**

### **ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Переработка некондиционных железобетонных конструкций, в том числе различных сооружений, пришедших со временем в негодность, является весьма актуальной проблемой. В результате ступенчатого дробления бетонного лома происходит разрушение кусков с образованием крупных фрагментов (щебня фракции 5...20 мм), а также мелких и пылевидных частиц, называемый отсевом, который представляет интерес как мелкий заполнитель.

Мелкий заполнитель из отсева, как правило, состоит из смеси частиц песка, измельченных частиц щебня, а также частиц цементного камня, состоящего из гидратированной и негидратированной части, которая может быть потенциально активной составляющей. Такой мелкозернистый заполнитель характеризуется рядом особенностей свойств: неоднородностью исходного материала по прочности, неоптимальным зерновым составом, повышенной шероховатостью поверхности и т. д., что существенно сдерживает широкое его использование в технологии бетонных и железобетонных конструкций.

Управляемое изменение качества мелкого заполнителя из отсева путем оптимизации зернового состава и рациональное использование имеющихся свойств, обеспечивающих эффективность материала, позволит существенно повысить, соответственно, и качество бетонов, расширить область их применения, а также решить проблему ресурсосбережения вторичного сырья.

**Анализ последних исследований и публикаций** свидетельствует о том, что вопрос использования вторичных сырьевых ресурсов, а именно бетонного лома, вызывает определенный интерес, связанный с увеличением количества таких ресурсов. Анализ экспериментальных данных как отечественных, так и зарубежных исследователей, показал некоторое ухудшение технологических и эксплуатационных свойств обычных бетонов на заполнителях, полученных из дробленного бетонного лома.

Отмечается также, что эффективность применения дробленного бетона в качестве крупного заполнителя, в целом, не вызывает сомнения. Это связано с тем, что гранитный заполнитель, как крупный заполнитель, практически не изменяет свои свойства, несмотря на длительный период эксплуатации. Однако использование мелких фракций дробленного бетона в качестве мелкого заполнителя, содержание которого может составлять до 30...40 %, вызывает некоторые опасения, связанные с явно ухудшенными свойствами.

Так, при замене мелкого кварцевого природного песка аналогичным заполнителем из дробленного бетона при  $V/Ц = 0,65$  прочность снижается в среднем на 20 % для бетона на вторичном гранитном

и на 25 % для бетона на вторичных известняковых заполнителях. При этом существенно ухудшается удобоукладываемость бетонных смесей [1].

Как известно, структура такого крупного и мелкого заполнителя включает в себя контактную зону между исходным зерном заполнителя и цементным камнем – наиболее слабую по прочности, высокопористую и поэтому наименее долговечную систему в структуре бетона. На мелких фракциях вторичного заполнителя количество цементного камня после дробления остается большее, например у частиц размером до 1 мм количество цементного камня достигает более 50 %, тогда как на вторичном крупном заполнителе этот показатель составляет 20...25 % [2].

Следует отметить, что особенностью заполнителей из бетонного лома является то, что на поверхности частиц формируются новообразования в виде гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция, портландита, этtringита, карбонатов кальция и др. минералов, которые имеют сплошную оболочку из цементного камня. Считается, что эта оболочка обладает пористостью, что приводит к повышенному водопоглощению заполнителей. Таким образом, при получении заполнителей из бетонного лома путем дробления происходит разрушение образованной структуры с образованием новых химически активных поверхностей цементного камня, негидратированная часть которого может подвергаться дальнейшей гидратации. Входящие в состав молотого дробленого бетона тонкодисперсные карбонаты кальция (25...30 %  $\text{CaCO}_3$  по массе) играют роль микровключений в матричном материале, образуют каркас и помогают создавать прочную «микробетонную» структуру. Выступая в качестве зародышей, центров кристаллизации в процессе структурообразования, карбонаты имеют существенное положительное влияние на физико-химические процессы твердения бетона [3].

Заполнители, обладающие повышенной водопотребностью и водопоглощением, активно влияют на формирование структуры бетонной смеси и бетона. Заполнители в бетонной смеси, имея значительную пористость, сначала поглощают воду из бетонной смеси. При этом изменяются реологические свойства смеси вследствие перераспределения воды между твердой, жидкой и газообразной фазами. В дальнейшем, при образовании капиллярно-пористой структуры цементного камня, происходит обратная миграция воды из пор заполнителя в твердеющий цементный камень [2].

Таким образом, мелкий заполнитель из лома бетона может оказывать активное влияние на формирование структуры, что подтверждает предположение о целесообразности его использования в составе бетонов.

### ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основной целью исследований является повышение качества мелкого заполнителя, полученного из отсева дробленного бетона. Для решения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: оценить свойства мелких заполнителей, получаемых в результате дробления бетонного лома, оптимизировать состав мелкого заполнителя из отсева дробленного бетонного лома; предложить способы корректировки состава мелкозернистой смеси.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для проведения исследований были использованы следующие материалы: природный мелкий заполнитель Краснополянского месторождения и тяжелый бетон классов В15, В20 и В30 в виде образцов – кубов с размером ребра 10 см, которые хранились в естественных условиях в течение 10–15 лет.

При дроблении бетонных образцов как прототипе бетонного лома, кроме крупного заполнителя, образуются также и мелкозернистые фракции – отсев дробления. Количество таких частиц зависит от реальной прочности структуры бетона и составляет 18, 21 и 30 %, соответственно для бетонов класса В15, В20 и В30. Как показали результаты испытаний, реальная прочность бетонов классов (марок) В15 (М200), В20 (250), и В30 (400) по истечении времени составляет 26, 33 и 53 МПа, соответственно. Отсев дробления представляет собой частицы, состоящие из обломков зерен гранитного щебня и мелкозернистого заполнителя, а также мелких частиц цементного камня.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что в бетонах невысоких марок разрушение происходит в большей мере по зоне контакта крупного заполнителя и цементного камня, что повышает процент выхода крупных фракций. Высокомарочный бетон дробится несколько иначе – с разрушением всех составляющих бетона, что приводит к увеличению количества мелкозернистых, цементно-песчаных и цементных структур до 30 %. Характерным является тот факт, что в отсевах появляются частицы,

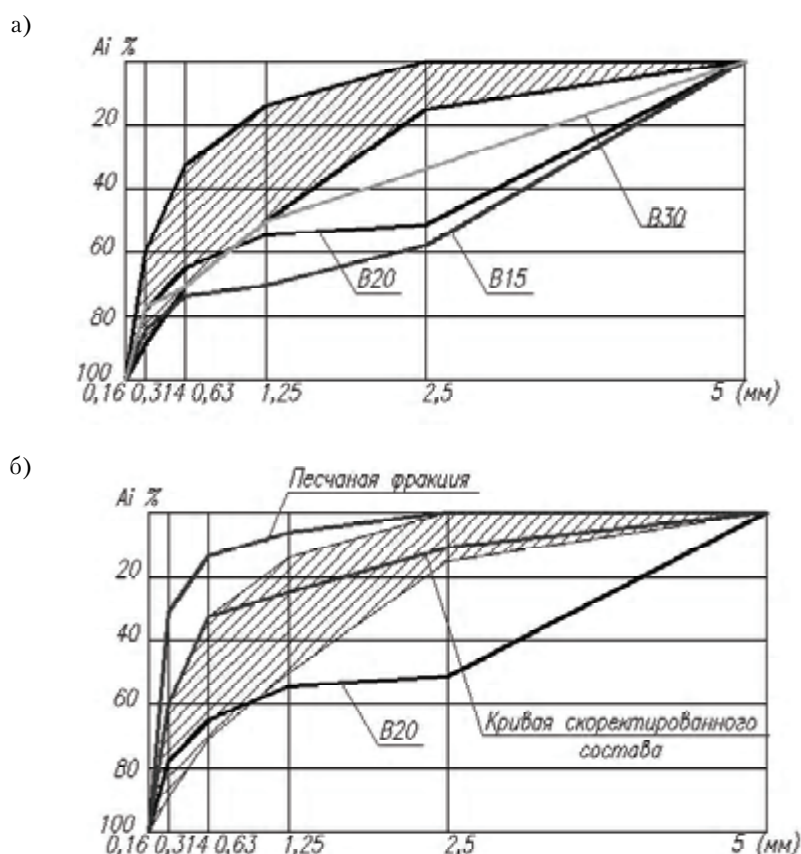
контролируемые ситом № 2,5 в количестве до 59 % для бетона марки 200 и для марки 400, соответственно 36 %.

Из анализа гранулометрического состава мелкого заполнителя, полученного из отсева, следует, что на сите № 2,5 находится значительно большее количество частиц, чем это допускают нормы – не более 18 %. Такой состав мелкого заполнителя не является качественным для использования в бетонах, относится к крупным пескам и требует корректировки, путем добавления мелкого песка (табл. 1).

**Таблица 1** – Гранулометрический состав и удельная поверхность мелкого заполнителя

№ сита, мм	Марка 200 ( $R_6 = 26$ МПа)			Марка 250 ( $R_6 = 33$ МПа)			Марка 400 ( $R_6 = 53$ МПа)		
	$a_i$ , %	$A_i$ , %	$S_{пов}$ , $см^2/г$	$a_i$ , %	$A_i$ , %	$S_{пов}$ , $см^2/г$	$a_i$ , %	$A_i$ , %	$S_{пов}$ , $см^2/г$
2,5	59	59	3,67	51,7	51,7	3,21	36	36	2,24
1,25	11	70	3,2	2,0	53,7	5,88	2	38	0,58
0,63	2	72	20,9	10,5	64,2	10,45	22	60	22,99
0,315	13	85	54,4	14,5	78,9	60,79	17	77	71,24
0,16	15	100	248,18	21,1	100	347,46	23	100	380,55
$M_{кр} = 3,86$			$M_{кр} = 3,48$			$M_{кр} = 3,11$			

Следует также отметить, что структурная прочность бетонного лома оказывает влияние на зерновой состав мелкого заполнителя. Так, при увеличении структурной прочности, при сравнении марок 200 и 400, показатель модуля крупности уменьшается с  $M_{кр} = 3,86$  до  $M_{кр} = 3,11$ , тем самым несколько улучшая качество мелкого заполнителя. Более наглядно это показано на рис. 1а.



**Рисунок 1** – График гранулометрического состава мелкого заполнителя: а) из отсева дробленного бетона различных марок; б) скорректированный мелким песком.

Известно, что вода является очень важным компонентом в бетонной смеси, обеспечивающая смачивание поверхности всех составляющих, растворение цементных составляющих (имеется ввиду химические реакции гидратации), а также удобоукладываемость смеси. Учитывая тот факт, что количество

воды затворения назначается в начале расчета состава бетона и обосновывается в целом только водопотребностью мелкого заполнителя в зависимости от его модуля крупности, при этом не учитывается пофракционное значение частиц заполнителя. Поэтому представляет интерес такая характеристика, как удельная поверхность частиц, участвующих в процессах смачивания, взаимодействия и др.

Расчетные показатели составов мелкого заполнителя свидетельствуют о том, что наибольшие значения суммарной удельной поверхности имеют частицы наименьшей фракции (сито № 0,16). Причем, чем большее количество этой фракции в смеси, тем больше суммарная величина удельной поверхности. Вполне очевидно, что увеличение суммарной поверхности частиц приводит пропорционально и к увеличению водопотребности смеси.

Как известно, к увеличению водопотребности мелкого заполнителя из отсева дробленного бетона приводит в основном пористость цементных частиц, что требует соответствующей корректировки состава смеси.

Для корректировки состава мелкого заполнителя был выбран кварцевый песок Краснополянского месторождения, который характеризуется как очень мелкий с модулем крупности менее 1,5 (табл. 2). Экспериментальные данные подтвердили принадлежность природного заполнителя к мелкому песку с  $M_{кр} = 1,53$  и характерной особенностью – отсутствием частиц на контрольном сите № 2,5. Так, на рис. 16 наглядно представлены требования к качественному песку по зерновому составу, которые характеризуются  $M_{кр} = 2,1$  и также допускают отсутствие частиц на сите № 2,5.

Таблица 2 – Гранулометрический состав скорректированной смеси из песка и отсева

№ сита, мм	Мелкий песок			Отсев лома бетона М250			Скорректированный состав		
	ai, %	Ai, %	S <sub>пов</sub> см <sup>2</sup> /г	ai, %	Ai, %	S <sub>пов</sub> см <sup>2</sup> /г	ai, %	Ai, %	S <sub>пов</sub> см <sup>2</sup> /г
2,5	0	0	0,0	51,7	51,7	3,21	16,7	16,7	3,84
1,25	5	5	3,8	2,08	53,7	5,88	7,84	24,5	2,17
0,63	13	18	15,68	10,5	64,3	10,45	10	34,5	10,45
0,315	12	30	92,2	14,5	78,8	60,76	21	55,5	88
0,16	70	100	992,74	21,1	100	347,46	44,48	100	728

С целью оптимизации состава мелкого заполнителя из отсева дробленного бетона (выбран класс В20) для улучшения состава был добавлен мелкий природный песок в количестве 60 %.

При такой дозировке природного песка (60 %) и мелкого заполнителя из отсева (40 %) смесь характеризуется сбалансированным зерновым составом и имеет  $M_{кр} = 2,4$ , что соответствует требованиям, предъявляемым к качественному мелкому заполнителю. При использовании мелкого заполнителя из отсева бетона класса В30 добавка природного песка составит примерно 40 %, приводящая к аналогичному повышению качества мелкого заполнителя, что свидетельствует о возможности управления качеством мелкого заполнителя с помощью природного мелкого песка.

Следует отметить, что природный мелкий песок имеет довольно высокую удельную поверхность, что, очевидно, приведет к повышению водопотребности бетонной смеси и, как следствие, к увеличению расхода цемента.

Поэтому для улучшения гранулометрического состава было бы целесообразным исключить фракцию 0,16 мм из природного мелкого песка, что позволило бы увеличить модуль крупности песка, а также существенно снизить удельную поверхность смеси мелких заполнителей. Благодаря этому мог бы значительно сократиться расход воды, что, в свою очередь, снизит расход цемента.

## ВЫВОДЫ

Выполнена оценка свойств мелкого заполнителя из отсева дробления бетонов различных классов, предложены методы корректировки составов с использованием удельной поверхности частиц, позволяющие эффективнее прогнозировать свойства как самого мелкого заполнителя: модуль крупности, зерновой состав, так и свойства бетонной смеси. Оптимизация состава мелкого заполнителя из отсева дробления бетона за счет мелкого природного песка позволит обеспечить требуемые показатели качества, что может оказывать активное влияние на формирование структуры бетона.

## 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. Чистов, Ю. Д. Ячеистый бетон из мелких отсеков дробления бетонного лома – путь к малоотходным технологиям в строительстве [Текст] / Ю. Д. Чистов, М. В. Краснов // Научно-теоретический журнал : Популярное бетоноведение. – 2005. – № 6. – С. 24–29.
3. Коровкин, М. О. Использование дробленого бетонного лома в качестве заполнителя для самоуплотняющегося бетона [Электронный ресурс] / М. О. Коровкин, А. И. Шестернин, Н. А. Ерошкина // Инженерный вестник Дона. – 2015. – Том 37, № 3. – Режим доступа : [http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_31\\_Korovkin.pdf\\_26679ca420.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_31_Korovkin.pdf_26679ca420.pdf).
4. Дворкин, Л. И. Строительные материалы из отходов промышленности [Текст] / Л. И. Дворкин, И. А. Пашков. – К. : Высшая школа, 1989. – 208 с.
5. ГОСТ 7473-2010. Смеси бетонные. Технические условия [Текст]. – Взамен ГОСТ 7473-94 ; введ. 2012-01-01. – М. : Стандартинформ, 2011. – 16 с.

Получено 16.03.2016

### С. І. ЧУРСІН, О. В. ПОЗДНЯКОВ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ДРІБНОГО ЗАПОВНЮВАЧА, ОДЕРЖУВАНОВОГО З ВІДСІВУ ПОДРІБНЕНОГО БЕТОНУ

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Надано аналіз перспективи використання піщаних фракцій з відсіву подрібненого бетону. Вивчені різні фактори впливу на властивості дрібного заповнювача при виробництві бетонів. Виконана оцінка якості дрібнозернистої суміші за гранулометричним складом. Наведено склади дрібнозернистого бетону й обґрунтовано способи підвищення якості дрібного заповнювача. Показано, що піщана фракція з відсіву лому бетону має перспективи застосування в будівництві в якості дрібного заповнювача.

**відсів подрібненого бетону, активація цементних структур, водопоглинання, зерновий склад піску, дрібнозернистий бетон**

### SERGEY CHURSIN, ALEXANDR POZDNYAKOV IMPROVING THE QUALITY OF FINE AGGREGATE OBTAINED FROM CRUSHED CONCRETE SCREENING

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Analysis of the prospects for the use of the sandy fractions from the screening of crushed concrete has been given. The various factors influencing the properties of the fine aggregate in the production of concrete have been studied. The estimation of the quality of a mixture of fine-grained particle size distribution has been carried out. The formulations of fine-grained concrete have been given and substantiated ways to improve the quality of fine aggregate have been proved. It has been shown that the sand fraction from the screening of crushed concrete is promising in application in construction as fine aggregate.

**crushed scrap concrete, the activation of the cement structures, water absorption ability, sand grain size composition, fine grained concrete**

**Чурсін Сергій Іванович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: переробка промислових відходів у будівельні матеріали.

**Поздняков Олександр Валерійович** – студент Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: застосування лому бетону як техногенної сировини в якості заповнювача для бетону.

**Чурсин Сергей Иванович** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: переработка промышленных отходов в строительные материалы.

**Поздняков Александр Валериевич** – студент Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: применение лома бетона как техногенного сырья в качестве заполнителя для бетонов.

**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** – student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: the use of scrap concrete waste as aggregate for concrete.