

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-8-18

*Лесовик Р.В., *Ахмед А.А.А., Аль Мамури С.К.Ш., Гунченко Т.С.**Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова***E-mail: Civileng85@yahoo.com*

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ВЯЖУЩИЕ НА ОСНОВЕ БЕТОННОГО ЛОМА

Аннотация. Объектом исследования являются композиционные вяжущие полученные из бетонного лома разрушенных зданий и сооружений для производства различных строительных изделий и конструкций. В работе использовали фракции бетонного лома 0,00–0,16 мм и 0,16–0,315 мм, так как рентгено-фазовый анализ различных фракций бетонного лома показал, что именно эти фракции имеют наибольшее содержание негидратированных частиц алита и белита. Установлено влияние удельной поверхности на нормальную густоту цементного теста и сроки схватывания вяжущих.

Сравнительные физико-механические показатели твердения вяжущих с различными удельными поверхностями свидетельствуют, что наиболее стабильными результатами с равномерным нарастанием прочности является состав вяжущего с удельной поверхностью 964 м²/кг, с приростом прочности от 2 до 7 суток – 27 % и от 7 до 28 суток – 21 %. Это вяжущее характеризуется оптимальными показателями прочности в возрасте 28 суток – 25,5 МПа. При удельной поверхности 964 м²/кг создаются наилучшие условия для формирования первичного каркаса и дальнейшего обрастания его различными кристаллогидратами кальция, обеспечивающими оптимальные плотность и прочность. Этот состав композиционного вяжущего, имея удельную поверхность 964 м²/кг, характеризуется наиболее энергоэффективным.

Композиционные вяжущие, полученные в вибрационной мельнице из бетонного лома фракции (0,0–0,16 и 0,16–0,315 мм), удовлетворяют требованиям нормативной документации по срокам схватывания и физико-механическим показателям, что позволяет рекомендовать их для использования в качестве вяжущих при получении строительных изделий и конструкций различного назначения.

Ключевые слова: эффективные композиты, фрагменты разрушенных зданий и сооружений, строительные отходы, зеленое строительство, окружающая среда, бетонный лом.

Введение. Вследствие вооружённых конфликтов и природных катастроф на планете Земля появилось очень много разрушенных городов, населенных пунктов, отдельных домов и объектов. Вопрос стоит в том, как восстанавливать и отстраивать эти города и что делать с элементами разрушенных зданий и сооружений. Одним из подходов, к сожалению, широко практикуемых, является их складирование (захоронение) в отрицательных формах рельефа, засыпке грунтами и рекультивации полученных территорий (например, посадка леса). При таком подходе для производства новых строительных материалов необходимо вновь добывать и обрабатывать природное сырьё, чтобы строить эти города и населённые пункты. С учётом затрат на утилизацию, это очень дорогостоящее мероприятие, которое идёт вразрез с действующими и активно внедряемыми во многих странах нормами «зеленого строительства», к примеру, CLSM (низкомарочные материалы) [1–4].

В настоящей работе исследовали влияние размеров фракций на предел прочности при сжатии композиционных вяжущих из бетонного лома. При этом в эксперименте использовали фракции 0,00–0,16 мм и 0,16–0,315 мм, так как

рентгено-фазовый анализ различных фракций бетонного лома показал, что именно эти фракции имеют наибольшее содержание негидратированных частиц алита и белита. Результаты исследования показали, что полученные композиционные вяжущие обладают прочностью при сжатии, удовлетворяющие требованиям для производства различных видов строительных материалов.

Многочисленные исследования, проведённые по использованию бетонного лома в качестве вторичного заполнителя для изготовления бетонных изделий и конструкций, подтвердили его высокую эффективность [5–9]. Теоретической основой развития материаловедения является новое трансдисциплинарное направление геоника (геомиметика) которая решает инженерные задачи с использованием знаний, полученных при изучении природных процессов. исследуют аналоги строительных композитов – горные породы и на основе полученной информации разрабатывают технологии производства материалов нового поколения [10–14]. Несмотря на то, что технологии по строительству постоянно совершенствуются, основной целью данной идеи является «зеленое строительство» и оптимизация системы

«человек-материал-среда обитания». Таким образом, предложены теоретические подходы и начата их практическая реализация по эффективному использованию фрагментов зданий и сооружений. Одним из самых актуальных решений этой проблемы в республике Ирак является использование фрагментов разрушенных зданий и сооружений для получения строительных композитов. Однако вопрос о возможности получения бесцементных вяжущих на основе бетонного лома ещё не достаточно изучен, хотя имеющиеся данные позволяют предположить его высокую ценность, именно в этом качестве. Авторы [15–17] исследовали влияние замещения вторичных компонентов, таких как переработанный бетонный заполнитель, в качестве частичной замены крупнозернистого и мелкого заполнителей. Результаты показали, что оптимальное содержание наполнителя составляет 22 % при 150 минутной активации и одержания органической примеси в количестве – 0,5 %. Стандартная консистенция такого композиционного вяжущего снизилась с 26,5 % до 22,4 %. Математические модели, предложенные авторами, рекомендуются для использования при проектировании самоуплотняющихся бетонных смесей.

Исследованы свойства бесцементного вяжущего, активированного порошком силиката натрия. В качестве исходных материалов использовалась летучая зола и измельченный гранулированный доменный шлак. Результаты испытаний показали, что потеря текучести и предела прочности при сжатии щелочно-активированного раствора в значительной степени зависят от используемой щелочи. Авторы [15–17] исследо-

вали новое вяжущее, включающее полностью побочные продукты для производства. Новое бесцементное вяжущее, предварительно названное Fa-RmLG, было изготовлено из летучей золы (Fa), извести (L), гипса (G) и красного шлама (Rm). Полученные результаты показали, что свойства (текучесть, сроки схватывания, предел прочности при сжатии и микроструктурный анализ) и воздействие на окружающую среду (коррозионная стойкость, наличие тяжелых металлов) CLSM, изготовленного с использованием предлагаемого бесцементного вяжущего, соответствуют требованиям АСІ 229R.

Между тем, ни одно из этих исследований не отражает получение композиционного вяжущего на основе бетонного лома, а также не рассматривается влияние размеров фракций на его характеристики по прочности раствора, а также показатели сцепления в растворе. Эти вопросы очень важны и являются целями настоящего исследования. Представляется, что эти исследования дадут более глубокие знания для понимания процессов структурообразования при создании строительных композитов нового поколения и их рационального применения в зелёном строительстве.

Методы и материалы. Для применения бетонного лома в производстве строительных материалов необходимо производить тщательный отбор и контроль используемого сырья. В связи с этим было установлено его влияние на процессы структурообразования в бетоне и на эксплуатационные свойства композитов, такие, как пористость, трещиностойкость, морозостойкость. В работе использовали отсеvy щебня фрагментов разрушенных зданий и сооружений в г.Эр-Рамаде (Ирак) (рис.1).



Рис. 1. Фрагменты из разрушенных зданий и сооружений

Бетонный лом подвергали дроблению на лабораторной щековой дробилке, рассеивали на фракции 0,00–0,16 мм; 0,16–0,315 мм; 0,315–0,63

мм; 0,63–1,25 мм; 1,25–2,5 мм; 2,5–5 мм. Результаты испытания приведены в таблице 1.

Таблица 1

Гранулометрический состав отсевов дробления бетонного лома

Показатель	Размер отверстий сит, мм					
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	< 0,16
Масса остатков на сите, г	350	83	113	133	155	166
Частные остатки, %	35	8,3	11,3	13,3	15,5	16,6
Полные остатки, %	35	43,3	54,6	67,9	83,4	100

Представлял интерес вопрос о возможности использования мелких фракций (0,00–0,16 мм; 0,16–0,315), составляющих цементный камень бетонного лома для получения бесцементного вяжущего, в связи с этим в работе использовали эти

фракции для последующего дробления и измельчения. Идентификация различных фаз в их смеси на основе анализа дифракционной картины, даваемой исследуемым образцам, – основная задача рентгенофазового анализа (РФА) (рис. 2).

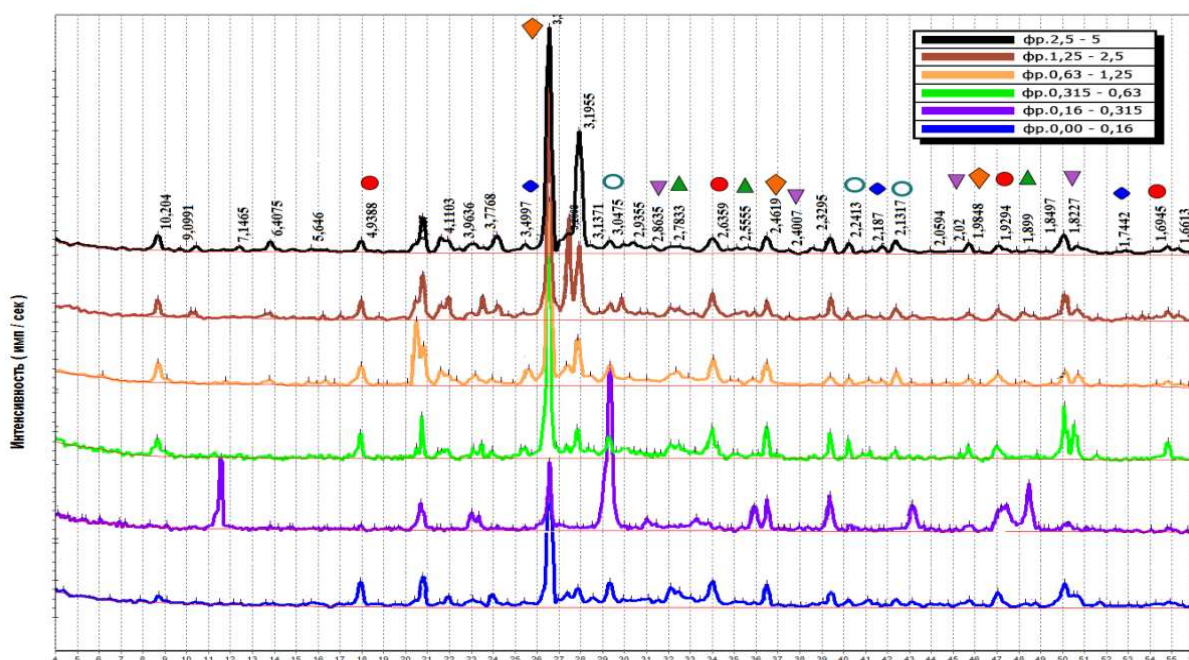


Рис. 2. Рентгенограмма фракций отсевов дробления бетонного лома

Было выявлено, что основными составляющими отсевов дробления бетонного лома являются: непрогидратированные клинкерные минералы C_3S – ($d = 2,77; 2,19... \text{Å}$); C_2S – ($d = 2,75; 2,74; 2,19... \text{Å}$); кварц – ($d = 4,24; 3,34 ; 2,45 ; 2,280... \text{Å}$), портландит $Ca(OH)_2$ – ($d = 4,93; 3,11; 2,63; 1,93; 1,79... \text{Å}$); кальцит $CaCO_3$ – $d = 3,85; 3,35; 3,04; 2,78; 2,49; 2,28... \text{Å}$); частично закристаллизованный тоберморитоподобный гидросиликат кальция $CSH(B)$ – $d = 9,8; 4,9; 3,07; 2,85; 2,80... \text{Å}$); гидроферриты кальция, твердые растворы комплексных соединений и др.

После дробления бетона на зернах заполнителя остаются слои в виде растворной составляющей или тонких пленок гидратных фаз, а также присутствуют тонкодисперсные частицы цементного камня. Минералы цементного камня в основном представлены; клинкерными минералами: алитом C_3S ; белитом C_2S и частично закристаллизованным гидросиликатом кальция $CSH(B)$ и портландитом $Ca(OH)_2$.

При этом большая часть цементной пленки, прочно закрепившейся на поверхности заполнителя из кварцевого песка и гравия в процессе предыдущей эксплуатации и повторного дробления, карбонизируется, о чем свидетельствует наличие на рентгенограммах $CaCO_3$. На рентгенограммах бетонного лома присутствуют пики, характерные для крупного и мелкого заполнителя, в частности кварца.

Следует отметить, что количество белита снижается с переходом от фракции 0,00–0,16 мм. Одновременно увеличивается количество кварца и минералов, характерных для крупного заполнителя. В самых мелких фракциях бетонного лома (пылевидной и 0,16–0,316 мм) содержится максимальное количество алита C_3S и белита C_2S , способных твердеть при взаимодействии с водой, по сравнению с фракциями более крупных размеров.

Для измельчения использовали вибрационную мельницу MB-20. Вибрационные мельницы

работают по схожей схеме с шаровыми, но вал, вращаясь, сообщает вибрационное воздействие

на рабочую камеру, а камера приводит в движение находящиеся в ней мелющие тела (рис. 3).

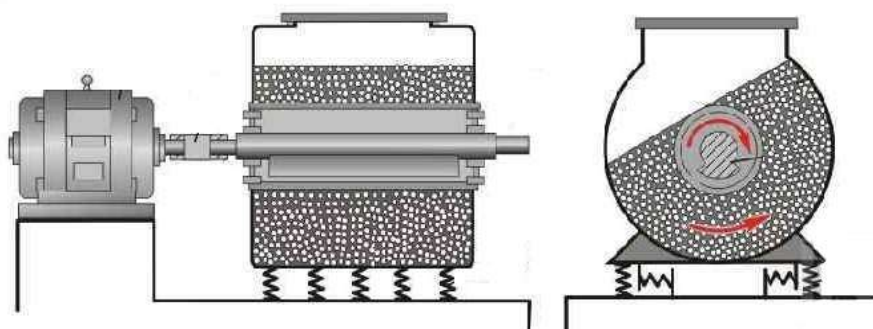


Рис. 3. Вибрационная мельница

При выполнении работы применяли стандартные методики для испытаний полученных вяжущих.

Основная часть. Гранулометрический состав полученных композиционных вяжущих из бетонного лома исследовали с помощью прибора

Analysette NanoTecplus. Результаты гранулометрических анализов исследуемых вяжущих и портландцемента приведены в табл. 2 и на рис. 3.

Были приготовлены композиционные вяжущие из бетонного лома помолом до различных удельных поверхностей: 555 м²/кг, 964 м²/кг, 1255 м²/кг, 1431 м²/кг. В качестве сравнения применяли портландцемент ЦЕМ 1 42,5 Н (табл.2).

Таблица 2

Гранулометрический состав портландцемента и вяжущих, полученных помолом из бетонного лома

Гранулометрический состав, мкм	Наименование вяжущих				
	1	2	3	4	5
	ПЦ S уд= 330 м ² /кг,%	КВ S уд= 555 м ² /кг,%	КВ S уд= 964 м ² /кг,%	КВ S уд= 1255 м ² /кг,%	КВ S уд= 1431 м ² /кг,%
0–0,1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
0,1–0,27	1	2	2	3	4
0,27–0,55	2	4	4	6	6
0,55–0,825	2	3	4	5	8
0,825–1	1	3	3	4	3
1–2,5	4	9	11	14	15
2,5–5	11	18	20	20	22
5–7,5	9	9	11	14	10
7,5–10	9	15	15	14	13
10–32,5	43	37	30	20	20
32,5–55	13	0	0	0	0
55–87,5	5	0	0	0	0
87,5–100	0	0	0	0	0
	50 % >	60–70 %		70–80 %	80–90 %

Сравнивая кривые гранулометрических составов композиционных вяжущих, следует отметить, что все кривые имеют характерный профиль, представленный двумя характерными возвышенными участками «плато» в диапазоне размеров зерен 1...3мкм при меньшей удельной поверхности (при S_{уд}=555 м²/кг и S_{уд}=964 м²/кг) и «седловинами» в диапазоне 7,5...10 мкм при повышенной удельной поверхности (при S_{уд}=1255 м²/кг, S_{уд}=1431 м²/кг).

Анализируя кривые гранулометрического состава по содержанию различных фракций и их соотношению, отмечается, что все кривые сдвигаются влево, к уменьшению величины фракций в соответствии с возрастанием удельной поверхности. При сравнении изменений содержания по фракциям в составах отмечается, что с увеличением удельной поверхности составов содержание фракций 10...32,5 мкм снижается с 37 до 20 % (табл. 2). «Плато» в диапазоне 7,5...10 мкм

показывает незначительное снижение с 15 до 13 %. В диапазонах фракционных составов 5...7,5 мкм и 2,5...5 мкм отмечается незначительное увеличение количества этих фракций при повышенной удельной поверхности. А при фракционном составе 1...2,5 мкм, по содержанию фракций составы вяжущих опять выходит на «плато», что свидетельствует о том, что в составах устанавливается одинаковое количество этих фракций, независимо от измельчения.

Сравнение фракционных составов композиционных вяжущих с различной удельной поверхностью в диапазоне от 0,825 до 0,1 мкм показывает, что все вяжущие имеют незначительный прирост указанных фракций, соизмеримый с гранулометрическим составом портландцемента.

Проведенный расчетный анализ полученных кумулятивных кривых портландцемента и композиционных вяжущих наглядно показал, что полученные вяжущие, в зависимости от разной удельной поверхности, имеют различное содер-

жание мелких фракций. Так, при удельной поверхности вяжущих: 555 м²/кг, 964 м²/кг, 1255 м²/кг, 1431 м²/кг, соответственно, содержание наименьшей фракции до 10 мкм, составляет 60...70 %; 60...70 %; 70...80 %; 80...90 %; и в сравнении с портландцементом, имеющим около 50 %.

Наличие «плато» и «седловин» на кривых гранулометрических составов вяжущих вызвано, вероятно, особенностями протекания процессов помола в вибрационной мельнице, что, возможно, связано с загрузкой мелющими шарами, конструктивными особенностями мельницы, а также накоплением дисперсной фракции (рис. 4), что требует дальнейших исследований по совершенствованию помольного агрегата.

Композиционные вяжущие, полученные помолотом из бетонного лома, с различными показателями гранулометрического состава, будут, безусловно, обладать отличительными физико-механическими и технологическими свойствами.

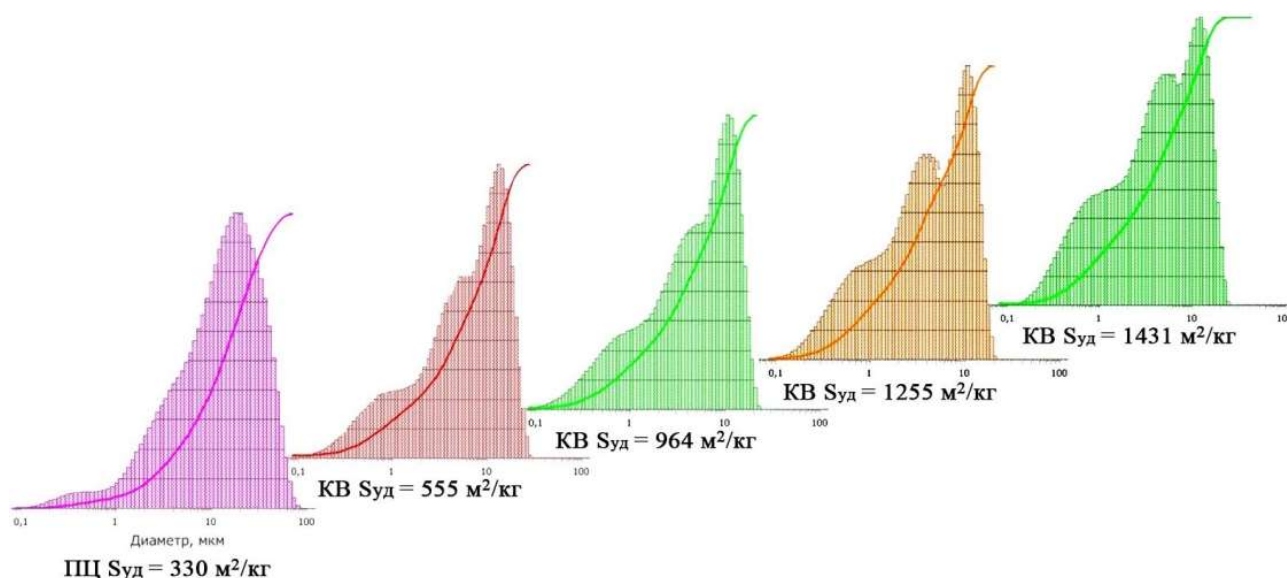


Рис. 4. Сравнительный ряд характерных кривых гранулометрического состава портландцемента и композиционных вяжущих из бетонного лома

В соответствии с требованиями ГОСТ 310.3–76 и 310.4–81 определяли сроки схватывания и предел прочности при сжатии в возрастах: 2, 7 и 28 суток, а также при ускорении твердения образцов полученных композиционных вяжущих (рис. 5 и 6).

Анализ полученных результатов по определению нормальной густоты и сроков схватывания композиционных вяжущих свидетельствует о влиянии увеличения удельной поверхности на

эти свойства. Так если у композиционного вяжущего ($S_{уд}=555 \text{ м}^2/\text{кг}$) начало сроков схватывания составляло 20 мин и конец 55 мин и продолжительность этого периода включала 35 мин, то в составе вяжущего ($S_{уд}=964 \text{ м}^2/\text{кг}$) эти показатели составляли соответственно 45 мин и 180 мин, а продолжительность этого периода составляла 135 мин, что свидетельствует о протекании сложных процессов структурообразования, связанных с увеличением удельной поверхности в системе на 409 м²/кг.



Рис. 5. Сроки схватывания композиционных вяжущих

Сравнение композиционного вяжущего ($S_{уд}=1255 \text{ м}^2/\text{кг}$) по срокам схватывания с исходным составом ($S_{уд}=555 \text{ м}^2/\text{кг}$) показывает, что начало срока схватывания составило 90 мин, а конец срока схватывания составил 255 мин, продолжительность этого периода составила 165 мин, что ещё раз свидетельствует о разнообразии гидратационных процессов в системе, что отражается на процессах структурообразования цементного камня.

Дальнейшее сравнение композиционного вяжущего состава ($S_{уд}=1431 \text{ м}^2/\text{кг}$) с составом ($S_{уд}=555 \text{ м}^2/\text{кг}$) показало, что начало срока схватывания этого состава имеет 100 мин и конец схватывания 270 мин, а продолжительность этого периода составляет 170 мин, что незначительно отличается от состава ($S_{уд}=1255 \text{ м}^2/\text{кг}$) и согласуется с нормативными требованиями к вяжущим.

Сравнивая соотношения величин начал и концов схватывания исследуемых композиционных вяжущих составов с удельными поверхностями 555, 964, 1255 и 1431 м²/кг следует отметить, что их соотношение составляет: для состава ($S_{уд}=555 \text{ м}^2/\text{кг}$) величину – 2,75; для состава ($S_{уд}=964 \text{ м}^2/\text{кг}$) – 4,0; для состава ($S_{уд}=1255 \text{ м}^2/\text{кг}$) – 2,8 и для состава ($S_{уд}=1431 \text{ м}^2/\text{кг}$) – 2,7; эти соотношения свидетельствуют о том, что во всех полученных композиционных вяжущих в зависимости от изменяющейся дисперсности процессы структурообразования имеют свои особенности.

Следует выделить состав ($S_{уд}=964 \text{ м}^2/\text{кг}$), у которого соотношение между сроками схватывания несколько превышает показатели составов ($S_{уд}=555, 1255 \text{ и } 1431 \text{ м}^2/\text{кг}$), что вероятно, свя-

зано с соотношением между крупными и мелкими фракциями в системе, приводящим к созданию густой коагуляционной структуры, тормозящей сроки схватывания.

Следует отметить, что во всех составах с увеличением удельной поверхности наблюдается увеличение продолжительности между началом и концом схватывания, что можно объяснить высокой реакционной активностью процессов структурообразования вследствие повышенного содержания зерен высокой дисперсности.

Для определения физико-механических показателей из композиционных вяжущих отформованы образцы-кубики размерами 3×3×3 см (по 3 шт.), которые хранились в нормальных условиях. Испытания образцов вяжущих проводили в возрастах: 2, 7 и 28 суток (рис.6).

Установлено, что все композиционные вяжущие характеризуются стабильным набором прочности (рисунок 5). Сравнивая полученные результаты по нарастанию прочности вяжущего ($S_{уд}=555 \text{ м}^2/\text{кг}$) от 2 до 28 суток отмечается, что прирост прочности от 2 до 7 суток составляет 57 %, а с 7 до 28 суток 22 %. Нарастание прочности у вяжущего ($S_{уд}=964 \text{ м}^2/\text{кг}$) свидетельствует о приросте прочности с 2 до 7 суток – 27 % и приросте прочности в возрасте с 7 до 28 суток – 21 %.

Рассматривая прирост прочности вяжущего ($S_{уд}=1255 \text{ м}^2/\text{кг}$) в возрасте от 2 до 7 суток, видно, что прирост прочности составил 35 %, а в возрасте с 7 до 28 суток – 15 %.

Прирост прочности вяжущих с удельной поверхностью 1431 м²/кг в возрасте от 2 до 7 суток имеет 5 %, а в возрасте от 7 до 28 суток прирост прочности составил 31 %.

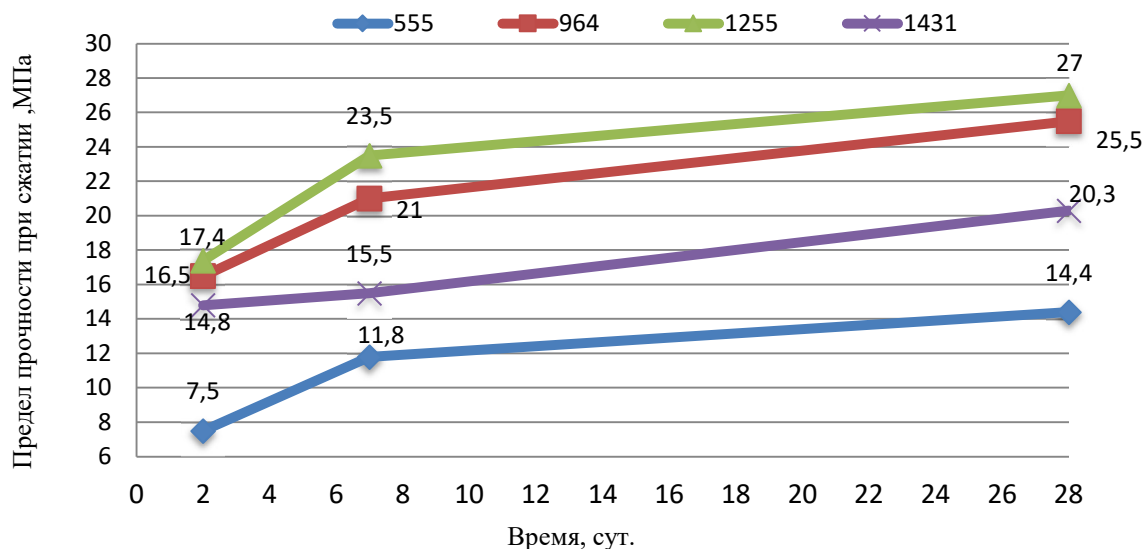


Рис. 6. Динамика нарастания прочности композиционных вяжущих при нормальном твердении

Рассматривая в целом сравнительные физико-механические показатели твердения вяжущих с различными удельными поверхностями следует отметить, что наиболее стабильными результатами с равномерным нарастанием прочности является состав вяжущего с удельной поверхностью 964 м²/кг, с приростом прочности от 2 до 7 суток – 27 % и от 7 до 28 суток – 21 %. Кроме того, следует отметить что этот состав вяжущего характеризуется оптимальными показателями прочности в возрасте 28 суток – 25,5 МПа. По нашему мнению, при такой удельной поверхности создаются наилучшие условия для формирования первичного каркаса и дальнейшего обрас- тания его различными кристаллогидратами каль- ция, обеспечивающими оптимальную плотность и прочность.

Достоинством этого состава является и то, что этот состав имеет удельную поверхность 964 м²/кг, не требующего значительного перерас- хода электроэнергии при его получении, т. е. со- став обеспечивает оптимальные технико-эконо- мические показатели: при незначительном рас- ходе электроэнергии – получение максимальных прочностных показателей.

Во всех композиционных вяжущих с различ- ными удельными поверхностями количество воды, добавляемое при их затворении, значи- тельно превышает величину, которая расходует- ся на собственно химическую реакцию гидра- тации и образование гидросиликатов и гидро- алюминатов. Избыточная вода не препятствует схватыванию и входит в структуру гелей, кото- рые возникают вблизи цементных частиц (рис. 7). Так формируется коллоидная система из мельчайших частиц гидратов.

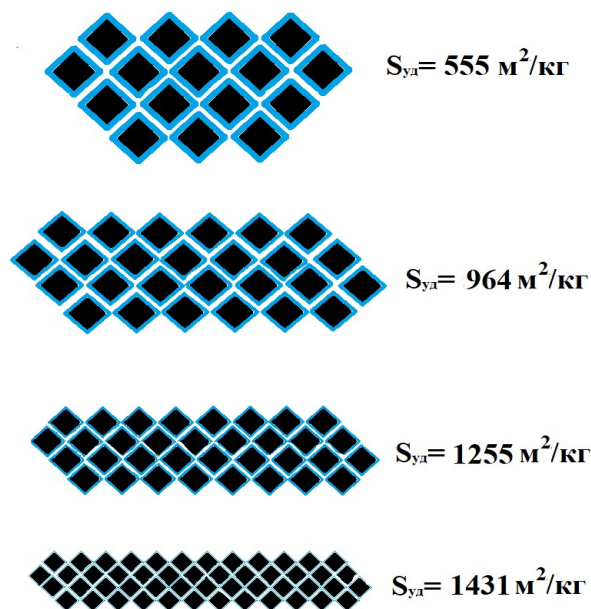


Рис. 7. Условная схема соотношения содержания твердой, жидкой и гелевой фаз в вяжущих с различными удельными поверхностями

Установлено, что содержание воды в каж- дом композиционном вяжущем с увеличением удельной поверхности будет создавать опреде- лённые условия для процессов формирования сроков схватывания (начало – конец), структуро- образования и нарастания прочности. Изменение В/Вяз отношения в зависимости от различной удельной поверхности отсевов дробления бетон- ного лома представлено на рисунке 8, где отчёт- ливо видно, что с увеличением удельной поверх- ности возрастает В/Вяз отношение.

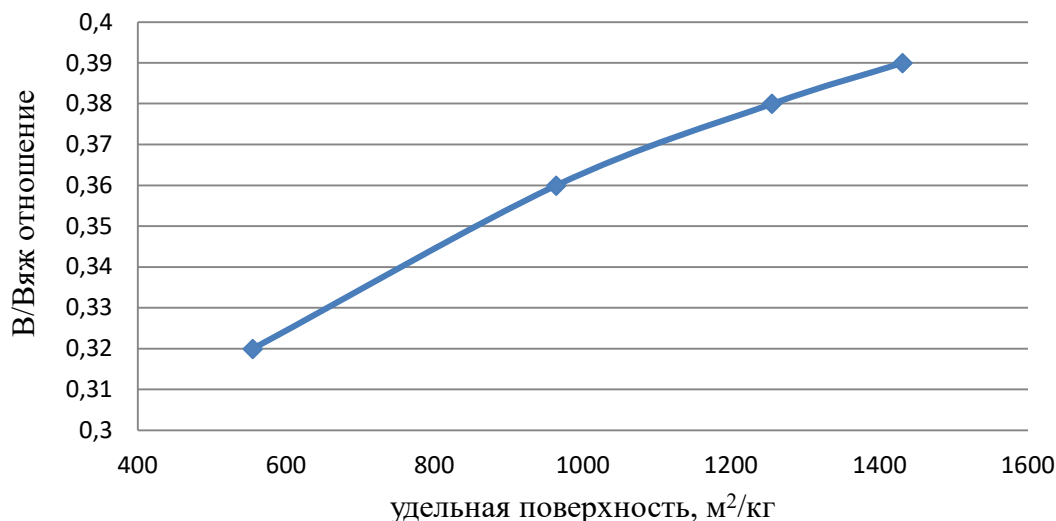


Рис. 8. Изменение V/Vяз отношения в зависимости от различной удельной поверхности отсевов дробления бетонного лома

По мере уменьшения размера зерен вяжущих с $S_{уд} = 964; 1255$ и 1431 м²/кг (рис.7) количество свободной воды снижается, а содержание гелей в системе становится больше, так как каждая мельчайшая частица впитывает воду и процессы гидратации идут активнее вследствие значительной большой поверхности контактов вяжущего с водой.

Выводы. Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что композиционные вяжущие полученные в вибрационной мельнице из бетонного лома фракции (0,00–0,16 и 0,16–0,315 мм) удовлетворяют требованиям нормативной документации по срокам схватывания и физико-механическим показателям, что позволяет рекомендовать их для использования в качестве вяжущих при получении строительных изделий и конструкций различного назначения. Использование фрагментов разрушенных зданий и сооружений ускорит строительство зданий и сооружений новых городов. Следует отметить, что применение строительных отходов, полученных в результате военных действий или сноса зданий создает более комфортные условия для пребывания человека в помещении в различных климатических зонах при большом диапазоне изменения температурно-влажностных параметров и др.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Lesovik V.S., Tolstoy A.D., Alani A.A. Realization of the similarity law in the building material science // *Oriental journal of chemistry*. 2019. Vol. 35. No. 3. Pp.1067–1072
2. Tan M.D., Gyeong K., Young-sang K. Development of a new cementless binder for controlled low strength material (CLSM) using entirely by-

products // *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 206. Pp. 576–589

3. Tan M.D., Gyeong K., Ngan V., Young-sang K. Development of a new cementless binder for marine dredged soil stabilization: Strength behavior, hydraulic resistance capacity, microstructural analysis, and environmental impact // *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 186. Pp. 263–275

4. Муртазаев С-А.Ю., Исмаилова З.Х. Использование местных техногенных отходов в мелко-зернистых // *Строительные материалы*. 2008. №.3. С. 57–58

5. Carlo P., Flora F., Christian M. Recycled materials in concrete // *Developments in the Formulation and Reinforcement of Concrete (Second Edition)*. 2019. Vol. 31. No.8. С. 19–54

6. Xie J., Fang C., Lu Z., Li Z., Li L. Effects of the addition of silica fume and rubber particles on the compressive behaviour of recycled aggregate concrete with steel fibres // *Journal of cleaner production*. 2018. Vol. 197. Pp. 656–667

7. Keun-Hyeok Y., Jin-Kyu S., Ashraf F., Eun-Taik L. Properties of cementless mortars activated by sodium silicate // *Construction and building materials*. 2008. Vol. 22. Pp.1981–1989

8. Younis A., Ebead U., Judd S. Life cycle cost analysis of structural concrete using seawater, recycled concrete aggregate, and GFRP reinforcement // *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 175. Pp.152–160

9. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Чернышева Н.В., Глаголев Е.С., Кучерова А.С., Дребезгова М.Ю., Канева Е.В. Современные трехмерные технологии и факторы сдерживающие их // *Вестник БГТУ им. Шухова*. 2016. № 12.С. 22–30

10. Zagorodnjuk L.H., Lesovik V.S., Volodchenko A.A., Yerofeyev V.T. Optimization of mixing process for heat-insulating mixtures in a spiral blade mixer // International Journal of Pharmacy and Technology. 2016. С. 15146–15155.

11. Lesovik V.S., Chulkova I.L., Zagordnyuk L.K., Volodchenko A.A., Yurievich P.D. The role of the law of affinity structures in the construction material science by performance of the restoration works // Research Journal of Applied Sciences. 2014. Vol.9. No.12. Pp. 1100–1105.

12. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Шамшу-ров А.В., Беликов Д.А. Композиционное вяжущее на основе комплексного органоминерального модификатора для сухих ремонтных смесей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. №4. С.25–31.

13. Zagorodnjuk L.H., Lesovik V.S., Volodchenko A.A. To the question of dry mortars components mixed in various mixing units // International

Journal of Applied Engineering Research. 2015. Pp. 44844–44847.

14. Larsen O., Naruts V., Aleksandrova O. Self-compacting concrete with recycled aggregates // Materials Today: Proceedings. 2019. Vol. 19. Pp. 2023–2026

15. Карпиков Е.Г., Лукутцова Н.П., Соболева Г.Н., Головин С.Н., Черенкова Ю.С. Влияние микронаполнителей из природного волластонита на свойства мелкозернистого бетона // Строительные материалы и изделия. 2019. Том 2. №6. С. 20–28

16. Jeong-II C., Keum-II S., Jin-Kyu S., Bang Y. L. Composite properties of high-strength polyethylene fiber-reinforced cement and cementless composites // Composite Structures. 2016. Vol. 138. Pp. 116–121.

17. Bel J., Park S., Park J. Mechanical properties of polymer concrete made with recycled PET and recycled concrete aggregates // Construction and Building Materials. 2008. Vol. 9. Pp. 2281–2291.

Информация об авторах

Лесовик Руслан Валерьевич, доктор технических наук, профессор, проректор по международной деятельности. E-mail: ruslan_lesovik@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Ахмед Ахмед Анис Ахмед, аспирант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: civileng85@yahoo.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Аль мамури Саад Кхалил Шаид, аспирант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: saad.shadeed.ss71@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Гунченко Татьяна Сергеевна, студентка кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: gunchenkot99@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 10.06.2020

© Лесовик Р.В., Ахмед А.А.А., Аль Мамури С.К.Ш., Гунченко Т.С., 2020

Lesovik R.V., *Ahmed A.A.A., Al Mamouri S.K.S., Gunchenko T.S.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova

**E-mail: civileng85@yahoo.com*

COMPOSITE BINDERS BASED ON CONCRETE SCRAP

Abstract. The object of research is composite binders obtained from concrete scrap of destroyed buildings and structures for the production of various construction products and structures. Fractions of concrete scrap of 0,0–0,16 mm and 0,16–0,315 mm are used, since x-ray-phase analysis of various fractions of concrete scrap shows that these fractions have the highest content of non-hydrated particles of alite and belite. The influence of the specific surface area on the normal density of cement dough and the setting time of binders is established. Comparative physical and mechanical indicators of hardening of binders with different specific surfaces indicate that the most stable results with a uniform increase in strength is the composition of a binder with a specific surface of 964 m²/kg, with an increase in strength from 2 to 7 days – 27 % and from 7 to 28 days – 21 %. This binder is characterized by optimal strength at the age of 28 days – 25,5 MPa. With a specific surface of 964 m²/kg, the best conditions are created for the formation of the primary frame and its further fouling with various calcium crystalline hydrates, which ensure optimal density and strength. This composite

binder has a specific surface area of $964 \text{ m}^2/\text{kg}$ and is more energy-efficient. Composite binders obtained in a vibration mill from concrete scrap fractions (0,0–0,16 and 0,16–0,315 mm) meet the requirements of normative documentation on setting time and physico-mechanical parameters, which allows to recommend them for use as binders in the production of construction products and structures for various purposes.

Keywords: effective composites, fragments of destroyed buildings and structures, construction waste, green construction, environment, concrete scrap.

REFERENCES

1. Lesovik V.S., Tolstoy A.D., Alani A.A. Realization of the similarity law in the building material science. *Oriental journal of chemistry*. 2019. Vol. 35. No. Pp. 1067–1072
2. Tan M.D., Gyeongo K., Young-sang K. Development of a new cementless binder for controlled low strength material (CLSM) using entirely by-products. *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 206. Pp. 576–589
3. Tan M. D., Gyeongo K., Ngan V., Young-sang K. Development of a new cementless binder for marine dredged soil stabilization: Strength behavior, hydraulic resistance capacity, microstructural analysis, and environmental impact. *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 186. Pp. 263–275
4. Murtazaev, St. A.Yu., Ismailova Z.Kh. The use of local industrial waste in fine-grained [Ispol'zovanie mestnyh tekhnogennyh othodov v melko-zernistyh]. *Stroitel'nye materialy*. 2008. No. 3. Pp. 57–58
5. Carlo P., Flora F., Christian M. Recycled materials in concrete. *Developments in the Formulation and Reinforcement of Concrete (Second Edition)*. 2019. Vol. 31. No. 8. Pp. 19–54
6. Xie J., Fang C., Lu Z., Li Z., Li L. Effects of the addition of silica fume and rubber particles on the compressive behavior of recycled aggregate concrete with steel fibers. *Journal of cleaner production*. 2018. Vol. 197. Pp. 656–667
7. Keun-Hyeok Y., Jin-Kyu S., Ashraf F., Eun-Taik L. Properties of cementless mortars activated by sodium silicate. *Construction and building materials*. 2008. Vol. 22. Pp. 1981–1989
8. Younis A., Ebead U., Judd S. Life cycle cost analysis of structural concrete using seawater, recycled concrete aggregate, and GFRP reinforcement. *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 175. Pp. 152–160
9. Lesovik V.S., Zagorodniuk L.Kh., Chernysheva N.V., Glagolev E.S., Kucherova A.S., Drebezgova M.Y., Kaneva E.V. Modern three-dimensional technologies and factors holding them back [Sovremennye trekhmernye tekhnologii i faktory sderzhivayushchie ih]. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2016. No. 12. Pp. 22–30. (rus)
10. Zagorodnjuk L.H., Lesovik V.S., Volodchenko A.A., Yerofeyev V.T. Optimization of mixing process for heat-insulating mixtures in a spiral blade mixer. *International Journal of Pharmacy and Technology*. 2016. Pp. 15146–15155/
11. Lesovik V.S., Chulkova I.L., Zagordnyuk L.K., Volodchenko A.A., Yurievich P. D. The role of the law of affinity structures in the construction material science by performance of the restoration works. *Research Journal of Applied Sciences*. 2014. Vol. 9. No. 12. Pp. 1100–1105.
12. Lesovik V.S., Zagorodniuk L.Kh., Shamshurov A.V., Belikov D.A. Composite binder based on a complex organic-mineral modifier for dry repair mixtures [Kompozicionnoe vyazhushchee na osnove kompleksnogo organomineral'nogo modifikatora dlya suhikh remontnyh smesey]. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2014. No. 4. Pp. 25–31. (rus)
13. Zagorodnjuk L.H., Lesovik V.S., Volodchenko A.A. To the question of dry mortars components mixed in various mixing units. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2015. Pp. 44844–44847
14. Larsen O., Naruts V., Aleksandrova O. Self-compacting concrete with recycled aggregates. *Materials Today: Proceedings*. 2019. Vol. 19. Pp. 2023–2026
15. Karpikov E.G., Lukutsova N.P., Soboleva G.N., Golovin S.N., Cherenkova Yu.S. The effect of microfillings from natural wollastonite on the properties of fine-grained concrete [Vliyanie mikronapolnitelej iz prirodnogo vollastonita na svojstva melkozernistogo betona]. *Building materials and products*. 2019. Vol. 2. No. 6. Pp. 20–28. (rus)
16. Jeong-II C., Keum-II S., Jin-Kyu S., Bang Y. L. Composite properties of high-strength polyethylene fiber-reinforced cement and cementless composites. *Composite Structures*. 2016. Vol. 138. Pp. 116–121
17. Bel J., Park S., Park J. Mechanical properties of polymer concrete made with recycled PET and recycled concrete aggregates. *Construction and Building Materials*. 2008. Vol. 9. Pp. 2281–2291.

Information about the authors

Lesovik, Ruslan V. DSc, Professor. E-mail: ruslan_lesovik@mail.ru. Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, St. Kostyukova 46.

Ahmed, Ahmed Anees Ahmed, Graduate student. Email: civileng85@yahoo.com. Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, St. Kostyukova 46.

Al Mamuri, Saad Khalil Shadid, PhD student. Email: saad.shadeed.ss71@gmail.com. Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, St. Kostyukova 46.

Gunchenko, Tatyana S. Student. E-mail: gunchenkot99@mail.ru. Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, St. Kostyukova 46.

Received 10.06.2020

Для цитирования:

Лесовик Р.В., Ахмед А.А.А., Аль Мамури С.К.Ш., Гунченко Т.С. Композиционные вяжущие на основе бетонного лома // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 7. С. 8–18. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-8-18

For citation:

Lesovik R.V., Ahmed A.A.A., Al Mamouri S.K.S., Gunchenko T.S. Composite binders based on concrete scrap. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 7. Pp. 8–18. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-8-18