

DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-7-19-30

**Махортов Д.С., Загороднюк Л.Х., \*Сумской Д.А., Аль Мамури Саад Кхалил Шадид**  
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова  
\*E-mail: pr9nik2011@yandex.ru

## ПОЛУЧЕНИЕ ВЯЖУЩИХ КОМПОЗИЦИЙ ОПТИМАЛЬНЫХ СОСТАВОВ НА ОСНОВЕ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА И ОТХОДОВ БОЯ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА

**Аннотация.** При разработке композиционных вяжущих определенного функционального назначения необходимо рационально подбирать сырьевые материалы с учетом их химического, минерального и гранулометрического составов. Большое значение на создание вяжущих композиций влияет использование механоактивации с выбором наиболее подходящего помольного агрегата, значительное влияние на свойства композиционных вяжущих оказывает применяемые функциональные добавки.

В статье приведены результаты получения вяжущих композиций оптимального состава на основе портландцемента и боя керамического кирпича. Выполнены экспериментальные исследования гранулометрического состава, приведены результаты испытаний вяжущих композиций составов: цемент – бой керамического кирпича, приготовленных в мельнице. Разработаны и установлены составы вяжущих композиций с широким спектром использования отходов керамического боя – отходов кирпичного производства.

С помощью метода электронной микроскопии изучены особенности микроструктуры сколов цементных камней, синтезированных на основе портландцемента и различного содержания минерального наполнителя – отходов боя керамического кирпича, механоактивизированных в вибрационной мельнице. Замечено, что открытые поры сколов цементных камней, синтезированных вяжущих, густо заросли различными новообразованиями различных размеров.

Установлено, что микроструктура гидратированных вяжущих композиций отмечается плотным строением вследствие применения порошкообразного кирпичного боя, который уплотняет структуру композита, а также отмечается, что на минеральных частицах наполнителя прорастают зерна гидросиликатов кальция, уплотняя общую структуру композита.

**Ключевые слова:** вяжущая композиция, отходы боя керамического кирпича, портландцемент, минеральный наполнитель.

**Введение.** В современных условиях значительное распространение имеют вяжущие композиции, наполненные различными минеральными наполнителями разного генезиса. Вяжущие композиции получают путем механохимической активации в определенных условиях вяжущих (портландцемента, гипса, извести) с различными активными и неактивными минеральными добавками. Практика показала, что использование минеральных добавок позволяет экономить дорогостоящую клинкерную составляющую портландцемента, при этом обеспечивая требуемые физико-механические показатели создаваемых композитов. Многочисленными исследованиями установлена рациональность и целесообразность применения различных природных и техногенных материалов в качестве минеральных добавок: техногенные пески различного происхождения, хвосты мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов, шламы бокситового производства, золы, шлаки топливного и металлургического происхождения, отходы перлитового производства и т.д. [1–5].

В работе [6] было отмечено, что при производстве вяжущего с применением минеральной

добавки, должны предъявляться более жесткие требования.

Получены водостойкие, не клинкерные композитные гипсовые вяжущие (КГВ). Высокие их физико-технические свойства поддерживаются формированием усиленной структуры искусственного камня, обусловленной введением комплексной гидромеханической добавки, содержащей измельченный доменный шлак, пластификатор, известь, пыль молотую керамзитовую [7].

В работе [8] приведены результаты исследований влияния количества и разной дисперсности добавок керамзитовой пыли различного вещественного состава на свойства теста и искусственного камня на основе строительного гипса, в том числе керамзитовой пыли с добавкой извести, керамзитовой пыли в комплексе с добавками извести и суперпластификатора, а также бинарной добавки, включающей керамзитовую пыль и гранулированные доменные шлаки различной основности, в комплексе с добавками извести и суперпластификатора.

Взаимодействие минеральных вяжущих веществ с наполнителями осуществляется в области контакта частиц этих компонентов. Наименьшее количество добавки приведет к сокращению

эффективности их действия. При большом ее содержании вероятны непосредственные контакты между частицами добавки, что снизит эффективность ее влияния [9-10].

В настоящее время строительный комплекс активно развивается. В современных условиях необходимо разрабатывать новейшие строительные материалы с требуемыми физико-механическими, технологическими и эксплуатационными свойствами, а для разработки таких материалов требуется создание новых экологически чистых недорогих технологий. Кроме того, особым требованием является рациональное использование природного и техногенного сырья, оно связано с природными и техногенными минеральными добавками.

К настоящему времени накоплен определенный научный опыт по управлению структурообразованием различных цементных бетонов, приготовленных с использованием разных минеральных добавок. Все минеральные добавки имеют различный генезис, отличный химический, минеральный, гранулометрический составы, что определенным образом влияет на процессы структурообразования в создаваемом композите, формируют цементный камень с различными показателями пористости, плотности и прочности.

Минеральные добавки в зависимости от их удельной поверхности, влияния на создаваемую структуру и физико-механические свойства цемента условно можно классифицировать на две группы: разбавители и уплотнители. Минеральные добавки – разбавители как бы разбавляют цементный порошок, имеют удельную поверхность 0,2–0,5 м<sup>2</sup>/г, примером минеральной добавки – разбавителя является зола. Минеральные добавки-уплотнители способствуют уплотнению цементной матрицы, имеют удельную поверхность 20–30 м<sup>2</sup>/г, что составляет в 100 раз меньше зерен цемента. Примером этой добавки является микрокремнезем. Зерна этой добавки эффективно заполняют пористое пространство между формирующейся структурой цементного камня. Кроме того, эти добавки, имея повышенную реакционную способность, увеличивают прочностные показатели композита [11–13].

Учитывая, что минеральные добавки разделяются на активные и неактивные, следует учитывать эти особенности и применять при создании сырьевых композитов. Особое внимание уделяется активным добавкам, так как они могут при наличии воды взаимодействовать с Ca(OH)<sub>2</sub> в нормальных условиях, формируя соединения, обладающие вяжущими свойствами. Многие активные добавки в частности тонкоизмельченный до-

менный шлак обладает свойством самостоятельной гидратации при некотором добавлении извести. Известно, что большое влияние при использовании минеральных добавок оказывает их тонина помола, зерновой состав, а также генезис.

Для рационального использования природных добавок (трассы, пеплы, туфы) следует подвергать их тонкому измельчению, в этом случае проявляется их максимальная активность, что позволяет значительно повысить физико-механические показатели цементным композитам при обеспечении низких показателей по водопоглощению и морозостойкости.

Следует отметить, что бетоны, приготовленные с применением тонкомолотых минеральных добавок, обладают достаточно высокой текучестью, что предотвращает возможное расслоение бетонных смесей.

В последние годы большую популярность завоевала добавка – микрокремнезем, несмотря на то, что имеет высокую стоимость и недостаточно распространена. Альтернативным материалом названной добавки могут служить добавки вулканического происхождения, они имеют в своем составе до 75-85 % стеклофазы, которая обеспечивает их пуццоланическую активность. Находясь в порах формирующегося цементного камня, они эффективно уплотняют его структуру, а также значительно снижают расход используемого цементного вяжущего.

Среди добавок техногенного происхождения определенный интерес представляют отходы производства керамического кирпича. Кроме того, вследствие реновации строительного комплекса страны возникает значительное количество отходов боя керамического кирпича при разборе старых отслуживших свой срок зданий и сооружений. Возникает проблема их утилизации.

В связи с изложенным проведены исследования по возможности использования отходов боя керамического кирпича при получении вяжущих композиций для строительства [14–17].

На основании изучения отходов перлитового производства и возможности их применения в вяжущих композициях было установлено, что их использование в этих вяжущих позволяет получить эффективные растворы, которые обеспечивают высокие теплозащитные свойства. При этом использование их в количестве 5–10 % и последующая механоактивация в шаровой или вибрационных мельницах показали возможность повышения теплоизоляционных свойств и обеспечения требуемой прочности в полученных вяжущих композициях [18, 19].

**Материалы и методы.** При изготовлении вяжущих композиций в настоящей работе применяли портландцемент ПЦ 500-Д0-Н (ГОСТ

10178-85, ГОСТ 30515-2013) ЗАО «Белгородский цемент» и отходы производства керамического кирпича. Составы исследуемых смесей №2 – №4 и №6 – №8 готовили помолем в вибрационной мельнице в течение 10 и 20 минут с различной дозировкой отходов боя керамического кирпича: 10; 20; 30 %.

**Основная часть.** Вяжущую композицию получали в вибрационной мельнице. Применение этой мельницы позволило получить эффективные композиционные вяжущие с заданными свойствами.

Вибрационные мельницы хорошо себя зарекомендовали для тонкого измельчения различных материалов: огнеупорной глины, кокса, угля, шамотного кирпича, кварцевого песка и других материалов природного и техногенного проис-

хождения. Особенностью вибрационных мельниц является то, что в них материал разрушается вследствие ударного, и последующего истирающего действия мелющих тел, при таком помоле резко происходит активизация процессов, в результате которых создаются условия для высокой однородности степени помола.

Вибрационная мельница (рис. 1) включает станину 1, на которую установлена камера помола 3 посредством пружинных опор 2. Установка приводится в действие от электродвигателя посредством упругой муфты 6 к основному валу 5, связанному с вибровозбудителем. Вибровозбудитель состоит из основного вала с установленными на нем дебалансными дисками. Общий вид вибрационной мельницы приведен на рисунке 1 [20].

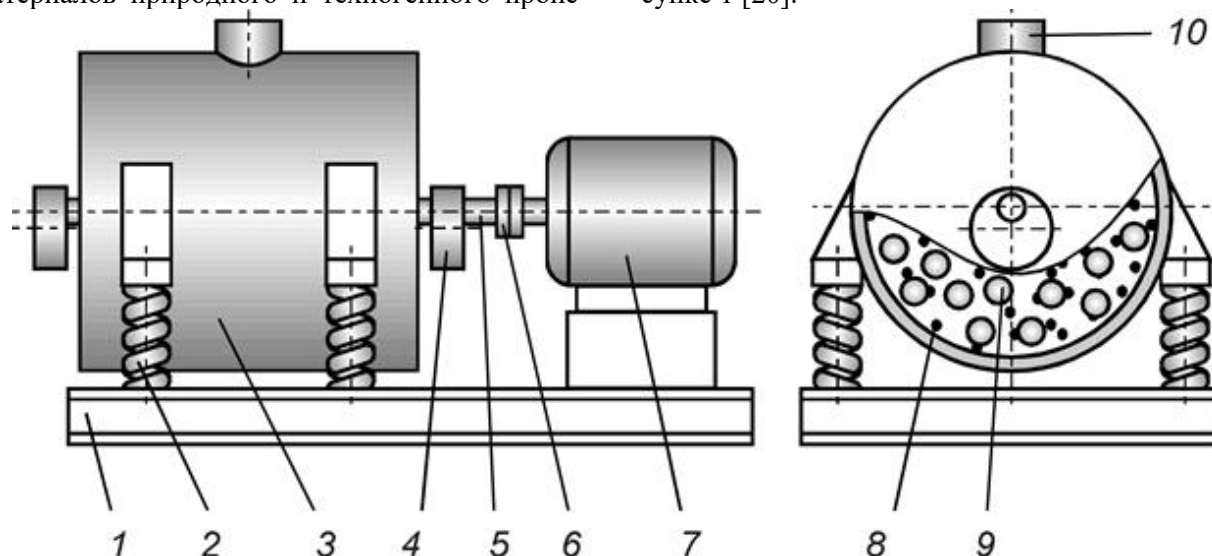


Рис. 1. Общий вид вибрационной установки

Камера помола 3 состоит из полого стального цилиндра, который является рабочим корпусом мельницы, футерованным изнутри листовой сталью, где осуществляется процесс помола в присутствии измельчаемого материала и мелющих тел. В вибрационной установке имеется загрузочное отверстие 10, которое, как правило, устраивается в верхней части помольной камеры. Разгрузку помольной камеры осуществляют через нижнее разгрузочное отверстие, которое снабжено колосниковой решеткой. Через колосниковую решетку разгружается измельченный материал, а мелющие тела остаются в рабочей камере. Люки загрузочных и разгрузочных отверстий снабжены запорными дверцами с надежным резиновым уплотнением.

Достоинства вибрационных мельниц:

- создание высокодисперсного помола при незначительной продолжительности помола;
- реализация помола сырьевых материалов в сухом и водном режимах;
- компактность установки;

- незначительная энергоемкость;
- возможность осуществления сверхтонкого помола при отсутствии сепаратора;
- работа с установкой не требует специальной подготовки;
- оперативное регулирование помола материала за счет регулирования дебалансного момента вращения.

На начальном этапе подбирали различные составы вяжущих композиций на сырьевых материалах: портландцемент, отходы боя керамического кирпича с изменением их содержания.

На следующем этапе получали вяжущие композиции, включающие портландцемент и различные дозировки отходов производства – боя керамического кирпича в вибрационной мельнице.

Цель работы: установление наилучших физико-механических показателей получаемых вяжущих композиций в вибрационной мельнице.

Результаты испытаний вяжущих композиций приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Результаты испытаний вяжущих композиций составов: цемент-отходы боя керамического кирпича, приготовленных в вибрационной мельнице**

№ состава п/п	Шифр	Составы	НГ, %	Сроки схватывания, мин		R <sub>сж</sub> , МПа	
				начало	конец	2 сут	28 сут
Время механоактивации - 10 минут							
1	ВЦ 1	Ц=100%	28,75	130	170	22,45	59,07
2	ВЦБК 1.1	Ц/БК=90/10%	31,94	143	181	31,12	81,90
3	ВЦБК 2.1	Ц/БК80/20%	35,31	154	192	27,32	71,90
4	ВЦБК 3.1	Ц/БК=70/30%	41,78	160	201	24,96	65,68
Время механоактивации - 20 минут							
5	ВЦ 2	Ц=100%	31,66	165	203	25,42	66,90
6	ВЦБК 1.2	Ц/БК=90/10%	33,05	171	215	37,26	98,05
7	ВЦБК 2.2	Ц/БК=80/20%	36,56	180	222	31,47	82,84
8	ВЦБК 3.2	Ц/БК=70/30%	42,85	189	231	28,98	76,26

Гранулометрический состав вяжущих композиций с наилучшими показателями прочности составы №6 и №7 (с содержанием отходов боя керамического кирпича 10 % и 20 % при 20 минутах

помола) исследовали с помощью прибора AnalyssetteNanoTecplus (рис. 2), удельная поверхность в среднем составляла 18250 см<sup>2</sup>/см<sup>3</sup>.

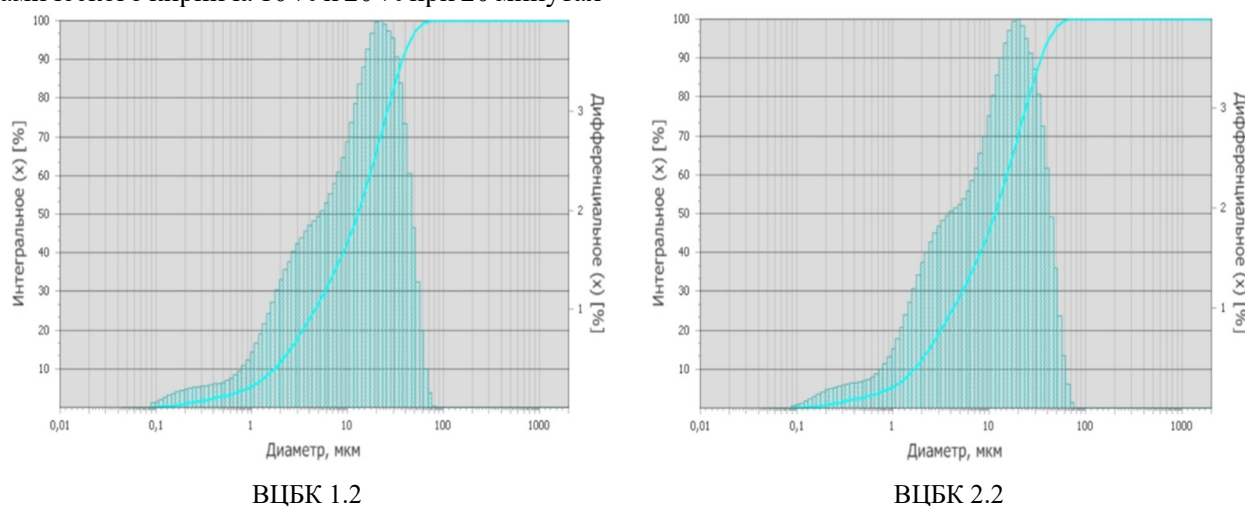


Рис. 2. Гранулометрический состав вяжущих композиций (№6 и №7): цемент/отходы боя керамического кирпича: 90 %/10 %; 80 %/20 %, активированных в вибрационной мельнице в течение 20 минут

Анализ результатов по изучению нормальной плотности вяжущих композиций показал, что при использовании 10 % боя керамического кирпича НГ возросла примерно на 7,75 %, а при введении до 20 % – до 20,10%, а при 30 % – до 40,44 %, увеличение НГ объясняется значительной удельной поверхностью минеральной добавки, а также защемлением воды между зернами и в зернах заполнителя.

Следует отметить, что при использовании тонкомолотых минеральных наполнителей от 20 до 30 % повышается прочность вяжущих композиций, что обеспечивается уплотнением структуры за счет присутствия минерального наполнителя, на котором как на подложках формируются кристаллы гидросиликатов кальция (рис. 3).

Рассматривая сроки схватывания вяжущих композиций в сравнении с портландцементом, необходимо отметить, что с увеличением количества минерального наполнителя происходит увеличение как начала, так и конца схватывания. При активации в течение 10 минут, увеличение начала сроков схватывания вяжущих композиций варьируется от 10,00 до 23,07 %. За время активации 20 минут сроки начала схватывания возрастают от 3,63 до 14,55 %, при этом конец схватывания увеличивается от 5,09 до 13,79 %. Увеличение сроков схватывания начала и конца можно объяснить увеличенным количеством минерального наполнителя, который на этом этапе затормаживает начальные процессы гидратации [19–20].

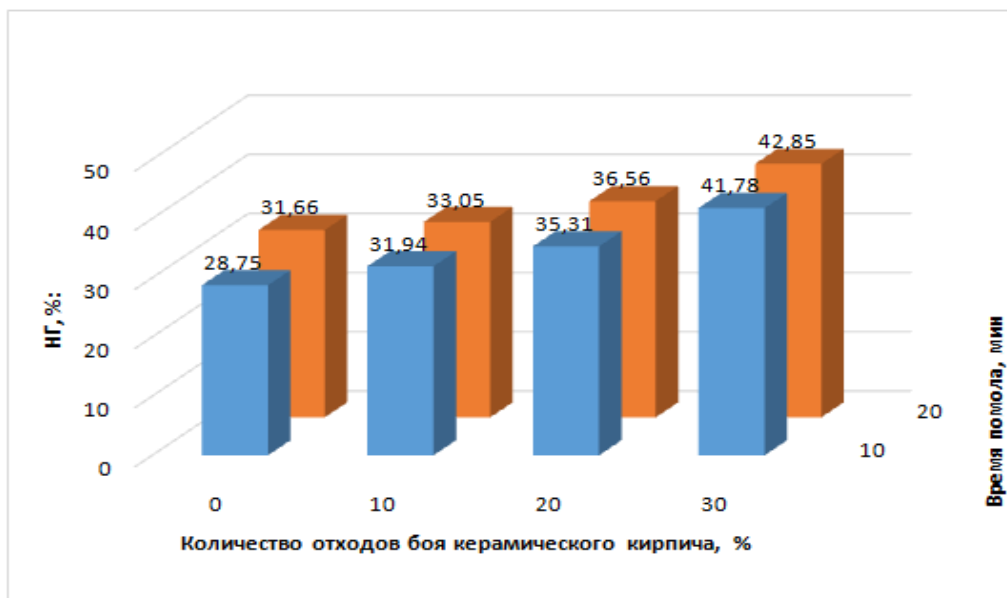


Рис. 3. Нормальная густота вяжущих композиций (составов №1-№8) с различным содержанием отходов боя керамического кирпича, активированных в течение 10 и 20 минут в вибрационной мельнице

Наибольший показатель прочности имеет вяжущая композиция с содержанием 10 % отходов боя керамического кирпича с продолжительностью механоактивации в течение 20 минут, что составляет 98,05 МПа, данный показатель превосходит результаты прочности товарного цемента на 46,56 %. При использовании тонкомолотых керамических отходов в количестве 20 %

прочность при сжатии вяжущей композиции возрастает до 82,84 МПа, что составляет увеличение на 23,83 % в сравнении с товарным цементом.

При использовании 30 % отходов боя керамического кирпича с механоактивацией 10 и 20 минут обеспечивается прочность, которая выше товарного цемента, соответственно, на 11,19 и 14,00 % (рис. 4).

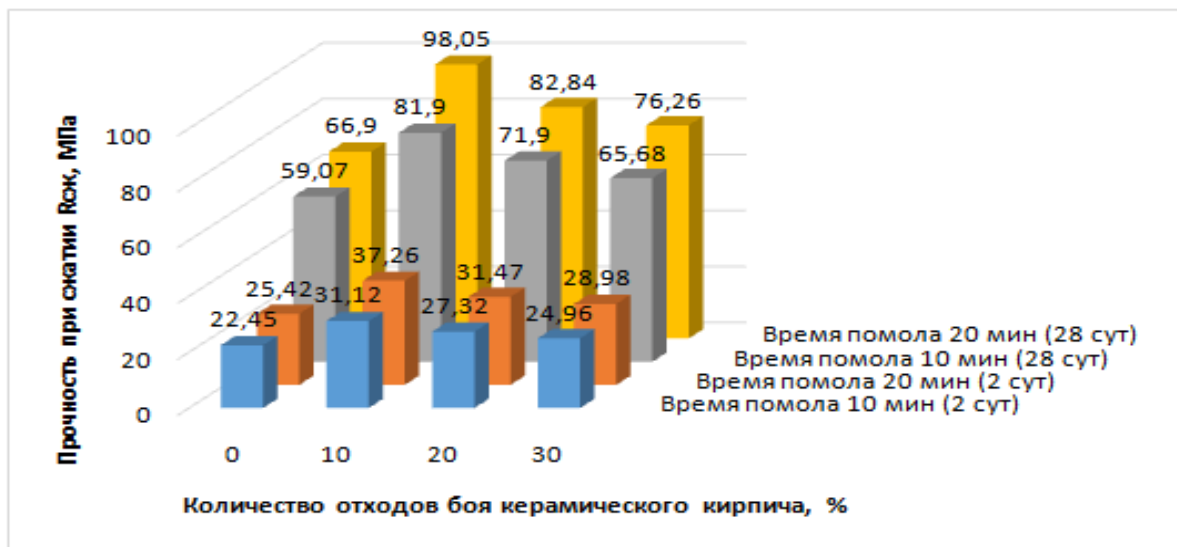


Рис. 4. Результаты физико-механических испытаний вяжущих композиций различным содержанием отходов производства керамического кирпича, активированных в течение 10 и 20 минут в вибрационной мельнице

На основании проведенных экспериментов установлено, что наивысшей прочностью обладает вяжущая композиция с содержанием отходов боя керамического кирпича в количестве 10 %, измельченная в вибрационной мельнице в течение 20 мин. Представляют интерес составы с содержанием добавки 20 и 30 %, измельченные в

течение 10 минут и характеризующиеся прочностями 81,90 МПа и 71,90 МПа, что превышает прочности товарного цемента в 1,8 раза и в 1,5 раза, соответственно.

Проведенный минеральный анализ отходов боя керамического кирпича показал (рис. 5), что в наибольшем количестве присутствуют минералы: кварца SiO<sub>2</sub>; гиббсита Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·3H<sub>2</sub>O.

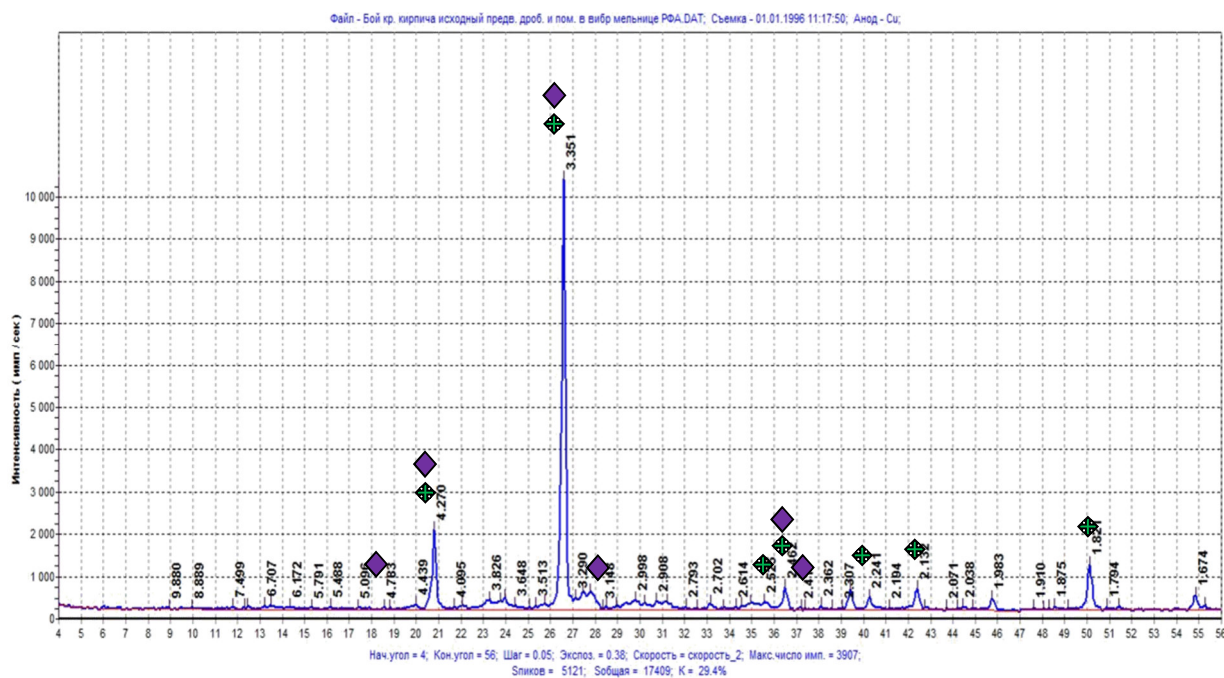


Рис. 5. Дифрактограмма исходного боя керамического кирпича

◆—SiO<sub>2</sub>; ◆—Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·3H<sub>2</sub>O

Анализ дифрактограмм гидратированных вяжущих композиций в возрасте 28 суток (рис. б), полученных с использованием отходов боя керамического кирпича показал, что в цементном камне наряду с минералами присущими гидратированному портландцементному клинкеру: портландиту – CaOH<sub>2</sub>, гидросиликатам кальция CSH,

присутствуют минералы, внесенные боем керамического кирпича: SiO<sub>2</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, тем самым повышать гидравлическую активность системы и в конечном счете оказывать положительное влияние на увеличение прочности цементного камня.

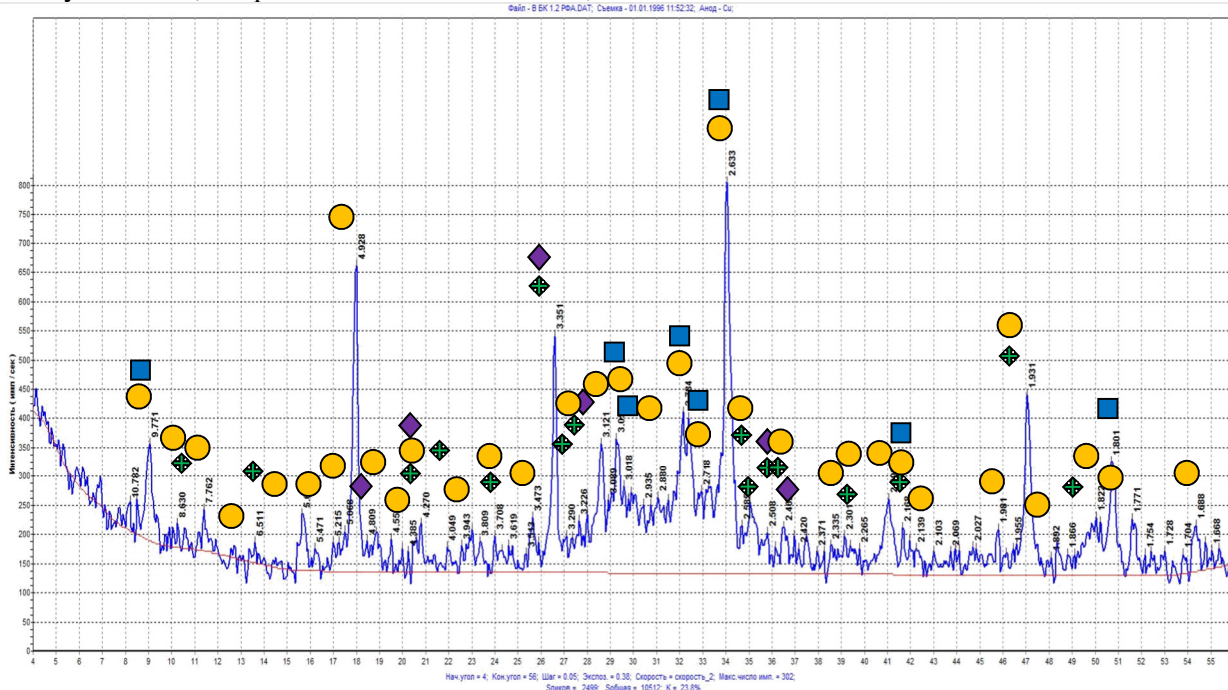


Рис. 6. Дифрактограмма гидратированного портландцемента с содержанием 10 % боя керамического кирпича, 20 мин помолта в вибрационной мельнице

◆—SiO<sub>2</sub>; ◆—Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·3H<sub>2</sub>O; ●—Ca(OH)<sub>2</sub>; ■—CSH(II)

Для изучения особенностей твердения композиционных вяжущих с использованием мине-

ральной добавки на первом этапе была исследована микроструктура тонкоизмельченного боя керамического кирпича (рис. 7).

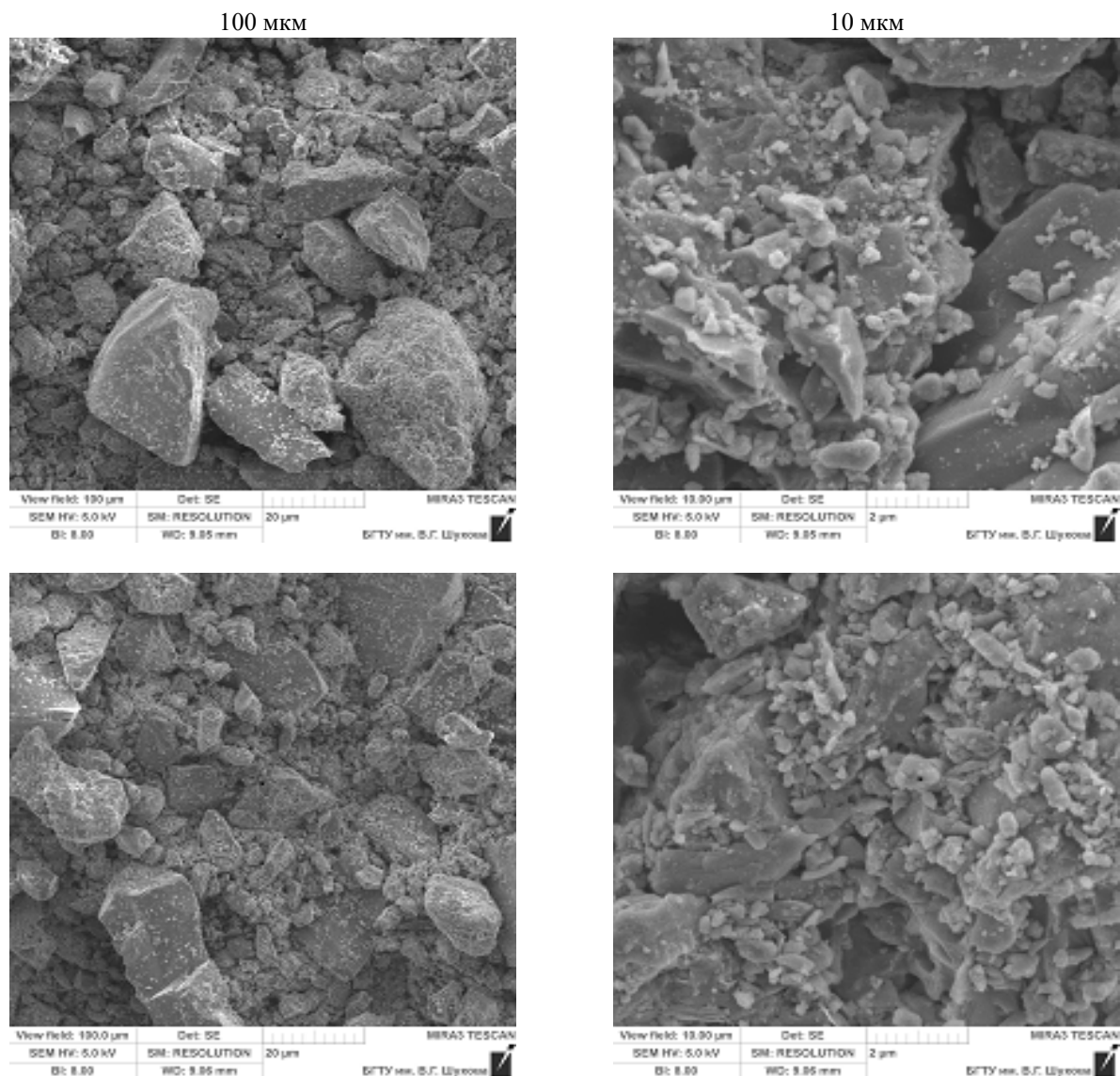


Рис. 7. Микроструктура образцов отходов производства керамического кирпича (измельченных в вибрационной мельнице)

Изучение микроструктуры вяжущих композиций показало, что образцы, изготовленные на основе портландцемента и различного содержания отходов боя керамического кирпича имеют свои незначительные особенности. В образцах с содержанием 10 % отходов боя керамического кирпича (рис. 8) отмечается более слитная структура, присутствует очень незначительное количество пор. Отчетливо видно плотное формирование контактной зоны на границе частиц отходов боя керамического кирпича и формирующихся кристаллогидратов кальция. Кристаллическая структура пронизывает весь конгломерат, хорошо видны участки заросших пор. Микрофотографии свидетельствуют о том, что процессы формирования гидросиликатов и гидроалюминатов продолжаются, что предопределяет дальнейшее нарастание прочности и стабильности композита. Данные микроскопических исследований

подтверждаются результатами физико-механических испытаний образцов (таб. 1, рис. 8).

Определенный интерес представляет микроструктура образцов композиционных вяжущих составов портландцемент и 20 % отходов боя керамического кирпича активированных в вибрационной мельнице (рис. 9). На микрофотографии отчетливо видно прорастание гидросиликатов и гидроалюминатов кальция по всему объему композита, что свидетельствует о формировании достаточно высокой прочности. На представленном участке микрофотографии отчетливо видна трещина, прошедшая по минеральному наполнителю, свидетельствующая о формировании плотной структуры полученного композита, обладающего высокой прочностью 82,84 МПа, отраженной в таблице 1.

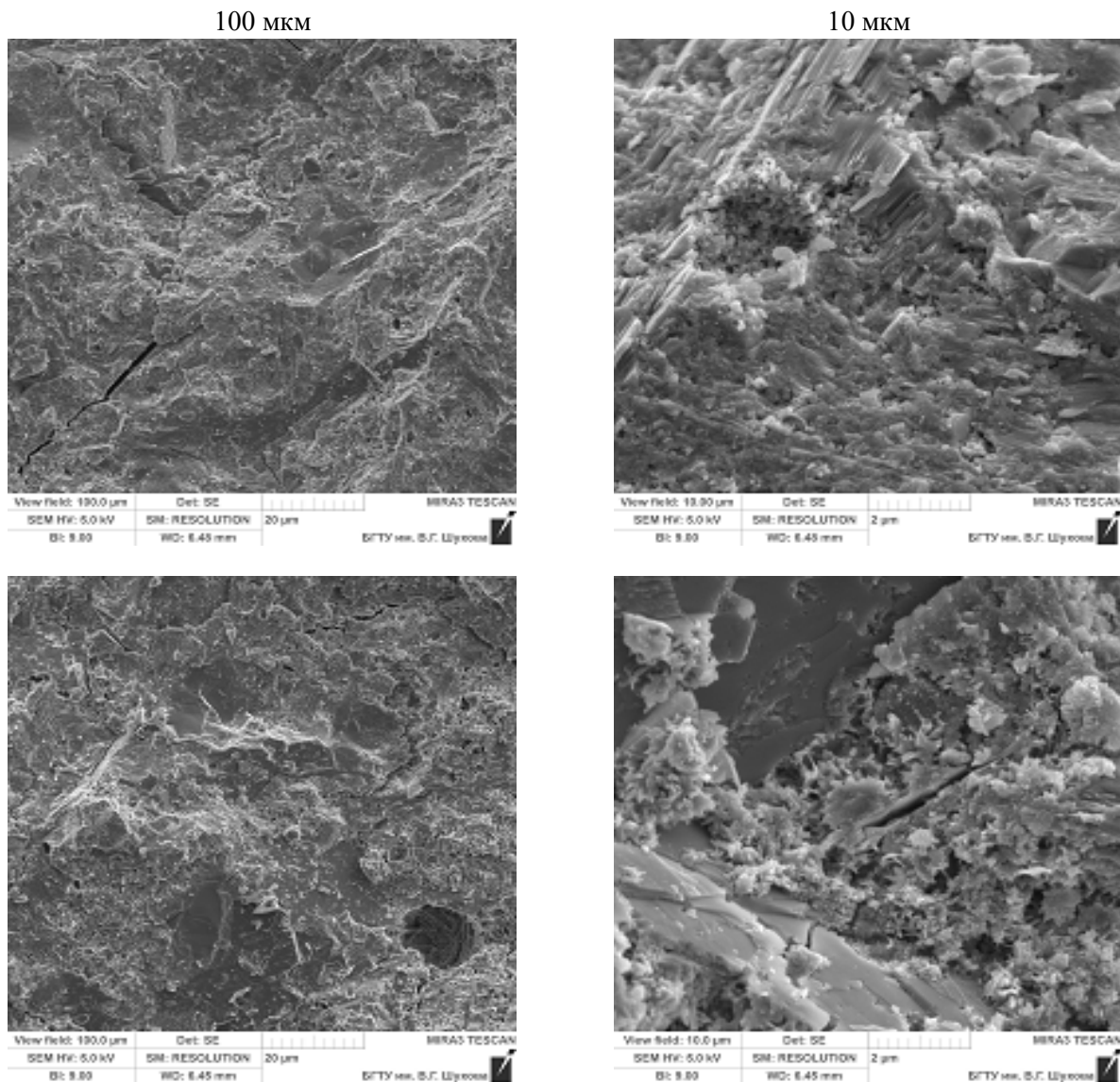


Рис. 8. Микроструктура образцов вяжущей композиции № 6: цемент/отходы боя керамического кирпича=90 %/10 % при 20 минутах активации в вибрационной мельнице

Отмечается, что по объёму композита просматриваются мелкодисперсные кристаллы гидросиликатов кальция и алюминия, что свидетельствует о последующей гидратации и нарастании прочности.

**Выводы.** Анализ результатов по изучению нормальной густоты вяжущих композиций показал, что при использовании 10 % тонкомолотых отходов керамического кирпича НГ возросла примерно на 7,75 %, а при введении до 20 % – до 20,10 %, а при 30 % – до 40,44 %, увеличение НГ объясняется значительной удельной поверхностью минеральной добавки, а также заземлением воды между зёрнами и в зёрнах заполнителя.

Установлено, что наивысшей прочностью обладает вяжущая композиция с содержанием отходов керамического кирпича в количестве 10 % и измельченная в вибрационной мельнице в

течении 20 мин. Представляют интерес составы с содержанием добавки 20 и 30 %, измельченные в течение 10 минут и характеризующиеся прочностями 81,90 МПа и 71,90 МПа, что превышает прочности товарного цемента в 1,8 раза и в 1,5 раза, соответственно.

В образцах с содержанием 10 % отходов боя керамического кирпича отмечается более слитная структура, присутствует очень незначительное количество пор. Отчетливо видно плотное формирование контактной зоны на границе частиц отходов боя керамического кирпича и формирующихся кристаллогидратов кальция. Микрофотографии свидетельствуют о том, что процессы формирования гидросиликатов и гидроалюминатов продолжают, что предопределяет дальнейшее нарастание прочности и стабильности композита.



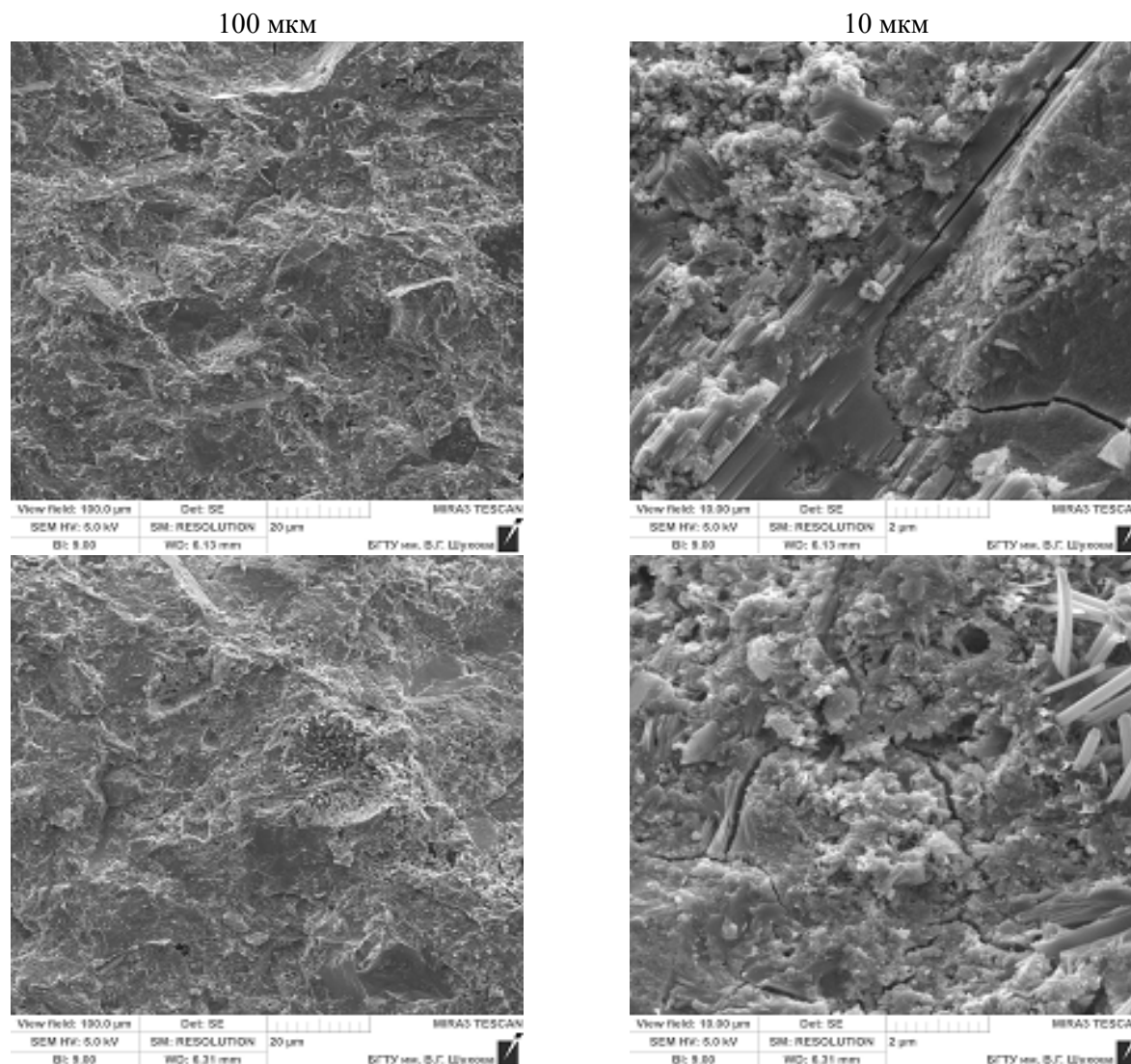


Рис. 9. Микроструктура образцов вяжущей композиции № 6:

цемент /отходы боя керамического кирпича =90/20% при 20 минутах активации в вибрационной мельнице

При твердении цементных вяжущих композиций, приготовленных с использованием различного количества минеральных отходов - боя керамического кирпича, имеют место основные процессы, присущие классической гидратации обычного портландцемента, а также особенности, обусловленные формированием высокоосновных гидратных новообразований и интенсивным протеканием ионообменных процессов с участием минеральной добавки.

**Источник финансирования.** Работа выполнена в рамках финансируемого РФФИ научно-исследовательского проекта № 22-19-20115 с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им.В.Г. Шухова.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Joseph S., Bishnoi S., Van Balen K., Cizer Ö. Modeling the effect of fineness and filler in early-age hydration of tricalcium silicate // Journal of the

American Ceramic Society. 2017. Т. 100. № 3. С. 1178–1194.

2. Wang X.-Y., Luan Y. Modeling of Hydration, Strength Development, and Optimum Combinations of Cement-Slag-Limestone Ternary Concrete // International Journal of Concrete Structures and Materials. 2018. Т. 12. № 2. 12.

3. Ley-Hernandez A.M., Lapeyre J., Cook R., Kumar A., Feys D. Elucidating the Effect of Water-To-Cement Ratio on the Hydration Mechanisms of Cement // ACS Omega. 2018. Т. 3. № 5. P. 5092–5105.

4. Biernacki J.J., Bullard J.W., Sant G., Brown K., Glasser F., Jones S., Ley T., Livingston R., Nicoleau L., Olek J., Sanchez F., Shahsavari R., Stutzman P.E., Sobolev K., Prater T. Cements in the 21st century: Challenges, perspectives, and opportunities // Journal of the American Ceramic Society. 2017. Т. 100. № 7. С. 2746–2773.

5. Dove P.M., Han N., De Yoreo J.J. Mechanisms of classical crystal growth theory explain

quartz and silicate dissolution behavior // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2005. Т. 102. № 25. С. 15357–15362.

6. Рунова Р.Ф., Носовский Ю.Л. Применение минеральных вяжущих в сухих строительных смесях // Цемент и его применение. 2000. №6. С. 16–21.

7. Халиуллин, М.И. Гайфуллин А.Р. Водостойкие бесклинкерные композиционные гипсовые вяжущие с добавками промышленных отходов // Вестник ТГАСУ. 2017. № 6. С. 127–133.

8. Рахимов Р.З., Халиуллин А.Р., Гайфуллин А.Р. Композиционные гипсовые вяжущие с использованием в составе комплексной добавки керамзитовой пыли и доменных шаков // Сухие строительные смеси. 2014. № 1. С. 19–22.

9. Бердов Г.И., Ильина Л.В., Зырянова В.Н., Никоненко Н.И., Мельников А.В. Повышение свойств композиционных строительных материалов введением минеральных микронаполнителей // СтройПРОФИ. 2012. № 3. С. 24–27.

10. Хозин В.Г., Хохлаков О.В., Битцер А.В., Урханова Л.А. Эффективность применения золы-уноса Гусиноозерской ГРЭС в составе цементов низкой водопотребности // Строительные материалы. 2011. № 7. С. 76–78.

11. Fu J., Kamali-Bernard S., Bernard F., Cornen M. Comparison of mechanical properties of C-S-H and portlandite between nano-indentation experiments and a modeling approach using various simulation techniques // Hydration kinetics and rheological behavior // Construction and Building Materials. 2018. Т. 184. С. 304–310.

12. Matalkah F., Soroushian P. Carbon dioxide integration into alkali aluminosilicate cement particles for achievement Composites Part B: Engineering. 2018. Т. 151. С. 127–138.

13. Barbosa W., Ramalho R.D., Portella K.F. Influence of gypsum fineness in the first hours of cement paste: of improved properties // Journal of Cleaner Production. 2018. Vol. 196. Pp. 1478–1485.

14. Yang J.-M., Shi C.-J., Chang Y., Yang N. Hydration and hardening characteristics of magnesium potassium phosphate cement paste containing composite retarders // JianzhuCailiaoXuebao / Journal of Building Materials. 2013. Т. 16. № 1. С. 43–49.

15. Zhu Q.-H., Zhang L.-Z., Min X.-M., Yu Y.-X., Zhao X.-F., Li J.-H. Comb-typed polycarboxylate superplasticizer equipped with hyperbranched polyamide teeth // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2018. № 553. С. 272–277.

16. Сумской Д.А. Теплоизоляционный раствор на основе композиционного вяжущего // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2018. Т. 80. №2. С. 283–289.

17. Демьянова В.С., Калашников В.И., Борисов А.А. Об использовании дисперсных наполнителей в цементных системах // Жилищное строительство. 1999. № 1. С. 17–18.

18. Терликовский Е.В., Третник В.Ю. Использование механической активации для модифицирования неорганических материалов // Тезисы докладов V Всесоюзного семинара 8–10 сентября 1987 г. Таллин. 1987. С. 27–28.

19. Комохов П.Г., Шангина Н.Н. Модифицированный цементный бетон его структура и свойства // Цемент и его применение. 2002. №1. С. 43–46.

20. Студопедия. Официальный сайт [Электронный ресурс]. URL: [https://studopedia.ru/1\\_103168\\_vibratsionnie-melnitsi.html](https://studopedia.ru/1_103168_vibratsionnie-melnitsi.html)

#### Информация об авторах

**Махортов Денис Сергеевич**, аспирант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: denis-mahortov1995@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Загороднюк Лилия Хасановна**, д-р. техн. наук, профессор кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: LHZ47@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Сумской Дмитрий Алексеевич**, ассистент кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: pr9nik2011@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Аль Мамури Саад Кхалил Шадид**, 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.

Поступила 16.05.2022 г.

© Махортов Д.С., Загороднюк Л.Х., Сумской Д.А., Аль Мамури Саад Кхалил Шадид., 2022

**Makhortov D.S., Zagorodnyuk L.Kh., \*Sumskoy D.A., Al Mamouri Saad Khalil Shadeed**  
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov  
\*E-mail: pr9nik2011@yandex.ru

## OBTAINING BINDER COMPOSITIONS OF OPTIMAL COMPOSITIONS BASED ON PORTLAND CEMENT AND CERAMIC BRICK WASTE

**Abstract.** When developing composite binders of a certain functional purpose, it is necessary to rationally select raw materials, taking into account their chemical, mineral and granulometric composition. The use of mechanical activation with the choice of the most suitable grinding unit affects the creation of binder compositions, the functional additives used have a significant impact on the properties of composite binders.

The article presents the results of obtaining binder compositions of optimal composition based on Portland cement and broken ceramic bricks. Experimental studies of the granulometric composition have been carried out, the results of tests of binder compositions of the compositions: cement – broken ceramic bricks prepared in a mill are given. Compositions of binder compositions with a wide range of use of ceramic cullet waste – brick production waste have been developed and installed.

Using the method of electron microscopy, the features of the microstructure of chips of cement stones synthesized on the basis of Portland cement and various content of mineral filler – ceramic brick slaughter waste, mechanically activated in a vibration mill, were studied. It is noted that the open pores of cement stone chips, synthesized binders, are densely overgrown with various neoplasms of various sizes.

It has been established that the microstructure of hydrated binder compositions is marked by a dense structure due to the use of powdered brick cullet, which compact the structure of the composite, and it is also noted that grains of calcium hydrosilicates grow on the mineral particles of the filler, compacting the overall structure of the composite.

**Keywords:** binder composition, ceramic brick waste, Portland cement, mineral filler.

### REFERENCES

1. Joseph S., Bishnoi S., Van Balen K., Cizer Ö. Modeling the effect of fineness and filler in early-age hydration of tricalcium silicate. *Journal of the American Ceramic Society*. 2017. Vol. 100. No. 3. Pp. 1178–1194.
2. Wang X.-Y., Luan Y. Modeling of Hydration, Strength Development, and Optimum Combinations of Cement-Slag-Limestone Ternary Concrete. *International Journal of Concrete Structures and Materials*. 2018. Vol. 12. No. 2. 12.
3. Ley-Hernandez A.M., Lapeyre J., Cook R., Kumar A., Feys D. Elucidating the Effect of Water-To-Cement Ratio on the Hydration Mechanisms of Cement. *ACS Omega*. 2018. Vol. 3. No. 5. Pp. 5092–5105.
4. Biernacki J.J., Bullard J.W., Sant G., Brown K., Glasser F., Jones S., Ley T., Livingston R., Nicoleau L., Olek J., Sanchez F., Shahsavari R., Stutzman P.E., Sobolev K., Prater T. Cements in the 21st century: Challenges, perspectives, and opportunities. *Journal of the American Ceramic Society*. 2017. Vol. 100. No. 7. Pp. 2746–2773.
5. Dove P.M., Han N., De Yoreo J.J. Mechanisms of classical crystal growth theory explain quartz and silicate dissolution behavior. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2005. Vol. 102. No. 25. Pp. 15357–15362.
6. Runova R.F., Nosovsky Yu.L. The use of mineral binders in prison building mixtures [Primenenie mineralnykh vyazhushhih v suhikh stroitelnykh smesyah]. *Cement and Application*. 2000. No. 6. Pp. 16–21. (rus)
7. Khaliullin M.I., Gaifullin A.R. Waterproof clinker-free composite gypsum binders with additives of industrial waste [Vodostojkie besklinkernye kompozitsionnye gipsovye vyazhushhie s dobavkami promyshlennykh othodov]. *Bulletin of TGASU*. 2017. No. 6. Pp. 127–133. (rus)
8. Rakhimov R.Z., Khaliullin A.R., Gaifullin A.R. Composite gypsum binders with the use of expanded clay dust and blast-furnace shacks as part of a complex additive [Kompozitsionnye gipsovye vyazhushhie s ispolzovaniem v sostave kompleksnoj dobavki keramzitovoj pyli i domennykh shakov]. *Dry construction mixtures*. 2014. No. 1. Pp. 19–22. (rus)
9. Berdov G.I., Ilyina L.V., Zyryanova V.N., Nikonenko N.I., Melnikov A.V. Improving the properties of composite building materials by introducing mineral microfillers [Povyshenie svojstv kompozitsionnykh stroitelnykh materialov vvedeniem mineralnykh mikronapolnitelej]. *StroyPROFI*. 2012. No. 3. Pp. 24–27. (rus)
10. Khozin V.G., Khokhryakov O.V., Bitzer A.V., Urkhanova L.A. Efficiency of using fly ash from the Gusinozersk State District Power Plant as part of cements with low water demand [Effektivnost primeneniya zoly-unosa Gusinozerskoj GRES v sostave tsementov nizkoj vodopotrebnosti]. *Stroitel'nye materialy*. 2011. No. 7. Pp. 76–78. (rus)
11. Fu J., Kamali-Bernard S., Bernard F., Cornen M. Comparison of mechanical properties of

CSH and portlandite between nano-indentation experiments and a modeling approach using various simulation techniques. Hydration kinetics and rheological behavior. Construction and Building Materials. 2018. Vol. 184. Pp. 304–310.

12. Matakah F., Soroushian P. Carbon dioxide integration into alkali aluminosilicate cement particles for achievement Composites Part B: Engineering. 2018. Vol. 151. Pp. 127–138.

13. Barbosa W., Ramalho R.D., Portella K.F. Influence of gypsum fineness in the first hours of cement paste: of improved properties. Journal of Cleaner Production. 2018. Vol. 196. Pp. 1478–1485.

14. Yang J.-M., Shi C.-J., Chang Y., Yang N. Hydration and hardening characteristics of magnesium potassium phosphate cement paste containing composite retarders. Jianzhu Cailiao Xuebao. Journal of Building Materials. 2013. Vol. 16. No. 1. Pp. 43–49.

15. Zhu Q.-H., Zhang L.-Z., Min X.-M., Yu Y.-X., Zhao X.-F., Li J.-H. Comb-typed polycarboxylate superplasticizer equipped with hyperbranched polyamide teeth. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2018. No. 553. Pp. 272–277.

16. Sumskey D.A. Thermal insulation solution based on a composite binder [Teploizoliatsionnyi rastvor na osnove kompozitsionnogo viazhushchego]. Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2018. Vol. 80. No. 2. Pp. 283–289. (rus)

17. Demyanova V.S., Kalashnikov V.I., Borisov A.A. On the use of dispersed fillers in cement systems [Ob ispolzovanii dispersnykh napolnitelei v tsementnykh sistemakh]. Zhilishchnoe stroitel'stvo. 1999. No. 1. Pp. 17–18. (rus)

18. Terlikovsky E.V., Tretnik V.Yu. The use of mechanical activation for the modification of inorganic materials [Ispolzovanie mekhanicheskoi aktivatsii dlia modifitsirovaniia neorganicheskikh materialov]. Abstracts of the V All-Union Seminar 8–10 September 1987 Tallinn. 1987. Pp. 27–28. (rus)

19. Komokhov P.G., Shangina N.N. Modified cement concrete, its structure and properties [Modifitsirovannyi tsementnyy beton ego struktura i svoystva]. Cement and its application. 2002. No. 1. Pp. 43–46. (rus)

20. Studiopedia. Official site. URL: [https://studiopedia.ru/1\\_103168\\_vibratsionnie-melnitsi-.html](https://studiopedia.ru/1_103168_vibratsionnie-melnitsi-.html).

#### Information about the authors

**Makhortov, Denis S.** Postgraduate student. E-mail: denis-mahortov1995@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Zagorodnyuk, Liliya K.** DSc, Professor. E-mail: LHZ47@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Sumskey, Dmitry A.** Assistant. E-mail: pr9nik2011@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Al Mamouri Saad Khalil Shadeed.** Postgraduate student. E-mail: saad.shadeed.ss71@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

---

Received 16.05.2022

#### Для цитирования:

Махортов Д.С., Загороднюк Л.Х., Сумской Д.А., Аль Мамури Саад Кхалил Шаид. Получение вяжущих композиций оптимальных составов на основе портландцемента и отходов боя керамического кирпича // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 7. С. 19–30. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-7-19-30

#### For citation:

Makhortov D.S., Zagorodnyuk L.Kh., Sumskey D.A., Al Mamouri Saad Khalil Shadeed. Obtaining binder compositions of optimal compositions based on portland cement and ceramic brick waste. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 7. Pp. 19–30. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-7-19-30