

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.34031/article_5db43db55dc701.66246266

**Загороднюк Л.Х., Уральский В.И., Уральский А.В., Сумской Д.А.,
Непризваннов А.Е., Шкулев А.С.*

*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46*

**E-mail: LHZ47@mail.ru*

ПОЛУЧЕНИЕ ВЯЖУЩИХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ БЕТОНОВ В ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ПОМОЛЬНОЙ МЕЛЬНИЦЕ

Аннотация. *Приведены результаты исследований по измельчению отходов мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов (ММС) Лебединского горно-обогатительного комбината в центробежном помольном агрегате, определена специфика их измельчения. Разработаны вяжущие композиции с разным процентным содержанием портландцемента и отходов мокрой магнитной сепарации в центробежном помольном аппарате. Исследована специфика процессов помола, установлены физико-механические и технологические характеристики разработанных вяжущих. Полученные данные свидетельствуют, что использование минерального наполнителя до 10% обеспечивает уплотнение структуры за счет наличия тонкодисперсного минерального наполнителя, что позволит сократить расход портландцемента до 10%. При измельчении полученных составов происходит резкое увеличение количества дефектов на поверхности, которое объясняется нарушением связей между кристаллами, сопровождающееся разрывом связей между кремнием и кислородом. Проявление активности отходов мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов, по-видимому, связано с присутствием на их поверхности значительного числа обменных центров, существенную долю которых составляют основания и кислоты. Процессы гидратации и формирование цементного камня при использовании вяжущих композиций требует дальнейшего тщательного изучения.*

Ключевые слова: *вяжущие композиции, центробежный помольный агрегат, отходы мокрой магнитной сепарации, гранулометрический состав, физико-механические показатели.*

Введение. На мировом рынке строительных материалов ведущее место занимает бетон. Ежегодно в мировых масштабах используют примерно 15 млрд. м³ бетона, в двадцатом столетии только в Российской Федерации было применено около 21 млрд. м³ бетона и железобетона [1–3]. На его изготовление было затрачено более 65 % всего произведенного цемента и 35 % нерудных стройматериалов. В денежном выражении бетон и железобетон составляют около 60 % стоимости всех материалов, используемых в строительстве. Эффективность бетонной и железобетонной промышленности во многом определяет уровень всей индустрии стройматериалов.

При смене безграничного «технического прогресса» всемирное сообщество предложило гипотезу устойчивого развития современной цивилизации с учетом интересов будущих поколений. В этих условиях материалы и технологии в области строительства должны характеризоваться всеми признаками пятого технологического уклада в мире, который утвердился в развитых странах. Данный подход подразумевает гуманизацию и экологизацию технологий, значи-

тельный уровень автоматизации и компьютеризации процессов, ресурсоемкий и трудосберегающий вид воспроизводства, деконцентрацию производства, что является основой для концепции «устойчивого развития строительства», заложенных критериев – ресурсосбережение и энергосбережение, защита окружающей среды.

Очень важно с экологической точки зрения использование отходов энергетики, металлургии и других областей при производстве бетона. Накопление данных отходов в РФ со всеми негативными результатами значительно опережает объемы их утилизации. Цементная индустрия является одной из основных отраслей стройматериалов, где максимально применяются техногенные продукты. В качестве сырья обширно используются отходы различных отраслей промышленности. Нередко для производства портландцемента используют вскрышные породы горно-обогатительных комбинатов. Известно использование в качестве сырьевого компонента железорудных хвостов, шлаков электротермофосфорных, но чаще доменного гранулированного шлака в качестве активной минеральной добавки. Комплексное применение материалов и

техногенных продуктов дает возможность увеличить выпуск многочисленных разновидностей продукции на 35–55 %, уменьшить ее первоначальную стоимость в 2–4 раза. Вопрос утилизации крупнотоннажных отходов носит международный характер. В Соединенных Штатах Америки объем переработки отходов составляет 20 %, во Франции–62 %, в Германии–76,5 %. Объем переработки отходов в Польше и Болгарии составляет около 40 %.

Особое развитие в современных условиях приобретает использование в строительных технологиях композиционных вяжущих для производства сухих строительных смесей различного назначения, мелкозернистых бетонов, для тяжелых бетонов специального назначения [4–15].

Таким образом, последующее формирование технологий бетона и железобетона, в рамках концепции «стабильного развития», сопряжено с использованием композиционных цементов, в вещественном составе которых возможно применение тонкодисперсных техногенных наполнителей.

Формирование данной тенденции ускорило с введением нового европейского стандарта EN 197-1, который в настоящее время стандартизировал 27 различных видов цемента общего назначения для строительных целей. Согласно EN 197-1, в качестве основных компонентов цемента наряду с клинкером могут использоваться гранулированные доменные шлаки, пуццоланы, зола-унос, горючие сланцы и силикатная пыль.

Одним из способов увеличения производства цемента является использование местных природных ресурсов, а также техногенных ресурсов в дополнение к подземным ресурсам.

Таким образом, на сегодняшний день остро назрела проблема использования техногенного сырья, а также создание композиционных вяжущих с требуемыми функциональными свойствами [16–21].

Особый интерес в связи с вышеизложенным представляют отходы металлургического производства Лебединского горно-обогатительного комбината, ежегодный выход которых составляет десятки млн. тонн.

Методология. В качестве сырьевых материалов использованы: цемент ЦЕМ 1 42,5Н (ГОСТ 31108-2003) ЗАО «Белгородский цемент» и отходы ММС Лебединского горно-обогатительного комбината. Композиционное вяжущее получали в центробежном помольном агрегате. Гранулометрический анализ проводили на установке MicroSizer 201. Физико-механические свойства вяжущих композиций определяли в соответствии с нормативными требованиями.

Основная часть. Установлено, что для получения высококачественных бетонов и повышения эффективности использования цемента в бетонах целесообразно применять композиционные вяжущие с использованием отходов мокрой магнитной сепарации [22–24]. Особый интерес в связи с приготовлением композиционного вяжущего представляет помольный агрегат, в котором происходит измельчение и механоактивация портландцемента и отходов мокрой магнитной сепарации.

На территории БГТУ им. В.Г. Шухова в инновационно-технологическом комплексе «Рецикл» установлен разработанный на кафедре технологических комплексов, машин и механизмов центробежный помольный агрегат, предназначенный для тонкого измельчения техногенных материалов различной прочности [25]. Схема агрегата представлена на рисунке 1.

Центробежный помольный агрегат работает следующим образом. Подается материал через загрузочный бункер (1), который работает как вибробункер, бункер фиксирован на стойках (2, 3), прикрепленных к раме (4), при открытых клапанах (5, 6) равномерно поступает по монтажным патрубкам (7, 8) в загрузочные патрубки верхних помольных камер (9). Продвижение материала осуществляется посредством верхней (9), средней (10) и нижней (11) помольных камер, объединенных между собой монтажными патрубками (12), это обеспечивает активное измельчение за счет ударного и абразивного воздействия помольных шаров на материал. Вследствие различных траекторий движения материала и помольных шаров в камерах и, соответственно, различных динамических нагрузок мелющих тел на исходный материал, и сочетаний ударных и истирающих нагрузок происходит измельчение материала. Измельченный материал высыпается через выпускные трубы (13, 14). Перемещение шарнирно соединенных с парами ползунов (15, 16) рам (17, 18) с установленными на них камерами помола реализуется от вращения эксцентриковых валов (19, 20), установленных на стойках опор (21, 22).

Установка эксцентриковых валов на необходимый угол α (в данном случае $\alpha = 180^\circ$) и скоординированное их вращение обеспечивается через промежуточный вал (23) и зубчатые колеса (24, 25, 26), установленные на эксцентриковых и промежуточном валах. Динамические нагрузки, которые возникают при перемещении двух параллельных рычажных механизмов, уравниваются, что обеспечивает равномерное измельчение материала при одинаковых режимах работы обеих частей агрегата, что обеспечивает повышение производительности агрегата.

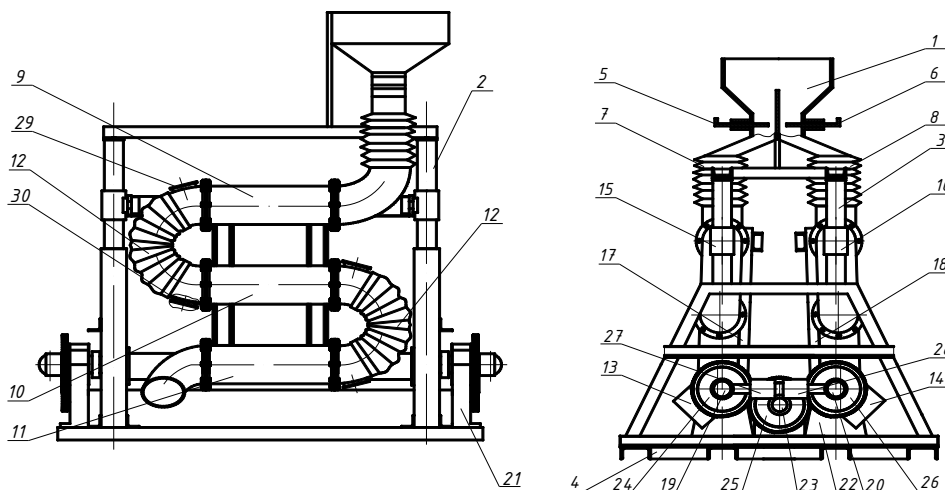


Рис. 1. Центробежное помольное устройство

Схема центробежного помольного агрегата: 1 – загрузочный бункер; 2, 3 – цилиндрические направляющие; 4 – станина; 5, 6 – заслонки; 7, 8 – соединительные патрубки; 9 – верхняя помольная камера; 10 – средняя помольная камера; 11 – нижняя помольная камера; 12 – соединительный патрубок; 13, 14 – разгрузочные патрубки; 15, 16 – ползуны; 17, 18 – подвижные рамы; 19, 20 – эксцентрикные валы; 21, 22 – опорные стойки; 23 – промежуточный вал; 24, 25, 26 – зубчатые колеса; 27, 28 – регулируемые противовесы; 29 – загрузочное окно; 30 – разгрузочное окно

Принципиальный подход в предлагаемом помольном устройстве гарантирует одновременное измельчение и перемешивание составных частей смесей, кроме того, конструктивные особенности агрегата позволяют изменять режимы динамического воздействия мелющих шаров на сы-

рьевой измельчаемый материал за счет изменения траекторий движения материала и помольных камер.

Основные технические характеристики центробежного помольного устройства приведены в таблице 1.

Таблица 1

Техническая характеристика центробежного помольного агрегата

№ п/п	Характеристика	Размерность	Обозначение	Значение
1.	Диаметр камеры помола	М	$D_{вн}$	$150 \cdot 10^{-3}$
2.	Длина камеры помола	М	$L_{к}$	$500 \cdot 10^{-3}$
3.	Коэффициент загрузки камер		φ	0,25–0,35
4.	Производительность	кг/ч	Q	50–250
5.	Частота вращения эксцентрикного вала	мин ⁻¹	N	350–420
6.	Величина эксцентриситета	М	E	$20 \cdot 10^{-3}$
7.	Потребляемая мощность	кВт	$P_{пот}$	2,4
8.	Габаритные размеры: -длина -ширина -высота	М	L B H	2,34 1,4 1,286
9.	Масса	Кг	M	950

В соответствии с поставленной целью в центробежном помольном агрегате готовили составы вяжущих композиций при разных соотношениях компонентов на основе портландцемента ЦЕМ I 42,5Н (ГОСТ 31108-2003) ЗАО «Белгородский цемент» и отходов мокрой магнитной сепарации при различных продолжительностях помола 15, 30 и 45 мин (таблица 2).

Гранулометрический состав портландцемента и вяжущих композиций изменялся от 0,1 до 100 мкм и более (рис. 2-3). Удельная поверхность исходного портландцемента составляла $9807 \text{ см}^2/\text{см}^3$. При измельчении в течение 15 минут удельная поверхность увеличивается в 1,87 раза – до $18302 \text{ см}^2/\text{см}^3$. При помолу 30 минут

удельная поверхность рядового портландцемента достигает $19093 \text{ см}^2/\text{см}^3$, что возрастает в 1,95 раза по сравнению с исходным портландцементом. При последующем увеличении длительности времени помола до 45 минут удельная поверхность измельченного портландцемента увеличивается до $20098 \text{ см}^2/\text{см}^3$ – в 2,1 раз. Полученные данные свидетельствуют о высокой эффективности измельчения в центробежном помольном агрегате

Состав вяжущей композиции №5 имеет удельную поверхность $9463 \text{ см}^2/\text{см}^3$. Измельчение в течение 15 минут вяжущей композиции с

соотношением компонентов портландцемент – отходы мокрой магнитной сепарации = 90/10 % в центробежном помольном агрегате дает увеличение удельной поверхности в 1,81 раз ($17176 \text{ см}^2/\text{см}^3$). При помоле в течение 30 минут удельная поверхность повышается до $19479 \text{ см}^2/\text{см}^3$ (состав №7) т.е. в 2,06 раза по сравнению с исходной вяжущей композицией. С увеличением времени измельчения до 45 минут удельная поверхность увеличивается в 2,16 раза – до $20436 \text{ см}^2/\text{см}^3$ (состав №8).

Таблица 2

Составы вяжущих композиций

№ состава	Состав, %		Время измельчения, мин	Плотность, $\text{г}/\text{см}^3$	Удельная пов-ть, $\text{см}^2/\text{см}^3$	$R_{\text{сж}}$ в возрасте 28 сут, МПа
	портландцемент	отходы мокрой магнитной сепарации				
1	100	0	0	2,4	9807	37,8
2	100	0	15	2,55	18302	48,3
3	100	0	30	2,55	19093	48,9
4	100	0	45	2,4	20098	52,9
5	90	10	0	2,55	9463	32,4
6	90	10	15	2,55	17176	44,8
7	90	10	30	2,48	19479	45,7
8	90	10	45	2,4	20436	49,8
9	80	20	0	2,4	9693	26,5
10	80	20	15	2,4	13918	31,1
11	80	20	30	2,48	17109	37,6
12	80	20	45	2,5	18964	43,8
13	70	30	0	2,3	9913	22,1
14	70	30	15	2,5	15004	30,0
15	70	30	30	2,48	17599	35,7
16	70	30	45	2,4	20871	40,1

Вяжущая композиция состава №9 имеет удельную поверхность $9693 \text{ см}^2/\text{см}^3$. Измельчение в течение 15 минут вяжущей композиции с соотношением компонентов портландцемент – отходы мокрой магнитной сепарации = 80/20 % в центробежном помольном агрегате дает увеличение удельной поверхности в 1,4 раза ($13918 \text{ см}^2/\text{см}^3$). При помоле в течение 30 минут удельная поверхность повышается до $17109 \text{ см}^2/\text{см}^3$ (состав №9) т.е. в 1,77 раза по сравнению с исходной вяжущей композицией. С увеличением времени измельчения до 45 минут удельная поверхность увеличивается в 1,96 раза – до $18964 \text{ см}^2/\text{см}^3$ (состав №10).

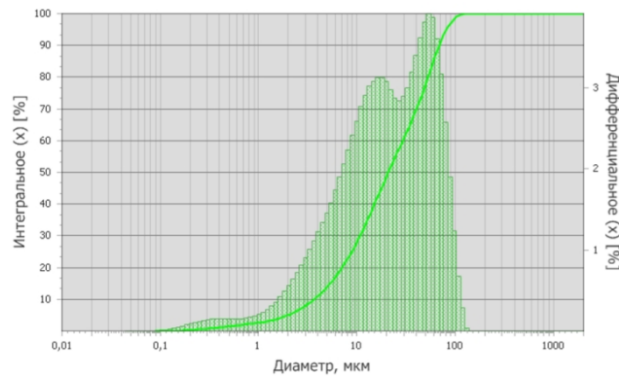
Вяжущая композиция не измельченная с соотношением компонентов портландцемент – отходы мокрой магнитной сепарации = 70/30%

имеет удельную поверхность $9913 \text{ см}^2/\text{см}^3$ (состав 13). При измельчении в течение 15 минут в центробежном помольном агрегате удельная поверхность повышается до $15004 \text{ см}^2/\text{см}^3$ (состав №12) т.е. в 1,51 раза. Увеличивая время измельчения до 30 минут удельная поверхность повысится до $17599 \text{ см}^2/\text{см}^3$ (в 1,81 раза по сравнению с составом №13). При времени измельчения – 45 минут удельная поверхность будет увеличена в 2,15 раза ($20871 \text{ см}^2/\text{см}^3$). Анализ приведенных данных свидетельствует о том, что центробежный помольный агрегат создает наилучшие условия для измельчения мелкозернистых материалов.

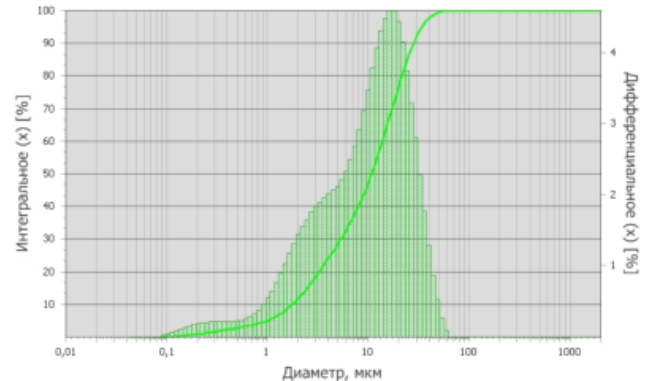
На рис. 4–7 представлены сравнительные кривые гранулометрических составов портландцементов и вяжущих композиций до и после помола. Установлено, что при увеличении времени

измельчения с 15 до 45 минут фракционный состав портландцемента сужается и преобладающей является фракция 10–30 мкм. Сравнительные кривые гранулометрических составов вяжущих композиций с соотношением компонентов портландцемент – отходы ММС = 90–10 % (рис.

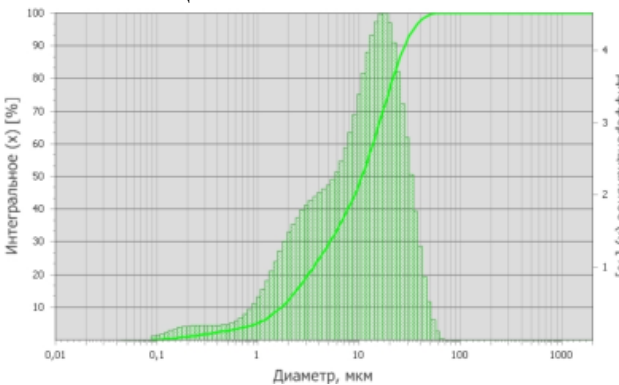
5) идентичны сравнительным кривым гранулометрических составов портландцементов (рис. 4). Отличительной особенностью является то, что с увеличением продолжительности измельчения кривые смещаются влево в область наименьших размеров.



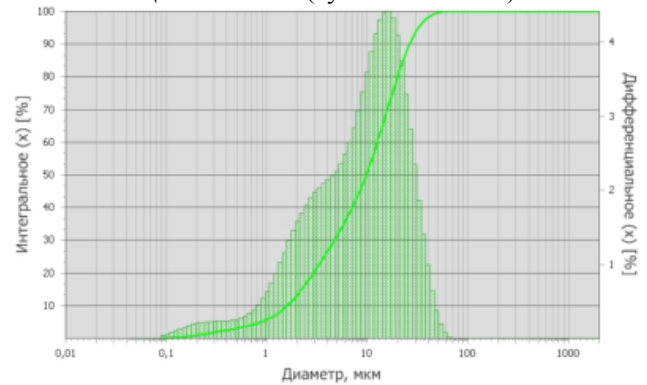
Цемент 100 % без помола



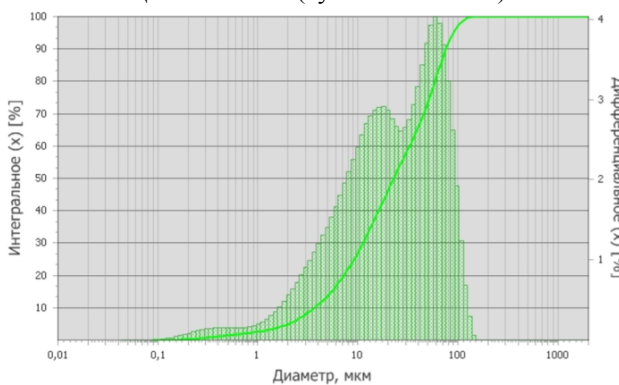
Цемент 100 % (сух. изм. 15 мин.)



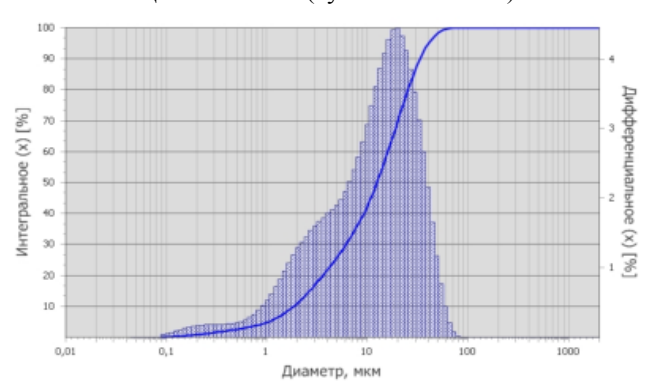
Цемент 100 % (сух. изм. 30 мин.)



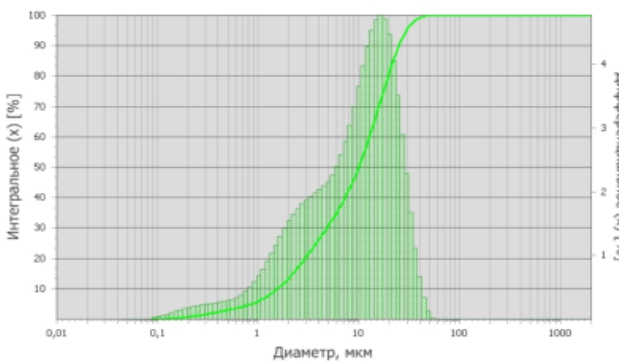
Цемент 100 % (сух. изм. 45 мин.)



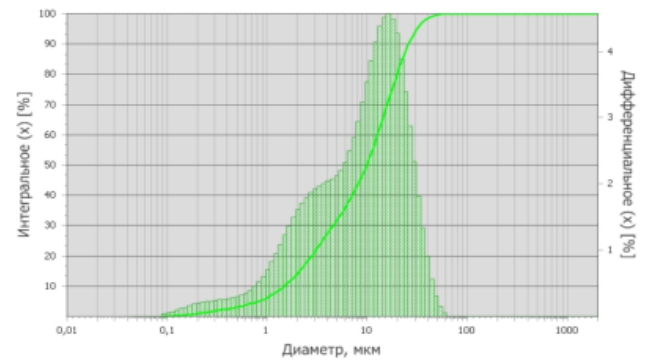
Цемент 90 % + ММС 10 % без помола



Цемент 90 % + ММС 10 % (сух. изм. 15 мин.)



Цемент 90 % + ММС 10 % (сух. изм. 30 мин.)

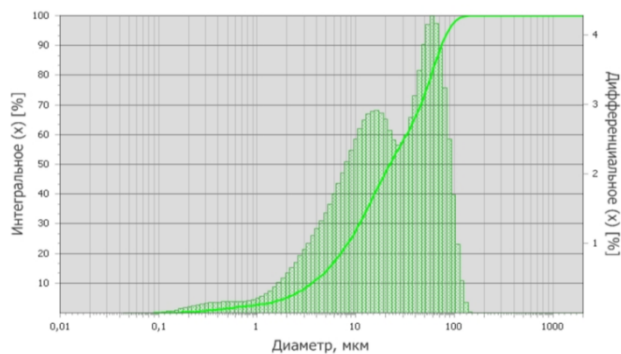


Цемент 90 % + ММС 10 % (сух. изм. 45 мин.)

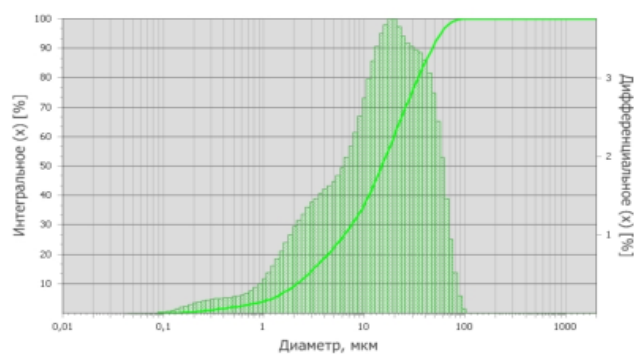
Рис. 2. Гранулометрический состав портландцемента и вяжущих композиций

Для вяжущих композиций (рис. 6–7) с содержанием минерального компонента 20 и 30 % отмечается, что с увеличением длительности помола кривые гранулометрического состава стабильно смещаются влево, что свидетельствует о приросте дисперсной фазы в этих составах, отмечается, что в составах с повышенным содержанием ММС прирост дисперсной фазы более интенсивный. Вышеизложенное свидетельствует

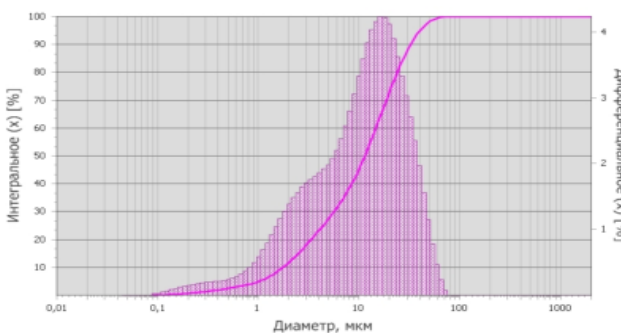
об эффективности применения центробежного помольного агрегата для составов, содержащих цемент и твердую минеральную составляющую, представленную отходами ММС, содержащими до 30 % железистой составляющей, что придает хрупкость и обеспечивает высокую размолоспособность зернам вяжущей композиции.



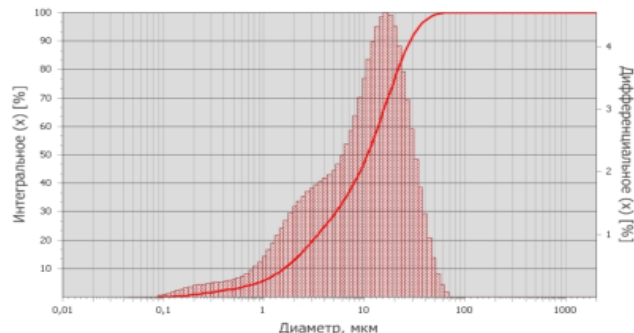
Цемент 80 % + ММС 20 % без помола



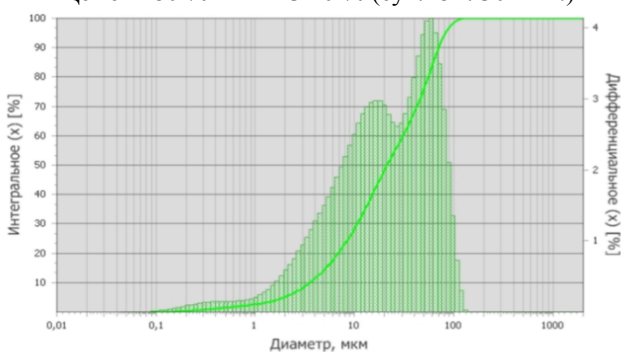
Цемент 80 % + ММС 20 % (сух.изм. 15 мин.)



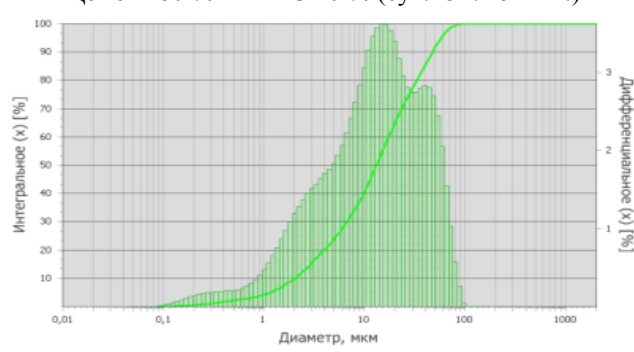
Цемент 80 % + ММС 20 % (сух.изм. 30 мин.)



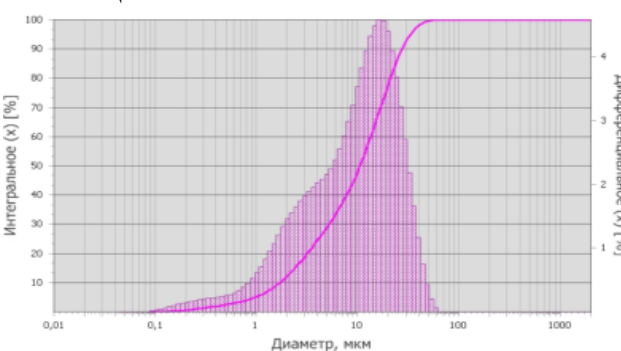
Цемент 80 % + ММС 20 % (сух.изм. 45 мин.)



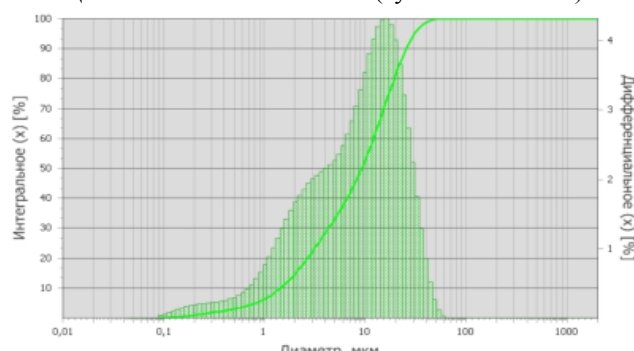
Цемент 70 % + ММС 30% без помола



Цемент 70 % + ММС 30 % (сух. изм. 15 мин.)



Цемент 70 % + ММС 30 % (сух. изм. 30 мин.)



Цемент 70 % + ММС 30 % (сух. изм. 45 мин.)

Рис. 3. Гранулометрический состав вяжущих композиций

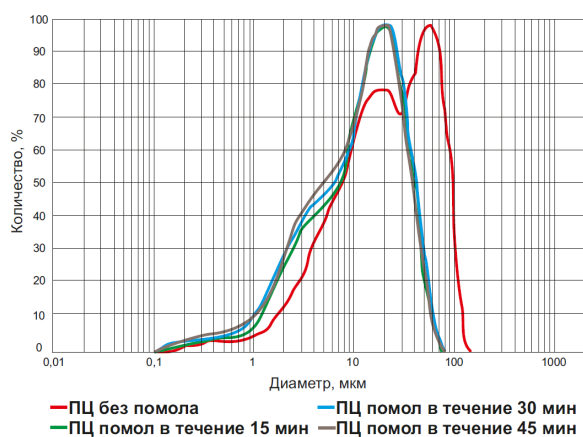


Рис. 4. Сравнительные кривые гранулометрических составов портландцементов

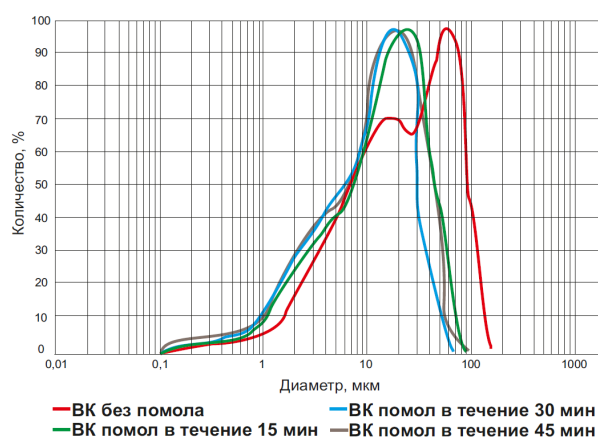


Рис. 5. Сравнительные кривые гранулометрических составов вяжущих композиций с соотношением компонентов портландцемент – отходы ММС = 90–10 %

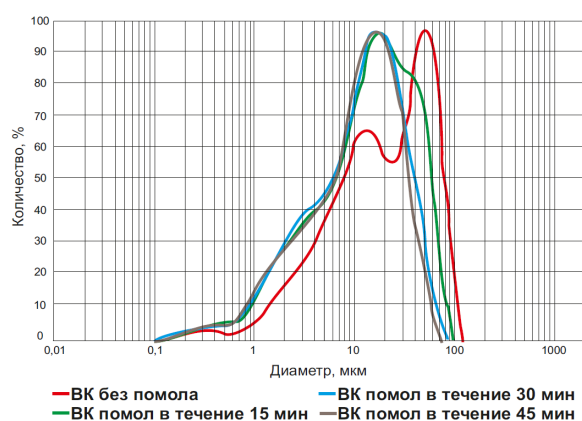


Рис. 6. Сравнительные кривые гранулометрических составов вяжущих композиций с соотношением компонентов портландцемент – отходы ММС = 80–20 %

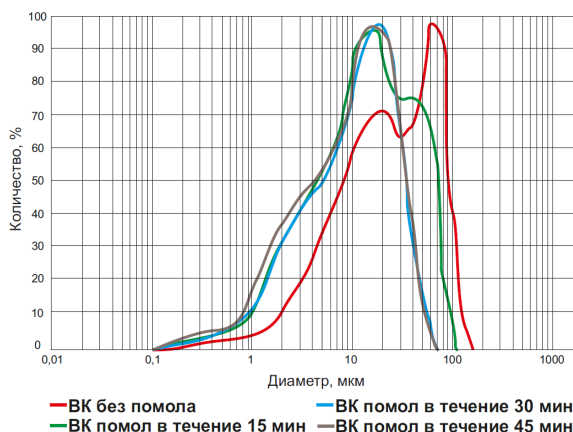


Рис. 7. Сравнительные кривые гранулометрических составов вяжущих композиций с соотношением компонентов портландцемент – отходы ММС = 70–30 %

Из всех составов вяжущих композиций были отформованы образцы-балочки размером $4 \times 4 \times 16$ см (по 6 шт), которые хранились в нормальных условиях. Физико-механические испытания образцов вяжущих композиций проводили в возрасте 28 суток (рис. 8).

Установлено, что при увеличении длительности измельчения портландцемента в центробежном помоле удельная поверхность значительно увеличивается, что положительно сказывается на создании благоприятных условий для формирования прочного цементного камня, о чем свидетельствует увеличение прочности от 28 до 40 %. Такая же тенденция сохраняется при содержании в вяжущей композиции 10 % добавки ММС. Сравнение прочностных характеристик вяжущих композиций при соотношении компонентов портландцемент – отходы

ММС = 90–10 % при увеличении длительности измельчения от 15 до 45 мин показывает прирост прочности от 38 до 60 %. Для составов с соотношением компонентов портландцемент – отходы ММС = 80–20 % прирост прочности составляет 36–65 %; для составов с соотношением компонентов портландцемент – отходы ММС = 70–30 % – 36–81 %. Изложенное свидетельствует об эффективности работы центробежного помольного агрегата.

Полученные данные свидетельствуют, что использование минерального наполнителя до 10 % обеспечивает уплотнение структуры за счет наличия тонкодисперсного минерального наполнителя, что позволит сократить расход портландцемента до 10 %.

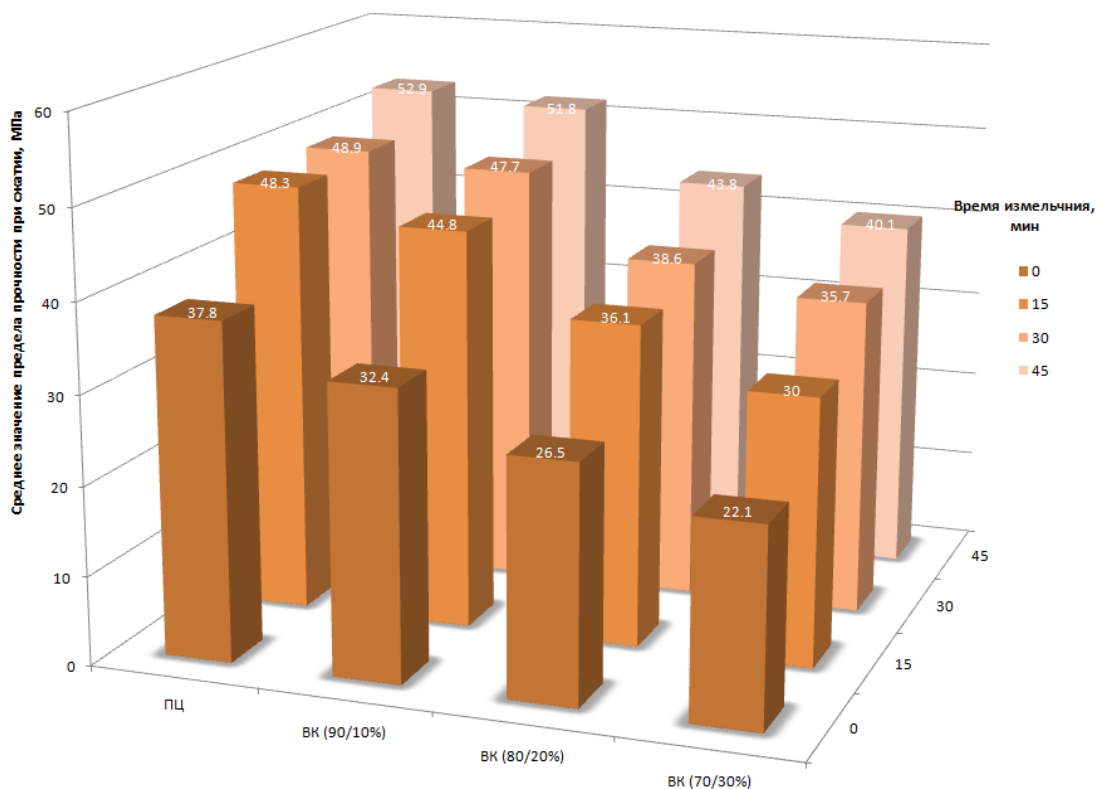


Рис. 8. Сравнительные прочностные характеристики портландцементов и вяжущих композиций, измельченных в центробежном помольном агрегате

При механоактивации составов вяжущих композиций происходит резкое возрастание концентрации поверхностных дефектов, обусловленное нарушением контактов между кристаллами с разрывом кремнекислородных валентных связей.

Проявление активности отходов мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов, по видимому, связано с наличием на их поверхности большого количества обменных центров, значительную часть которых составляют кислоты и основания по Бренстеду. Процессы гидратации и формирование цементного камня при использовании вяжущих композиций требует дальнейшего тщательного изучения.

Выводы. Полученные результаты исследований по измельчению отходов мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов (ММС) Лебединского горно-обогатительного комбината в центробежном помольном агрегате показали, что данный помольный агрегат обеспечивает высокую размолоспособность зернам вяжущей композиции, состоящей из портландцемента и твердой минеральной составляющей, представленной отходами ММС. Вяжущие композиции, приготовленные в центробежном помольном агрегате с дозировкой минеральной добавки до 10 % позволяют сократить расход дорогостоящего энергоемкого портландцемента.

Источник финансирования. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-29-24113.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Несветайло В.М. Многофункциональные бетоны нового поколения // Технологии бетонов. 2018. № 11-12. С. 46–49.
2. Строителева Е.А. Мелкозернистые бетоны с минеральными добавками // Проектирование развития региональной сети железных дорог. 2018. № 6. С. 58–62.
3. Хасимова А.С., Морозова Н.Н., Хозин В.Г. Литой бетон на основе композиционного гипсового вяжущего // Технологии бетонов. 2015. № 3-4. С. 23-25.
4. Загороднюк Л.Х., Лесовик В.С., Шамшуров А.В., Беликов Д.А. Композиционные вяжущие на основе органико-минерального модификатора для сухих ремонтных смесей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. № 5. С. 25–31.
5. Lesovik V.S., Zagorodnyk L.H., Tolmacheva M.M., Smolnikov A.A., Shekina A.Y., Shakarna M.H.I. Structure-formation of contact layers of composite materials // Life Science Journal, 2014. № 11. С. 948–953.
6. Kuprina A.A., Lesovik V.S., Zagorodnyk L.H., Elistratkin M.Y. Anisotropy of Materials Properties of Natural and Man-Triggered Origin // Research Journal of Applied Sciences, 2014. №9. Pp. 816–819.

7. Volodchenko A.A., Lesovik V.S., Zagorodnjuk L.H., Volodchenko A.N. and Kuprina A.A. The control of building composite structure formation through the use of multifunctional modifiers // Research journal of applied sciences. 2015. № 10. С. 931-936.

8. Volodchenko A.A., Lesovik V.S., Zagorodnjuk L.H., Volodchenko A.N. and Prasolova E.O. Influence Of The Inorganic Modifier Structure On Structural Composite Properties // International Journal of Applied Engineering Research 2015. Т. 10. № 19. С. 40617-40622.

9. Попов А.Л., Строкова В.В. Фибропенобетон автоклавного твердения с использованием композиционного вяжущего // Строительные материалы. 2019. № 5. С. 38-44.

10. Федоров В.И., Абдимежитов М.К., Дьяконов А.А., Попов А.Л., Местников А.Е. Легкие бетоны из отходов производства автоклавного пенобетона // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 11-1. С. 61-65.

11. Строкова В.В., Жерновский И.В., Нелюбова В.В., Сумин А.В. Фазовые трансформации при гидратации модифицированного цементного камня // Труды Кольского научного центра РАН. 2017. Т. 8. № 5-1. С. 199-204.

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

13. Капуста М.Н., Нецвет Д.Д., Дягель И.А., Любимов Д.Н. Повышение эффективности поризованных композитов на основе наноструктурированного вяжущего // Технологии бетонов. 2013. № 3. С. 32-33.

14. Барышников В.Г., Горелов А.М., Панков Г.И. Вторичные материальные ресурсы черной металлургии: справочник, Т. 2. Шлаки, шламы, отходы обогащения железных и марганцевых руд, отходы коксохимической промышленности, железный купорос, образование и использование. М.: Экономика, 1986. 344 с.

15. Рахимбаев Ш.М., Мосьпан В.И., Яшуркаева Л.И., Тарарин В.К. Кинетика помола компо-

нентов портландцементной сырьевой смеси с использованием вторичных продуктов ГОКов КМА // Современные проблемы строительного материаловедения: материалы седьмых академических чтений РААСН. Белгород, 2001. Ч. 1. С. 450-453.

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

17. 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.

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

19. Рахимбаев Ш.М., Тарарин В.К., Каушанский В.Е., Панкратов В.Л., Шелудько В.П., Ежова С.Н., Мосьпан В.И. Производство цемента с использованием отходов железнорудных предприятий Курской магнитной аномалии // Цемент. 1987. № 8. С.16-17

20. Елистраткин М.Ю., Минакова А.В., Джамиль А.Н., Куковицкий В.В., Эльян И.Ж.И. Композиционные вяжущие для отделочных составов // Строительные материалы и изделия. 2018. Т. 1. № 2. С. 37-44.

21. Чернышева Н.В., Шаталова С.В., Евсюкова А.С., Фишер Ханц-Бертрам. Особенности подбора рационального состава композиционного гипсового вяжущего // Строительные материалы и изделия. 2018. Т. 1. № 2. С. 45-52.

22. Бессмертный В.С., Кочурин Д.В., Бондаренко Д.О., Брагина Л.Л., Варфоломеева С.В. Теплоизоляционные блочные материалы с защитно-декоративными покрытиями // Строительные материалы и изделия. 2019. Т. 2. № 1. С. 4-10.

23. Патент №2381837 РФ, 11.03.2008. Гридчин А.М., Севостьянов В.С., Лесовик В.С., Уральский В.И., Уральский А.В., Сеница Е.В. Помольно-смесительный агрегат. 2010. Бюл. №5.

Информация об авторах

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

Уральский Владимир Иванович, кандидат технических наук, профессор кафедры технологических комплексов, машин и механизмов. E-mail: wiural@msil.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Уральский Алексей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологических комплексов, машин и механизмов. E-mail: wiural@msil.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

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

Непризваннов Александр Евгеньевич, магистрант кафедры технологических комплексов, машин и механизмов. E-mail: Neprizvannov@bk.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Шкулев Андрей Сергеевич, магистрант кафедры технологических комплексов, машин и механизмов. E-mail: shkulev.andrey@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в июне 2019 г.

© Загороднюк Л.Х., Уральский В.И., Уральский А.В., Сумской Д.А., Непризваннов А.Е., Шкулев А.С., 2019

***Zagorodnyuk L.Kh., Uralsky V.I., Uralskiy A.V., Sumskoy D.A.,
Neprizvannov A.E., Shkulev A.S.**

*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
Russia, 308012, Belgorod, ul. Kostyukova 46*

**E-mail: LHZ47@mail.ru*

PREPARATION OF BINDING COMPOSITIONS FOR CONCRETE IN A CENTRIFUGAL GRINDING MILL

Abstract. *The results of studies on the grinding of waste wet magnetic separation of ferruginous quartzites of the Lebedinsky mining and processing plant in a centrifugal grinding unit are given, their grinding features are established. Binder compositions are obtained at different ratios of cement and wet magnetic separation waste in a centrifugal grinding mill at different grinding modes. The features of grinding processes are studied, the technological and physicomechanical properties of the obtained binding compositions are determined. The data obtained indicate that the use of mineral filler up to 10% provides compaction of the structure due to the presence of fine mineral filler, which will reduce the consumption of Portland cement to 10%. During mechanical activation of the compositions of binding compositions, a sharp increase in the concentration of surface defects occurs, due to the violation of contacts between crystals with the rupture of silicon-oxygen valence bonds. The activity of the wet magnetic separation waste of ferruginous quartzites is apparently due to the presence of a large number of exchange centers on their surface, a significant part of which are Bronsted acids and bases. The processes of hydration and the formation of cement with the use of binders requires further detailed study.*

Keywords: *binding composition, centrifugal grinding unit, waste of wet magnetic separation, particle size distribution, physical and mechanical properties.*

REFERENCES

1. Nesvetilo V.M. Multifunctional concretes of a new generation [Mnogofunkcionalnie betoni novogo pokoleniya]. Concrete Technologies. 2018. No. 11-12. Pp. 46–49. (rus)
2. Stroiteleva E.A. Fine-grained concretes with mineral additives [Melkozernistie betoni s mineralnimi dobavkami]. Designing the development of a regional railway network. 2018. No. 6. Pp. 58–62. (rus)
3. Khasimova A.S., Morozova N.N., Khozin V.G. Cast concrete on the basis of composite gypsum binder [Litoi beton na osnove kompozitsionnogo gipsovogo vyajushego]. Concrete technologies. 2015. No. 3–4. Pp. 23–25. (rus)
4. Zagorodnyuk L.Kh., Lesovik V.S., Shamshurov A.V., Belikov D.A. Composite binders on the basis of organo-mineral modifier for dry repair mixtures [Kompozitsionnie vyajuschie na osnove organo_mineralnogo modifikatora dlya suhikh remontnih smesei]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2014. No. 5. Pp. 25–31. (rus)
5. Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Tolmacheva M.M., Smolikov A.A., Shekina A.Y., Shakarna M.H.I. Life Science Journal. 2014. No. 11. Pp. 948–953.
6. Kuprina A.A., Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Elistratkin M.Y. Anisotropy of Materials and Natural Resources. Mans-Triggered Origin. Research Journal of Applied Sciences. 2014. No. 9. Pp. 816–819.
7. Volodchenko A.A., Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Volodchenko A.N. and Kuprina A.A. The use of multifunctional modifiers. Research journal of applied sciences. 2015. No. 10. Pp. 931–936.

8. Volodchenko A.A., Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Volodchenko A.N. and Prasolova E.O. Influence Of Inorganic Modifier Structural Composite Properties. *International Journal of Applied Engineering Research*. Vol. 10. No. 19. Pp. 40617–40622.
9. Popov A.L., Strokova V.V. Autoclaved fibrous foam concrete using a composite binder [Fibropenobeton avtoklavnogo tverdeniya s ispol'zovaniem kompozitsionnogo vyazhushchego] // *Building Materials*. 2019. No. 5. Pp. 38–44. (rus)
10. Fedorov V.I., Abdimezhitov M.K., Dyakonov A.A., Popov A.L., Mestnikov A.E. Lightweight concrete from waste production of autoclaved foam concrete [Legkie betony iz otkhodov proizvodstva avtoklavnogo penobetona]. *Modern high technology*. 2016. No. 11–1. Pp. 61–65. (rus)
11. Strokova VV, Zhernovskiy IV, Nelyubova VV, Sumin A.V. Phase transformations during hydration of modified cement stone [Fazovye transformatsii pri gidratatsii modifitsirovannogo tsementnogo kamnya]. *Transactions of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences*. 2017. Vol. 8. No. 5-1. Pp. 199–204. (rus)
12. Sumskey D.A. Thermal insulation solution based on a composite binder [Teploizolyatsionnyy rastvor na osnove kompozitsionnogo vyazhushchego]. *Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2018. Vol. 80. No. 2. Pp. 283–289. (rus)
13. Cabbage M.N., Netsvet D.D., Diagal I.A., Lyubimov D.N. Improving the efficiency of porous composites based on nanostructured binder [Povyshenie effektivnosti porizovannykh kompozitov na osnove nanostrukturirovannogo vyazhushchego]. *Concrete Technologies*. 2013. No. 3. Pp. 32–33. (rus)
14. Baryshnikov V.G., Gorelov A.M., Pankov G.I. Secondary material resources of ferrous metallurgy: a handbook, T. 2. Slag, sludge, waste iron and manganese ores, waste from the coking industry, iron sulphate, formation and use [Vtorichnie materialnie resursy chernoi metallurgii spravochnik T. 2. Shlaki shlami othodi obogascheniya jeleznykh i margancevnykh rud othodi koksohimicheskoi promishlennosti jeleznoi kuporos obrazovanie i ispolzovanie]. M.: Economics, 1986. 344 p. (rus)
15. Rakhimbaev Sh.M., Mospan V.I., Yashurkaeva L.I., Tararin V.K. Kinetics of grinding the components of the Portland cement raw mix using secondary products from mining enterprises of the KMA [Kinetika pomola komponentov portlandcementnoi sirevoi smesi s ispolzovaniem vtorichnykh *Information about the authors*
- produktov GOKov KMA] *Modern problems of building materials science: materials of the seventh academic readings of the RAACS*. Belgorod, 2001. Part 1. Pp. 450–453. (rus)
16. Demyanova V.S., Kalashnikov V.I., Borisov A.A. On the use of dispersed fillers in cement systems [Ob ispolzovanii dispersnykh napolnitelei v cementnykh sistemakh]. *Housing construction*. 1999. No. 1. Pp. 17–18. (rus)
17. Terlikovskiy E.V., Tretnik V.Yu. The use of mechanical activation for modifying inorganic materials [Isolzovanie mehanicheskoi aktivatsii dlya modifitsirovaniya neorganicheskikh materialov]. Abstracts of the V All-Union Seminar of September 8–10, 1987. Tallinn. 1987. Pp. 27–28. (rus)
18. Komokhov P.G., Shangina N.N. Modified cement concrete its structure and properties [Modifitsirovanniy cementniy beton ego struktura i svoystva]. *Cement and its application*. 2002. No. 1. Pp. 43–46. (rus)
19. Rakhimbaev Sh.M., Tararin V.K., Kaushansky V.E., Pankratov V.L., Sheludko V.P., Ezhova S.N., Mospan V.I. Cement production using waste iron enterprises of the Kursk Magnetic Anomaly [Proizvodstvo cementa s ispolzovaniem otkhodov jeleznorudnykh predpriyatii Kurskoi magnitnoi anomalii]. *Cement*. 1987. No. 8. Pp. 16–17. (rus)
20. Elistratkin M.Yu., Minakova A.V., Jamil A.N., Kukovitsky V.V., Elyan I.ZH.I. Composite binders for finishing compositions [Kompozitsionnye vyajuschie dlya otdelochnykh sostavov]. *Building materials and products*. 2018. Vol. 1. No. 2. Pp. 37–44. (rus)
21. Chernysheva N.V., Shatalova S.V., Evsyukova A.S., Fisher Hanz-Bertram. Features of the selection of a rational composition of a composite gypsum binder [Osobennosti podbora racionalnogo sostava kompozitsionnogo gipsovogo vyajushego]. *Construction materials and products*. 2018. Vol. 1. No. 2. Pp. 45–52. (rus)
22. Bessmertny V.S., Kochurin D.V., Bondarenko D.O., Bragina L.L., Varfolomeeva S.V. Thermal insulation block materials with protective and decorative coatings [Teploizolyatsionnye blochnye materialy s zaschitno-dekorativnymi pokritiyami]. *Construction materials and products*. 2019. Vol. 2. No. 1. Pp. 4–10. (rus)
23. Gridchin A.M., Sevostyanov V.S., Lesovik V.S., Uralsky V.I., Uralsky A.V., Sinita E.V. Pomolno-smesitelnyy agregat. PatentRF, no. 2381837, 2008.

Zagorodnyuk, Liliya Kh. DSc, Professor. E-mail: zagorodnyk.lh@bstu.ru Belgorod State Technological University named after V.G.Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Uralskiy, Vladimir I. PhD, Professor. E-mail: wiural@msil.ru. Belgorod State Technological University named after V.G.Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Uralskiy, Alexey V. PhD, Assistant professor. E-mail: wiural@msil.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Sumskoy, Dmitry Alekseevich, Postgraduate student. E-mail: pr9nik2011@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Neppravzannov, Alexander E. Master student. E-mail: Neprizvannov@bk.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Shkulev, Andrey S. Master student. E-mail: shkulev.andrey@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in June 2019

Для цитирования:

Загороднюк Л.Х., Уральский В.И., Уральский А.В., Сумской Д.А., Непризованнов А.Е., Шкулев А.С., Получение вяжущих композиций для бетонов в центробежной помольной мельнице // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 10. С. 123–134. DOI: 10.34031/article_5db43db55dc701.66246266

For citation:

Zagorodnyuk L.Kh., Uralsky V.I., Uralskiy A.V., Sumskoy D.A., Neprizvannov A.E., Shkulev A.S. Obtaining binding compositions for concrete in a centrifugal grinding mill. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 10. Pp. 123–134. DOI: 10.34031/article_5db43db55dc701.66246266