

УДК 691.311: 691.54: 666.952

Халиуллин Марат Ильсурович

кандидат технических наук, доцент

E-mail: khaliullin@kgasu.ru

Димиева Алсу Ильясовна

аспирант

E-mail: a.dimieva@bk.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Файзрахманов Ильдар Идрисович

главный инженер проекта

E-mail: faizrakhmanov92@gmail.com

ООО «Земельная агропромышленная корпорация»

Адрес организации: 119435, Россия, г. Москва, Савиновская наб., д. 23, стр. 1

Влияние добавок механоактивированных минеральных наполнителей на свойства композиционных гипсовых вяжущих

Аннотация

Постановка задачи. Целью настоящей работы явились исследования по определению влияния способа помола кварцевого и карбонатных наполнителей в шаровой мельнице и в электромассклассификаторе с интенсивной механоактивацией поверхности частиц наполнителей на эффективность их введения в состав композиционных гипсовых вяжущих.

Результаты. Установлено, что за счет эффекта механохимической активации поверхности частиц кварцевого наполнителя при его помоле в электромассклассификаторе до оптимальной удельной поверхности 500 м²/кг при введении 5 % по массе молотой добавки в состав композиционных гипсовых вяжущих достигается повышение прочностных показателей на 15 % по сравнению с составами без введения добавки наполнителя. При введении добавки в количестве до 15 % по массе обеспечивается сохранение прочности и водостойкости на уровне контрольных образцов. По сравнению с введением аналогичного количества кварцевого наполнителя, размолотого в шаровой мельнице, достигается максимальное увеличение прочностных показателей на 10 %. При помоле карбонатных наполнителей в электромассклассификаторе по сравнению с помолом в шаровой мельнице происходит незначительное увеличение прочностных показателей вяжущего.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли заключается в том, что установлена целесообразность применения электромассклассификатора при подготовке добавки кварцевого наполнителя, вводимого в состав композиционных гипсовых вяжущих.

Ключевые слова: композиционное гипсовое вяжущее, минеральные наполнители, механохимическая активация, гипсоцементнопуццолановая композиция, искусственный камень, водостойкость.

Введение

Одним из путей совершенствования производства вяжущих веществ является введение в их состав молотых минеральных добавок. В настоящее время имеется значительный опыт использования молотых минеральных добавок природного, искусственного и техногенного происхождения в производстве большинства разновидностей вяжущих веществ. Введение молотых минеральных добавок является одним из результативных технологических приемов, позволяющих обеспечить управление структурой и свойствами вяжущих веществ с повышением их экономической, экологической и технической эффективности [1-3]. Экономическая эффективность при введении молотых минеральных добавок в состав вяжущих достигается за счет увеличения объемов производства получаемых вяжущих композиций с одновременным снижением их себестоимости при уменьшении энергетических и

трудовых затрат на обжиг и помол обжиговой составляющей. Существенный экологический эффект обеспечивается благодаря снижению выбросов побочных продуктов, образующихся при обжиге исходных компонентов для получения вяжущих веществ (например, углекислого газа при производстве портландцемента), в результате замены части обжиговой составляющей вяжущих композиций на молотые минеральные добавки. Уменьшение экологической нагрузки на окружающую среду, объемов использования природных сырьевых ресурсов, происходит в случаях утилизации молотых отходов промышленности при их применении в качестве добавок в производстве вяжущих веществ.

Отечественными и зарубежными учеными выполнен значительный объем исследований в области получения и изучения физико-механических свойств гипсовых вяжущих с тонкодисперсными минеральными добавками: активными, образующими соединения, обладающие вяжущими свойствами (шлаками, золами, цеолитсодержащими породами, стеклобоем, перлитом, опокой, глауконитовым песком, вулканическим туфом, керамзитовой пылью, микрокремнеземом, и т. д.), и инертными наполнителями, не образующими такие соединения (кварцевым песком, известняком, доломитом отходами магнитной сепарации железных руд и т. д. [4-7]). Вместе с тем, результаты проведенных исследований показывают, что как активные, так и инертные минеральные добавки принимают участие в структурообразовании систем вяжущих.

Так, в работе [8] электронно-микроскопическим методом исследования показано, что минеральные наполнители способны оказывать влияние на формирование гипсовых кристаллов в процессе твердения гипсовых вяжущих. Выявлены различия в форме, ориентации, размерах и плотности нарастания кристаллов гипса, формирующихся на подложках, представляющих собой свежесколотые монокристаллы различных минералов (доломит, кальцит, гипс, кварц). Установлено, что плотность нарастания кристаллов гипса увеличивается в зависимости от вида минерала подложки в ряду кварц – доломит – кальцит – гипс, т.е. по мере возрастания кристаллохимического подобия наполнителя к гипсу. Таким образом, оптимально подобранные минеральные наполнители, выступая в качестве подложек для кристаллизации новообразованного гипса в процессе твердения, способствуют повышению плотности и прочности формирующегося гипсового камня.

В современных технологиях производства минеральных композиционных вяжущих веществ с повышенными физико-механическими показателями широкое использование получили методы, связанные с применением механохимической активации, основывающейся на изменении кристаллической структуры компонентов вяжущих систем, в частности, за счет увеличения концентрации поверхностных дефектов частиц вяжущего или минеральных добавок при механическом воздействии, например, при помоле [9].

А.В. Ферронской, В.Ф. Коровяковым и другими учеными, в результате дальнейшего развития ранее разработанных под руководством А.В. Волженского принципов получения гипсоцементнопуццолановых вяжущих (ГЦПВ), были получены водостойкие высокопрочные композиционные гипсовые вяжущие (КГВ). КГВ получают на основе гипсовых вяжущих с введением комплекса модифицирующих компонентов, которыми выступают портландцемент или известь, пуццоланически активные тонкодисперсные кремнеземсодержащие материалы (микрокремнезем, стеклобой, керамзитовая пыль, цеолитсодержащие породы, шлаки, золы и др.), пластификаторы и другие функциональные добавки, а также они могут содержать минеральные наполнители, подвергнутые механохимической обработке в помольном агрегате [10].

Ранее проведенные авторами исследования [8] показали, что с точки зрения повышения прочности КГВ при введении оптимального количества добавки минерального наполнителя, а также максимально возможного сокращения расхода обжиговой составляющей вяжущего без снижения прочностных показателей, карбонатные наполнители более эффективны по сравнению с молотым кварцевым песком, при этом для карбонатных наполнителей молотый известняк более эффективен, чем молотый доломит. Установлено, что карбонатные минералы – кальцит и доломит являются более предпочтительными в качестве подложек кристаллизации гипса, по сравнению с кварцем; кальцит в качестве минеральной подложки более эффективен, чем доломит, так как имеет большее кристаллохимическое подобие к гипсу, что

обуславливает формирование более плотных контактов между гипсом и кальцитовой минеральной подложкой.

Материалы и методы

КГВ получали на основе строительного гипса марки Г-5БШ по ГОСТ 125 производства Волгоградского гипсового завода корпорации «Волма» при смешении с портландцементом производства АО «Мордовцемент» 500-Д0-Н по ГОСТ 10178; пуццолановым компонентом – термоактивированной по оптимальному режиму и размолотой до удельной поверхности 500 м²/кг глиной Сарай-Чекурчинского месторождения [11], химический, минеральный и гранулометрический состав которой в исходном состоянии представлен в табл. 1-3 соответственно; добавкой пластификатора в порошкообразном состоянии; минерального наполнителя.

Таблица 1

Химический состав глины Сарай-Чекурчинского месторождения (содержание в % по массе)

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃ /S	ппп
68,52	0,86	13,42	6,18	0,10	1,33	1,66	1,20	1,82	0,09	<0,05	4,62

Таблица 2

Минералогический состав глины Сарай-Чекурчинского месторождения (содержание в % по массе)

Кварц	Слюда	Ортоклаз	Плагиоклаз	Смешанно-слоистый глинистый минерал*	Хлорид
28	10	7	8	40	4

*смешанно-слоистый минерал содержит до 40 % неразбухающих слоев.

Таблица 3

Гранулометрический состав глины Сарай-Чекурчинского месторождения (содержание в % по массе)

менее 0,005 мм (глинистая)	0,005-0,05 мм (пылеватая)	0,05-1,0 мм (песчаная)
49,5	37,1	13,4

Подбор состава гипсоцементнопуццолановой композиции осуществлялся по методике, разработанной в МИСИ им. В.В. Куйбышева [10].

В качестве пластификатора использовалась добавка Melflux 2651 F на поликарбоксилатной основе (производитель BASF Construction Polymers) в количестве 0,8 % от массы вяжущего [11].

В качестве минеральных наполнителей, вводимых в состав КГВ использовались молотые кварцевый песок Васильевского месторождения, карбонатные породы: известняк Альдермышского месторождения и доломит Бимского месторождения химические составы которых представлены соответственно в табл. 4, 5.

Таблица 4

Химический состав кварцевого песка Васильевского месторождения

№ пробы	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	R ₂ O	п.п.п.
1	95,52	3,13	0,4	0,10	0,05	0,04	0,55

Таблица 5

Химический состав карбонатных пород

№ пробы	Наименование породы	Месторождение	CaO	MgO	SO ₃	п.п.п.	н.о.
1	Известняк	Альдермышское	49,74	1,86	1,23	42,15	3,46
2	Доломит	Бимское	30,01	20,09	0,44	46,49	0,47

Согласно результатам испытаний по ГОСТ 8735 исходный кварцевый песок имеет модуль крупности 1,01; содержание пылевидных и глинистых частиц 2,8 %; содержание органических примесей в норме.

Предварительно высушенные кварцевый песок и карбонатные породы размалывались до удельных поверхностей 90, 300, 500 м²/кг.

Кварцевый песок размалывался в исходном виде и после промывки в гидрокласификаторе 1КСП-12, обеспечивающей удаление пылевидных и глинистых частиц.

Для помола наполнителей использовались лабораторная шаровая мельница марки 40-МЛ и электромаскласификатор МС-ЭМК-050М производства ООО «Фирма «Полипром».

Лабораторная шаровая мельница марки 40-МЛ имеет скорость вращения 60 об/мин. Масса мелющих тел, загружаемых в мельницу, составляла 12 кг. Соотношение между массой измельчаемого материала и мелющей загрузкой (стальные шары) 1:8.

Электромаскласификатор МС-ЭМК-050М работает по принципу центробежной мельницы, где происходит совмещение операций измельчения, классификации частиц по размерам, дезагрегации, механоактивации поверхности частиц. Создание жестких условий образования газопылевых потоков в замкнутом пространстве при воздействии электростатических сил способствует более интенсивной механоактивации поверхности измельчаемых частиц, по сравнению с процессом измельчения в шаровых мельницах [12].

Испытания КГВ выполнялись по ГОСТ 23789. После изготовления образцы искусственного камня 28 суток хранились в камере нормального твердения и перед проведением испытаний подвергались сушке при 55 °С до постоянной массы.

Результаты и обсуждение результатов

На рис. 1 представлены результаты исследований влияния дисперсности измельченных в шаровой мельнице кварцевого наполнителя (при содержании в составе КГВ – 5 % по массе) и известнякового наполнителя (при содержании в составе КГВ – 10 % по массе) на прочность при сжатии искусственного камня.

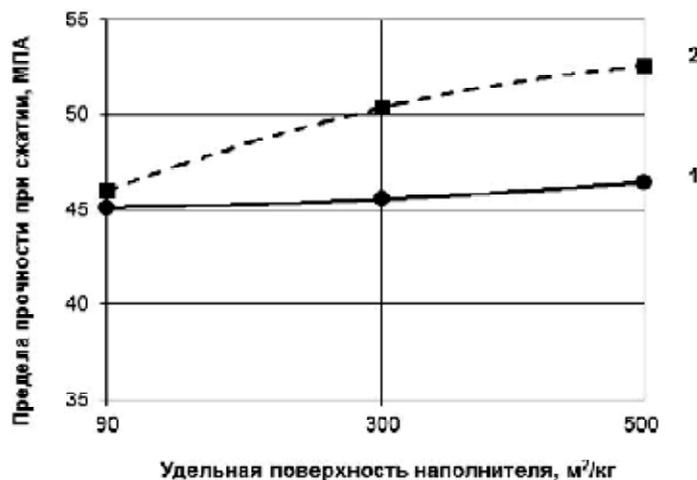


Рис. 1. Влияние дисперсности минеральных наполнителей, измельченных в шаровой мельнице, на прочность при сжатии искусственного камня на основе КГВ:

- 1 – кварцевый наполнитель, введенный в количестве 5 % по массе, из промытого песка (—●—);
 2 – известняковый наполнитель, введенный в количестве 10 % по массе (—■—)
 (иллюстрация авторов)

Представленные результаты показывают, что наибольшая прочность достигается при введении наполнителей, размолотых до удельной поверхности 500 м²/кг. Кварцевый наполнитель получали помолем песка после его промывки.

На следующем этапе работы карбонатные и кварцевый наполнители размалывались до удельной поверхности 500 м²/кг в шаровой мельнице и в электромаскласификаторе и вводились в состав КГВ в количестве до 25 % по массе.

На рис. 2 приведены результаты исследований влияния введения кварцевого наполнителя размолотого до удельной поверхности $500 \text{ м}^2/\text{кг}$ в различных помольных агрегатах на прочность при сжатии искусственного камня на основе КГВ.

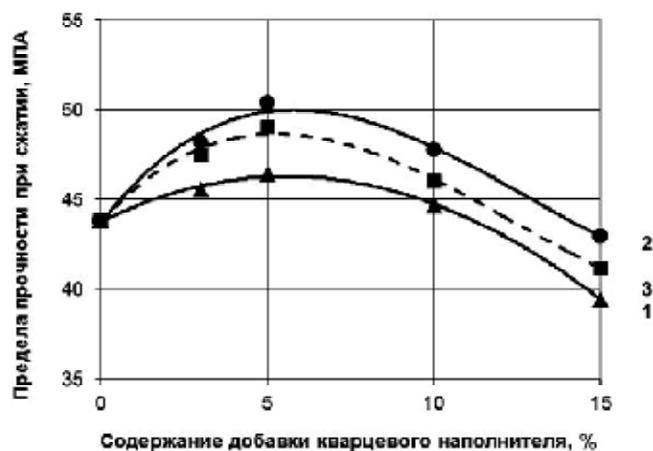


Рис. 2. Влияние вида помольного агрегата и содержания кварцевого наполнителя (при удельной поверхности $500 \text{ м}^2/\text{кг}$) на прочность при сжатии искусственного камня на основе КГВ:
 1 – кварцевый наполнитель из промытого песка, измельченного в шаровой мельнице (-▲-);
 2 – кварцевый наполнитель из промытого песка, измельченного в электромасткласификаторе (-●-);
 3 – кварцевый наполнитель из непромытого песка (содержание пылевидных и глинистых частиц 2,8 % по массе), измельченный в электромасткласификаторе (-■-) (иллюстрация авторов)

Анализ представленных данных показывает, что наиболее эффективным является введение добавки промытого кварцевого наполнителя, подвергнутого измельчению и дополнительной механохимической активации в электромасткласификаторе, в количестве 5 % от массы вяжущего. При этом прочность при сжатии искусственного камня на основе КГВ повышается на 12-15 % по сравнению с контрольными образцами без введения наполнителя. При введении до 15 % по массе кварцевого наполнителя молотого в электромасткласификаторе, прочность при сжатии искусственного камня сохраняется на уровне контрольных образцов. Коэффициент размягчения гипсового камня несколько снижается с 0,72 до 0,70-0,69, оставаясь на уровне показателей, удовлетворяющих требованиям, предъявляемым к гипсовым вяжущим повышенной водостойкости ($K_p > 0,65$) [10]. При введении в составе КГВ до 15 % по массе измельченного и дополнительно механохимически активированного в электромасткласификаторе кварцевого наполнителя по сравнению с введением аналогичного количества кварцевого наполнителя, размолотого в шаровой мельнице, достигается максимальное увеличение прочностных показателей на 10 %. Наличие пылевидных и глинистых частиц в количестве 2,8 % по массе в составе кварцевого наполнителя приводит к некоторому снижению прочности при сжатии искусственного камня на основе КГВ.

Повышение прочностных показателей искусственного камня на основе КГВ при введении измельченного и дополнительно механохимически активированного в электромасткласификаторе кварцевого наполнителя по сравнению с его измельчением в шаровой мельнице может быть связано с более высокими значениями поверхностной энергии частиц наполнителя и более эффективным выполнением им структурообразующих функций на уровне физико-химических взаимодействий, в том числе в качестве минеральных подложек для кристаллизации гипса, образующегося в процессе твердения КГВ [8].

На рис. 3 приведены результаты исследований изменения прочности при сжатии КГВ при введении карбонатных (известнякового и доломитового) наполнителей, размолотых до удельной поверхностью $500 \text{ м}^2/\text{кг}$ в шаровой мельнице и электромасткласификаторе.

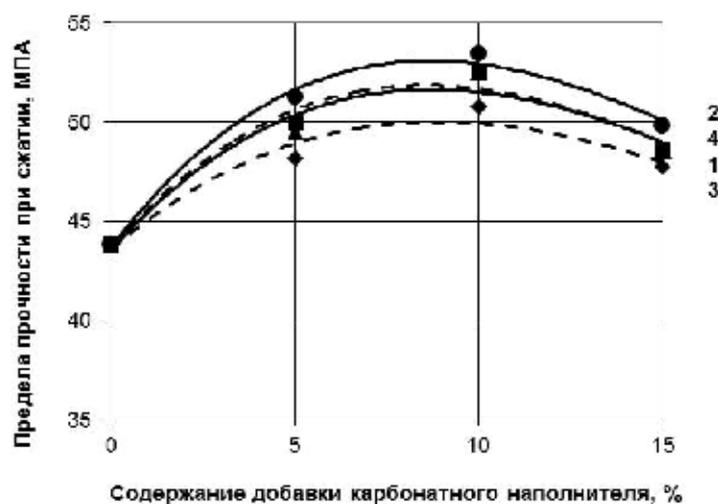


Рис. 3. Влияние вида помольного агрегата, количества и вида добавки карбонатных наполнителей (удельная поверхность $500 \text{ м}^2/\text{кг}$) на прочность при сжатии искусственного камня на основе КГВ:

- 1 – известняковый наполнитель, измельченный в шаровой мельнице (-●-);
 - 2 – известняковый наполнитель, измельченный в электромассклассификаторе (-▲-);
 - 3 – доломитовый наполнитель, измельченный в шаровой мельнице (-◆-);
 - 4 – доломитовый наполнитель, измельченный в электромассклассификаторе (-■-)
- (иллюстрация авторов)

Представленные результаты показывают, что при использовании электромассклассификатора для помола карбонатных наполнителей, введенных в состав КГВ количестве до 25 % по массе, происходит незначительное увеличение прочностных показателей по сравнению с введением карбонатного наполнителя, размолотого в шаровой мельнице.

Заключение

Введение в состав КГВ кварцевого наполнителя, подвергнутого измельчению и дополнительной механохимической активации в электромассклассификаторе до оптимальной удельной поверхности $500 \text{ м}^2/\text{кг}$, более эффективно по сравнению с введением аналогичного количества кварцевого наполнителя, размолотого в шаровой мельнице. При оптимальном содержании молотого в электромассклассификаторе кварцевого наполнителя в количестве 5 % от массы вяжущего, прочность при сжатии искусственного камня на основе КГВ повышается на 15 % по сравнению с контрольными образцами без введения наполнителя, при введении до 15 % по массе кварцевого наполнителя, расход обжиговой части вяжущего снижается без уменьшения прочности и водостойкости по сравнению с контрольными образцами. При этом по сравнению с введением аналогичного количества кварцевого наполнителя, размолотого в шаровой мельнице, достигается максимальное увеличение прочностных показателей на 10 %.

Использование электромассклассификатора для помола карбонатных наполнителей менее эффективно, так как по сравнению с введением карбонатного наполнителя, размолотого в шаровой мельнице, происходит незначительное увеличение прочностных показателей.

Таким образом, целесообразным является применение электромассклассификатора при подготовке добавки кварцевого наполнителя в состав КГВ для его помола до требуемой удельной поверхности и дополнительной механохимической активации.

Список библиографических ссылок

1. Rakhimova N. R., Rakhimov R. Z., Gaifullin A. R., Morozov V. P., Potapova L. I., Gubaidullina A. M., Osin Y. N. Marl-based geopolymers incorporated with limestone: A feasibility study // Journal of Non-Crystalline Solids. 2018. В. 492. P. 1–10.

2. Zhang S., Lu D., Xu Z. Effect of dolomite powders on the hydration and strength properties of cement mortars: proc. XIV International Congress on the Chemistry of cement / Beijing. China, 2015. P. 318.
3. Nocun-Wczelik W., Szybalski M., Zugaj E. Hydration of Portland cement with Dolomite: proc. XIV International Congress on the Chemistry of cement / Beijing. China, 2015. P. 320.
4. Mukhametrakhimov R., Galautdinov A., Lukmanova L. Influence of active mineral additives on the basic properties of the gypsum cementpozzolan binder for the manufacture of building products // MATEC Web of Conferences. 2017. № 106. P. 03012.
5. Tokarev Y., Ginchitsky E., Sychugov S., Krutikov V., Yakovlev G., Buryanov A., Senkov S. Modern Building Materials, Structures and Techniques // Procedia Engineering 12. 2017. В. 172. P. 1161–1168.
6. Морозова Н. Н., Кузнецова Г. В., Майсурадзе Н. В., Ахтариев Р. Р., Абдрашитова Л. Р., Низамутдинова Э. Р. Исследование активности пуццоланового компонента и суперпластификатора для гипсоцементно-пуццоланового вяжущего белого цвета // Строительные материалы. 2018. № 8. С. 26–30.
7. Новиченкова Т. Б., Петропавловская В. Б., Завадько М. Ю., Бурьянов А. Ф., Пустовгар А. П., Петропавловский К. С. Применение пылевидных отходов базальтового производства в качестве наполнителя гипсовых композиций // Строительные материалы. 2018. № 8. С. 9–13.
8. Khaliullin M. I., Rakhimov R. Z. Researches of the mechanism of influence of mineral and chemical additives on the process of anhydrite binding hardening : proc. of a XII International Congress of the chemistry of cement / Instituto de Ciencias de la Construction «Eduardo torroja». Madrid, 2011. P. 203.
9. Кузьмина В. П. Механохимия в бетоне. М. : АСВ, 2013. 414 с.
10. Ферронская А. В. Гипсовые материалы и изделия (производство и применение). М. : АСВ, 2004. 488 с.
11. Khaliullin M. I., Rakhimov R. Z. Faizrakhmanov I. I. The influence of thermally activated clay additives on the properties of composite gypsum binder // ZKG International. 2017. № 5. P. 58–63.
12. Зырянов В. В., Зырянов Д. В., Садыков В. А. Создание покрытий методом нанесения заряженных аэрозолей // Российские нанотехнологии. 2008. Т. 3. № 5-6. С. 118–126.

Khaliullin Marat Isurovich

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: khaliullin@kgasu.ru

Dimieva Alsu Pyasovna

post-graduate student

E-mail: a.dimieva@bk.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Faizrakhmanov Ildar Idrisovich

chief project engineer

E-mail: faizrakhmanov92@gmail.com

LLC «Zemelnaya agropromyshlennaya korporaciya»

The organization address: 119435, Russia, Moscow, Savinovskaya nab., 23, b. 1

The influence of addition of mechanically activated mineral fillers on properties of composite gypsum binders**Abstract**

Problem statement. The purpose of this work was to study the influence of the method of grinding quartz and carbonate fillers in a ball mill and in an electro-mass classifier with intensive mechanical activation of the surface of the filler particles on the efficiency of their introduction into the composition of composite gypsum binders.

Results. It was found that due to the effect of mechanochemical activation of the surface of the particles of quartz filler when grinding in an electromassifier to an optimal specific surface of 500 m²/kg with the introduction of 5 % by weight of ground additives in the composition of composite gypsum binders 15 % increase in strength indicators is achieved compared to compositions without the introduction of filler additives. With the introduction of additives in an amount of up to 15 % by weight, the strength and water resistance are maintained at the level of control samples. Compared with the introduction of a similar amount of quartz filler, milled in a ball mill, a maximum increase in strength indicators by 10% is achieved. When grinding carbonate fillers in an electric mass classifier compared to grinding in a ball mill, there is a slight increase in the strength of the binder.

Conclusions. The significance of the results for the construction industry lies in the fact that the expediency of the use of electro-mass classifier in the preparation of additives quartz filler, introduced into the composition of composite gypsum binders.

Keywords: composite gypsum binder, mineral filler, mechanochemical activation, gypsum-cement-pozzolanic composition, artificial stone, water resistance.

References

1. Rakhimova N. R., Rakhimov R. Z., Gaifullin A. R., Morozov V. P., Potapova L. I., Gubaidullina A. M., Osin Y. N. Marl-based geopolymers incorporated with limestone: A feasibility study // *Journal of Non-Crystalline Solids*. 2018. T. 492. P. 1–10.
2. Zhang S., Lu D., Xu Z. Effect of dolomite powders on the hydration and strength properties of cement mortars: proc. XIV International Congress on the Chemistry of cement / Beijing, China, 2015. P. 318.
3. Nocun-Wczelik W., Szybalski M., Zugaj E. Hydration of Portland cement with Dolomite : proc. XIV International Congress on the Chemistry of cement / Beijing, China, 2015. P. 320.
4. Mukhametrakhimov R. K., Galautdinov A. R. Set-retarding plasticizers for improving the effectiveness of gypsum-cement-pozzolan binders // *ZKG International*. 2018. № 11. P. 52–57.
5. Tokarev Y., Ginchitsky E., Sychugov S., Krutikov V., Yakovlev G., Buryanov A., Senkov S. Modern Building Materials, Structures and Techniques // *Procedia Engineering* 12. 2017. B. 172. P. 1161–1168.
6. Morozova N. N., Kuznetsova G. V., Maysuradze N. V., Akhtariev R. R., Abdrashitova L. R., Nizamutdinova E. R. Research in the activity of a pozzolanic component and superplasticizer for gypsum cement pozzolanic binder of white colour // *Stroitelnye materialy*. 2018. № 8. P. 26–30.
7. Novichenkova T. B., Petropavlovskaya V. B., Zavadko M. Yu., Buryanov A. F., Pustovgar A. P., Petropavlovskii K. S. The use of dusty wastes of basalt production as a filler for gypsum compositions // *Stroitelnye materialy*. 2018. № 8. P. 9–13.
8. Khaliullin M. I., Rakhimov R. Z. Researches of the mechanism of influence of mineral and chemical additives on the process of anhydrite binding hardening : proc. of a XII International Congress of the chemistry of cement / Instituto de Ciencias de la Construction «Eduardo torroja». Madrid, 2011. P. 203.
9. Kuzmina V. P. Mechanical chemistry in concrete. M. : ASV, 2013. 414 p.
10. Ferronskaja A. V. Gypsum materials and products (production and application). Reference book. M. : ASV, 2004. 488 p.
11. Khaliullin M. I., Rakhimov R. Z., Faizrakhmanov I. I. The influence of thermally activated clay additives on the properties of composite gypsum binder // *ZKG International*. 2017. № 5. P. 58–63.
12. Zyryanov V. V., Zyryanov D. V., Sadykov V. A. Fabrication of films by charge aerosol deposition method // *Rossiiskie nanotehnologii*. 2008. B. 3. № 5-6. P. 118–126.