

УДК 666.952: 691.54

**Халиуллин М.И.** – кандидат технических наук, доцент

E-mail: khaliullin@kgasu.ru

**Рахимов Р.З.** – доктор технических наук, профессор

**Гайфуллин А.Р.** – кандидат технических наук, ассистент

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

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

### **Пуццоланическая активность керамзитовой пыли и её зависимость от удельной поверхности**

#### **Аннотация**

Рассмотрено влияние удельной поверхности и гранулометрического состава молотой керамзитовой пыли определенного химического и минерального состава на её пуццоланическую активность, а также основные физико-механические свойства искусственного камня на основе композиционного гипсоизвестковокерамзитового вяжущего. На основе полученных зависимостей определены оптимальные значения удельной поверхности и количества добавки молотой керамзитовой пыли при ее совместном введении с известью для получения композиционных гипсовых вяжущих повышенной водостойкости.

**Ключевые слова:** искусственный камень, керамзитовая пыль, композиционные гипсовые вяжущие, пуццоланическая активность, удельная поверхность.

#### **Введение**

Повышение водостойкости материалов и изделий на основе строительного гипса является актуальной задачей, позволяющей существенно расширить области применения и объемы потребления этого экономичного по себестоимости производства по сравнению с известью и портландцементом минерального вяжущего вещества. В работах А.В. Волженского [1], А.В. Ферронской, В.Ф. Коровякова [2] и других исследователей [3, 4] были разработаны составы гипсовых вяжущих повышенной водостойкости и водостойких с применением в качестве одного из исходных компонентов различных видов активных минеральных добавок на основе природного сырья и отходов промышленности. Активные в пуццоланическом отношении минеральные добавки вступают в химическое взаимодействие с другими компонентами композиционных гипсовых вяжущих, обеспечивая образование водостойких продуктов, уплотняющих структуру искусственного камня и защищающих от растворения образующиеся контакты срастания гипсовых кристаллов [5]. В связи с этим одной из проблем, решение которой позволяет повысить экономическую и экологическую привлекательность производства и применения гипсовых вяжущих повышенной водостойкости, является поиск недорогих и доступных местных активных минеральных добавок, в частности использование техногенных отходов.

Известно, что к таким эффективным добавкам с относительно высокой пуццоланической активностью относится керамзитовая пыль, являющаяся многотоннажным отходом промышленности строительных материалов [6-8].

В ранее выполненных авторами работах [9, 10] показано, что пробы керамзитовой пыли, отобранные на различных предприятиях и стадиях пылеочистки, отличаются по гранулометрическому, химическому, минеральному, фазовому составам и пуццоланической активности. Установлено, что керамзитовая пыль представляет собой термоактивированную глину, в состав которой входит недегидратированные глинистые минералы с неразрушенной кристаллической структурой (реликтовая недегидратированная глина) и дегидратированные глинистые минералы с кристаллической структурой различной степени дефектности, а также рентгеноаморфная фаза, включающая продукты термической обработки глинистых минералов, характеризующиеся полным отсутствием кристаллическости. При этом повышение пуццоланической активности молотой керамзитовой пыли, а также рост прочности и водостойкости искусственного камня на основе композиционных гипсовых вяжущих при совместном введении добавок

керамзитовой пыли и извести связаны с повышением в составе проб керамзитовой пыли суммарного содержания дегидратированных глинистых минералов, рентгеноаморфной фазы и уменьшением содержания недегидратированной глины.

Целью настоящей работы стало исследование влияния удельной поверхности молотой керамзитовой пыли на её пуццоланическую активность и основные физико-механические свойства искусственного камня на основе композиционного гипсоизвестковокерамзитового вяжущего (КГИКВ).

### Методы и материалы

Для получения КГИКВ были использованы следующие материалы:

– строительный гипс Г-6БП производства ООО «Аракчинский гипс» (г. Казань) по ГОСТ 125;

– керамзитовая пыль с циклонов пылесоса цеха керамзитового гравия ООО «Камэнергостройпром» (г. Нижнекамск);

– строительная известь второго сорта производства ООО «Казанский завод силикатных стеновых материалов» по ГОСТ 9179, которая вводилась в состав КГИКВ в количестве 5 % по массе.

Химический состав керамзитовой пыли (% по массе):  $\text{SiO}_2$  – 59,12;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 17,85;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 9,7;  $\text{CaO}$  – 1,74;  $\text{MgO}$  – 3,01;  $\text{K}_2\text{O}$  – 2,26;  $\text{TiO}_2$  – 0,92;  $\text{SO}_3$  – 0,93;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 0,81;  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 0,22;  $\text{MnO}$  – 0,2; потери при прокаливании – 3,05.

Минералогический состав проб керамзитовой пыли, по данным рентгенофазового анализа (% по массе): недегидратированные и дегидратированные глинистые минералы – 53; кварц – 15; полевые шпаты – 5; ангидрит – 3; рентгеноаморфная фаза – 27.

Анализ методом набухания, выполненным по ГОСТ 8735, показал, что керамзитовая пыль содержит 9,5 % недегидратированной глины.

Измельчение керамзитовой пыли осуществлялось в лабораторной планетарной мельнице МПЛ-1. Определение удельной поверхности керамзитовой пыли проводилось на приборе ПСХ-9 методом Козени-Кармана по воздухопроницаемости и пористости уплотненного слоя порошка при атмосферном давлении. Определение гранулометрического состава молотой керамзитовой пыли производили методом лазерной дисперсии объекта на приборе «LA-950» фирмы Horiba Instruments Ins.

Определение пуццоланической активности керамзитовой пыли осуществлялось по поглощению  $\text{CaO}$  согласно методике ТУ 21-31-62-89.

Испытания гипсовых вяжущих осуществлялись по ГОСТ 125, образцы гипсового камня испытывались после 28 сут. хранения в нормальных условиях с последующим высушиванием до постоянной массы. Определение коэффициента размягчения осуществлялось по ТУ 21-0284757.

### Результаты и обсуждение результатов

Исследования пуццоланической активности молотой до удельных поверхностей 250, 500 и 800  $\text{m}^2/\text{kg}$  керамзитовой пыли показали, что она составляет 336, 462 и 477  $\text{mg}/\text{g}$ , соответственно. Таким образом, увеличение удельной поверхности от 250 до 800  $\text{m}^2/\text{kg}$  приводит к повышению пуццоланической активности керамзитовой пыли на 42 %.

На рис. 1, 2 и 3 представлены результаты исследований влияния количества добавки керамзитовой пыли с различной удельной поверхностью, соответственно, на нормальную плотность, прочность и коэффициент размягчения искусственного камня на основе КГИКВ.

Рост нормальной плотности КГИКВ при увеличении количества вводимой добавки молотой керамзитовой пыли (рис. 1) может объясняться её пористой структурой, повышающей водопотребность вяжущего. Также наблюдается закономерный рост водопотребности вяжущего с увеличением удельной поверхности добавки керамзитовой пыли от 250 до 800  $\text{m}^2/\text{kg}$ .

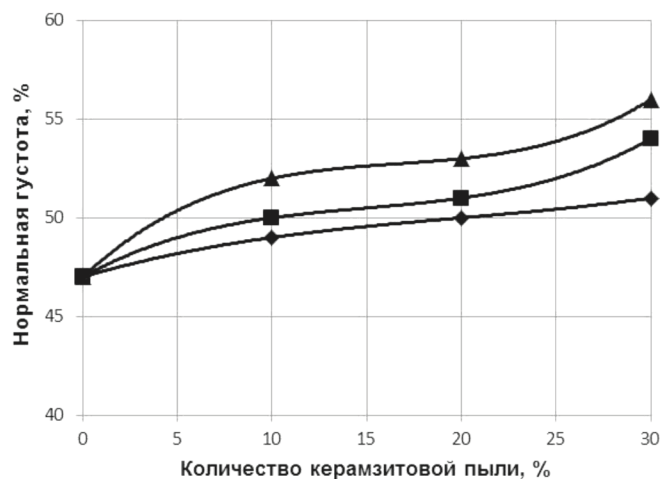


Рис. 1. Влияние количества добавки керамзитовой пыли с различной удельной поверхностью на изменение нормальной плотности КГИКВ.  
Удельная поверхность керамзитовой пыли:  $\blacklozenge$  – 250 м²/кг;  $\blacksquare$  – 500 м²/кг;  $\blacktriangle$  – 800 м²/кг

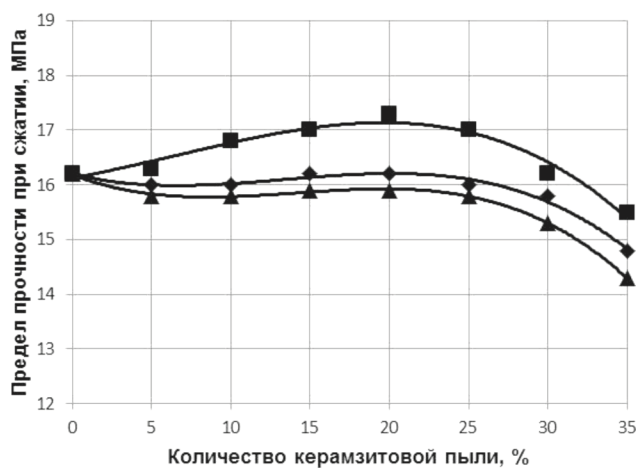


Рис. 2. Влияние количества добавки керамзитовой пыли с различной удельной поверхностью на прочность камня КГИКВ.  
Удельная поверхность керамзитовой пыли:  $\blacklozenge$  – 250 м²/кг;  $\blacksquare$  – 500 м²/кг;  $\blacktriangle$  – 800 м²/кг

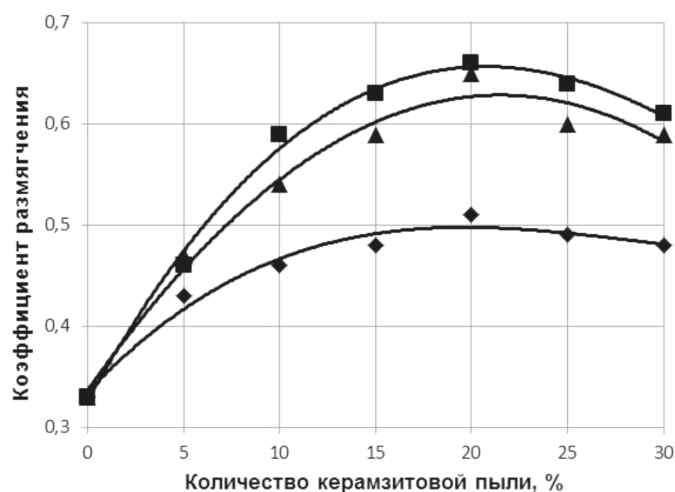


Рис. 3. Влияние количества добавки керамзитовой пыли с различной удельной поверхностью на коэффициент размягчения камня КГИКВ  
Удельная поверхность керамзитовой пыли:  $\blacklozenge$  – 250 м²/кг;  $\blacksquare$  – 500 м²/кг;  $\blacktriangle$  – 800 м²/кг

Данные исследований, приведенных на рис. 2, показывают следующее. При содержании керамзитовой пыли от 0 до 5 % наблюдается снижение прочности, что может объясняться определенным нарушением структуры камня двуводного гипса при относительно низком объеме продуктов взаимодействия керамзитовой пыли и извести. При повышении содержания керамзитовой пыли до 15-25 % наблюдается повышение прочности, вероятно, связанное с увеличением объема упрочняющих искусственный камень продуктов взаимодействия керамзитовой пыли и извести. Наибольшее повышение прочности искусственного камня на основе КГИКВ с 16,2 МПа для контрольных образцов на основе бездобавочного вяжущего до 17,3-17,0 МПа наблюдается при введении, соответственно, 20-25 % добавки керамзитовой пыли с удельной поверхностью 500 м<sup>2</sup>/кг. При введении аналогичного количества добавки керамзитовой пыли с удельной поверхностью 250 и 800 м<sup>2</sup>/кг прочность искусственного камня на основе КГИКВ сохраняется приблизительно на уровне прочности контрольных образцов. Менее высокие показатели прочности искусственного камня на основе КГИКВ при введении добавки с удельной поверхностью 250 м<sup>2</sup>/кг, по сравнению с введением добавки керамзитовой пыли с удельной поверхностью 500 м<sup>2</sup>/кг, могут быть объяснены её меньшей гидравлической активностью, а при введении добавки с удельной поверхностью 800 м<sup>2</sup>/кг – увеличением водопотребности вяжущего.

Анализ данных, приведенных на рис. 3, показывает, что наиболее высокие показатели коэффициента размягчения искусственного камня на основе КГИКВ достигаются при введении 20-25 % добавки керамзитовой пыли с удельной поверхностью 500 м<sup>2</sup>/кг, коэффициент размягчения повышается от 0,33 для контрольных образцов до, соответственно, 0,66-0,64. При введении такого же количества добавки керамзитовой пыли с удельной поверхностью 800 м<sup>2</sup>/кг коэффициент размягчения искусственного камня на основе КГИКВ повышается до 0,65-0,6; с удельной поверхностью 250 м<sup>2</sup>/кг – только до 0,51-0,49.

На рис. 4 представлены результаты исследований гранулометрического состава пробы керамзитовой пыли молотой до удельной поверхности 250, 500 и 800 м<sup>2</sup>/кг методом лазерной диспергации.

Для керамзитовой пыли, размолотой до удельной поверхности 250 м<sup>2</sup>/кг (рис. 4 а), при среднем размере частиц 183 мкм наблюдается бимодальный характер дифференциальных кривых распределения частиц с наличием двух основных фракции: фракции 1-30 мкм с максимумом, соответствующим размеру частиц 6-15 мкм, содержание которой составляет 25,4 %, и фракции 30-1000 мкм с максимумом, соответствующим размеру частиц 250-400 мкм, содержание которой составляет 74,6 %.

При дальнейшем помоле добавки керамзитовой пыли до удельной поверхности 500 м<sup>2</sup>/кг (рис. 4 б) наблюдается смещение размеров частиц с наибольшим содержанием к более мелким фракциям. Средний размер частиц составляет 101 мкм. Бимодальный характер дифференциальных кривых распределения частиц сохраняется при увеличении содержания фракции 1-30 мкм с максимумом, соответствующим размеру частиц 6-15 мкм, до 32,9 % и, соответственно, уменьшением содержания фракции 30-1000 мкм с максимумом, соответствующим размеру частиц 200-350 мкм, до 67,1 %.

У керамзитовой пыли, размолотой до удельной поверхности 800 м<sup>2</sup>/кг (рис. 4 в), средний размер частиц составляет 21 мкм. При сохранении бимодального характера дифференциальных кривых распределения частиц содержание фракции 1-30 мкм с максимумом, соответствующим размеру частиц 6-15 мкм, составляет 55,6 %, содержание фракции 30-1000 мкм с максимумом, соответствующим размеру частиц 50-150 мкм, составляет 44,4 %.

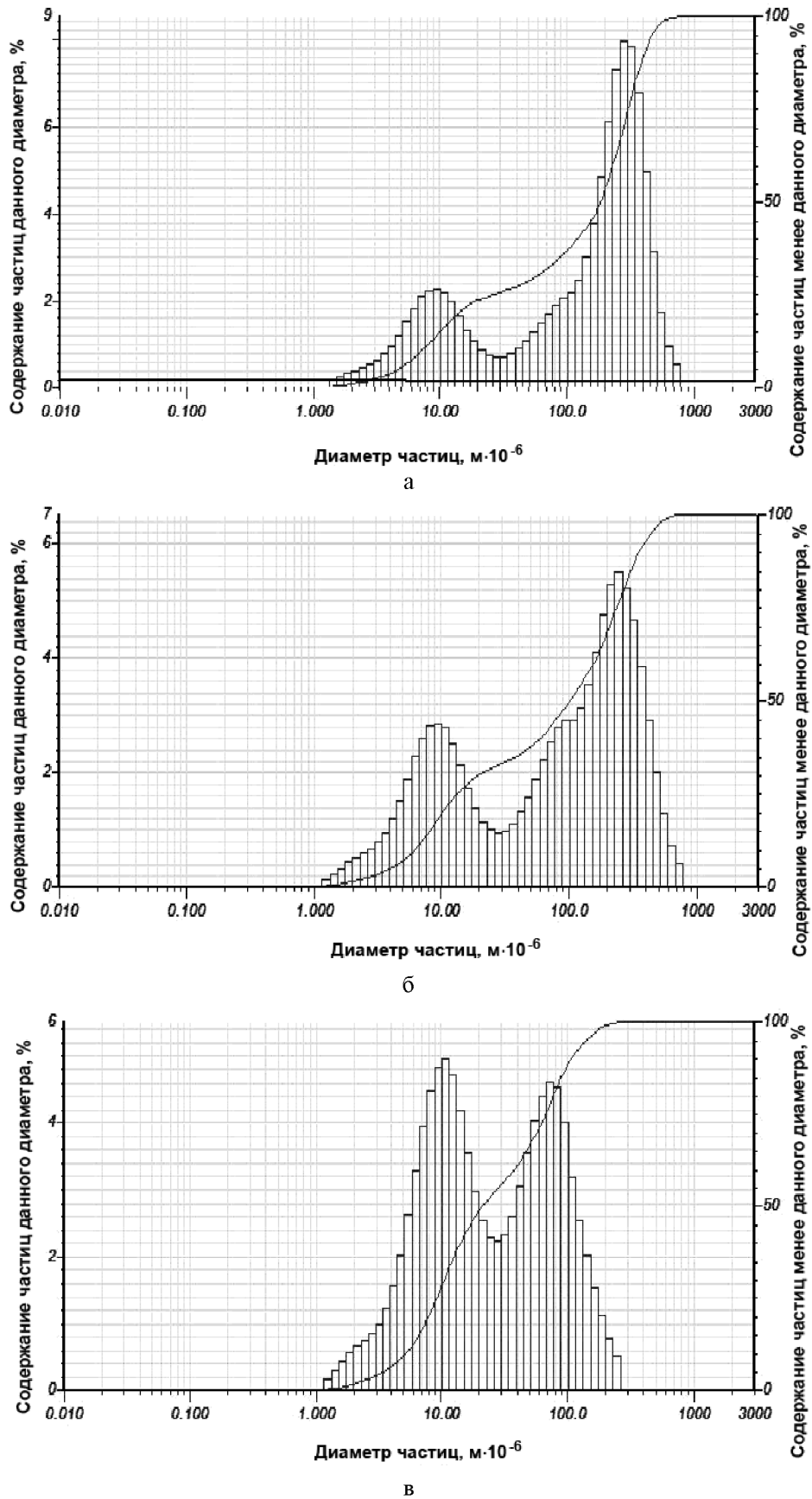


Рис. 4. Интегральная и дифференциальная кривые распределения частиц молотой керамзитовой пыли с различной удельной поверхностью. Удельная поверхность керамзитовой пыли: а) 250 м<sup>2</sup>/кг; б) 500 м<sup>2</sup>/кг; в) 800 м<sup>2</sup>/кг;

Таким образом, с увеличением удельной поверхности керамзитовой пыли при помоле наблюдается закономерное увеличение дисперсности частиц. Увеличение тонкости помола свыше  $800 \text{ м}^2/\text{кг}$  при существующем помольном оборудовании вызывает значительное увеличение продолжительности помола, что делает проведение дальнейших исследований в этом направлении нецелесообразным.

### Заключение

Приведенные результаты исследований позволяют сделать следующие выводы.

С увеличением удельной поверхности керамзитовой пыли от  $250$  до  $800 \text{ м}^2/\text{кг}$  наблюдается повышение ее пуццоланической активности, что согласно данным анализа гранулометрического состава керамзитовой пыли связано с ростом ее дисперсности. При использовании молотой керамзитовой пыли в качестве активной минеральной добавки для получения КГИКВ повышенной водостойкости с увеличением удельной поверхности керамзитовой пыли от  $250$  до  $500 \text{ м}^2/\text{кг}$  наблюдается повышение прочности и водостойкости искусственного камня, которые незначительно снижаются при увеличении удельной поверхности керамзитовой пыли от  $500$  до  $800 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Некоторое снижение физико-технических показателей искусственного камня на основе КГИКВ при увеличении удельной поверхности добавки керамзитовой пыли от  $500$  до  $800 \text{ м}^2/\text{кг}$  может быть связано с повышением водопотребности вяжущего.

Таким образом, введение в строительный гипс добавок молотой керамзитовой пыли с оптимальной удельной поверхностью  $500 \text{ м}^2/\text{кг}$  в количестве до  $20-25 \%$  совместно с  $5 \%$  извести позволяет получить КГИКВ с прочностью при сжатии до  $17,3-17,0 \text{ МПа}$  и коэффициентом размягчения  $0,66-0,64$ , относящиеся к вяжущим повышенной водостойкости, которые могут применяться для получения штукатурных, кладочных, напольных растворов для зданий с нормальным влажностным режимом.

### Список литературы

1. Волженский А.В., Роговой М.И., Стамбулко В.И. Гипсоцементные и гипсошлаковые вяжущие материалы и изделия. – М.: Госстройиздат, 1960. – 162 с.
2. Ферронская А.В., Коровяков В.Ф., Чумаков Л.Д., Мельниченко С.В. Водостойкие гипсовые вяжущие низкой водопотребности для зимнего бетонирования // Строительные материалы, 1992, № 5. – С. 24-26.
3. Садуакасов М.С., Румянцев Б.М., Аасад М. Регулирование структурообразования камня из ГВНВ добавкой портландцемента // Известия вузов. Строительство, 1993, № 5-6. – С. 19.
4. Айрапетов Г.А., Панченко А.И., Несветаев Г.В., Нечушкин А.Ю. Многокомпонентное бесклинкерное водостойкое гипсовое вяжущее // Строительные материалы, 1996, № 1. – С. 28-29.
5. Гипсовые материалы и изделия (производство и применение). Справочник. Под общей ред. А.В. Ферронской. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 488 с.
6. Горин В.М., Токарева С.А., Сухов В.Ю., Нехаев П.Ф., Авакова В.Д., Романов Н.М. Расширение областей применения керамзитового гравия // Строительные материалы, 2003, № 11. – С. 19-21.
7. Баженов Ю.М., Коровяков В.Д., Денисов Г.А. Технология сухих строительных смесей. – М.: Изд-во АСВ, 2003. – 96 с.
8. Лесовик В.С., Погорелов С.А., Строкова В.В. Гипсовые вяжущие материалы и изделия. Учебное пособие. – Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 2000. – 224 с.
9. Гайфуллин А.Р., Халиуллин М.И., Рахимов Р.З. Строительный гипс с добавками керамзитовой пыли // Известия КГАСУ, 2012, № 2 (20). – С. 166-171.
10. Рахимов Р.З., Халиуллин М.И., Гайфуллин А.Р. Состав и гидравлическая активность керамзитовой пыли // Цемент и его применение, 2013, № 1. – С. 124-128.

**Khaliullin M.I.** – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: khaliullin@kgasu.ru

**Rakhimov R.Z.** – doctor of technical science, professor

**Gaifullin A.R.** – candidate of technical sciences, assistant

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

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

### **Pozzolanic activity of a haydite dust and its dependence on a specific surface**

#### **Resume**

Results of researches influence of a specific surface and granulometric structure of a ground haydite dust of a certain chemical and mineral composition on its pozzolanic activity, and also the main physical and technical properties of an artificial stone on the basis of the composite gypsumlimehaydite binder are presented. It is established that with increase in a specific surface of a haydite dust from 250 to 800 sq.m/kg increase of its pozzolanic activity for 42 % is observed that according to data of the analysis of granulometric structure of a haydite dust is connected with growth of its dispersion. The dependences characterizing influence of a specific surface and the maintenance of an additive of a ground haydite dust on the main physics and technology properties of a composite gypsumlimehaydite binder and artificial stone on its basis are received. It is established that introduction of 20-25 % of an additive of a ground haydite dust with a specific surface of 500 sq.m/kg together with 5 % of lime in gypsum binder provides increase of coefficient of a softening of an artificial stone from 0,33 to 0,66-0,64 that corresponds to indicators for composite gypsum binders to the increased water resistance.

**Keywords:** artificial stone, composite gypsum binder, haydite dust, pozzolanic activity, specific surface.

#### **References**

1. Volzhensky A.B., Rogovoi M.I., Stambulko V.I. Gypsumzement and gypsumshlag binders materials and products. – M.: Gosstroyisdat, 1960. – 162 p.
2. Ferronskaja A.V., Korovjakov V.F., Chumakov L.D., Melnichenko S.V. Waterproof gypsum knitting low water requirement for winter concreting // Construction Materials, 1992, № 5. – P. 24-26.
3. Saduakasov M.S., Rumjantsev B.M., Aasad M. Regulirovanie of structurization of a stone from GK an additive of portland cement // News of higher educational institutions. Construction, 1993, № 5-6. – P. 19.
4. Ajrapetov G.A., Panchenko A.I., Nesvetaev G.V., Nechushkin A.J. Multicomponent clinker-free waterproof gypsum binder // Construction Materials, 1996, № 1. – P. 28-29.
5. Ferronskaja A.V. Gypsum materials and products (production and application). Reference book. – M.: Publishers ASV, 2004. – 488 p.
6. Gorin V.M., Tokareva S.A., Suhov V.Yu., Nehaev P.F., Avakova V.D., Romanov N.M. Expansion of scopes of haydite gravel // Construction Materials, 2003, № 11. – P. 19-21.
7. Bazhenov Yu.M., Korovjakov V.F., Denisov G.A. Technology of dry construction mixes. – M.: Publishers ASV, 2003. – 96 p.
8. Lesovik V.S., Pogorelov S.A., Strokova V.V. Gypsum binder materials and products. Tutorial. – Belgorod: BelGTASM, 2000. – 224 p.
9. Gaifullin A.R., Khaliullin M.I., Rakhimov R.Z. Gypsum binder with additives of a haydite dust // News of the KSUAE, 2012, № 2 (20). – P. 166-171.
10. Rakhimov R.Z., Khaliullin M.I., Gaifullin A.R. Structure and hydraulic activity of a claydite dust // Cement and its Applications, 2013, № 1. – P. 124-128.