

УДК 691.54: 666.913.2: 666.952

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

E-mail: [khaliullin@kgasu.ru](mailto:khaliullin@kgasu.ru)

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

E-mail: [rahimov@kgasu.ru](mailto:rahimov@kgasu.ru)

**Гайфуллин А.Р.** – кандидат технических наук, старший преподаватель

E-mail: [gaifi@list.ru](mailto:gaifi@list.ru)

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

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

### **Влияние добавки извести на физико-механические свойства композиционных гипсоизвестковопуццолановых вяжущих<sup>1</sup>**

#### **Аннотация**

Для разработки составов композиционных гипсоизвестковокерамзитовых вяжущих повышенной водостойкости и водостойких композиционных гипсоизвестковокерамзитовых вяжущих исследовано влияние извести, вводимой в комплексе с рассмотренными пуццолановыми добавками, на прочностные показатели и водостойкость искусственного камня на основе вяжущих. Полученные зависимости позволили выявить оптимальные количества извести в зависимости от пуццолановой активности проб керамзитовой пыли и доменных гранулированных шлаков различной дисперсности, а также основности шлаков. Повышение прочности и водостойкости искусственного камня на основе композиционных гипсоизвестковопуццолановых вяжущих происходит вследствие того, что низкоосновные гидросиликаты кальция, образующиеся в результате взаимодействия извести с рассмотренными пуццолановыми добавками, заполняют поры камня, дополнительно укрепляя контакты срастания кристаллов двуводного гипса, ограничивая возможность проникновения к ним воды и их растворения.

**Ключевые слова:** пуццолановая добавка, керамзитовая пыль, молотые доменные шлаки, композиционные гипсоизвестковопуццолановые вяжущие, пуццолановая активность, активные минеральные добавки, искусственный камень, коэффициент размягчения.

#### **Введение**

Производство гипсовых вяжущих, отличается сравнительно низкой энергоёмкостью и достаточной экологичностью. Например, для производства строительного гипса требуется расход условного топлива в 4,6 раза меньше, чем для производства портландцемента. Химический процесс получения строительного гипса из гипсового камня при обжиге связан с выделением только водяного пара.

Однако производимые в России гипсовые вяжущие, которыми в основном являются строительный и высокопрочный гипс, а также их зарубежные аналоги не обеспечивают водостойкости образующегося при их твердении гипсового камня. Коэффициент размягчения выпускаемых на их основе гипсовых материалов и изделий не превышает 0,45, то есть соответствует неводостойким материалам [1], в связи с чем область их применения ограничена только помещениями с сухим и нормально-влажностным режимами эксплуатации. Низкая водостойкость гипсового камня объясняется его повышенной пористостью и водопроницаемостью, высокой растворимостью двуводрата сульфата кальция и расклинивающим действием воды в зоне межкристаллических контактов [2]. Таким образом, расширение исследований и разработок, направленных на организацию производства композиционных гипсовых вяжущих повышенной водостойкости, позволит существенно расширить номенклатуру и область их применения, в том числе в помещениях с повышенной влажностью и для наружных конструкций.

Известно, что наиболее эффективным способом повышения прочности и водостойкости гипсовых композиций является введение в их состав молотых

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере и Инвестиционно-венчурного фонда Республики Татарстан.

пуццолановых и активных минеральных добавок в сочетании с известью или портландцементом, образующих водостойкие продукты гидратации [1, 3].

В результате исследований, выполненных в 30-50-е годы XX века под руководством П.П. Будникова, А.В. Волженского, А.В. Ферронской и других ученых были созданы гипсоцементнопуццолановые, гипсошлакоцементнопуццолановые, гипсоизвестковопуццолановые вяжущие повышенной водостойкости.

В 80-х годах XX века получило развитие направление, связанное с разработкой водостойких композиционных гипсовых вяжущих низкой водопотребности и повышенной прочности с применением эффективных пластификаторов в сочетании с механохимической активацией компонентов вяжущего и содержанием клинкерного цемента менее 15 % [4-6].

Однако в настоящее время гипсоцементнопуццолановые вяжущие (ТУ 21-31-62-89) и композиционные гипсовые вяжущие (ТУ 5744-001-53743439-04) выпускаются в нашей стране в ограниченном количестве и не нашли широкого применения, так как содержат в своем составе клинкерную составляющую – портландцемент, что приводит к их значительному удорожанию. Получение бесклинкерных гипсоизвестковопуццолановых вяжущих позволяет отказаться от применения портландцемента в составе водостойких гипсовых вяжущих. Еще в древности для повышения прочности и водостойкости гипсоизвестковых и известковых материалов применялись такие минеральные добавки с пуццолановыми свойствами, как молотые обожженные глины [7]. Исследования А.В. Волженского выявили эффективность введения в строительный гипс совместно с 2-5 % извести гибридной минеральной добавки, включающей молотый доменный шлак и трепел [3]. В настоящее время при получении композиционных гипсовых вяжущих широко применяются минеральные добавки различного происхождения, отличающиеся гидравлической и пуццолановой активностью [8, 9].

С конца XX века для повышения физико-механических свойств гипсоцементных композиций находит применение высокоактивный метокаолин [10], но существенной проблемой является ограниченность распространения месторождений каолиновых глин.

В связи с этим, актуальной проблемой, 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.

Ранее выполненными исследованиями авторов данной работы, а также рядом других ученых [11-13] показана эффективность использования в композиционных гипсовых вяжущих в качестве пуццолановой добавки крупнотоннажного отхода производства керамзитового заполнителя – керамзитовой пыли, являющейся одной из разновидностей минеральных добавок из готовых обожженных глин. В работе [14] показана возможность получения водостойких бесклинкерных композиционных гипсоизвестковокерамзитовых вяжущих при совместном введении в строительный гипс гибридной минеральной добавки, включающей предварительно размолотые керамзитовую пыль и гранулированные доменные шлаки, известь и суперпластификатор.

В тоже время, в опубликованных работах по получению композиционных гипсоизвестковопуццолановых вяжущих недостаточно исследовано влияние добавки извести на их физико-механические свойства вяжущих и искусственного камня на их основе.

### **Методы и материалы**

Для приготовления композиционных гипсоизвестковопуццолановых вяжущих применялись следующие исходные материалы.

В качестве исходного вяжущего использовался строительный гипс Г-6БП по ГОСТ 125 производства ООО «Аракчинский гипс».

Для получения водостойких продуктов твердения в состав бесклинкерных композиционных гипсоизвестковопуццолановых вяжущих совместно с молотыми керамзитовой пылью и доменным шлаком вводилась известь негашеная первого сорта по ГОСТ 9179 производства ООО «КЗССМ» (г. Казань).

В качестве пуццолановой добавки в состав композиционных гипсоизвестковокерамзитовых и гипсоизвестковокерамзитовых вяжущих в

исследованиях использовались пробы керамзитовой пыли, отобранные с циклонов и фильтров пылеочистки ряда предприятий по производству керамзитового гравия. Минералогический состав проб керамзитовой пыли приведен в табл. 1. В табл. 2 приведены результаты определения пуццолановой активности проб керамзитовой пыли различной дисперсности.

Таблица 1

**Минералогический состав проб керамзитовой пыли**

Пробы керамзитовой пыли	Недегидратированные и дегидратированные глинистые минералы	Кварц	Полевые шпаты	Ангидрит	Кальцит	Рентгено-аморфная фаза
КП-1	53	15	5	3	-	27
КП-2	46	17	6	3	-	28
КП-3	54	24	8	-	-	14
КП-4	45	14	8	-	3	30

Таблица 2

**Пуццолановая активность проб молотой керамзитовой пыли различной дисперсности по поглощению СаО**

Удельная поверхность молотой керамзитовой пыли, м <sup>2</sup> /кг	Активность проб молотой керамзитовой пыли, мг/г			
	КП-1	КП-2	КП-3	КП-4
250	336	316	303	292
500	462	424	379	377
800	477	447	385	383

В качестве гидравлической активной добавки в составе композиционных гипсоизвестковокерамзитшлаковых вяжущих вводились пробы доменных гранулированных шлаков Орско-Халиловского (ОХМК), Челябинского (ЧМК) и Череповецкого (ЧРМК) металлургических комбинатов. Минералогический состав проб доменных гранулированных шлаков приведен в табл. 3. В табл. 4 приведены результаты определения пуццолановой активности проб доменных гранулированных шлаков различной дисперсности.

Таблица 3

**Химический состав проб доменных гранулированных шлаков**

Проба шлака	Содержание в % на абсолютно сухую навеску							Модуль основности	Модуль активности
	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	MnO	FeO	SO <sub>3</sub>		
ОХМК	40,02	42,02	8,22	6,26	0,36	-	1,45	1,0	0,205
ЧМК	37,49	36,22	11,58	8,61	0,50	-	2,00	0,914	0,309
ЧРМК	39,3	48,4	4,3	3,4	0,4	0,5	0,6	1,19	0,11

Таблица 4

**Пуццолановая активность проб молотых доменных гранулированных шлаков различной дисперсности по поглощению СаО**

Удельная поверхность молотых доменных гранулированных шлаков, м <sup>2</sup> /кг	Активность проб молотых доменных гранулированных шлаков, мг/г		
	ОХМК	ЧМК	ЧРМК
250	360	325	306
500	485	423	389
800	491	427	398

В качестве пластифицирующей добавки в составе композиционных гипсоизвестковокерамзитшлаковых вяжущих вводился суперпластификатор Полипласт СП-1ВП по ТУ 5870-005-58042865-05 производства ООО «Полипласт Новомосковский».

Содержание добавок керамзитовой пыли и доменных шлаков, а также суперпластификатора Полипласт СП-1ВП в составе композиционных гипсоизвестковопуццолановых вяжущих определялось в соответствии с результатами ранее выполнявшихся исследований [11, 14].

Испытания композиционных гипсоизвестковопуццолоновых вяжущих осуществлялись в соответствии с ГОСТ 23789. Образцы хранились 28 суток в нормальных условиях и перед испытаниями высушивались до постоянной массы. Коэффициент размягчения образцов искусственного камня определялся в соответствии с ТУ 5744-001-53743439-04.

Для определения пуццолоновой активности минеральных добавок по поглощению СаО применялась методика ТУ 21-31-62-89.

Для исследования удельной поверхности пуццолоновых добавок использовался керамзитовой пыли метод Козени-Кармана с применением прибора ПСХ-9.

При проведении исследований применялись методы рентгенофазового анализа на базе дифрактометра D8 ADVANCE «Bruker»; комплексного дифференциально-термического анализа на базе синхронного термоанализатора STA 409 PC «NETZSCH»; электронной микроскопии на базе электронного микроскопа РЭММА-202М ПО «Электрон».

### Результаты и обсуждение результатов

Для определения оптимального содержания добавки извести в составе композиционных гипсоизвестковокерамзитовых вяжущих, исследовалось влияние количества добавки извести на прочность при сжатии и коэффициент размягчения искусственного камня при ее введении совместно с пуццолоновыми добавками проб керамзитовой пыли, размолотых до удельной поверхности  $500 \text{ м}^2/\text{кг}$  при их содержании в вяжущем – 20 % по массе.

Результаты исследований приведены на рис. 1-2.

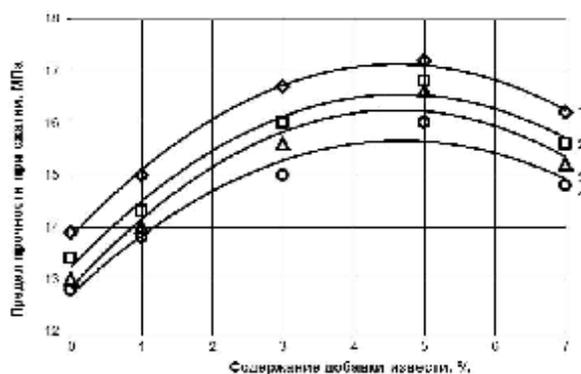


Рис. 1. Влияние содержания добавки извести при ее введении совместно с молотыми до удельной поверхности  $500 \text{ м}^2/\text{кг}$  пуццолоновыми добавками керамзитовой пыли различных видов на предел прочности при сжатии искусственного камня на основе композиционных гипсоизвестковокерамзитовых вяжущих:

1 – КП-1; 2 – КП-2; 3 – КП-3; 4 – КП-4

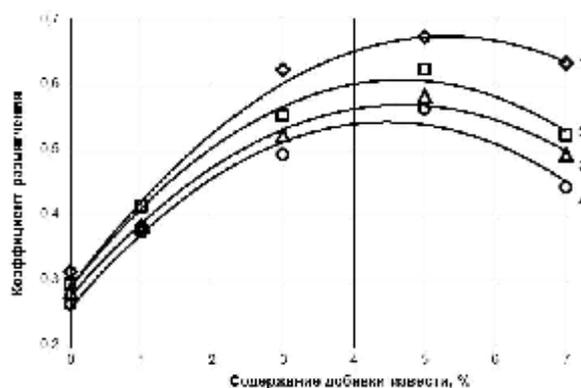


Рис. 2. Влияние содержания добавки извести при ее введении совместно с молотыми до удельной поверхности  $500 \text{ м}^2/\text{кг}$  пуццолоновыми добавками керамзитовой пыли различных видов на коэффициент размягчения искусственного камня на основе композиционных гипсоизвестковокерамзитовых вяжущих:

1 – КП-1; 2 – КП-2; 3 – КП-3; 4 – КП-4

Наиболее высокие показатели прочности и коэффициента размягчения искусственного камня на основе композиционных гипсоизвестковокерамзитовых вяжущих достигаются при введении извести в количестве 5 %. При этом прочность и коэффициент размягчения искусственного в зависимости от вида молотой керамзитовой пыли камня повышаются, соответственно, с 12,8-13,9 МПа до 16-17,2 МПа, а коэффициент размягчения с 0,26-0,31 до 0,56-0,66.

Наиболее высокие показатели прочности и коэффициента размягчения искусственного камня на основе композиционных гипсовых вяжущих достигаются при совместном введении извести с 20 % керамзитовой пыли пробы КП-1, молотой до удельной поверхности 500 м<sup>2</sup>/кг. Менее высокие показатели прочности и коэффициента размягчения искусственного камня на основе композиционных гипсоизвестковокерамзитовых вяжущих при введении проб керамзитовой пыли КП-2, КП-3, КП-4 по сравнению с пробой КП-1 объясняются их меньшей пуццолановой активностью (табл. 2).

Для повышения прочности и водостойкости композиционных гипсоизвестковопуццолановых вяжущих в их состав совместно с пуццолановой добавкой керамзитовой пыли КП-1 с удельной поверхностью 500 м<sup>2</sup>/кг в количестве 20 % по массе, а также суперпластификатора СП-1ВП в количестве 0,5 % по массе [14] и извести вводились гидравлически активные добавки молотых доменных гранулированных шлаков.

При исследованиях влияния количества вводимых добавок извести на прочность искусственного камня на основе композиционных гипсоизвестковокерамзитовых вяжущих была определена прочность при сжатии контрольных образцов без введения извести, в состав которых при приготовлении наряду с вышеуказанными добавками керамзитовой пыли и суперпластификатора вводились доменные гранулированные шлаки проб ЧМК, ОХМК, и ЧРМК молотые до удельной поверхности 500 м<sup>2</sup>/кг в количестве 30 % по массе.

Прочность при сжатии полученных при этом образцов при использовании шлаков ЧМК, ОХМК, и ЧРМК составила, соответственно, 7, 8 и 10 МПа. Повышенные показатели прочности с добавками шлаков ЧРМК и ОХМК без введения добавки извести связаны с повышенным содержанием в них СаО, которая после гидратации вступает в химическое взаимодействие с активными минералами шлаков и керамзитовой пыли.

На рис. 3 приведены результаты исследований влияния добавки извести на прочность искусственного камня на основе композиционных гипсоизвестковокерамзитовых вяжущих.

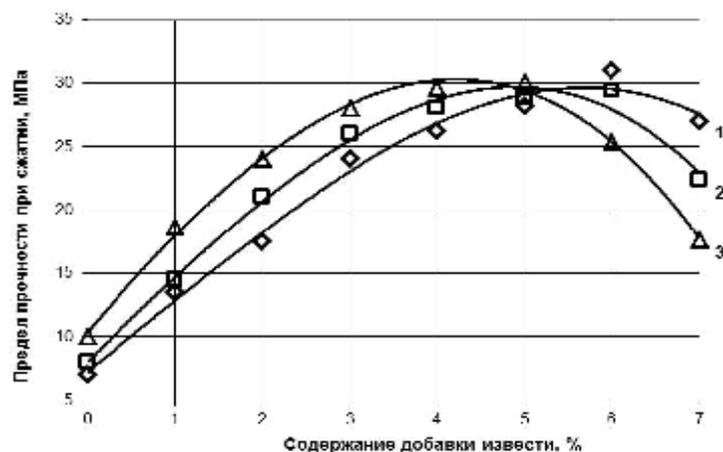


Рис. 3. Влияние содержания добавки извести при ее введении совместно с молотыми до удельной поверхности 500 м<sup>2</sup>/кг добавками доменных гранулированных шлаков различных видов на предел прочности при сжатии искусственного камня на основе композиционных гипсоизвестковокерамзитовых вяжущих:  
1 – ЧМК; 2 – ОХМК; 3 – ЧРМК

Анализ приведенных на рис. 3 результатов исследований показывает, что с повышением основности шлаков следует уменьшать количество вводимой добавки

известии в составе композиционных гипсоизвестковокерамзитшлаковых вяжущих, так как ее избыточное количество снижает прочность искусственного камня. Для композиционных гипсоизвестковокерамзитшлаковых вяжущих при введении доменных гранулированных шлаков ЧМК, ОХМК, и ЧРМК оптимальным является введение добавок известии в количествах, соответственно, 5-6 %, 4-5 % и 3-4 %.

Введение оптимального количества известии совместно с гибридной активной минеральной добавкой приводит к повышению коэффициента размягчения искусственного камня на основе композиционных гипсоизвестковокерамзитшлаковых вяжущих до 0,81-0,96, что отвечает показателям для водостойких вяжущих [1], а также позволит добиться существенного сокращения расхода строительного гипса при введении в вяжущие до 50 % по массе техногенных отходов – керамзитовой пыли и доменных гранулированных шлаков, что обеспечит снижение себестоимости вяжущих и повышение их конкурентоспособности по сравнению с существующими аналогами.

Результаты исследований состава и структуры искусственного камня на основе композиционных гипсоизвестковокерамзитшлаковых вяжущих, выполненные с применением рентгенофазового анализа, комплексного дифференциально-термического анализа и электронной микроскопии (рис. 4) показали, что повышение прочности и водостойкости искусственного камня происходит вследствие того, что низкоосновные гидросиликаты кальция, образующиеся в результате взаимодействия известии с рассмотренными пуццолановыми добавками, заполняют поры камня, дополнительно укрепляя контакты срастания кристаллов двуводного гипса, ограничивая возможность проникновения к ним воды и их растворения.

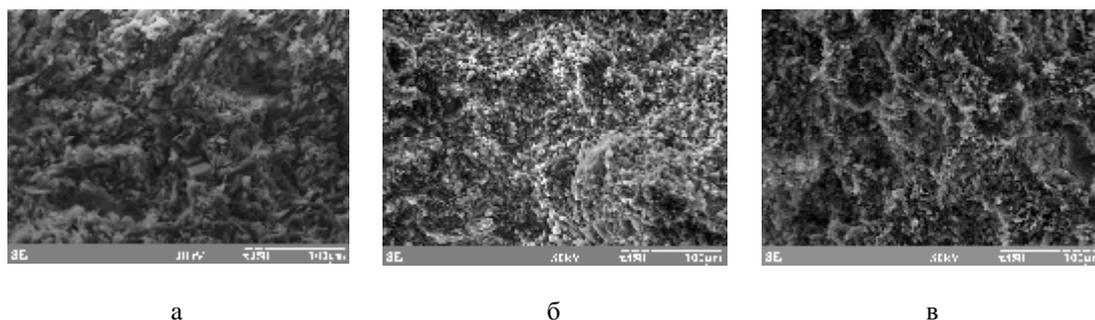


Рис. 4. Электронные микрофотографии образцов искусственного камня (с увеличением  $\times 350$ ):  
а – на основе строительного гипса в возрасте 1 год;

б – на основе композиционных гипсоизвестковокерамзитшлаковых вяжущих в возрасте 28 суток;

в – на основе композиционных гипсоизвестковокерамзитшлаковых вяжущих в возрасте 1 год

### Заключение

1) Установлены зависимости, характеризующие влияние количества добавки известии, вводимой в комплексе с рассмотренными пуццолановыми добавками, на прочностные показатели и водостойкость композиционных гипсоизвестковокерамзитовых и гипсоизвестковокерамзитшлаковых вяжущих.

2) Показано, что повышение прочности и водостойкости искусственного камня на основе композиционных гипсоизвестковопуццолановых вяжущих происходит вследствие того, что низкоосновные гидросиликаты кальция, образующиеся в результате взаимодействия известии с рассмотренными пуццолановыми добавками, заполняют поры камня, дополнительно укрепляя контакты срастания кристаллов двуводного гипса, ограничивая возможность проникновения к ним воды и их растворения.

3) Разработаны составы композиционных гипсоизвестковокерамзитовых вяжущих повышенной водостойкости и водостойких композиционных гипсоизвестковокерамзитшлаковых вяжущих с оптимальным содержанием известии в пределах 3-6 % по массе.

## Список библиографических ссылок

1. Ферронская А.В., Коровяков В.Ф., Баранов И.М., Бурьянов А.Ф., Лосев Ю.Г., Поплавский В.В., Шишин А.В. Гипс в малоэтажном строительстве. – М.: Изд-во АСВ, 2008. – 240 с.
2. Белов В.В., Бурьянов А.Ф., Яковлев Г.И., Петропавловская В.Б., Фишер Х.-Б., Маева И.С., Новиченкова Т.Б. Модификация структуры и свойств строительных композитов на основе сульфата кальция. – М.: Изд-во Де Нова, 2012. – 196 с.
3. Волженский А.В., Стамбулко В.И., Ферронская А.В. Гипсоцементно-пуццолановые вяжущие, бетоны и изделия. – М.: Стройиздат, 1971. – 318 с.
4. 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.
5. Садуакасов М.С., Румянцев Б.М., Аасад М. Регулирование структурообразования камня из ГВНВ добавкой портландцемента // Известия вузов. Строительство, 1993, № 5-6. – С. 19.
6. Айрапетов Г.А., Панченко А.И., Несветаев Г.В., Нечушкин А.Ю. Многокомпонентное бесклинкерное водостойкое гипсовое вяжущее // Строительные материалы, 1996, № 1. – С. 28-29.
7. Значко-Яворский И.Л. Очерки истории вяжущих веществ от древнейших времен до середины XIX века. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 500 с.
8. Изотов В.С., Мухаметрахимов Р.Х., Галаутдинов А.Р. Исследование влияния активных минеральных добавок на реологические и физико-механические свойства гипсоцементно-пуццоланового вяжущего // Строительные материалы, 2015, № 5. – С. 20-23.
9. Гордина А.Ф., Токарев Ю.В., Полянских И.С., Яковлев Г.И. Оценка влияния ультрадисперсной пыли и углеродных наносистем на структуру и свойства гипсовых вяжущих // Интеллектуальные системы в производстве, 2013, № 1. – С. 185-188.
10. Тирони А., Тресса М., Сиан А., Ирассар Э.Ф. Термическая активация каолиновых глин // Цемент и его применение, 2012, № 12. – С. 145-148.
11. Рахимов Р.З., Халиуллин М.И., Гайфуллин А.Р., Стоянов О.В. Керамзитовая пыль как активная добавка в минеральные вяжущие – состав и пуццолановые свойства // Вестник Казанского технологического университета: КНИТУ, 2013, Т. 16, № 19. – С. 57-61.
12. 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.
13. Баженов Ю.М., Коровяков В.Д., Денисов Г.А. Технология сухих строительных смесей. – М.: Изд-во АСВ, 2003. – 96 с.
14. Гайфуллин А.Р., Халиуллин М.И., Рахимов Р.З. Состав и структура камня композиционного гипсового вяжущего с известью и гибридной минеральной добавкой // Строительные материалы, 2014, № 7. – С. 28-31.

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

E-mail: [khaliullin@kgasu.ru](mailto:khaliullin@kgasu.ru)

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

E-mail: [rahimov@kgasu.ru](mailto:rahimov@kgasu.ru)

**Gaifullin A.R.** – candidate of technical sciences, senior lecturer

E-mail: [gaifi@list.ru](mailto:gaifi@list.ru)

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

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

## The effect of lime additive on the physico-mechanical properties of the composite gypsum-lime-pozzolanic binders

### Resume

The aim of this work was to develop cost-effective composite gypsum-lime-pozzolanic binders with improved physical and mechanical properties, particularly water resistance, which allows to extend the scope of the traditional application of gypsum building materials. Lime additive was introduced into the composition of the gypsum binder in conjunction with ground clay dust, as well as with hybrid mineral Supplement that includes ground haydite dust and blast furnace granulated slag. For the development of compositions of composite gypsum-lime-clay binders with high water resistance and composite water-resistant gypsum-lime-expanded clay, slag binders was investigated the effect of lime introduced into the complex with the pozzolanic additives on the strength characteristics and water resistance of the artificial stone on the basis of binders. Obtained dependencies allowed to reveal the optimum amount of lime depending on pozzolanic activity of samples of expanded-clay dust and blast furnace granulated slag of different dispersion and basicity of slag. It is shown that increasing the strength and water resistance of the artificial stone based on composite gypsum-lime-pozzolanic binders is because low basic calcium hydrosilicates formed in the result of the interaction of lime with the pozzolanic additives, fill the pores of the stone, further enhancing the contact intergrowths of crystals of dihydrate gypsum, limiting the possibility of penetration of water to them and their dissolution.

**Keywords:** pozzolanic additive, expanded clay dust, ground blast furnace slag, composite gypsum-lime-pozzolanic binders, pozzolanic activity, active mineral additives, artificial stone, water resistance.

### Reference list

1. Ferronskaya A.V., Korovyakov V.F., Baranov I.M., Buryanov A.F., Losev Yu.G., Poplavskii V.V., Shishin A.V. Gypsum in low-rise building. – M.: Publishers ASV, 2008. – 240 p.
2. Belov V.V., Buryanov A.F., Yakovlev G.I., Petropavlovskaya V.B., Fisher H.-B., Mayeva I.S., Novichenkova T.B. Modification of the structure and properties of building composites based on calcium sulphate. – M.: Publishers De Nova, 2012. – 196 p.
3. Volzhensky A.B., Stambulko V.I., Ferronskaya A.V. Gypsumcement and pozzolanic binders, concretes and products, – M.: Gosstroyisdat, 1971. – 318 p.
4. Ferronskaya A.V., Korovyakov V.F., Chumakov L.D., Melnichenko S.V. Water-resistant gypsum binders with low water demand for winter concreting // Stroitelnye materialy, 1992, № 5. – P. 24-26.
5. 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.
6. Ajrapetov G.A., Panchenko A.I., Nesvetaev G.V., Nechushkin A.J. Multicomponent clinker-free waterproof gypsum binder // Stroitelnye materialy, 1996, № 1. – P.28-29.
7. Znachko-Yavorskiy I. L., Essays on the history of binders from ancient times to the mid-nineteenth century. – M.: Izd-vo AN USSR, 1963. – 500 p.
8. Izotov V.S., Muhametrahimov A.D., Galautdinov A.R. Study of influence of active mineral additives on rheological and physical-mechanical properties of a gypsum-cement-pozzolanic binder // Stroitelnye materialy, 2015, № 5. – P. 20-23.
9. Gordina A.F., Tokarev Yu.V., Polyanskikh I.S., Yakovlev G.I. Evaluation of the influence of ultradisperse dust and carbon nanosystems on structure and properties of gypsum binders // Intellektualnye sistemy v proizvodstve, 2013, № 1. – P. 185-188.
10. Tironi A., Tressa M., Sian A., Irassar Je.F. Thermal activation of kaolinite clays // Cement i ego primeneniye, 2012, № 12, – P. 145-148.
11. Rakhimov R.Z., Khaliullin M.I., Gayfullin A.R., Stojanov O.V. Claydite dust as an active additive in mineral binders – composition and pozzolanic properties // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. KNITU 2013, B. 16, № 19. – P. 57-61.
12. 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.
13. Bazhenov Yu.M., Korovjakov V.F., Denisov G.A. Technology of dry construction mixes. – M.: Publishers ASV, 2003. – 96 p.
14. Gayfullin A.R., Khaliullin M.I., Rakhimov R.Z. Composition and Structure of Composite Gypsum Binder Stone with Lime and Hybrid Mineral Additive // Stroitelnye materialy, 2014, № 7. – P. 28-31.