

DOI: 10.12737/article\_59cd0c5892fe38.35639609

Дребезгова М.Ю., инж.,  
Чернышева Н.В., д-р техн. наук, проф.,  
Шаталова С.В., магистр, инж.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## КОМПОЗИЦИОННОЕ ГИПСОВОЕ ВЯЖУЩЕЕ С МНОГОКОМПОНЕНТНЫМИ МИНЕРАЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ РАЗНОГО ГЕНЕЗИСА\*

[mdrebezgova@mail.ru](mailto:mdrebezgova@mail.ru)

В данной статье для проектирования водостойких композиционные гипсовые вяжущие предложены новые виды энергетически насыщенных за счет геологических и техногенных процессов тонкодисперсные минеральные добавки, существенно отличающиеся от традиционно применяемого кварцевого сырья – отходы мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов, нанодисперсный порошок кремнезема, мел и исследована возможность их совместного использования.

**Ключевые слова:** композиционные гипсовые вяжущие, многокомпонентные минеральные добавки, эксплуатационные характеристики.

Для повышения эффективности технологий возведения объектов архитектурно-строительного назначения, необходимо создание композитов нового поколения, обеспечивающих высокие эксплуатационные характеристики – прочность, водостойкость и морозостойкость, отвечающих требованиям по долговечности, энергоэффективности, экологичности и при этом создающих комфортность среды обитания. Предпочтительными для этих целей, по сравнению с другими вяжущими, являются композиционные гипсовые вяжущие (КГВ), положительные свойства которых (хорошая огнестойкость, звукоизолирующие свойства, разный уровень марочной прочности, низкие значения плотности и теплопроводности и др.) позволяют применять их в архитектурно-строительных системах, особенно при возведении малоэтажных зданий, и внести в реализацию национальной программы «Доступное и комфортное жилье» реальный вклад [1–4]. Изготовление и применение КГВ требуемого качества возможно за счет введения минеральных пуццолановых добавок, которые снижают концентрацию СаО в гипсоцементной системе, твердеющей без опасных внутренних напряжений. В результате сложных физико-химических процессов, происходящих в процессе твердения КГВ, образуются новые гидратные соединения (по сравнению с гипсовым вяжущим), влияющие на основные свойства вяжущего и приближающие его к портландцементу [5–10].

В ранее выполненных исследованиях [11] была обоснована возможность получения КГВ с использованием отходов мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов (отходов ММС), отличающихся полиминеральным составом и наличием реакционно-способных разновидностей основного порообразующего минерала –

кварца, в качестве минеральной добавки. Но, несмотря на потенциальные возможности указанного вяжущего, необходимо обеспечение еще более высоких эксплуатационных характеристик – прочности и водостойкости, обеспечивающих комфортную среду обитания человека, что возможно только при использовании многокомпонентных систем.

Исходя из вышеизложенного, необходимо научное обоснование и создание составов высокоэффективных КГВ с учетом особенностей сырьевых компонентов, а также их совместимости, для обеспечения требуемых эксплуатационных характеристик архитектурно-строительных систем

**Основная часть.** В работе для проектирования водостойких КГВ предложены новые виды энергетически насыщенных за счет геологических и техногенных процессов тонкодисперсные минеральные добавки, существенно отличающиеся от традиционно применяемого кварцевого сырья – отходы мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов, нанодисперсный порошок кремнезема (НДП), мел и исследована возможность их совместного использования.

Крупнотоннажные отходы мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов отличаются полиминеральным составом с содержанием в них кварца различной степени кристалличности более 70 %. Химический состав отходов ММС (в % по массе) : SiO<sub>2</sub> – 77,7; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,7; Fe<sub>о6</sub> – 10,2; MgO – 2,26; СаО – 1,67; SO<sub>3</sub> – 0,127; CO<sub>2</sub> – 3,63; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0,025.

Исследовали нанодисперсный порошок кремнезема, полученный из природных гидротермальных источников вулканогенных областей путем концентрирования с применением ультрафильтрационных мембран с последующей крио-

химической вакуумсублимационной сушкой золь кремнезема, способом – разработанным профессором Потаповым В.В. [12] Средний диаметр частиц нанодисперсного порошка составил 7,6 нм, удельная поверхность, определенная путем низкотемпературной адсорбции азота на порометре ASAP-2010 N Micromeritics) 156000 м<sup>2</sup>/кг, насыпная плотность – 35 кг/м<sup>3</sup>, средний дзета-потенциал (ζ) поверхности наночастиц – -35,0 мВ. Химический состав НДП кремнезема (в % по массе): SiO<sub>2</sub> – 99,7; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,173; CaO – 0,034; Na<sub>2</sub>O – 0,034; K<sub>2</sub>O – 0,069.

Мел технический дисперсный марки МТД-2 с остатком на сите № 014 не более 0,8 %, содержанием CaCO<sub>3</sub> не менее 96 %, применяли в качестве микронаполнителя

В исследованиях устанавливали возможность и эффективность применения нано- и микродисперсных минеральных добавок (НДП и мела) для обеспечения еще более высоких эксплуатационных характеристик известного КГВ с отходами ММС. Помол отходов ММС осуществляли в лабораторной шаровой мельнице. Ранее было установлено [11], что для получения КГВ удельная поверхность отходов ММС не должна

превышать 600 м<sup>2</sup>/кг, поэтому в работе их помол осуществляли до S<sub>уд</sub>=500 м<sup>2</sup>/кг (рис. 1).

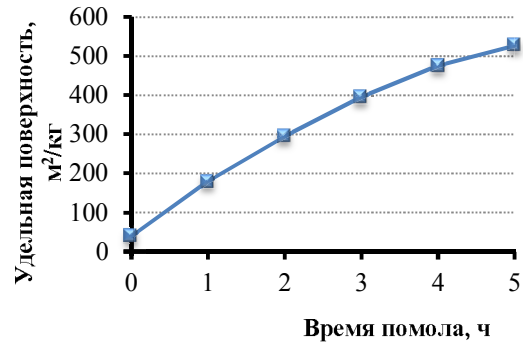


Рис. 1. Кинетика помола отходов ММС

Анализ гранулометрического состава применяемых минеральных добавок показал: тонкомолотые до S<sub>уд</sub>=500 м<sup>2</sup>/кг отходы ММС имеют гетерогенную гранулометрию с полимодальным распределением частиц размером от 134,5 до 0,22 мкм, с наличием трех ярко выраженных пиков в области средних и мелких частиц (8,16...0,74 мкм) с достаточно большим их массовым соотношением (до 40 %) и развитой шероховатой поверхностью, что способствует уплотнению микроструктуры твердеющей матрицы (рис. 2).

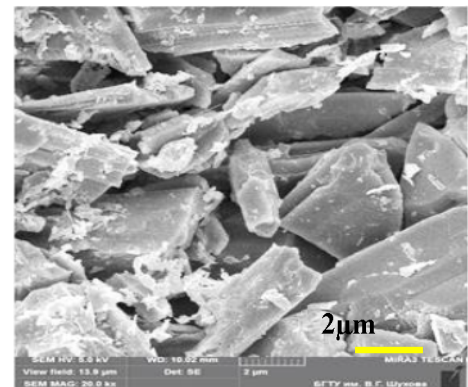
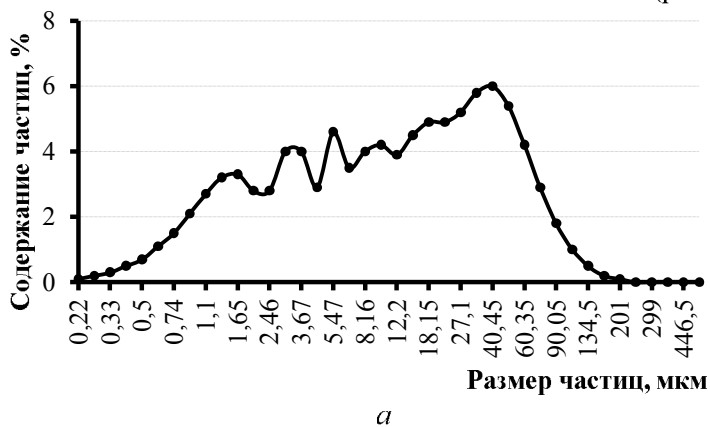


Рис. 2. Распределение частиц (а) отходов ММС и морфология их поверхности (б)

Нанодисперсный порошок кремнезема (НДП) имеет полимодальное распределение частиц размером 5–100 нм (рис. 3).

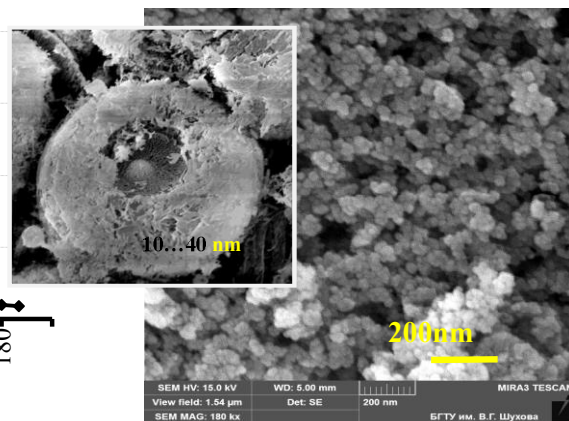
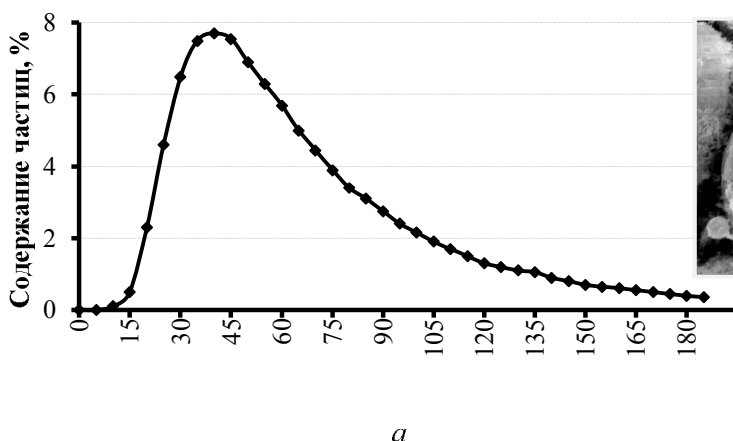
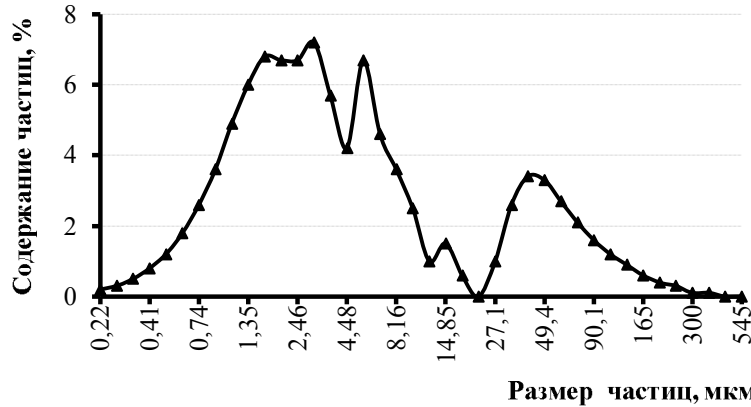
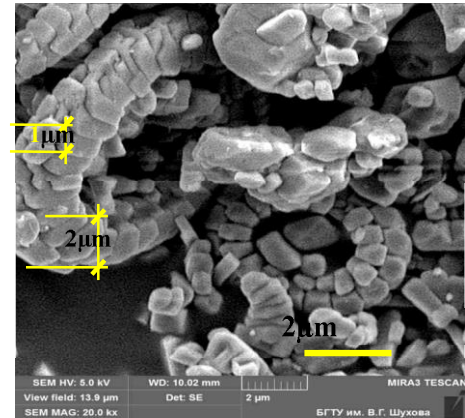


Рис. 3. Распределение частиц (а) НДП и морфология их поверхности (б)

Сферическая форма их частиц с пористо-сетчатой структурой и полостями в центральной части, а также хлопьями толщиной 0,1–0,2 мкм, обуславливает их высокую пуццолановую активность и уникальную способность мгновенно связывать  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  с образованием малорастворимых гидросиликатов кальция.



а



б

Рис. 4. Распределение частиц (а) мела и морфология их поверхности (б)

Пористая микроструктура и пространственное строение частично поврежденных кольцевидных и трубчатых образований мела, сложенных из сегментов размерами 1...5 мкм правильной формы. Множество активных центров в зоне разлома повышают его активность, что способствует росту прочности КГВ и подтверждается результатами исследования их физико-механических свойств.

Опытным путем подбирали количество НДП в составе КГВ при условии, чтобы на пятые сутки концентрация  $\text{CaO}$  в водных суспензиях полуводного гипса, портландцемента и активных минеральных добавок (отходы ММС + НДП), не превышала 1,1 г/л, а на седьмые сутки была менее 0,85 г/л, в соответствии с ТУ 21-31-62-89 «Гипсоцементно-пуццолановое вяжущее» (табл. 1).

Таблица 1

Изменение концентрации  $\text{CaO}$  в водной суспензии КГВ

| № п/п | Материалы, г |     |            |       | Концентрации $\text{CaO}$ в р-ре, г/л, через: |         |
|-------|--------------|-----|------------|-------|-----------------------------------------------|---------|
|       | Гипс         | ПЦ  | Отходы ММС | НДП   | 5 суток                                       | 7 суток |
| 1     | 4            | 2,5 | 1,25       | -     | 1,149                                         | 1,031   |
| 2     | 4            | 2,5 | 2,5        | -     | 1,113                                         | 0,865   |
| 3     | 4            | 2,5 | 2,5        | 0,075 | 1,088                                         | 0,847   |
| 4     | 4            | 2,5 | 2,5        | 0,123 | 1,083                                         | 0,834   |

Было установлено, что дополнительное введение в состав КГВ с отходами ММС (на Г-5, при соотношении ПЦ/отходы ММС=1:1) нанодисперсного порошка в количестве 0,45 % (по массе), способствует дальнейшему снижению концентрации  $\text{CaO}$  в растворах до требуемых пределов (через 5 суток составила 1,088 г/л; через 7 суток – 0,847 г/л) и стабильности затвердевшего вяжущего что подтверждается результатами исследования их физико-механических свойств.

Происходит ускорение начальной стадии твердения КГВ, повышение его активности (в 2...3 раза) и прочности (до 40 %) затвердевших образцов в 28 суточном возрасте, причем зависимость прочности от массового процента НДП

кремнезема носит немонотонный характер (рис. 5).

В работе исследовали влияние мела на свойства КГВ с отходами ММС (на Г-5). Была установлена оптимальная дозировка мела (1,5 % от массы КГВ), выступающего в качестве центров кристаллизации и микронаполнителя, уплотняющего структуру и позволяющего повысить прочность вяжущего (на 15...20 %) в ранние сроки твердения (рис. 6).

Опираясь на полученные результаты исследований, приготовление водостойкого КГВ осуществляли в несколько этапов. Первоначально получали минеральный модификатор вяжущего (ММВ). Для этого в лабораторной шаровой мель-

нице отходы ММС мололи до  $S_{уд}=500 \text{ м}^2/\text{кг}$ , а затем домальвали (5, 10 и 15 мин), совместно с ПЦ (в соотношении 1:1) и мелом (1,5 % от массы

КГВ) и определяли оптимальное время его приготовления.

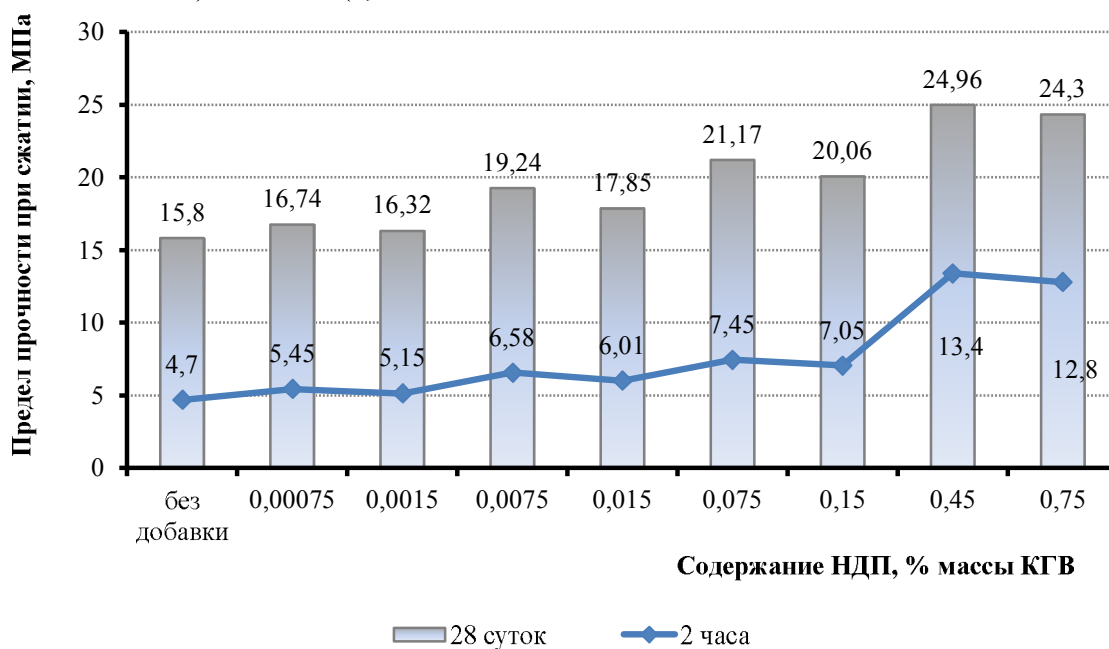


Рис. 5. Изменение прочности КГВ от содержания НДП кремнезема

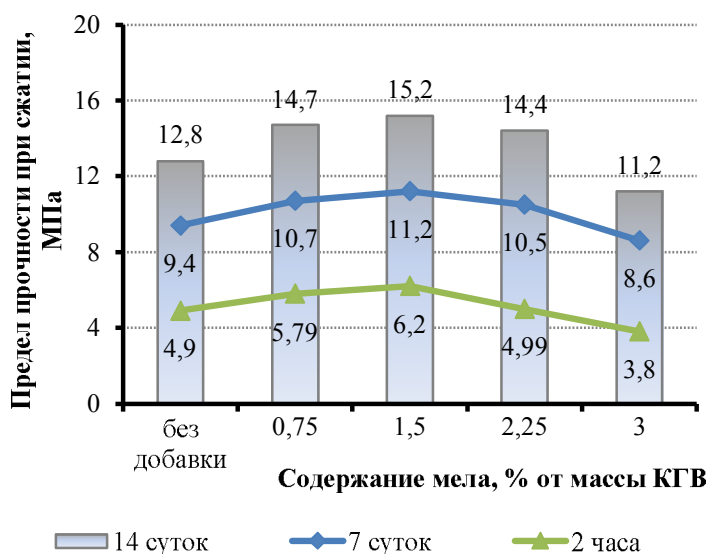


Рис. 6. Изменение прочности КГВ от содержания мела

В результате проведенных исследований было установлено, что при домале компонентов ММВ в течение 5 мин наблюдается повышенное содержание крупных частиц бинарной минеральной добавки с развитой шероховатой поверхностью, что связано с разрушением порообразующих минералов отходов ММС и мела (рис. 7-а).

Увеличение времени домала ММВ до 10 мин способствует уменьшению размеров и некоторому усреднению его зерен за счет постепенного истирания и измельчения мела, портландцемента, и крупных частиц отходов ММС полиминерального состава, выступающих своеобразными дополнительными мелющими телами. Наблюдается частичное агрегирование частиц (рис. 7-б).

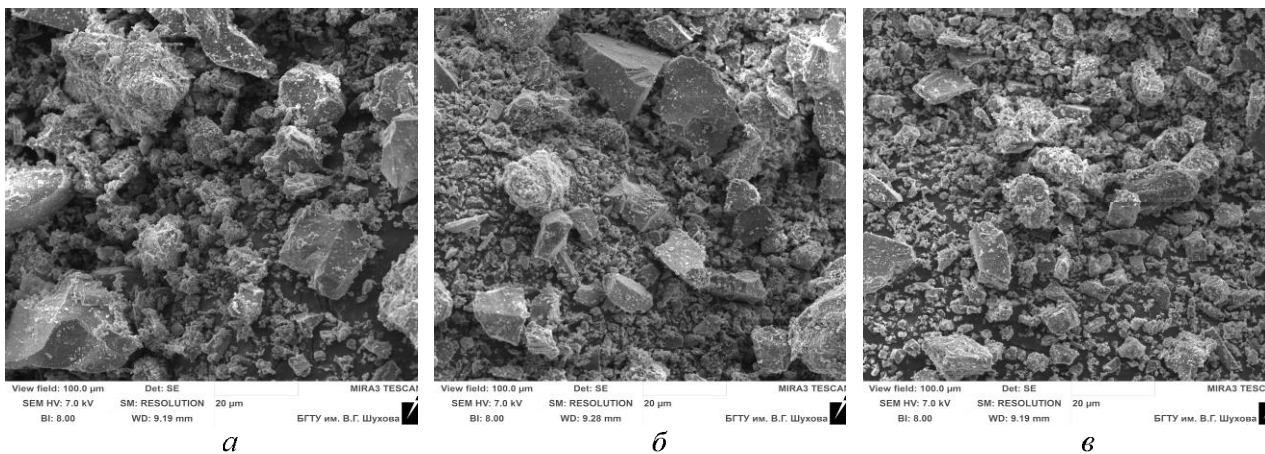


Рис. 7. Морфология поверхности, размер и характер частиц ММВ, полученные при помоле компонентов в течение: а – 5 мин; б – 10 мин; в – 15 мин

При домол в течение 15 мин происходит прирост удельной поверхности ММВ за счет более тонкого измельчения зерен мела, портландцемента и отходов ММС (представленных кварцем различного генезиса), значительно сокращается количество крупных включений. Измельченные частицы компонентов ММВ собираются в отдельные скопления в виде цепочек, агрегатов шарообразной формы, и наблюдается более выраженное вторичное агрегирование частиц (рис. 7-в).

Домол ММВ в течение 10 и 15 мин является неэффективным из-за повышенного содержания мелких частиц и их вторичного агрегирования, способствующего повышению водопотребности бетонной смеси и увеличению энергозатрат. Наиболее целесообразным является совместный домол ММВ в течение 5 мин, что согласуется с данными по прочности (табл. 2).

Таблица 2

**Показатели свойств минерального модификатора вяжущего**

| Время помола, мин | Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг | Удельная поверхность на приборе Сорби-М (4-точечный метод БЭТ), м <sup>2</sup> /г | Средний размер частиц, мкм | НГ   | Предел прочности при сжатии МПа, через |          |
|-------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|------|----------------------------------------|----------|
|                   |                                          |                                                                                   |                            |      | 7 суток                                | 28 суток |
| 5                 | 357                                      | 2,3±0,2                                                                           | 5,4                        | 0,29 | 22,3                                   | 36,2     |
| 10                | 392                                      | 2,6±0,2                                                                           | 5,1                        | 0,30 | 21,5                                   | 34,3     |
| 15                | 439                                      | 2,9±0,2                                                                           | 4,8                        | 0,31 | 19,8                                   | 31,2     |

Полученное соотношение компонентов вяжущего было положено в основу расчета состава КГВ (% по массе): гипсовое вяжущее – 68,05, портландцемент – 15, тонкомолотые отходы ММС – 15, НДП кремнезема – 0,45, мел – 1,5.

На следующем этапе исследований для повышения эффективности КГВ в течение 3 мин осуществляли совместное перемешивание ММВ с гипсовым вяжущим, включающим β-полугидрат сульфата кальция (Г-5) и α-полугидрат сульфата кальция (Г-16). Определяли их гранулометрический состав, рациональное соотношение и влияние на физико-механические свойства затвердевшего КГВ (рис. 8). Было выявлено, что у КГВ, содержащего в составе гипсового вяжущего 70 % Г-5 и 30 % Г-16 наблюдаются

наибольшее смещение графика в сторону уменьшения размеров частиц с увеличением количества более тонкой фракции, с наличием четырех ярко выраженных пиков: 1 – в области частиц 13,4...16,3 мкм; 2 – 7,34...8,97 мкм; 3 – 4,92...6,01 мкм и 4 – 1,81...3,3 мкм.

Повышение содержания частиц размерами 8,97...1,81 мкм, уплотняющих структуру, приводит к снижению объема пустот между ними, ускорению процесса структурообразования искусственного гипсоцементного камня и увеличению предела прочности на сжатие в ранние сроки твердения до 20 %, со значениями в 28 суточном возрасте до 26,0 МПа (табл. 3).



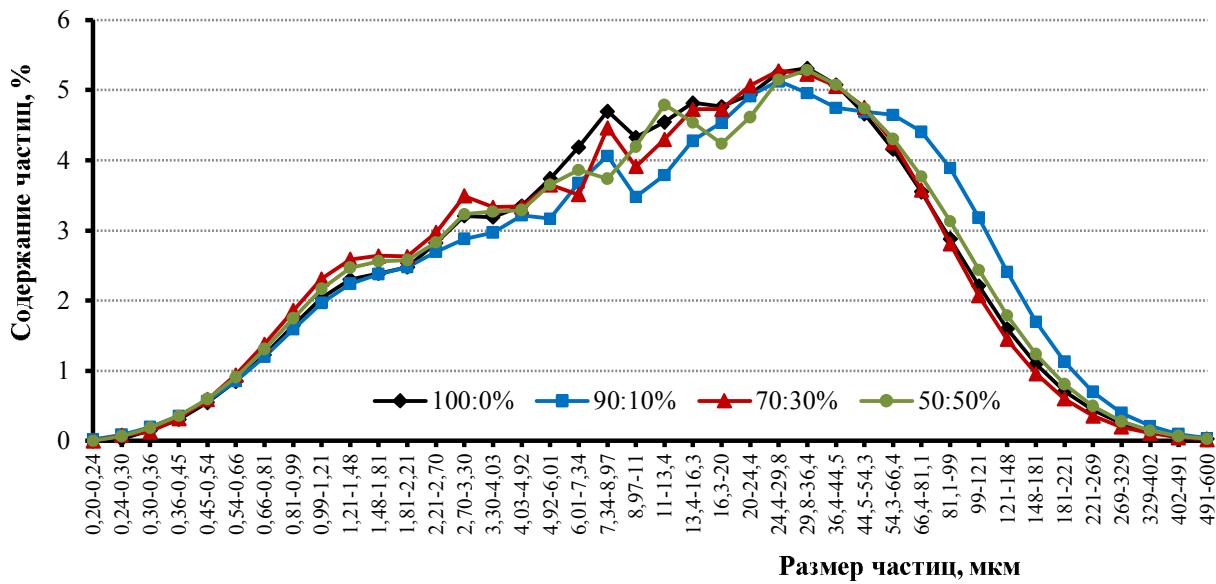


Рис. 8. Гранулометрический состав КГВ с различным соотношением Г-5 и Г-16

Таблица 3

**Составы и основные свойства гипсовых вяжущих и КГВ**

| № п/п | Состав гипсовых вяжущих и КГВ на их основе, % по массе: |       |    |     |      |     | В/Вяз | Распльв, м | Сроки схватывания |       |       | Прочность на сжатие, МПа, в сроки |       |        | Кр |
|-------|---------------------------------------------------------|-------|----|-----|------|-----|-------|------------|-------------------|-------|-------|-----------------------------------|-------|--------|----|
|       | ГВ                                                      |       | Ц  | ММС | НДП  | Мел |       |            | мин, с            |       |       | 2 ч                               | 7 сут | 28 сут |    |
|       | Г-5                                                     | Г-16  |    |     |      |     |       |            | начал             | о     | конец |                                   |       |        |    |
| 1     | 100                                                     | -     | -  | -   | -    | -   | 0,5   | 0,180      | 6-30              | 10-30 | 5,9   | -                                 | -     | 0,34   |    |
| 2     | 70                                                      | -     | 15 | 15  | -    | -   | 0,5   | 0,175      | 6-30              | 9-00  | 5,4   | 10,5                              | 16,4  | 0,76   |    |
| 3     | 68,05                                                   | -     | 15 | 15  | 0,45 | 1,5 | 0,5   | 0,100      | 4-00              | 4-30  | 6,3   | 7,1                               | 17,2  | 0,78   |    |
| 4     | 61,25                                                   | 6,80  |    |     |      |     | 0,5   | 0,115      | 4-15              | 4-55  | 7,3   | 8,0                               | 18,6  | 0,82   |    |
| 5     | 47,64                                                   | 20,41 | 15 | 15  | 0,45 | 1,5 | 0,46  | 0,115      | 5-45              | 6-15  | 7,7   | 9,0                               | 26,0  | 0,89   |    |
| 6     |                                                         |       |    |     |      |     | 0,5   | 0,145      | 6-20              | 6-50  | 7,5   | 8,4                               | 21,6  | 0,87   |    |
| 7     | 34,02                                                   | 34,02 | 15 | 15  | 0,45 | 1,5 | 0,55  | 0,200      | 7-30              | 8-00  | 5,2   | 6,8                               | 14,2  | 0,85   |    |
| 8     |                                                         |       |    |     |      |     | 0,5   | 0,190      | 7-00              | 7-30  | 6,8   | 7,3                               | 17,1  | 0,82   |    |

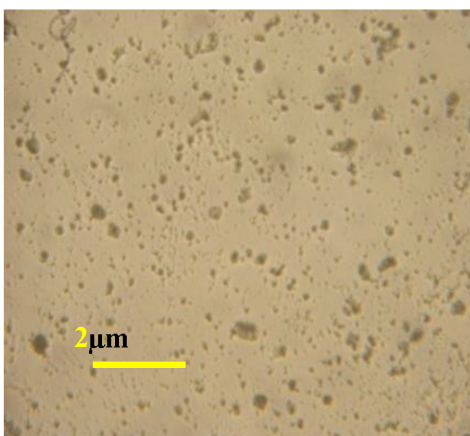


Рис. 9. Распределение частиц НДП в водной суспензии

приготовления гипсоцементной смеси объеме воды с помощью ультразвукового лабораторного смесителя (рис. 9), что способствует равномерному распределению компонентов КГВ и оптимизации их гранулометрического состава, а также ускорению процесса структурообразования. Затем полученную суспензию НДП кремнезема смешивали с предварительно подготовленным КГВ, включающим рациональное количество β-полугидрата сульфата кальция (Г-5), α-полугидрата сульфата кальция (Г-16) и ММВ. Время перемешивания полученной гипсоцементной смеси должно составлять не менее 30 с. Отдельное приготовление суспензии НДП кремнезема решает вопрос сохранности свойств КГВ при хранении, а также позволяет использовать стандартное оборудование для приготовления бетонных смесей на КГВ.

На третьем этапе исследований оптимизацию состава и структуры КГВ осуществляли путем дополнительного введения в его состав НДП кремнезема (0,45 % от массы КГВ). Перемешивание (3 минуты) осуществляли в необходимом для

**Выводы.** Таким образом, достигнутый уровень физико-механических показателей полученного КГВ соответствует требованиям к вяжущим, применяемым для объектов архитектурно-строительного назначения: коэффициент водостойкости составляет 0,82...0,89 со значениями предела прочности при сжатии до 26 МПа. При этом, ценным свойством активных минеральных добавок (отходов ММС и НДП кремнезема) является их пуццолановая активность, которая интенсифицирует процесс гидратации клинкерных минералов, способствуя связыванию  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , выделяющемуся при гидратации  $\text{C}_3\text{S}$ , оптимизирует структуру гипсоцементного камня. Более крупные частицы активной минеральной добавки отходов ММС выступают в качестве центров кристаллизации, а также выполняют роль микронаполнителя. Частицы мела выполняют роль микронаполнителя и выступают в качестве центров кристаллизации, способствуя ускорению гидратации алюминатов и образованию с ними различных соединений в начальные сроки твердения, а также повышая раннюю прочность и улучшая эксплуатационные характеристики затвердевшего гипсоцементного камня. Совместное введение в состав КГВ  $\alpha$ - и  $\beta$ -полугидрата сульфата кальция (Г-5 и Г-16) способствует более раннему структурообразованию гипсоцементного камня.

*\*Работа выполнена в рамках реализации Программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лесовик В.С. Повышение эффективности производства строительных материалов с учетом генезиса горных пород. М.: Изд. АСВ, 2006. 526 с.
2. Коровяков В.Ф. Перспективы производства и применения в строительстве водостойких гипсовых вяжущих и изделий // Строительные материалы. 2008. № 3. С. 65–67.
3. Гончаров Ю.А., Дубровина Г.Г., Губская А.Г., Бурьянов А.Ф. Гипсовые материалы и изделия нового поколения. Оценка энергоэффективности. Минск: Колорград, 2016. 336 с.
4. Рахимов Р.З., Халиуллин М.И. Состояние и тенденции развития промышленности гипсовых строительных материалов // Строительные материалы. 2010. № 12. С. 44–46.
5. Бурьянов А.Ф. Модификация структуры и свойств строительных композитов на основе сульфата кальция. Москва: Изд-во Де Нова, 2012. 196 с.
6. Коровяков В.Ф., Бурьянов А.Ф. Научно-технические предпосылки эффективного использования гипсовых материалов в строительстве // Жилищное строительство. 2015. № 12. С. 38–40.
7. Муртазаев С.А.Ю., Чернышева Н.В., Аласханов А.Х., Сайдумов М.С. Использование композиционных гипсовых вяжущих на техногенном сырье в производстве стеновых материалов // Труды Грозненского государственного нефтяного технического университета им. академика М.Д. Миллионщикова, Грозный, 2011. № 11. С. 169–176.
8. Lesovik V.S., Tschernyschova N.W., Drebezova M.Y. Нанодисперсное кремнезёмсодержащее сырьё для повышения эффективности быстротвердеющих композиционных вяжущих (Nanodisperse kiesel säure haltige Rohstoffe zur Verbesserung der Effizienz schneller härten der Bindemittel mischungen) // 2. Weimar Gypsum Conference–Weimar, 26–27 März, 2014. P. 259 – 266.
9. Murtazaiev S.A.Y., Saidumov M.S., Lesovik V.S., Chernysheva N.V., Bataiev D.K.S. Fine-grained cellular concrete creep analysis technique with consideration for carbonation // Modern Applied Science. 2015. Т. 9. № 4. С. 233–245.
10. Tschernyschowa N.W., Lessowik W.S., Fischer H.B., Drebesgowa M.J. Gipshaltige kompositbindemittel – zukunft des ökologischen bauens\* В сборнике: 19-te INTERNATIONALE BAUSTOFFTAGUNG IBAUSIL (Weimar, 16-18 сентября 2015 г.), Weimar: Institut für Baustoffkunde der Bauhaus-Universität, 2015. С. 699–706.
11. Дребезгова М.Ю., Евсюкова А.С., Чернышева Н.В., Потапов В.В. К вопросу управления процессами структурообразования композиционных гипсовых вяжущих // Интеллектуальные строительные композиты для зеленого строительства: Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию заслуженного деятеля науки РФ, члена-корреспондента РААСН, д-ра техн. наук, проф. В. С. Лесовика (Белгород, 15-16 марта 2016 г.), Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. Ч. 1. С. 263 – 268.

### Информация об авторах

**Дребезгова Мария Юрьевна**, инженер.

E-mail: mdrebezgova@mail.ru

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

**Чернышева Наталья Васильевна**, доктор технических наук, профессор кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

E-mail: Chernysheva56@rambler.ru

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

**Шаталова Светлана Вячеславовна**, магистр.

E-mail: Chernysheva56@rambler.ru

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

---

*Поступила в августе 2017 г.*

© Дребезгова М.Ю., Чернышева Н.В., Шаталова С. В., 2017

---

**Drebezgova M.Yu., Chernysheva N.V., Shatalova S.V.**

**COMPOSITE GYPSUM BENDING WITH MULTICOMPONENT MINERAL ADDITIVES  
OF DIFFERENT GENESIS**

*In this article, new types of finely dispersed mineral additives energetically saturated due to geological and technogenic processes, which differ significantly from the traditionally used quartz raw materials - waste of wet magnetic separation of ferruginous quartzites, nanodisperse silica powder, chalk and the possibility of their joint use was investigated.*

**Keywords:** *composite gypsum binders, multicomponent mineral additives, performance characteristics.*

---

*Information about the authors*

**Drebezgova Maria Yuryevna**, engineer.

E-mail: mdrebezgova@mail.ru

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

**Chernysheva Nataliy Vasilevna**, DSc, Professor.

E-mail: Chernysheva56@rambler.ru

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

**Shatalova Svetlana Vyacheslavovna**, engineer.

E-mail: Chernysheva56@rambler.ru

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

---

*Received in August 2017*

© Drebezgova M.Yu., Chernysheva N.V., Shatalova S.V., 2017

---