

DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-4-24-33

**Отман Азми С.А., \*Чернышева Н.В., Дребезгова М.Ю., Коваленко Е.В., Вашиева С.В.**

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

\*E-mail chernysheva56@rambler.ru

## ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ГИПСОВЫХ ВЯЖУЩИХ С КОМПЛЕКСОМ МИНЕРАЛЬНЫХ И ОРГАНИЧЕСКИХ ДОБАВОК

**Аннотация.** Для динамично развивающейся отрасли малоэтажного строительства растет потребность в расширении спектра строительных материалов, в том числе быстротвердеющих видов вяжущих. Эффективными являются композиционные гипсовые вяжущие, включающие тщательно подобранную смесь гипсового вяжущего, портландцемента и активных минеральных добавок. Материалы на их основе достаточно быстро твердеют и набирают требуемую прочность. Повышение эксплуатационных характеристик данного вида вяжущих достигается при применении в комплексе минеральных и химических добавок, что способствует регулированию процессов их структурообразования и твердения, зависящих от активности компонентов, изменения водопотребности, а также пептизирующего, адсорбционного и воздухововлекающего действия химических добавок. В статье приведены результаты исследования влияния химических добавок – суперпластификаторов MAPF SU 84, MELFLUX 5581 F и замедлителя сроков схватывания Plast Retard PE – на физико-механические свойства затвердевшего композиционного гипсового вяжущего, включающего гипсовое вяжущее, портландцемент и комплекс минеральных компонентов (тонкодисперсный кварцевый песок, метакаолин ВМК-45, известняковую пыль), рассмотрены вопросы управления процессами его структурообразования. Установлено, что тонкодисперсные минеральные добавки из кварцевого песка, метакаолина ВМК-45 и известняковой пыли являются эффективными компонентами для получения композиционных гипсовых вяжущих. Разработанные комплексные химические добавки MAPFSU 84 (0,1 %) + Plast Retard PE (0,08 %) и MELFLUX 5581 F (0,1 %) + Plast Retard PE (0,08 %) позволяют значительно замедлить начало и конец схватывания гипсоцементных смесей до 45...48 мин и увеличить предел прочности при сжатии затвердевшего КГВ через 28 суток в 1,5...1,6 раза (до 18,3...20,4 МПа), соответственно.

**Ключевые слова:** композиционное гипсовое вяжущее, минеральные добавки, химические добавки, свойства.

**Введение.** Важнейшей задачей строительной отрасли в настоящее время является энергосбережение, экология и создание комфортной среды обитания. Для достижения поставленной задачи необходимо использование высококачественных материалов различного назначения с ранее недостижимыми свойствами и разнообразной структурой на основе многокомпонентных вяжущих нового поколения.

Анализ научно-исследовательских работ [1–5] показывает, что одними из энергоэффективных и экологичных строительных материалов, сочетающих в себе multifunctionality и сравнительно невысокую стоимость для широкого применения в разных сферах современного строительства, являются водостойкие композиционные гипсовые вяжущие (КГВ).

Для повышения эффективности КГВ авторами работ [6–10] предлагается использовать комплекс химических модификаторов (пластифицирующих добавок, регуляторов сроков схватывания и твердения, полимерных добавок) и активных кремнеземсодержащих компонентов из широкой гаммы сырьевых ресурсов.

Применение тонкодисперсных минеральных добавок в составе КГВ, растворных и бетонных

смесей на их основе, способствует улучшению их свойств (снижению расслаиваемости, усадки, объёмных деформаций и др.). Чем выше поверхностная энергия минеральных компонентов, тем выше их активность и эффективность [1, 11–15].

На основании анализа научных работ, связанных с разработкой водостойких КГВ [1–4], принята следующая научная концепция их создания. Получают композиционные гипсовые вяжущие (КГВ) в результате тщательного смешения активированных тонкодисперсных компонентов. Первый компонент – гипсовое вяжущее, регулирующее раннее схватывание и быстрый набор прочности. Следующие компоненты – портландцемент совместно с кремнеземсодержащими добавками оптимальной дисперсности, способствующие дальнейшему повышению прочности и водостойкости затвердевшего вяжущего. Третий компонент – модифицирующие добавки, которые позволяют снизить водопотребность КГВ, диспергировать образующиеся флоккулы зерен вяжущего, способствуя ускорению гидратации и регулированию других свойств в нужном направлении. Эти вяжущие обладают выраженными гидравлическими свойствами, прочность которых увеличивается при твердении во влажных

условиях и в воде. Изделия на их основе достаточно долговечны и, в большинстве случаев, не требуют тепловлажностной обработки.

При разработке устойчивых структур твердеющих КГВ важно учитывать [1, 16–19], что занимаемый объем образующегося в процессе гидратации этtringита ( $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot3\text{CaSO}_4\cdot32\text{H}_2\text{O}$ ) значительно превышает суммарный объем исходных соединений, в результате чего может происходить их разрушение. С целью устранения деструктивных процессов в состав КГВ вводят активные минеральные добавки, способные снижать концентрацию  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в твердеющей гипсоцементной системе с образованием малорастворимых микро- и нанодисперсных новообразований. Их активность зависит от химического состава, наличия аморфного  $\text{SiO}_2$ , от величины удельной поверхности и др. Рациональный подбор состава компонентов КГВ и их соотношения способствуют созданию достаточно плотной упаковки кристаллов новообразований, что, в совокупности с низкой водопотребностью гипсоцементной смеси, формирует бетон с высокой прочностью без перерасхода цемента как основного связующего компонента.

Целью исследования явилось изучение влияния комплекса химических добавок на физико-механические свойства и стабильность разработанного КГВ.

**Материалы и методы.** При исследовании физико-механических свойств КГВ с комплексом минеральных и химических добавок в качестве вяжущих веществ использовали две модификации гипсовых вяжущих –  $\alpha$ - и  $\beta$ -модификацию, ЗАО «Самарский гипсовый комбинат», эффективность которых доказана авторским коллективом ранее [2–4], а также портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н, «Новоросцемент» (ГОСТ 31108-2016). В качестве минеральных добавок применяли тонкодисперсный кварцевый песок (Палестина) и метакаолин ВМК-45, Челябинская обл. ТУ 5729-097-12615988-2013. В качестве наполнителя в составе КГВ – известняковую пыль (отсев дробления известняка), Палестина. В качестве химических модификаторов использовали суперпластификаторы марки MAPF SU 84 (ООО «АДДИТИВ ПЛЮС», г. Подольск Московской обл.) и Melflux 5581 F (BASF Construction Polimers GmbH, Германия); замедлитель сроков схватывания – Plast Retard PE (Италия).

Оценку физико-механических характеристик КГВ проводили согласно ГОСТ 23789-2018 «Вяжущие гипсовые. Методы испытаний».

Фазовый состав и микроструктуру проб, затвердевших КГВ, испытанных в возрасте 28 суток, осуществляли с помощью современных физико-химических методов анализа: растровой электронной микроскопии на электронном микроскопе высокого разрешения Tescan Mira 3 LMU; рентгенофазового анализа и дифференциально-термического анализа, проводимого на дриватографе Q-1500-D.

**Основная часть.** В ранее проведенных исследованиях [7], в соответствии с требованиями ТУ 21-31-62-89 – Гипсоцементно-пуццолановое вяжущее, была установлена эффективность использования минеральных добавок в составе КГВ, включающем (% по массе) гипсовое вяжущее – 68 % (70 % – Г5БП и 30 % – ГВВС-16), портландцемент – 10 %, тонкодисперсные минеральные добавки (кварцевый песок – 20 %, метакаолин ВМК-45 – 0,5 %) и наполнитель (известняковую пыль – 1,5 %).

Эффективность использования химических добавок – суперпластификаторов поликарбоксилатного типа марки MAPF SU 84 и Melflux 5581 F, а также замедлителя сроков схватывания Plast Retard PE устанавливали по показателям физико-механических характеристик затвердевших вяжущих, которые моделируют условия их контакта с твердеющей матрицей и процессы между ними.

Химические добавки вводились в гипсоцементную смесь совместно с водой затворения. Были изготовлены образцы-кубы размером  $3\times3\times3$  см, которые испытывали через 2 часа, 7 суток и 28 суток после изготовления.

В результате проведенных испытаний (табл. 1) было установлено, что совместное использование тонкодисперсных минеральных добавок и наполнителя позволило получить КГВ с пределом прочности при сжатии 12,3 МПа.

Эффективность использования суперпластификатора MAPF SU 84 (0,1–0,3 %) заключается в уменьшении В/Вяз отношения с 0,41 до 0,37...0,23 (с 10...44 %), соответственно, практически без изменения сроков схватывания, с повышением предела прочности при сжатии затвердевшего КГВ через:

- 2 часа с 6,9 МПа до 8,3...12,0 МПа (в 1,2...1,7 раза);
- 7 суток с 8,7 МПа до 15,0...26,4 МПа (в 1,7 ...3 раза);
- 28 суток с 12,3 МПа до 19,0...29,1 МПа (в 1,5...2,3 раза).

При использовании суперпластификатора MELFLUX 5581 F (0,1-0,3 %) происходит снижение В/Вяз отношения с 0,41 до 0,36...0,22 (на 13...46 %), соответственно, с незначительным сокращением сроков схватывания и повышением

предела прочности при сжатии затвердевшего КГВ через:

– 2 часа с 6,9 МПа до 8,5...12,9 МПа (в 1,2...1,8 раз);

– 7 суток с 8,7 МПа до 18,3...28,1 МПа (в 2,1 ...3,2 раза);

– 28 суток с 12,3 МПа до 23,0...31 МПа (в 1,8...2,5 раза).

Таблица 1

**Влияние химических добавок на свойства КГВ (расплав 120 ±5 мм)**

№ п/п	Вид добавки	Добавка, масс. %	В/Вяз	Сроки схват., мин-с		Rсж, МПа, через		
				начало	конец	2 ч	7 сут	28 сут
1	Без добавки	—	0,41	8–30	9–30	6,9	8,7	12,3
суперпластификаторы								
2	MAPF SU 84	0,1	0,37	8–00	9–00	8,3	15,0	19,2
3		0,2	0,30	8–00	9–00	9,2	19,2	23,0
4		0,3	0,23	7–00	8–00	12,0	26,4	29,1
5	MELFLUX 5581 F	0,1	0,36	8–30	9–30	8,5	18,3	23,0
6		0,2	0,29	8–00	9–00	10,0	24,2	26,0
7		0,3	0,22	7–30	8–30	12,9	28,1	31,0
замедлитель сроков схватывания								
8	Plast Retard PE	0,02	0,41	15–00	17–00	5,5	12,7	14,4
9		0,06	0,41	30–00	33–00	4,9	11,2	13,2
10		0,08	0,41	45–00	48–00	4,4	10,1	12,6
комплексные химические добавки								
11	MAPF SU 84 (0,1%)+ Plast Retard PE ( 0,08%)		0,39	46–00	48–00	7,2	14,6	18,3
12	MELFLUX 5581 F (0,1%)+ Plast Retard PE (0,08%)		0,38	45–00	47–00	8,1	15,7	20,4

Использование замедлителя сроков схватывания Plast Retard PE (0,02–0,08 %) позволило замедлить начало схватывания с 8-30 мин до 15-00...45-00 мин, конец схватывания – с 9–30 мин до 17-00...48-00 мин с уменьшением предела прочности при сжатии затвердевших образцов вяжущего, испытанных через 2 часа. При дальнейшем твердении наблюдается повышение прочностных характеристик через:

- 7 суток с 8,7 МПа до 10,1...12,7 МПа;
- 28 суток с 12,3 МПа до 12,6...14,4 МПа.

Разработанные комплексные химические добавки MAPFSU 84 (0,1 %)+Plast Retard PE (0,08 %) и MELFLUX 5581 F (0,1 %)+Plast Retard PE (0,08 %) позволяют в более широких пределах замедлить начало и конец схватывания гипсоцементных смесей до 45-46 мин и 47-48 мин, соответственно, с увеличением предела прочности при сжатии затвердевшего КГВ через:

- 2 часа с 6,9 МПа до 7,2...8,1 МПа;
- 7 суток с 8,7 МПа до 14,6...15,7 МПа;
- 28 суток с 12,3 МПа до 18,3...20,4 МПа.

Более эффективной является комплексная добавка MELFLUX 5581 F (0,1 %)+Plast Retard PE (0,08 %), позволяющая увеличить конечную прочность затвердевшего КГВ на 66 % (20,4 МПа).

С целью подтверждения стабильности сформировавшихся структур затвердевшего

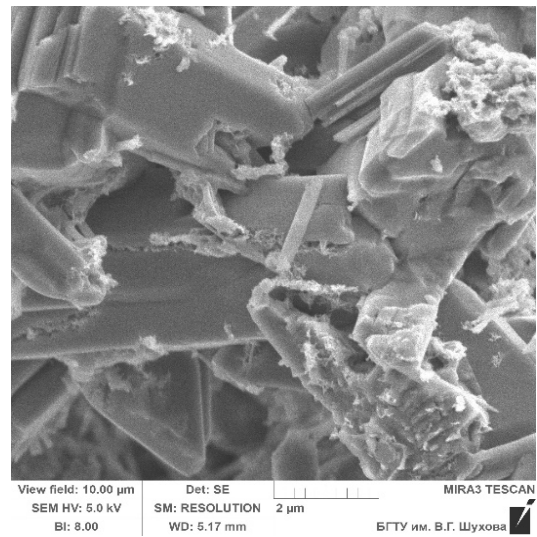
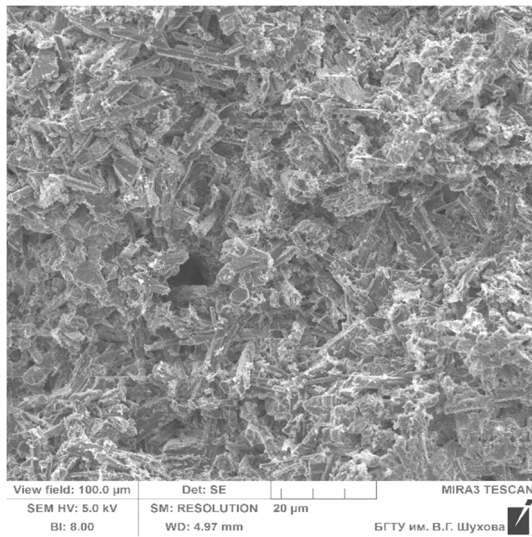
КГВ с комплексом минеральных и химических добавок (MELFLUX 5581 F (0,1 %)+Plast Retard PE (0,08 %)) методами РФА, ДТА и РЭМ [20] были проведены исследования фазового состава и микроструктуры (рис. 1–4).

С помощью РФА (рис. 1) выявлено, что в исследуемой пробе затвердевшего КГВ присутствует двуводный сульфат кальция ( $d=4,27; 3,06; 2,87; 1,877... \text{Å}$ ), карбонат кальция ( $d=3,03; 2,49; 2,28; 2,09; 1,91... \text{Å}$ ), очень слабой интенсивности  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ( $d=4,93; 2,63; 1,93; 1,78... \text{Å}$ ), низкоосновные гидроалюминаты кальция ( $d=3,35; 2,29; 2,2... \text{Å}$ ), кварц ( $d=3,34... \text{Å}$ ).

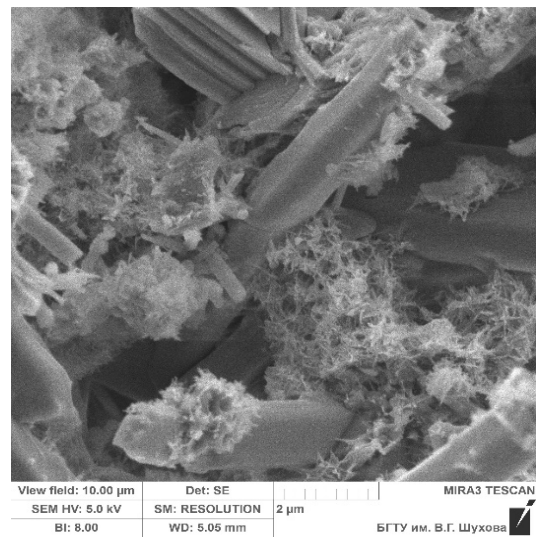
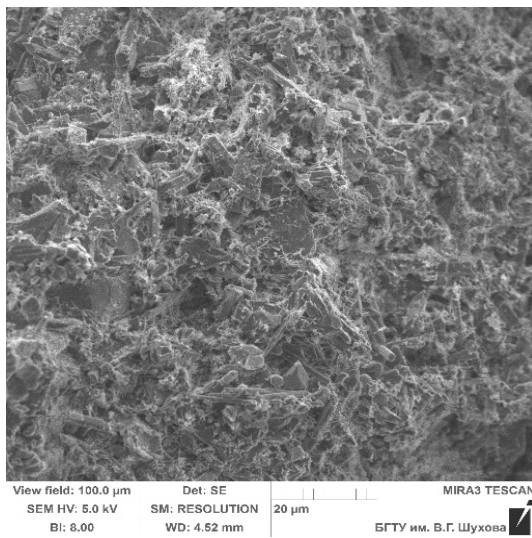
Рефлексы гидросиликата кальция типа CSH(V) ( $d=3,07; 2,88; 2,80; 2,67; 2,52; 2,4; 2,205; 1,81... \text{Å}$ ) на рентгенограмме перекрывают сильные линии отражения дигидрата сульфата кальция. Наличие достаточно широких дифракционных максимумов ( $d=2,8; 3,1... \text{Å}$ ) может свидетельствовать о наличии новообразованной рентгеноаморфной фазы, соответствующей гелеобразным низкоосновным гидросиликатам кальция, которые относятся к плохо закристаллизованным минералам переменного состава и не создают четких дифракционных отражений.

Этринтит ( $d=9,7; 5,6; 4,92; 4,74... \text{Å}$ ) на рентгенограмме практически отсутствует, имеются лишь следы.

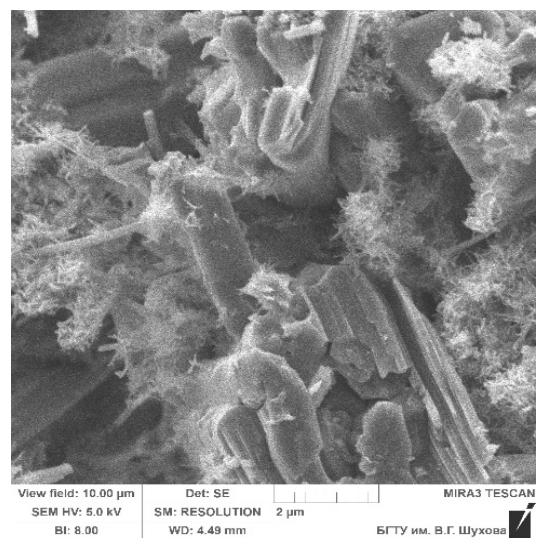
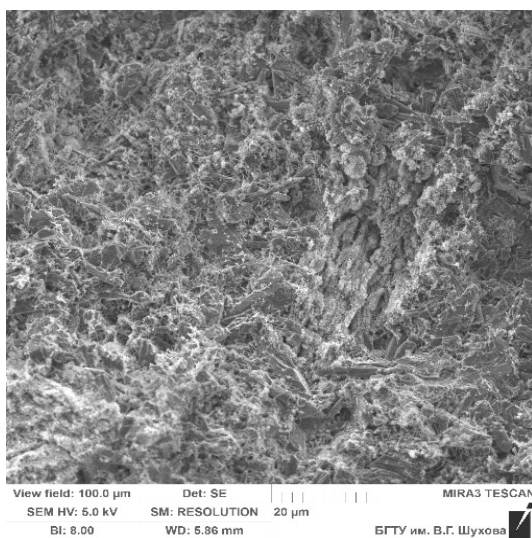




*a*



*б*



*в*

Рис. 3. Микроструктура затвердевшего КГВ: *a* – 2 час; *б* – 7 сут; *в* – 28 сут

Используя растровый электронный микроскоп Tescan MIRA 3, была изучена микроструктура затвердевших образцов КГВ (рис. 3), анализ которой показал, что при совместном приме-

нии минеральных и органических добавок в составе вяжущего на ранней стадии гидратации (через 2 часа) в основном образуются призматические кристаллы двуhydrата, размер которых зависит от модификации сульфата кальция (рис. 3,



а). На снимках можно увидеть достаточно мелкие зародыши кристаллов  $\beta$ -полугидрата (размером около 0,2 мкм), а также относительно крупные кристаллы  $\alpha$ -полугидрата (размером более 1,5...2 мкм), на формирование которых оказывают влияние химические добавки (суперпластификатор и замедлитель сроков схватывания), образуя на поверхности кристаллов тончайшие пленки, оказывающие замедляющее действие на их рост.

На снимках 7 суточных образцов (рис. 3, б) просматриваются микро- и наноразмерные новообразования низкоосновных гидросиликатов кальция (С-S-H-гель) и другие, которые уплотняют пустоты и поры между кристаллами гипса.

К 28 суткам (рис. 3, в) продолжается кристаллизация новообразований (в том числе низкоосновных гидросиликатов кальция второй генерации), что способствует дальнейшему уплотнению твердеющей гипсоцементной системы. Образуется непрерывная мелкокристаллическая структура с упрочненными связями между кристаллами, что способствует повышению физико-механических характеристик гипсоцементного камня.

Полученные характеристики микроструктуры образцов гипсоцементного камня были подтверждены результатами проведенного микроанализа. Спектры 1–13 характеризуют состав в конкретной точке микрозондирования (рис. 4, табл. 2).

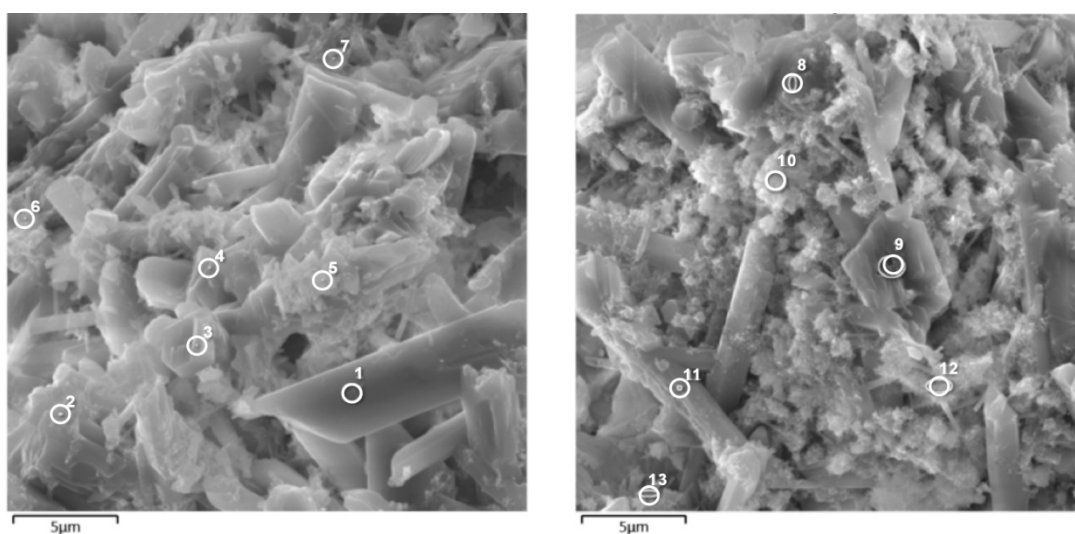


Рис. 4. Продукты гидратации затвердевшего КГВ (28 сут) в точках микрозондирования 1-13

Таблица 2

### Элементный состав в точках микрозондирования

№	Элементный состав в точках микрозондирования, масс. %								
	Ca	Si	O	C	S	Fe	Al	Mg	K
1	10,4	9,8	69,0	10,6	0,2	–	–	–	–
2	5,8	4,2	68,0	14,4	3,4	0,8	2,5	0,7	0,2
3	9,4	8,9	69,5	11,8	0,4	–	–	–	–
4	8,7	8,7	71,0	11,4	0,3	–	–	–	–
5	9,7	2,9	65,9	18,5	2,5	–	0,5	–	–
6	9,0	6,3	66,9	16,7	–	–	–	–	–
7	8,5	8,0	66,1	9,3	5,7	0,4	1,6	0,3	0,1
8	9,6	8,3	69,0	12,7	0,4	–	–	–	–
9	12,0	8,5	67,0	12,2	0,4	–	–	–	–
10	10,0	3,4	62,9	22,2	1,6	–	–	–	–
11	10,6	9,9	66,0	11,6	1,0	–	0,2	–	–
12	12,8	5,5	61,7	16,0	3,7	–	0,4	–	–
13	9,6	3,7	63,9	18,2	3,5	–	1,0	–	–

**Выводы.** Установлено, что многокомпонентные тонкодисперсные минеральные добавки – кварцевый песок, метакаолин ВМК-45, известняковая пыль и комплексная химическая добавка

(MELFLUX 5581 F (0,1 %) + Plast Retard PE (0,08 %)) обеспечивают формирование мелкокристаллической структуры затвердевшего КГВ с упрочненными связями между кристаллами. Аморфная

фаза  $\text{SiO}_2$  в составе кварцевого песка и метаксаолина ВМК-45 способствует связыванию  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , который выделяется при гидратации цемента, и снижает основность твердеющей гипсоцементной системы. В результате создаются условия для исключения роста высокоосновных гидроалюминатов кальция и этtringита и образования низкоосновных малорастворимых гидросиликатов кальция, заполняющих поры и пустоты вокруг кристаллов двуводного гипса, что способствует повышению физико-механических характеристик гипсоцементного камня.

Выявлено, что комплексные химические добавки MAPFSU 84 (0,1 %) + Plast Retard PE (0,08 %) и MELFLUX 5581 F (0,1 %) + Plast Retard PE (0,08 %), позволяют замедлить начало схватывания гипсоцементных смесей более чем в 5 раз (с 8-30 до 45-00...46-00 мин, соответственно), с увеличением предела прочности при сжатии затвердевшего КГВ: через 2 часа с 6,9 МПа до 7,2...8,1 МПа, через 7 суток с 8,7 МПа до 14,6...15,7 МПа и через 28 суток с 12,3 МПа до 18,3...20,4 МПа, соответственно. Более эффективной является комплексная химическая добавка MELFLUX 5581 F (0,1 %) + Plast Retard PE (0,08 %), позволяющая увеличить конечную прочность затвердевшего КГВ на 66 % (20,4 МПа).

**Источник финансирования.** Работа выполнена в рамках федеральной программы поддержки университетов «Приоритет 2030» с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коровяков В.Ф. Теоретические положения получения водостойких долговечных гипсовых вяжущих // Научные технологии и инновации: Юбилейная Международная научно-практическая конференция, посвященная 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова (XXI научные чтения). Том 3. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2014. С. 192–196.
2. Дребезгова М.Ю., Чернышева Н.В., Шаталова С.В. Композиционное гипсовое вяжущее с многокомпонентными минеральными добавками разного генезиса // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №10. С. 27–34. doi:10.12737/article\_59cd0c5892fe38.35639609.
3. Дребезгова М.Ю. К вопросу кинетики тепловыделения при гидратации гипсовых вяжущих (Часть I) // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №3. С. 19–22. doi:10.12737/article\_58e23e313d7a16.36013882.
4. Lesovik V., Drebezgova M., Fediuk R. Fast-Curing Composites Based on Multicomponent Gypsum Binders // Journal of Materials in Civil Engineering. 2020. Vol. 32. No 9. 04020234. doi:10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003313.
5. Elistratkin M., Lesovik V., Chernysheva N., Glagolev E., Hardaev P. Structurization of composites when using 3D-additive technologies in construction // Proceedings in Earth and Environmental Sciences. 2019. Pp. 315–318.
6. Lesovik V., Chernysheva N., Fediuk R., Amran M., Murali G., de Azevedo A.R.G. Optimization of fresh properties and durability of the green gypsum-cement paste // Construction and Building Materials. 2021. Vol. 287. 123035. doi:10.1016/j.conbuildmat.2021.123035.
7. Отман Азми С.А., Коваленко Е. В., Шпаковская Д.В. Разработка состава композиционного гипсового вяжущего для сухой штукатурной смеси // В сборнике: Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова» Материалы конференции. Белгород. 2022. С. 114–117.
8. Хозин В.Г., Майсурадзе Н.В., Мустафина А.Р., Корнянен М.Е. Влияние химической природы пластификаторов на свойства гипсового теста и камня // Строительные материалы. 2019. № 10. С. 35–39. doi: 10.31659/0585-430X-2019-775-10-35-39.
9. Халиуллин М.И., Димиева А.И., Файзрахманов И.И. Влияние добавок механоактивированных минеральных наполнителей на свойства композиционных гипсовых вяжущих // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. № 4(50). С. 386–393.
10. 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. doi:10.31659/0585-430X-2018-762-8-26-30.
11. Buryanov A.F., Galtseva N.A., Morozov I.V., Buldyzhova E.N. Research on the Influence of Gypsum and Anhydrite Stone Impurities on the Properties of the Binder // Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. Vol. 147. Pp. 138–146. doi:10.1007/978-3-030-68984-1\_21.
12. Yakovlev G.I., Gordina A., Drochytka R., Buryanov A.F., Smirnova O. Structure and properties of modified gypsum binder // Smart and Sustainable Built Environment. 2021. Vol. 10. No 4. Pp. 702–710. doi: 10.1108/SASBE-04-2020-0037.
13. Гаркави М.С., Артамонов А.В., Колодежная Е.В., Нефедьев А.П., Худовекова Е.А. Гипсовое вяжущее низкой водопотребности: производство и свойства // Строительные материалы.

2020. № 7. С. 34–38. doi:10.31659/0585-430X-2020-782-7-34-38.

14. Рузина Н.С., Яковлев Г.И., Гордина А.Ф., Первушин Г.Н., Семёнова Ю.А., Бегунова Е.В. Модификация вяжущих на основе сульфата кальция комплексными добавками // Строительные материалы. 2020. № 7. С. 18–22. doi: 10.31659/0585-430X-2020-782-7-18-22.

15. Кузнецова Т.В., Нефедьев А.П., Коссов Д.Ю. Кинетика гидратации и свойства цемента с добавкой метакаолина // Строительные материалы. 2015. №7. С. 3–6. doi:10.31659/0585-430X-2015-727-7-3-6.

16. Petropavlovskaya V., Zavadko M., Novichenkova T., Sulman M., Buryanov A. Effective building mixtures based on hemihydrate plaster and highly dispersed mineral fillers // Journal of Physics: Conference Series, Belgorod, 09–10 марта 2021 года. Vol. 1926. Belgorod: IOP Publishing Ltd, 2021. 012056. doi:10.1088/1742-6596/1926/1/012056.

17. Батова М.Д., Семёнова Ю.А., Гордина А.Ф., Яковлев Г.И., Бурьянов А.Ф., Стивенс А.Э.,

Бегунова Е.В. Структура и свойства гипсовых композиций с минеральными дисперсными добавками // Строительные материалы. 2021. № 10. С. 49–53. doi:10.31659/0585-430X-2021-796-10-49-53.

18. Бурьянов А.Ф., Фишер Х.-Б., Коровяков В.Ф., Гальцева Н.А., Булдыжова Е.Н. Ангидритовое вяжущее, модифицированное комплексной добавкой, для сухих строительных смесей // Строительные материалы. 2022. № 8. С. 36–40. doi:10.31659/0585-430X-2022-805-8-36-40.

19. Гордина А.Ф., Полянских И.С., Жукова Н.С., Яковлев Г.И. Исследование влияния пуццоланового компонента на структуру и состав модифицированных сульфатных матриц // Строительные материалы. 2022. № 8. С. 51–58. doi:10.31659/0585-430X-2022-805-8-51-58.

20. Горшков В.С., Тимашев В.В., Савельев В.Г. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ: Учеб. пособие. М.: Высш. школа. 1981. 335 с.

#### Информация об авторах

**Отман Азми С.А.**, аспирант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: azmiotman2222@gmail.com. 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.

**Дребезгова Мария Юрьевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры архитектуры и градостроительства, E-mail: mdrebezgova@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Коваленко Елена Валерьевна**, аспирант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: elenadmitriev@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Вашева Светлана Владимировна**, магистрант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: sveta.masalitina2017@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 09.02.2022 г.

© Отман Азми С.А., Чернышева Н.В., Дребезгова М.Ю., Коваленко Е.В., Вашева С.В., 2023

**Otman Azmi S.A., \*Chernysheva N.V., Drebezgova M.Yu., Kovalenko E.V., Vasheva S.V.**  
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov  
E-mail: chernysheva56@rambler.ru

## FEATURES OF STRUCTURE FORMATION OF COMPOSITE GYPSUM BINDERS WITH A COMPLEX OF MINERAL AND ORGANIC ADDITIVES

**Abstract.** For the dynamically developing low-rise construction industry, there is a growing need to expand the range of building materials, including fast-hardening types of binders. Composite gypsum binders are effective, including a carefully selected mixture of gypsum binder, Portland cement and active mineral additives. Materials based on them harden quickly and gain the required strength. An increase in the performance characteristics of this type of binders is achieved when mineral and chemical additives are used in a complex. This helps to regulate the processes of their structure formation and hardening, depending on the



activity of the components, changes in water demand, as well as the peptizing, adsorption and air-entrapping effects of chemical additives. The article presents the results of a study of the effect of chemical additives – superplasticizers MARF SU 84, MELFLUX 5581 F and the retarder of the setting time of PlastRetard PE – on the physico-mechanical properties of a hardened composite gypsum binder, including gypsum binder, Portland cement and a complex of mineral components (fine quartz sand, metacaolin VMK-45, limestone dust). The issues of management of its structuring processes are considered. It has been established that finely dispersed mineral additives from quartz sand, VMK-45 metacaolin and limestone dust are effective components for the production of composite gypsum binders. The developed complex chemical additives MARFSU 84 (0.1 %)+PlastRetard PE (0.08%) and MELFLUX 5581 F (0.1 %)+ PlastRetard PE (0.08 %) can significantly slow down the beginning and end of setting of gypsum cement mixtures up to 45...48 min and increase the compressive strength of the hardened KGV after 28 days by 1.5...1.6 times (up to 18.3...20.4 MPa), respectively.

**Keywords:** composite gypsum binder, mineral additives, chemical additives, properties

## REFERENCES

1. Korovyakov V.F. Theoretical provisions for obtaining water-resistant durable gypsum binders [Teoreticheskie polozheniya polucheniya vodostojkikh dolgovechnykh gipsovykh vyazhushchih]. High-tech technologies and innovations: Jubilee International scientific and practical conference dedicated to the 60th anniversary of V.G. Shukhov BSTU (XXI scientific readings). Vol. 3. Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2014. Pp. 192–196. (rus)
2. Drebezgova M.Yu., Chernysheva N.V., Shatalova S.V. Composite gypsum binder with multicomponent mineral additives of different genesis [Kompozicionnoe gipsovoe vyazhushchee s mnogokomponentnymi mineral'nymi dobavkami raznogo genezisa]. Bulletin of BSTU im. V.G. Shukhov. 2017. No. 10. Pp. 27–34. doi:10.12737/article\_59cd0c5892fe38.35639609. (rus)
3. Drebezgova M.Yu. On the issue of heat release kinetics during hydration of gypsum binders (Part I) [K voprosu kinetiki teplovydeleniya pri gidratatsii gipsovykh vyazhushchih (CHast' I)]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. No.3. Pp. 19–22. doi: 10.12737/article\_58e23e313d7a16.36013882. (rus)
4. Lesovik V., Drebezgova M., Fedyuk R. Fast-hardening composites based on multicomponent gypsum binders. Journal of materials in civil construction. 2020. Vol. 32. No. 9. 04020234. doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003313.
5. Elistratkin M., Lesovik V., Chernysheva N., Glagolev E., Khardaev P. Structuring composites using 3D additive technologies in construction. Earth and Environmental Sciences. 2019. Pp. 315–318.
6. Lesovik V., Chernysheva N., Fedyuk R., Amran M., Murali G., de Azevedo A.R.G. Optimization of freshness and durability properties of green gypsum cement mass. Construction and building materials. 2021. Vol. 287. 123035. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.123035.
7. Otman Azmi S.A., Kovalenko E. V., Shpakovskaya D.V. Development of the composition of a composite gypsum binder for dry plaster mixture [Razrabotka sostava kompozicionnogo gipsovogo vyazhushchego dlya suhoj shtukaturnoj smesi]. In the collection: International Scientific and Technical Conference of young scientists of V.G. Shukhov BSTU" Conference materials. Belgorod. 2022. Pp. 114–117. (rus)
8. Khozin V.G., Maisuradze N.V., Mustafina A.R., Kornyanen M.E. The influence of the chemical nature of plasticizers on the properties of gypsum dough and stone [Vliyanie himicheskoy prirody plastifikatorov na svoystva gipsovogo testa i kamnya]. Building materials. 2019. No. 10. Pp. 35–39. doi:10.31659/0585-430X-2019-775-10-35-39. (rus)
9. Khaliullin M.I., Dimieva A.I., Fayzrakhmanov I.I. The effect of additives of mechano-activated mineral fillers on the properties of composite gypsum binders [Vliyanie dobavok mekhanoaktivirovannykh mineral'nykh napolnitelej na svoystva kompozicionnykh gipsovykh vyazhushchih]. Izvestiya Kazan State University of Architecture and Civil Engineering. 2019. No. 4(50). Pp. 386–393. (rus)
10. Morozova N.N., Kuznetsova G.V., Maisuradze N.V., Akhtariev R.R., Abdrashitova L.R., Nizamutdinova E.R. Investigation of the activity of the pozzolan component and superplasticizer for gypsum cement-pozzolan binder of white color [Issledovanie aktivnosti puccolanovogo komponenta i superplastifikatora dlya gipso cementno-puccolanovogo vyazhushchego belogo cveta]. Building materials. 2018. No. 8. Pp. 26–30. doi: 10.31659/0585-430X-2018-762-8-26-30. (rus)
11. Buryanov A.F., Galtseva N.A., Morozov I.V., Buldyzhova E.N. Investigation of the influence of gypsum and anhydrite stone impurities on the properties of the binder. Lecture notes on civil engineering. 2021. Vol. 147. Pp. 138–146. doi:10.1007/978-3-030-68984-1\_21.
12. Yakovlev G.I., Gordina A., Drochitka R., Buryanov A.F., Smirnova O. Structure and properties of modified gypsum binder. Smart and sustainable construction environment. 2021. Vol. 10. No. 4. Pp. 702–710. doi:10.1108/SASBE-04-2020-0037.
13. Garkavi M.S., Artamonov A.V., Kolodezhnaya E.V., Nefediev A.P., Khudovekova E.A. Gypsum binder of low water demand: production and

properties [Gipsovoe vyazhushchee nizkoj vodopotrebnosti: proizvodstvo i svoystva]. Building materials. 2020. No. 7. Pp. 34–38. doi:10.31659/0585-430X-2020-782-7-34-38. (rus)

14. Ruzina N.S., Yakovlev G.I., Gordina A.F., Pervushin G.N., Semenova Yu.A., Begunova E.V. Modification of binders based on calcium sulfate with complex additives [Modifikaciya vyazhushchih na osnove sul'fata kal'ciya kompleksnymi dobavkami]. Building materials. 2020. No. 7. Pp. 18–22. doi:10.31659/0585-430X-2020-782-7-18-22. (rus)

15. Kuznetsova T.V., Nefediev A.P., Kossov D.Yu. Hydration kinetics and properties of cement with metacaolin additive [Kinetika gidratatsii i svoystva cementa s dobavkoj metakaolina]. Building materials. 2015. No. 7. Pp. 3–6. doi: 10.31659/0585-430X-2015-727-7-3-6. (rus)

16. Petropavlovsk V., Zavadko Yu., Novichenkova T., Sulman M., Buryanov Yu. Effective building mixes based on semi-hydrated plaster and highly dispersed mineral fillers. Physical journal: Conference series, Belgorod, March 09–10, 2021. Vol. 1926. Belgorod: LLC "Publishing House IOP", 2021. 012056. doi:10.1088/1742-6596/1926/1/012056.

17. Batova M.D., Semenova Yu.A., Gordina A.F., Yakovlev G.I., Buryanov A.F., Stevens A.E.,

Begunova E.V. Structure and properties of gypsum compositions with mineral dispersed additives [Struktura i svoystva gipsovyyh kompozitsiy s mineral'nymi dispersnymi dobavkami]. Building materials. 2021. No. 10. Pp. 49–53. doi:10.31659/0585-430X-2021-796-10-49-53. (rus)

18. Buryanov A.F., Fischer H.-B., Korovyakov V.F., Galtseva N.A., Buldyzhova E.N. Anhydrite binder modified with a complex additive for dry building mixes [Angidritovoe vyazhushchee, modificirovannoe kompleksnoj dobavkoj, dlya suhih stroitel'nyh smesey]. Building materials. 2022. No. 8. Pp. 36–40. doi:10.31659/0585-430X-2022-805-8-36-40. (rus)

19. Gordina A.F., Polyanskikh I.S., Zhukova N.S., Yakovlev G.I. Investigation of the effect of the pozzolan component on the structure and composition of modified sulfate matrices [Issledovanie vliyaniya puccolanovogo komponenta na strukturu i sostav modificirovannykh sul'fatnykh matric]. Building materials. 2022. No. 8. Pp. 51–58. doi:10.31659/0585-430X-2022-805-8-51-58. (rus)

20. Gorshkov V.S., Timashev V.V., Savelyev V.G. Methods of physico-chemical analysis of binders: Textbook.manual [Metody fiziko-himicheskogo analiza vyazhushchih veshchestv: Ucheb.posobie]. M.: Higher.school.1981. 335 p. (rus)

#### Information about the authors

**Otman, Azmi S.A.** Postgraduate student. E-mail: azmiothman222@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Chernysheva, Natalia V.** DSc, Professor. E-mail: chernysheva56@rambler.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Drebezgova, Maria Yu.** PhD. E-mail: mdrebezgova@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Kovalenko, Elena V.** Postgraduate student. E-mail: elenadmitriev@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Vasheva, Svetlana V.** Master's student. E-mail: sveta.masalitina2017@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 09.02.2023

#### Для цитирования:

Отман Азми С.А., Чернышева Н.В., Дребезгова М.Ю., Коваленко Е.В., Вашева С.В. Особенности структурообразования композиционных гипсовых вяжущих с комплексом минеральных и органических добавок // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 4. С. 24–33. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-4-24-33

#### For citation:

Otman Azmi S.A., Chernysheva N.V., Drebezgova M.Yu., Kovalenko E.V., Vasheva S.V. Features of structure formation of composite gypsum binders with a complex of mineral and organic additives. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No. 4. Pp. 24–33. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-4-24-33