

# СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-6-8-16

<sup>1,\*</sup>Отман Азми С.А., <sup>1</sup>Чернышева Н.В., <sup>1</sup>Дребезгова М.Ю., <sup>2</sup>Марголис Б.И.,  
<sup>2</sup>Новиченкова Т.Б.

<sup>1</sup>Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

<sup>2</sup>Тверской государственный технический университет

\*E-mail: azmiothman2222@gmail.com

## ВЛИЯНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА КОМПОЗИЦИОННОГО ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО НА ЕГО СВОЙСТВА

**Аннотация.** Первоочередной задачей технологов-проектировщиков является оптимизация структуры и свойств строительных композиционных материалов, достижение которой позволяет одновременно повысить их экономичность, надежность и долговечность. В статье представлены результаты определения гранулометрического состава композиционного гипсового вяжущего (КГВ) путем расчетно-экспериментального моделирования по известным уравнениям «идеальных» кривых. В связи с тем, что при проектировании состава вяжущего одной из главных задач является оптимизация его структуры на микроуровне с нахождением наилучших соотношений размеров и количественного содержания частиц в твердеющей системе для создания плотной упаковки, в работе было проведено сравнение гранулометрических составов 3-х, 4-х и 5-и компонентных КГВ. Установлено, что разработанный 5-ти компонентный состав КГВ, включающий (% по массе): 68 % гипсового вяжущего (Г5Б-II–70 % и ГВВС-16–30 %), 10 % портландцемента, 20 % тонкодисперсного кварцевого песка, 0,5 % метакаолина ВМК-45 и 1,5 % известняковой пыли, по соотношению компонентов и их гранулометрическому составу отклоняется от рассчитанного с помощью компьютерной программы по уравнению «оптимальной» кривой Функа–Дингера на 15,3 %, что обуславливает более плотную упаковку его частиц с повышением средней плотности, прочностных показателей и коэффициента размягчения даже при снижении содержания гипсового вяжущего.

**Ключевые слова:** композиционное гипсовое вяжущее, гранулометрический состав, плотность упаковки, свойства

**Введение.** Разработка конкурентоспособных строительных материалов, отвечающих современным требованиям по качеству, эксплуатационным характеристикам, эффективности и безопасности, является одной из приоритетных задач строительного материаловедения на современном этапе развития строительной отрасли [1]. По сравнению с другими вяжущими, наиболее эффективными для этих целей являются композиционные гипсовые вяжущие (КГВ), обладающие разным уровнем марочной прочности, низкими значениями плотности и теплопроводности, хорошей огнестойкостью, звукоизолирующими свойствами и др., что позволяет рекомендовать их для применения в строительстве, тем самым внести реальный вклад в реализацию национальной программы «Доступное и комфортное жилье» [2, 3].

Большинство КГВ представляют собой многокомпонентные, многофазные системы, содержащие обязательные тонкодисперсные компоненты: гипсовое вяжущее, включающее одну или несколько модификаций и выполняющее функцию регулируемого раннего схватывания и быстрого набора прочности; гидравлический компонент, включающий активированный портландце-

мент совместно с активной минеральной добавкой оптимальной дисперсности. На поверхности активной минеральной добавки при измельчении образуется нарушенный микрослой, содержащий в ограниченном количестве аморфный  $\text{SiO}_2$ , который способен при обычных температурах связывать  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , выделяющийся при гидратации минералов цементного клинкера с образованием нерастворимых соединений, то есть обладает пуццолановой активностью. При этом связывание  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  кремнеземом активных минеральных добавок должно происходить как в первоначальный период структурообразования, так и при длительном твердении. В результате обеспечивается гидравлическость КГВ и дальнейший рост прочности за счет формирования нового типа структуры, способствуя повышению долговечности и других свойств образующегося камня.

К таким новым типам структур относятся кластерные и решеточные структуры, которые образуются как в результате энергоемкого процесса перемешивания и помола компонентов КГВ, так и в результате самопроизвольно протекающих явлений самоорганизации в результате сложной совокупности физико-химических процессов, приводящих к образованию новых гид-

ратных веществ (по сравнению с гипсовым вяжущим), которые обуславливают их основные свойства и приближают к портландцементу.

Наряду с химическим составом, регулирование свойств КГВ с достижением наибольшей плотности упаковки частиц обеспечивается подбором оптимального гранулометрического состава его компонентов (гипсового вяжущего, цемента, минеральной добавки и наполнителя), их распределением по размерам и количественным содержанием в твердеющей системе, а также степенью их участия в формировании структуры затвердевшего гипсоцементного вяжущего, начиная с самых ранних стадий гидрато- и структурообразования [4–6].

Целью данного исследования являлось определение оптимального гранулометрического состава КГВ с плотной упаковкой частиц с применением компьютерного анализа и комплексного автоматизированного его подбора.

В мировой и отечественной практике для описания гранулометрического состава плотных полидисперсных упаковок частиц предлагаются различные методы расчета и формулы «оптимальных» кривых: Абрамса, Болломея, Гуммеля, Дая, Фуллера, Функа–Дингера, Белова В.В., Хархардина А.Н. и др. [7–17]. Эти зависимости имеют вид:

$$A = f(D) \quad (1)$$

где  $A$  – проходы зерен, %,  $D$  – размеры зерен, мм.

Расчет оптимального гранулометрического состава КГВ с плотной упаковкой тонкодисперсных частиц определяли с помощью уравнения «оптимальной» кривой Функа–Дингера (2), которое, по мнению авторов [8–12], наиболее точно описывает реальную тонкодисперсную систему с учетом наличия мелких фракций и различной

формы зерен. С учетом коэффициента формы частиц, уравнение имеет вид:

$$Ai = 100 \left[ (\alpha + (1 - \alpha) \frac{di^n - d^{nmin}}{di^{nmax} - d^{nmin}}) \right] \quad (2)$$

где  $Ai$  – проход частиц, %, через условное сито размером  $di$ , мм;

$dmax$  – наибольший размер зерна в смеси, мм;

$dmin$  – наименьший размер зерна в смеси, мм;

$n$  – коэффициент распределения, равный по Функу–Дингеру – 0,5.

Коэффициент  $\alpha$  для частиц реальных сыпучих систем по данным многих исследователей [7,8] может изменяться в пределах от 0,08 до 0,14. В расчетах принят коэффициент  $\alpha = 0,1$ .

**Материалы и методы.** При исследовании влияния рецептурных параметров на формирование оптимальной структуры затвердевшего КГВ применяли:

– гипсовое вяжущее, включающее две модификации:  $\alpha$ - и  $\beta$ -модификацию (70 % Г-5Б II и 30 % ГВВС-16), «Самарский гипсовый комбинат»;

– портландцемент (ЦЕМ I 42,5 Н), «Новоросцемент»;

– минеральные добавки: тонкодисперсный кварцевый песок с удельной поверхностью 500 м<sup>2</sup>/кг) и метакаолин ВМК-45 с удельной поверхностью 1490 м<sup>2</sup>/кг. Кварцевый песок предварительно сушили, а затем, согласно ГОСТ 310.2-810, мололи в лабораторной вибрационной мельнице.

– наполнитель: известняковую пыль с удельной поверхностью 480 м<sup>2</sup>/кг.

Химический состав минеральных добавок представлен в табл.1

Таблица 1

Химический состав минеральных добавок и наполнителя

Компонент	Оксиды (масс.%)								
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>
кварцевый песок	91,0	4,54	0,29	0,09	2,6	0,27	0,45	0,65	0,003
метакаолин	56,1	40,5	0,9	-	0,16	-	0,15	0,79	-
известняк	4,25	1,67	0,43	0,06	28,48	20,17	0,12	0,19	0,098

**Основная часть.** В ранее проведенных исследованиях [4], выполненных коллективом авторов, был установлен рациональный состав КГВ (% по массе): 68 % гипсового вяжущего, включающего 70 % Г5Б- II и 30 % ГВВС-16; 10 % портландцемента; 20 % тонкодисперсного кварцевого песка; 0,5 % метакаолина ВМК-45 и 1,5 % известняковой пыли.

В данном исследовании первоначально с помощью метода лазерной гранулометрии, позволяющего исследовать частицы размерами от 0,2 до 600 мкм (на установке MicroSizer 201), разбивая указанный диапазон частиц на 40 фракций, был проведен анализ гранулометрического состава гипсового вяжущего, цемента, минеральных добавок и наполнителя, а также КГВ с их использованием (рис. 1, рис.2).

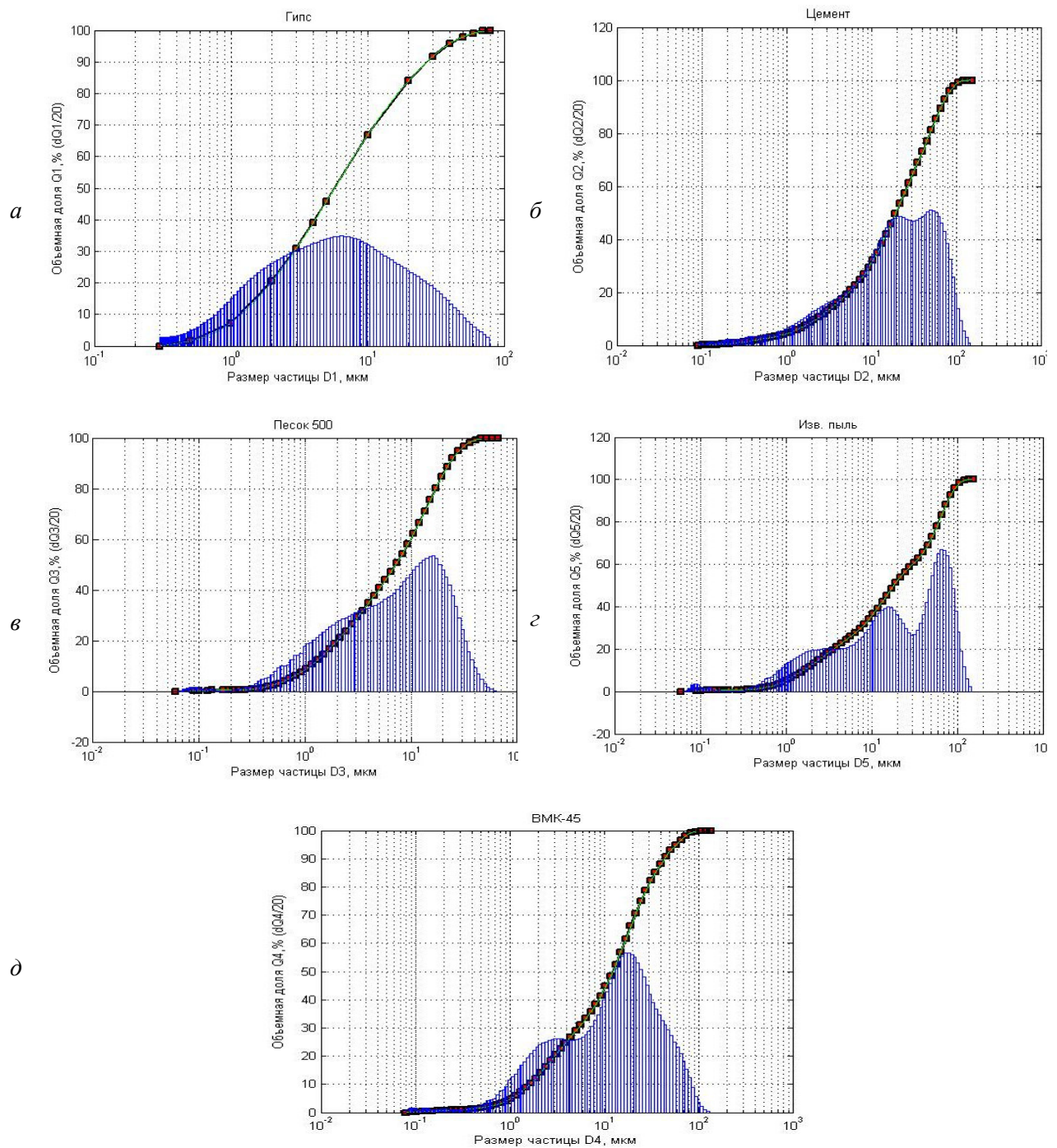


Рис. 1. Гранулометрические составы тонкодисперсных компонентов КГВ:  
 а – гипсовое вяжущее; б – портландцемент; в – кварцевый песок; г – известняковая пыль;  
 д – метакраолин ВМК-45

Результаты анализа выявили существенное различие в гранулометрии компонентов КГВ. Установлено, что у гипсового вяжущего (рис.1, а) график распределения частиц по размерам одномодальный, плавный с пиком в области частиц 5,5–6,9 мкм. Основной диапазон частиц находится в интервале от 0,5 до 40 мкм с максимумом (90%) в области 27,314 мкм; 50 % частиц составляет фракция размером 5,751 мкм и 10 % – фракция частиц размером 1,197 мкм.

У портландцемента (рис.1, б) кривая имеет прерывистый характер с двумя небольшими пиками в области частиц 19,45 мкм и 51,37 мкм. Основной диапазон частиц находится в интервале от 0,1 до 154 мкм с максимумом (90 %) в области 66,94 мкм; 50 % частиц составляет фракция размером 19,59 мкм и 10 % – фракция частиц размером 2,27 мкм.

У тонкодисперсного кварцевого песка (с удельной поверхностью  $500 \text{ м}^2/\text{кг}$ ) кривая распределения частиц по размерам одномодальная, плавная. Основной диапазон частиц находится в интервале от 1 до 150 мкм с максимумом (90 %) в области 22,9 мкм; 50 % частиц составляет фракция размером 7,14 мкм и 10 % – фракция частиц размером 1,12 мкм (рис. 1, в).

Песчаная фракция отсева дробления известняка (известняковая пыль) имеет прерывистую гранулометрию частиц с наличием 3-х четких пиков на интегральной кривой в области частиц 2 мкм, 14,6 мкм и 60 мкм. Основной диапазон частиц находится в интервале от 1 до 90 мкм, 90 % составляют фракции частиц размером 77,32 мкм, 50 % – 18,27 мкм и 10 % – 1,62 мкм. (рис. 1, г).

У высокоактивного метакаолина ВМК-45 кривая распределения частиц по размерам имеет прерывистый характер с двумя пиками в области частиц 2,75 мкм и 17,12 мкм, содержит значительное количество мелких частиц размером от 1 до 5 мкм. Основной диапазон частиц находится в интервале от 0,09 до 136,4 мкм с максимумом (90 %) в области 44,02 мкм; 50 % оставляют частицы размером 12,43 мкм и 10 % – частицы размером 1,63 мкм (рис. 1, д).

Как известно [8], для реальных сыпучих вяжущих систем характерно полидисперсное распределение частиц по размерам и получение «оптимальной» гранулометрической кривой возможно при использовании специально подготовленных «узких» фракций.

В связи с этим были приготовлены тонкодисперсные смеси вяжущих следующих составов:

а – 3-х компонентное вяжущее (гипсовое вяжущее + портландцемент + тонкодисперсный кварцевый песок);

б – 4-х компонентное вяжущее (гипсовое вяжущее + портландцемент + тонкодисперсный кварцевый песок + метакаолин ВМК-45).

в – 5-и компонентное вяжущее (гипсовое вяжущее + портландцемент + тонкодисперсный кварцевый песок + известняковая пыль + метакаолин ВМК-45).

Было установлено, что гранулометрический состав КГВ (рис.2, 1, а-в) – полидисперсный прерывистый с наличием нескольких пиков в области крупных и средних частиц, что обусловлено особенностями зерновых составов используемых компонентов вяжущего.

У 3-х компонентного КГВ (рис.2, а) кривая гранулометрического состава имеет два четких пика в области частиц размером 10,51 мкм и 106,9 мкм. Основной диапазон частиц находится

в интервале от 0,07 до 251 мкм с максимумом (90 %) в области 83,57 мкм; 50 % частиц составляет фракция размером 14,59 мкм и 10 % – фракция частиц размером 1,48 мкм.

Кривая гранулометрического состава 4-х компонентного КГВ (рис.2, б) имеет три четких пика в области частиц размером 10,51 мкм, 106,9 мкм и 362,1 мкм. Основной диапазон частиц находится в интервале от 0,07 до 251 мкм с максимумом (90%) в области 95,4 мкм; 50 % частиц составляет фракция частиц размером 15,86 мкм и 10% – фракция частиц размером 1,57 мкм.

Особенностью гранулометрии рекомендуемого 5-ти компонентного КГВ (рис. 2, в) является наличие двух четко выраженных пиков на кривой распределения в области крупных и средних размеров частиц: первый пик – с максимальным содержанием частиц размером 106 мкм, второй – 11 мкм. Основной диапазон частиц находится в интервале от 0,07 до 409 мкм. Из всех частиц 90 % составляет фракция размером 169 мкм, 50 % – 29,28 мкм и 10 % – 1,73 мкм.

Далее, с помощью расчетно-экспериментального моделирования [15], были рассчитаны гранулометрические составы рассматриваемых смесей, вяжущих и построены «оптимальные» кривые по Функу–Дингеру в сравнении с показателями плотности упаковки тонкодисперсных компонентов в отдельности (рис.2).

Критерием оптимизации при расчете являлось приближение рассчитываемых составов к «оптимальному», характеризующемуся наиболее плотной упаковкой частиц. Под «идеальной» или «оптимальной» кривой понимают такой гранулометрический состав смесей, который характеризуется наименьшей межзерновой пустотностью при минимальной поверхности частиц.

Как видно из представленных графиков (рис.2, 2), отклонение от «оптимальной» кривой Функа–Дингера для 3-х, 4-х и 5-ти компонентных КГВ составило: 18,2 %, 18,1 % и 15,2 %, соответственно.

Экспериментальную проверку влияния «оптимального» гранулометрического состава КГВ проводили при сравнении средней плотности, прочностных характеристик и коэффициента размягчения затвердевшего вяжущего. С этой целью из 3-х, 4-х и 5-ти компонентных КГВ изготавливали образцы-кубы размером  $3 \times 3 \times 3$  см при постоянном В/Вяж отношении, которые испытывали в возрасте 7-ми и 28 суток.

Состав и физико-механические свойства затвердевших вяжущих представлены в табл. 2.

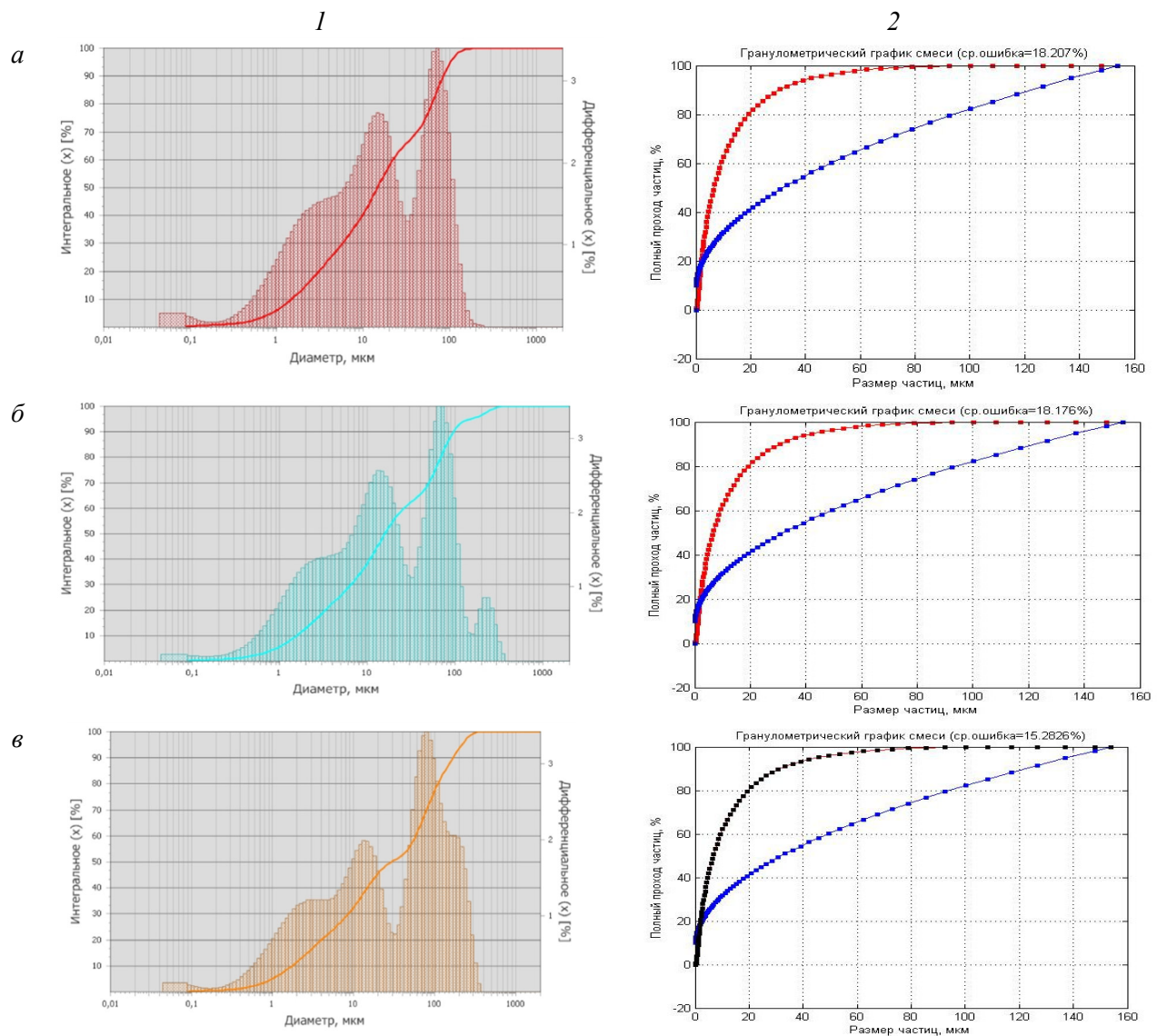


Рис. 2. Гранулометрические составы вяжущих смесей (1) и ошибки (2):

а – 3-х компонентное КГВ (гипсовое вяжущее + портландцемент + тонкодисперсный кварцевый песок);

б – 4-х компонентное КГВ (гипсовое вяжущее + портландцемент + тонкодисперсный кварцевый песок+метакаолин ВМК-45).

в – 5-и компонентное КГВ (гипсовое вяжущее + портландцемент + тонкодисперсный кварцевый песок + известняковая пыль+метакаолин ВМК-45)

Таблица 2

**Состав и свойства композиционного гипсового вяжущего**

№	Состав КГВ, % по массе					В/В	Расплав, мм	Сроки схват., мин., с		R <sub>сж</sub> МПа ρ <sub>ср</sub> , кг/м <sup>3</sup>		Кр
	Г	ПЦ	П	ВМК	Изв			Начало	Конец	7 сут	28сут/(сух)	
1	70	10	20	–	–	0,42	125	9–00	10–00	<u>7,6</u> 1706	<u>8,9/(17,9)</u> 1585	0,62
2	69,5	10	20	0,5	–		122	8–00	9–00	<u>8,5</u> 1715	<u>11,8/(19,2)</u> 1602	0,71
3	68,0	10	20	0,5	1,5		118	8–30	9–30	<u>8,7</u> 1751	<u>12,3/(19,6)</u> 1636	0,73

Примечание: Г – смесь двух модификаций гипсовых вяжущих (Г5Б- П 70% и ГВВС-16-30%); П – тонкодисперсный песок; ВМК – метакаолин ВМК-45; Изв. – известняковая пыль

В результате проведенных испытаний было установлено, что введение в состав КГВ

совместно с минеральной добавкой тонкомолотого кварцевого песка и метакаолина ВМК-45

(состав 2, табл. 2) позволяет повысить предел прочности при сжатии через 7 сут на 11,8 %, через 28 сут – на 32,5 %, коэффициент размягчения – на 14,5 % (с 0,62 до 0,71), среднюю плотность – с 1706 кг/м<sup>3</sup> до 1715 кг/м<sup>3</sup>. Дополнительное введение наполнителя (известняковой пыли) в состав КГВ (состав 3) позволяет повысить предел прочности при сжатии в 7-ми суточном возрасте на 14,5 % (с 7,6 МПа до 8,7 МПа) и в 28-ми суточном возрасте – на 38,2 % (с 8,9 МПа до 12,3 МПа). При этом коэффициент размягчения (Кр) повышается с 0,62 до 0,73 – на 17,7 %, а средняя плотность – до 1751 кг/м<sup>3</sup>.

**Выводы.** Таким образом, проведенные исследования подтверждают активность используемых тонкодисперсных минеральных добавок и согласуются с показателями физико-механических характеристик затвердевшего КГВ. Прерывистость гранулометрического состава КГВ оказывает положительное влияние на формирование микроструктуры гипсоцементного камня вследствие более плотной пространственной укладки частиц и, следовательно, получения более плотного и прочного камня. На основании полученных экспериментальных данных было установлено, что разработанный 5-ти компонентный состав КГВ, включающий (% по массе): 68 % гипсового вяжущего (Г-5 Б-II – 70 % и ГВВС-16 – 30 %), 10 % портландцемента, 20 % тонкодисперсного кварцевого песка, 0,5 % метакаолина ВМК-45 и 1,5 % известняковой пыли, по соотношению компонентов и их гранулометрическому составу отклоняется от рассчитанного с помощью компьютерной программы по уравнению «оптимальной» кривой Функа–Дингерана 15,3 %, что обуславливает достаточно плотную упаковку его частиц с повышением средней плотности, прочностных показателей и коэффициента размягчения даже при снижении содержания гипсового вяжущего.

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках Программы «Приоритет 2030» на базе Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Соломатов В.И. Элементы общей теории композиционных строительных материалов // Материалы юбилейной конференции. М.: МИИТ, 2001. С. 41–56.
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.
3. Lesovik V., Drebezgova M., Fediuk R. Fast-Curing Composites Based on Multicomponent Gypsum Binders // Journal of Materials in Civil Engineering. 2020. Vol. 32 (9). 04020234. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.000331334031/2071-7318-2023-8-4-24-33
4. Отман Азми С.А., Чернышева Н.В., Дребезгова М.Ю., Коваленко Е.В., Масалитина С.В. Состав и свойства композиционного гипсового вяжущего повышенной водостойкости // Строительные материалы. 2023. № 5. С. 81–88. DOI: 10.31659/0585-430X-2023-813-5-81-88
5. Отман Азми С.А., Чернышева Н.В., Дребезгова М.Ю., Коваленко Е.В., Масалитина 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.
6. 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
7. Петропавловская В. Б., Новиченкова Т. Б., Белов В.В., Бурьянов А.Ф. Гранулометрический состав как критерий регулирования свойств дисперсных систем // Строительные материалы. 2013. № 1. С. 64–65.
8. Белов В.В., Образцов И.В. Компьютерное моделирование и оптимизирование составов строительных композитов: монография. Тверь: ТвГТУ. 2014. 124 с.
9. Белов В.В., Образцов И.В. Компьютерное оптимизирование зерновых составов строительных композитов на основе цементно-минеральных смесей // Строительство и реконструкция. 2015. №2 (58). С. 83–89.
10. Белов В.В., Смирнов М.А. Строительные композиты из оптимизированных минеральных смесей: монография, Тверь: ТвГТУ. 2012. 112 с.
11. Петропавловская В.Б. Белов В.В., Новиченкова Т.Б., Бурьянов А.Ф., Пустовгар А.П. Оптимизация внутренней структуры дисперсных систем негидратационного твердения // Строительные материалы. 2010. № 7. С. 22–24.
12. Petropavlovskii K., Novichenkova T., Petropavlovskaya V., Sulman M., Fediuk R., Amran M. Faience waste for the production of wall products // Materials. 2021. Vol. 14(21). DOI 10.3390/ma14216677
13. Миронов В.А., Белов В.В., Голубев А.И. Связь зернового состава с объемно-массовыми характеристиками минеральных компонентов

строительных смесей // Сухие строительные смеси. 2008. № 6. С. 63–65.

14. Хархардин А.Н. Структурная топология дисперсных систем взаимодействующих микро- и наночастиц // Известия вузов. Строительство. 2011. № 5. С. 119–125

15. Королев Л.В., Лупанов А.П., Придатко Ю.М. Плотная упаковка полидисперсных частиц в композитных строительных материалах // Современные проблемы науки и образования. 2007. № 6. С. 105–108.

16. Рахимов Р.З., Гайфуллин А.Р., Халиуллин М.И., Стоянов О.В. Плотность упаковки зерен композиционного гипсового вяжущего в за-

висимости от дисперсности и гранулометрического состава // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т.16. №7. С.129–131.

17. Королев Е.В., Баженов Ю.М., Смирнов В.А. Строительные материалы вариативно-каркасной структуры. М.: МГСУ, 2011. 304 с

18. Марголис Б.И. Компьютерные методы анализа и синтеза систем автоматического регулирования в среде Matlab: учебное пособие. Тверь: ТГТУ, 2015. 92 с

19. Марголис Б.И. Программа расчёта настроек регуляторов методом расширенных частотных характеристик // Программные продукты и системы. Тверь: ЗАО "Научно-исследовательский институт "Центрпрограммсистем", 2018. С. 636–639.

#### Информация об авторах:

**Отман Азми С.А.**, аспирант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: azmiothman2222@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@gambler.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 E-mail: mdrebezgova@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Марголис Борис Иосифович**, доктор технических наук, заведующий кафедрой автоматизации технологических процессов. E-mail: tsu-atp@mail.ru. Тверской государственный технический университет Россия, 170026, г. Тверь, пр-т. Ленина, д. 25.

**Новиченкова Татьяна Борисовна**, кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций. E-mail: tanovi.69@mail.ru. Тверской государственный технический университет Россия, 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д.22.

Поступила 21.04.2023 г.

© Отман Азми С.А., Чернышева Н.В., Дребезгова М.Ю., Марголис Б.И., Новиченкова Т.Б., 2023

<sup>1,\*</sup> *Otman Azmi S.A.*, <sup>1</sup> *Chernysheva N.V.*, <sup>1</sup> *Drebezgova M.Yu.*, <sup>2</sup> *Margolis B.I.*, <sup>2</sup> *Novichenkova T.B.*

<sup>1</sup> *Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*

<sup>2</sup> *Tver State Technical University*

\*E-mail: azmiothman2222@gmail.com

## INFLUENCE OF GRANULOMETRIC COMPOSITION OF THE COMPOSITE GYPSUM BINDER ON ITS PROPERTIES

**Abstract.** *The primary task of technologists-designers is to optimize the structure and properties of building composite materials. Its achievement allows simultaneously increasing their efficiency, reliability and durability. The article presents the results of determining the granulometric composition of a composite gypsum binder (CGB) by computational and experimental modeling using the known equations of "ideal" curves. Due to the fact that when designing the binder composition, one of the main tasks is to optimize its structure at the micro level with finding the best ratios sizes and quantitative content of particles in the hardening system to create a dense packing, in the work a comparison is made of the granulometric compositions of 3, 4 and 5-component KGV. It has been established that the developed 5-component composition of KGV, including (% by weight): 68 % gypsum binder (G5B-II – 70 % and GVVS-16 – 30 %), 10 % Portland cement, 20 % fine quartz sand, 0.5 % metakaolin VMK-45 and 1.5 % limestone dust, in terms of the ratio of components and their granulometric composition, deviates from that calculated using a computer program using the equations*

of the "optimal" Funk-Dinger curve by 15.3 %, which causes a denser packing of its particles with an increase in average density, strength indicators and softening coefficient even with a decrease in the content of gypsum binder.

**Keywords:** composite gypsum binder, particle size distribution, packing density, properties

## REFERENCES

1. Solomatov V.I. Elements of the general theory of composite building materials [Elementy obshchej teorii kompozicionnyh stroitel'nyh materialov]. Materialy yubilejnoj konferencii, 2001, Pp. 41–56. (rus)
2. Drebezgova M.Yu., Chernysheva N.V., Shatalova S.V. Composite gypsum binder with multi-component mineral additives of different genesis [Kompozicionnoe gipsovoe vyazhushchee s mnogokomponentnymi mineral'nymi dobavkami raznogo genezisa]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. No. 10. Pp. 27–34. (rus)
3. Lesovik V., Drebezgova M., Fediuk R. Fast-Curing Composites Based on Multicomponent Gypsum Binders. Journal of Materials in Civil Engineering. 2020. Vol. 32 (9). 04020234. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.000331334031/2071-7318-2023-8-4-24-33
4. Otman Azmi S.A., Chernysheva N.V., Drebezgova M.YU., Kovalenko E.V., Masalitina S.V. Composition and properties of a composite gypsum binder with increased water resistance [Sostav i svojstva kompozicionnogo gipsovogo vyazhushchego povyshennoj vodostojkosti]. Construction Materials. 2023. № 5. Pp. 81–88. DOI: 10.31659/0585-430X-2023-813-5-81-88 (rus)
5. Otman Azmi S.A., Chernysheva N.V., Drebezgova M.Yu., Kovalenko E.V., Masaliti-na S.V. Features of structure formation of composite gypsum binders with a complex of mineral and organic additives [Osobennosti strukturoobrazovaniya kompozicionnyh gipsovyh vyazhushchih s kompleksom mineral'nyh i organicheskikh dobavok]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No. 4. Pp. 1–10. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-4-24-33. (rus)
6. Batova M.D., Semyonova Yu.A., Gordina A.F., Yakovlev G.I., Bur'yanov A.F., Stivens A.E., Begunova E.V. Structure and properties of gypsum compositions with mineral dispersed additives [Struktura i svojstva gipsovyh kompozicij s mineral'nymi dispersnymi dobavkami]. Construction Materials. 2021. No. 10. Pp. 49–53. DOI:10.31659/0585-430X-2021-796-10-49-53(rus)
7. Petropavlovskaya V.B., Novichenkova T.B., Belov V.V., Bur'yanov A.F. Granulometric composition as a criterion for regulating the properties of dispersed systems [Granulometricheskij sostav kak kriterij regulirovaniya svojstv dispersnyh system]. Construction Materials. 2013. No. 1. Pp. 64–65. (rus)
8. Belov V.V., Obrazcov I.V. Computer modeling and optimization of compositions of building composites: monograph. [Komp'yuternoe modelirovanie i optimizirovanie sostavov stroitel'nyh kompozitov: monografiya]. Tver': TvGTU. 2014. 124 p. (rus)
9. Belov V.V., Obrazcov I.V. Computer optimization of grain compositions of building composites based on cement-mineral mixtures [Komp'yuternoe optimizirovanie zernovyh sostavov stroitel'nyh kompozitov na osnove cementno-mineral'nyh smesej]. Construction Materials. 2015. No. 2 (58). Pp. 83–89. (rus)
10. Belov V.V., Smirnov M.A. Building composites from optimized mineral mixtures: monograph [Stroitel'nye kompozity iz optimizirovannyh mineral'nyh smesej: monografiya]. Tver': TvGTU, 2012. 112 p. (rus)
11. Petropavlovskaya V.B. Belov V.V., Nvichenkova T.B., Bur'yanov A.F., Pustovgar A.P. Optimization of the internal structure of dispersed systems of non-hydration hardening [Optimizaciya vnutrennej struktury dispersnyh sistem negidratacionnogo tverdeniya]. Construction Materials. 2010. No. 7. Pp. 22–24. (rus)
12. Petropavlovskii K., Novichenkova T., Petropavlovskaya V., Sulman M., Fediuk R., Amran M. Faience waste for the production of wall products. Materials. 2021. Vol. 14(21). DOI:10.3390/ma14216677.
13. Mironov V.A., Belov V.V., Golubev A.I. Relationship of grain composition with volume-mass characteristics of mineral components of building mixtures [Svyaz' zernovogo sostava s ob'emno-massovymi harakteristikami mineral'nyh komponentov stroitel'nyh smesej] Dry construction mixtures. 2008. No. 6. Pp. 63–65. (rus)
14. Harhardin A.N. Structural topology of disperse systems of interacting micro- and nanoparticles [Strukturnaya topologiya dispersnyh sistem vzaimodejstvuyushchih mikro- i nanochastic]. Izvestiya vuzov. Construction. 2011. No 5. Pp. 119–125. (rus)
15. Korolev L.V., Lupanov A.P., Pridatko Yu.M. Dense packing of polydisperse particles in composite building materials [Plotnaya upakovka polidispersnyh chastic v kompozitnyh stroitel'nyh materialah]. Modern problems of science and education. 2007. No. 6. Pp. 105–108. (rus)
16. Rahimov R.Z., Gajfullin A.R., Haliullin M.I., Stoyanov O.V. Grain packing density of composite gypsum binder depending on dispersion and granulometric composition [Plotnost' upakovki zeren kompozicionnogo gipsovogo vyazhushche-go



v zavisimosti ot dispersnosti i granulometricheskogo sostava]. Bulletin of the Kazan Technological University. 2013. Vol. 16. No. 7. Pp.129–131. (rus)

17. Korolev E.V., Bazhenov Yu.M., Smirnov V.A. Building materials of variotropic-frame structure [Stroitel'nye materialy variotropno-karkasnoj struktury]. M.: MGSU, 2011. 304 p. (rus)

18. Margolis B.I. Computer methods of analysis and synthesis of automatic control systems in the Matlab environment [Komp'yuternye meto-dy ana-

liza i sinteza sistem avtomaticheskogo regulirovaniya v srede Matlab]. Tver': TGTU, 2015. 92 p. (rus)

19. Margolis B.I. Programma raschyota nastroek regulyatorov metodom rasshirenykh chastotnykh harakteristik. Programmnye produkty i sistemy [Programma raschyota nastroek regulyatorov metodom rasshirenykh chastotnykh harakteristik]. Tver': ZAO "Nauchno-issledovatel'skij institut "Centrprogrammsistem". 2018. Pp. 636–639. (rus)

#### *Information about the authors*

**Otman Azmi SA**, post-graduate student of the Department of Building Materials Science, Products and Structures. E-mail: azmiothman2222@gmail.com. Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Chernysheva, Natalya V.** Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Building Materials Science, Products and Structures. E-mail: chernysheva56@rambler.ru Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Drebezgova, Maria Yu.** Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Architecture. E-mail: mdrebezgova@mail.ru. Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Margolis Boris, I.** Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of the Department of Automation of Technological Processes E-mail: tstu-atp@mail.ru. Tver State Technical University Russia, 170026, Tver, ave. Lenina, d. 25.

**Novichenkova Tatyana, B.** Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Production of Building Products and Structures. E-mail: tanovi.69@mail.ru. Tver State Technical University Russia, 170026, Tver, nab. Af. Nikitina, d.22.

*Received 21.04.2023*

#### **Для цитирования:**

Отман Азми С.А., Чернышева Н.В., Дребезгова М.Ю., Марголис Б.И., Новиченкова Т.Б. Влияние гранулометрического состава композиционного гипсового вяжущего на его свойства // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 6. С. 8–16. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-6-8-16

#### **For citation:**

Otman Azmi S.A., Chernysheva N.V., Drebezgova M.Yu., Margolis B.I., Novichenkova T.B. Influence of granulometric composition of the composite gypsum binder on its properties. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No. 6. Pp. 8–16. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-6-8-16