

DOI: 10.12737/article\_5940f017d92a86.71283937

Щекина А.Ю., аспирант,  
Шаповалов Н.А., д-р техн. наук, проф.,  
Загороднюк Л.Х., д-р техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## КОМПОЗИЦИОННЫЕ ВЯЖУЩИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ ФЛОТАЦИОННОГО ДООБОГАЩЕНИЯ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ

lh47@mail.ru

В статье приведены результаты по оптимизации составов композиционных вяжущих на основе отходов флотационного дообогащения железистых кварцитов комплексом функциональных добавок для получения сухих строительных смесей для наливных полов. Методом математического планирования эксперимента определены оптимальные дозировки добавок для обеспечения высоких технологических и эксплуатационных характеристик. Разработаны оптимальные составы композиционных вяжущих для получения сухих строительных смесей для наливных полов.

**Ключевые слова:** композиционные вяжущие, отходы флотационного дообогащения железных руд, физико-механические показатели, оптимальные составы.

**Введение.** В последние годы восстановление сырьевых ресурсов из горнопромышленных отходов и их комплексное использование во вторичном производстве являются вопросами мировой важности. Человечество всей планеты объединено проблемами загрязнения окружающей среды и истощения природных ресурсов Земли. Ежегодно во всем мире наблюдается поиск различных способов решения этих проблем, организуются международные мероприятия и разрабатываются государственные программы по вопросам экономии сырьевых ресурсов и улучшения экологической ситуации планеты [1–7].

Вторичное использование техногенных продуктов в производстве строительных материалов позволяет решить сразу несколько проблем: рациональное использование сырьевых ресурсов планеты; утилизация существующих техногенных отходов; отказ от выделения новых полезных площадей под отвалы и хвостохранилища; создание новых высококачественных строительных материалов с требуемыми физико-механическими, эксплуатационными показателями и низкой себестоимостью [8–12].

**Основная часть.** Проведенные ранее исследования отходов флотационного дообогащения железистых кварцитов доказывают эффективность их использования в составе вяжущих композиций [13–17]. В настоящей работе нами разработаны оптимальные составы композиционных вяжущих на основе отходов флотации железистых кварцитов, полученные совместным помолом сырьевых компонентов в вибрационной мельнице.

С целью придания максимально полезных свойств раствору с минимальным использованием количества комплексных функциональных

добавок в работе были выбраны химические добавки:

- гиперпластификатор последнего поколения Melflux 5581F;

- комплексная добавка Vinnapas 4220L (нивелирующая, пеногаситель, снижает водоотделение, диспергирующая, увеличивает адгезию, повышает обрабатываемость, препятствует седиментации наполнителя, повышает истираемость, обеспечивает гладкость и долговечность покрытия);

- комплексная добавка формиат кальция (ускоритель твердения, противоморозная добавка).

Композиционные вяжущие получены совместным помолом портландцемента, отходов флотации и комплексных функциональных добавок совместным помолом в течение 30 мин в вибрационной мельнице портландцемента марки ЦЕМ I 42,5 Н (в качестве вяжущего), отходов флотационного дообогащения гематитовой фракции железистых кварцитов фракций < 0,63 мм (в качестве минерального наполнителя) при соотношении 3/7 и комплексных функциональных добавок. Подбор оптимальных составов композиционных вяжущих и исследование влияния отдельных компонентов на их физико-механические свойства осуществлялось методом математического планирования эксперимента. В качестве факторов варьирования оптимизации смеси были приняты указанные выше расходы добавок от массы цемента: Melflux 5581F – 0,1–0,2 %; Vinnapas 4220L – 0,5–0,9 %; Формиат кальция – 1,5–2 %.

В связи с наличием пластифицирующего действия, оказываемого отходами флотационного дообогащения железистых кварцитов на гидратные системы, содержание гиперпластифика-

тора в системе принято на 30 % ниже минимально-рекомендуемого. Условия планирования эксперимента представлены в таблице 1. В соответствии с матрицей планирования были рассчитаны 17 составов смесей для эксперимента (табл. 2), в которых варьировалось содержание добавок.

Выбор факторов и параметров оптимизации композиционных вяжущих для строительных

смесей для наливных полов производился исходя из технологической и экономической целесообразности, то есть, варьирование расходов функциональных добавок преследовало цель определения их минимального количества, обеспечивающего получение выравнивающего покрытия наливного пола с требуемыми характеристиками.

Таблица 1

## Условия планирования эксперимента

Факторы		Уровни варьирования			Интервал варьирования
Натуральный вид	Кодированный вид	-1	0	+1	
Melflux 5581F, масс. %	$x_1$	0,1	0,15	0,2	0,05
Vinnapas 4220L, масс. %	$x_2$	0,5	0,7	0,9	0,2
Формиат кальция, масс. %	$x_3$	1,5	1,75	2	0,15

Выходными параметрами для подбора оптимального состава служили следующие показатели: средняя плотность и средняя прочность при сжатии. Было заформовано 17 серий образцов с содержанием 70 % цемента и 30 % отходов 3×3×3 см по 6...8 образцов в каждой серии. Ко-

личество воды затворения принималось по распылу конуса 17 см. Образцы выдерживались в нормальных условиях твердения в течение 28 сут, после чего были проведены физико-механические испытания. Результаты испытаний представлены в таблице 2.

Таблица 2

## Матрица планирования эксперимента

№ точки плана	Факторы			Физико-механические свойства	
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	Средняя плотность $Y_1$ , кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии $Y_2$ , МПа
1	0,2	0,9	2	2812	108,63
2	0,2	0,9	1,5	2801	105,26
3	0,2	0,5	2	2809	108,60
4	0,2	0,5	1,5	2785	100,04
5	0,1	0,9	2	2798	101,01
6	0,1	0,9	1,5	2756	99,15
7	0,1	0,5	2	2775	98,75
8	0,1	0,5	1,5	2696	97,10
9	0,2	0,7	1,75	2803	106,78
10	0,1	0,7	1,75	2699	97,23
11	0,15	0,9	1,75	2786	100,46
12	0,15	0,5	1,75	2742	98,13
13	0,15	0,7	2	2810	108,61
14	0,15	0,7	1,5	2695	97,15
15	0,15	0,7	1,75	2792	98,91
16	0,15	0,7	1,75	2800	99,00
17	0,15	0,7	1,75	2786	98,41

После статистической обработки полученных результатов были построены математические модели изменения физико-механических свойств композиционных вяжущих.

Уравнение регрессии средней плотности. В результате статистической обработки полученных данных уравнение регрессии для средней плотности имеет следующий вид:

$$Y_1 = 2777,5 + 28,6 \cdot x_1 + 14,6 \cdot x_2 + 27,1 \cdot x_3 - 5,6988x_1^2 + 7,3012 \cdot x_2^2 - 4,199 \cdot x_3^2 - 8 \cdot x_1 \cdot x_2 - 10,75 \cdot x_1 \cdot x_3 - 6,25 \cdot x_2 \cdot x_3$$

Комплексное представление о влиянии содержания Melflux 5581F, Vinnapas 4220 L, формиата кальция на среднюю плотность компо-

зиционного вяжущего получаем, построив с помощью уравнения регрессии номограмму (рис. 1).

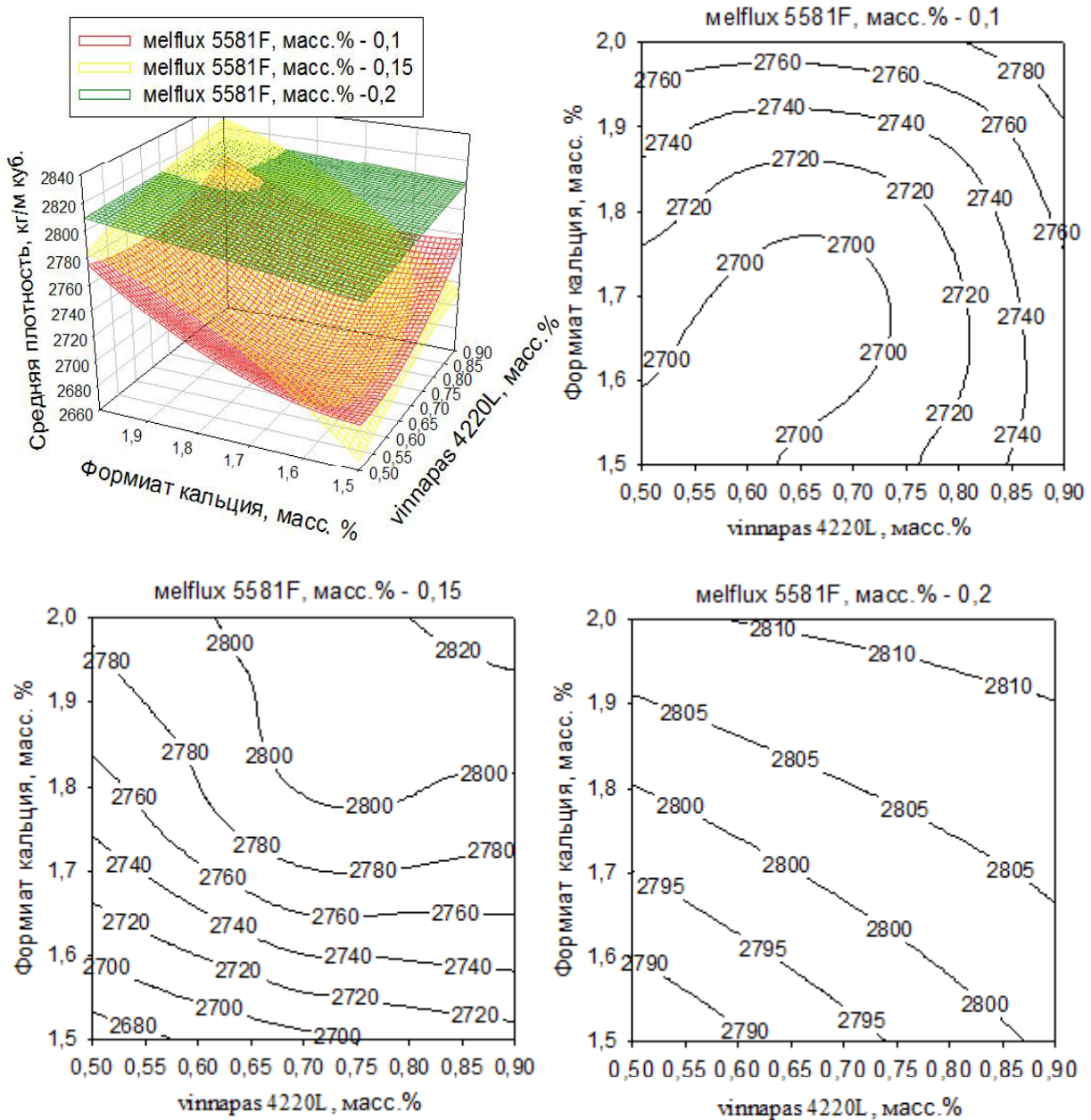


Рис. 1. Номограммы комплексного влияния функциональных добавок на среднюю плотность композиционного вяжущего

Уравнение регрессии предела прочности при сжатии. В результате статистической обработки полученных данных уравнение регрессии

для средней прочности при сжатии имеет следующий вид:

$$Y_2 = 99,99 + 3,79 \cdot x_1 + 1,191 \cdot x_2 + 2,69 \cdot x_3 + 1,4476x_1^2 - 1,2624 \cdot x_2^2 + 2,3226 \cdot x_3^2 + 0,1200 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,6200 \cdot x_2 \cdot x_3$$

Комплексное влияние содержания Melflux 5581F, Vinnapas 4220 L, формиата кальция на

прочность композиционного вяжущего представлено на рис. 2.

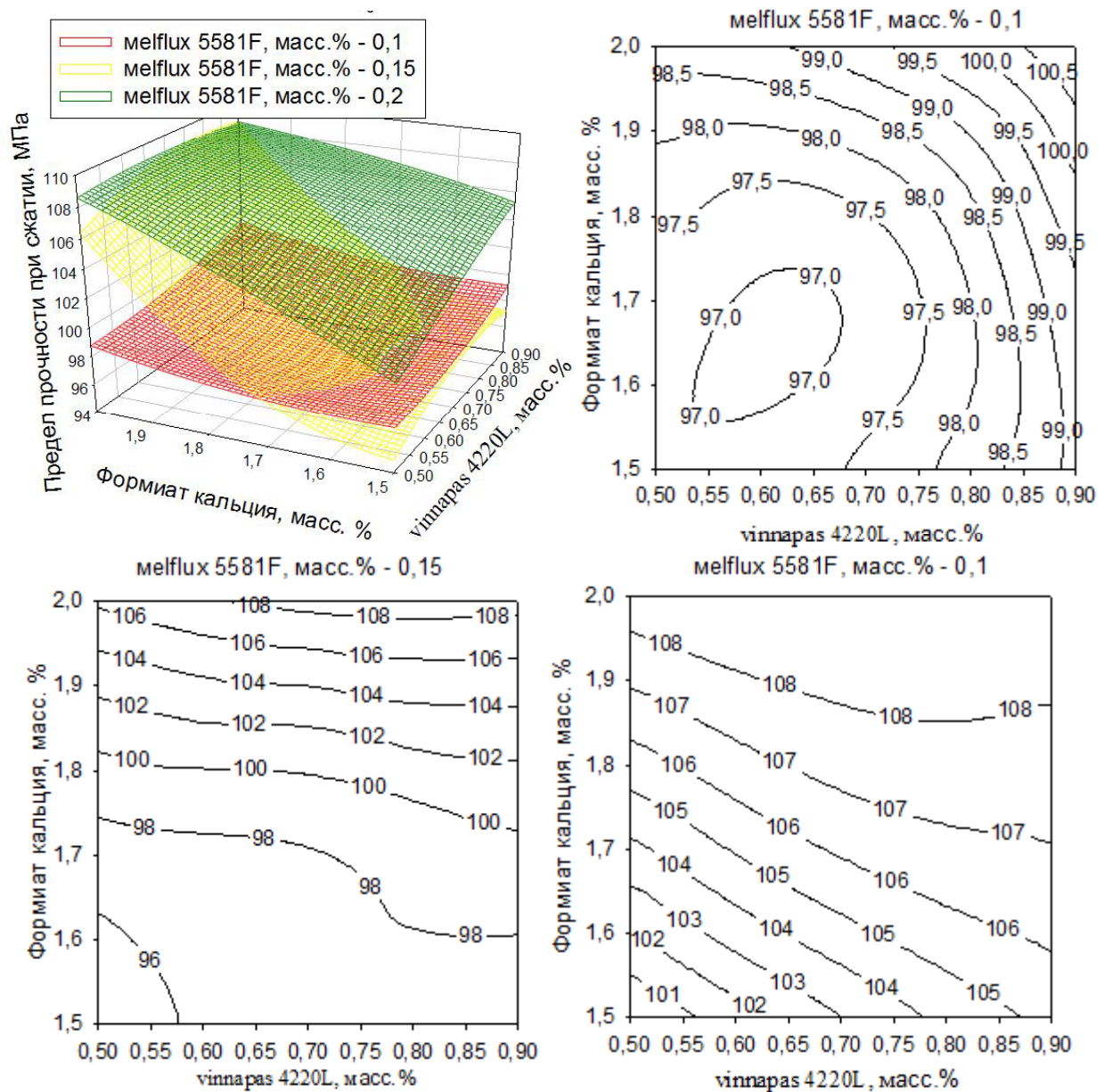


Рис. 2. Номограмма комплексного влияния функциональных добавок на среднюю прочность композиционного вяжущего

Анализируя полученные результаты по оптимизации композиционных вяжущих функциональными добавками, следует отметить, что наиболее высокие показатели прочности и плотности обеспечивают максимальные дозировки добавок, принятые в условиях планирования эксперимента (состав №1), а также максимальные дозировки добавок Melflux 5581F и формиата кальция и средняя дозировка добавки Vinnapas 4220 L (состав №3).

Полученные результаты свидетельствуют, о возможности снижения расхода Vinnapas 4220 L в составе композиционных вяжущих на 45 %.

С целью рационального использования дорогостоящей функциональной добавки Vinnapas 4220 L принят следующий оптимальный состав композиционного вяжущего: портландцемента

марки ЦЕМ I 42,5 Н, 70 %; отходы флотационного дообогащения гематитовой фракции железистых кварцитов, 30 %; Melflux 5581F, 0,2 % от массы цемента, Vinnapas 4220L, 0,5 % от массы цемента; Формиат кальция, 2 % от массы цемента.

Разработанный оптимальный состав композиционного вяжущего требует последующей апробации в составах сухих строительных смесей для приготовления наливных полов.

**Выводы.** В результате проведенных исследований разработан оптимальный состав композиционного вяжущего на основе отходов флотационного дообогащения железистых кварцитов для сухих строительных смесей для наливных полов, позволяющий снизить расход высокоэнергоемкого цемента и дорогостоящего гипер-

пластификатора на 30 %, с высоким показателем предела прочности при сжатии – 108,60 МПа. Применение отходов флотационного дообогащения железистых кварцитов в состав композиционных вяжущих позволяет рационально использовать природные ресурсы планеты и сократить площади хвостохранилищ.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коняев В.П. Техногенное минеральное сырье России и направление его использования. М.: Изд. АСВ, 2001. 123 с.
2. Лесовик Р.В., Жерновский И.В. Выбор кремнеземсодержащего компонента композиционных вяжущих веществ // Строительные материалы. 2008. № 8. С. 78–79.
3. Федулов А.А. Техничко-экономическое обоснование преимущества применения сухих строительных смесей // Строительные материалы. 1999. № 3. С.26–27.
4. Kuprina A.A., Lesovik V. S., Zagorodnyk L. H., Elistratkin M. Y. Anisotropy of Materials Properties of Natural and Man-Triggered Origin // Research Journal of Applied Sciences. 2014. №9. С. 816-819.
5. Zagorodnyk L.H., Lesovik V.S., Shkarin A.B., Belikov D.A., Kuprina A.A. Creating Effective Insulation Solutions, Taking into Account the Law of Affinity Structures in Construction Materials // World Applied Sciences Journal 24. 2013. №11. P. 1496–1502.
6. Лесовик В.С. Техногенный метасоматоз в строительном материаловедении // Строительные материалы. 2015. №4. С. 26–30
7. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Чулкова И.Л. Закон сродства структур в материаловедении // Фундаментальные исследования. 2014. № 3. Ч. 2. С. 267–271.
8. Lesovik V. S., Zagorodnyk L.H., Chulkova I.L. The Role of the Law of Affinity Structures in the Construction Material Science by Performance of the Restoration Works // Research Journal of Applied Sciences. 2014. №9. P. 1100–1105.
9. Волженский А. В. Минеральные вяжущие вещества. М.: Изд. Стройиздат, 1979. 302 с.
10. Федулов А.А. Техничко-экономическое обоснование преимущества применения сухих строительных смесей // Строительные материалы. 1999. № 3. С. 26–27.
11. Загороднюк Л.Х., Лесовик В.С., Гайнутдинов Р. Специфика твердения строительных растворов на основе сухих смесей // Вестник Центрального регионального отделения РААСН. 2014. №4. С. 93–98.
12. Lesovik V.S., Zagorodnyk L.H., Tolmacheva M.M., Smolikov A.A., Shekina A.Y., Shakarna M.H.I. Structure-formation of contact layers of composite materials // Life Science Journal. 2014. №11. P. 948–953.
13. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Беликов Д.А., Щекина А.Ю., Куприна А.А. Эффективные сухие смеси для ремонтных и восстановительных работ // Строительные материалы. 2014. №7. С. 82–85.
14. Шаповалов Н.А., Тикунова И.В., Загороднюк Л.Х., Шкарин А.В., Щекина А.Ю. Шлаки металлургического производства – эффективное сырье для получения сухих строительных смесей // Фундаментальные исследования. 2013. №1. Ч.1. С. 167–172.
15. Загороднюк Л.Х., Щекина А.Ю., Попов Д.Ю., Ильченко В.С., Ширяев О.И. Отходы обогащения горнорудной промышленности в производстве строительных материалов // Актуальные проблемы современной науки в 21 веке: Материалы I междунар. науч.-практ. конф, (Москва, 31 март. 2013 г.), М.: Изд-во Перо, 2013. С. 41–43.
16. Шаповалов Н.А., Загороднюк Л.Х., Тикунова И.В., Щекина А.Ю. Рациональные пути использования сталеплавильных шлаков // Фундаментальные исследования. 2013. №5. С. 57–63.
17. Шаповалов Н.А., Загороднюк Л.Х., Тикунова И.В., Щекина А.Ю., Ширяев О.И., Крайний А.А., Попов Д.Ю., Городов А.И. Исследование возможности использования отходов флотации железных руд для получения смешанных цементов // Фундаментальные исследования. 2013. № 10-8. С. 1718–1723.

---

**Shehekina A.Yu., Shapovalov N.A., Zagorodnyuk L.Kh.**

#### **COMPOSITE BINDERS USING WASTE WASTE DRAINING PRODUCTS OF IRON QUARTZES**

*The article presents the results of optimization of compositions of composite binders based on flotation re-enrichment of ferrous quartzite waste with a complex of functional additives for obtaining dry construction mixtures for bulk floors. Using the mathematical design of the experiment, optimal dosage of additives was determined to ensure high technological and operational characteristics. Optimum compositions of composite binders for obtaining dry construction mixtures for bulk floors have been developed.*

**Key words:** composite astringents, waste of flotation enrichment of iron ores, physical and mechanical parameters, optimal compositions.

---

**Щекина Анастасия Юрьевна**, аспирант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

**Шапвалов Николай Афанасьевич**, доктор технических наук, профессор, первый проректор

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

**Загороднюк Лилия Хасановна**, доктор технических наук, профессор кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

E-mail: lhz47@mail.ru