

ВОЛОДИН В. В., НИЗИНА Т. А., БАЛЫКОВ А. С., ОШКИНА Л. М., КОРОВКИН Д. И.
ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК ТЕРМОАКТИВИРОВАННОЙ ГЛИНЫ
НА ПРОЧНОСТЬ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ ¹

Аннотация. Задачей настоящей работы явилось исследование влияния рецептурно-технологических параметров получения и эффективности применения добавок термоактивированной глины на прочность цементных композитов. Показана возможность повышения исследуемых физико-механических показателей композитов путем оптимизации режима обжига глинистого сырья и содержания разработанного модификатора.

Ключевые слова: цементный композит, минеральная добавка, глина, режим обжига, прочность.

VOLODIN V. V., NIZINA T. A., BALYKOV A. S., OSHKINA L. M., KOROVKIN D. I.
THE EFFECT OF BAKED CLAY ADDITIVES
ON THE STRENGTH OF CEMENT STONE

Abstract. The article studies the effects of preparation technological parameters and a mineral additive based on baked clay on the strength of cement composites. The authors show a way of improving the physical and mechanical properties of the composites by optimizing the mode of clay burning and the content of the developed additive.

Keywords: cement composite, mineral additive, clay, firing mode, strength.

Одним из главных индикаторов состояния экономики является развитие строительной отрасли страны. Подъём экономики, рост благосостояния народа отражаются в росте объёмов строительства жилья. В 2015 году общая площадь введённых в эксплуатацию жилых домов составила 85,3 млн. м², что почти в 2 раза больше, чем в 2005 году [1]. Данное увеличение объёмов строительства связано с реализацией государственной программы «Обеспечение доступным и комфортным жильём и коммунальными услугами граждан Российской Федерации». Дальнейшее наращивание объёмов строительства требует увеличения производства строительных материалов. Очевидно, что эффективное решение поставленных задач зависит от организации инновационного производства строительных материалов и изделий на основе местного сырья.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ и Правительства Республики Мордовии № 18-43-130008 «Исследование влияния минеральных и органоминеральных добавок на основе термоактивированных полиминеральных глин и карбонатных пород на закономерности формирования структуры цементного камня и свойства высокопрочных мелкозернистых бетонов с заполнителем из отходов литейного производства».

В настоящее время портландцемент является основным вяжущим для строительной отрасли. Введение в портландцемент тонкодисперсных минеральных добавок природного и техногенного происхождения с целью повышения показателей его физико-технических свойств и частичной замены ими клинкера является одним из эффективных направлений обеспечения устойчивого развития в части ресурсосбережения. В последние годы для более рационального использования портландцемента и обеспечения требуемого уровня характеристик цементных композитов все чаще используются такие минеральные добавки, как микрокремнезем и метакраин. Данные модификаторы способствуют увеличению плотности цементного камня посредством управления его фазовым составом и пористостью, позволяя тем самым повысить физико-механические и эксплуатационные свойства цементных композитов при сниженных расходах цемента [2–4].

Тем не менее, ресурсы приведенных выше добавок не обеспечивают возрастающие в них потребности строительной индустрии. В связи с этим перед исследователями стоит задача расширения сырьевой базы для получения минеральных добавок из доступного природного сырья. Одними из наиболее перспективных в данном отношении являются прокаленные глинистые породы – глиежи [5]. При этом по результатам исследований [6–8] установлено, что наибольшей пуццолановой активностью после термической обработки обладают каолинитовые, монтмориллонитовые и мусковитовые / иллитовые глины.

Территория России богата запасами самых разных видов глин. Добыча обыкновенных (легкоплавких) глин в России производится практически повсеместно. Например, на территории Республики Мордовия расположены более пятидесяти месторождений глинистых пород, что позволяет отнести разработку активных минеральных добавок на основе глинистого сырья к перспективным задачам строительной индустрии, решение которых минимизирует ряд экономических, технологических и экологических проблем цементной промышленности как в самом регионе, так и в стране в целом.

В качестве исходного сырья для разработки минеральной добавки была выбрана глина Старошайговского месторождения Республики Мордовия. Для проведения экспериментальных исследований был синтезирован план, содержащий 15 опытов, позволяющий варьировать температуру и длительность обжига на трех уровнях (соответственно, 400, 600 и 800 °C; 2, 3 и 4 ч), а содержание минеральной добавки на основе термоактивированной глины в составе цементных композитов на пяти уровнях – 2, 6, 10, 14 и 18% от массы портландцемента. Также помимо 15 составов, входящих в основной блок плана эксперимента, дополнительно исследовался бездобавочный состав (№16). Изготовление цементных композиций осуществлялось при фиксированном водотвердом отношении, равном 0,3. Прокаленные глины подвергались помолу в планетарной мельнице в

течении 1 часа. Получаемые тонкодисперсные порошки вводились в состав цементного вяжущего на основе портландцемента ЦЕМ I 42,5 Н производства АО «Серебряковцемент». По результатам исследований была осуществлена оптимизация составов, модифицированных цементных вяжущих с установлением наиболее эффективных режимов обжига. Определение рациональных составов велось из анализа экспериментальной статистической модели, описывающей изменение предела прочности при сжатии цементных композитов на основе модифицированного обожженного глинистого сырья:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{сж.}} = & 67,29 + 3,23 \cdot x_1 + 0,18 \cdot x_2 - 3,99 \cdot x_3 + 1,36 \cdot x_1 \cdot x_2 - \\ & - 0,81 \cdot x_1 \cdot x_3 - 1,38 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,31 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 - 7,55 \cdot x_1^2 - 4,35 \cdot x_2^2 + \\ & + 4,48 \cdot x_3^2 - 0,91 \cdot x_1^2 \cdot x_2 - 0,56 \cdot x_1 \cdot x_2^2 - 0,49 \cdot x_1^2 \cdot x_3 - 2,19 \cdot (x_1 \cdot x_2 \cdot x_3)^2, \end{aligned} \quad (1)$$

где x_1 – температура обжига; x_2 – время обжига; x_3 – доля добавки.

Выявление оптимальных областей компромиссных решений по каждому фактору в отдельности осуществлялось с помощью полигонов частот, являющихся одним из наиболее наглядных способов графического представления плотности вероятности случайной величины [9].

По результатам проведенных исследований установлено, что ряд модифицированных цементных композитов достигает прочностных показателей при сжатии 70-80 МПа, что сопоставимо с контрольным составом №16 (рис. 1). Наиболее высокие прочностные показатели достигнуты в составах 2, 4, 6 и 13 с содержанием обожжённой глины в количестве от 2 до 6 % от массы цемента.



Рис. 1. Предел прочности при сжатии модифицированных цементных композитов в возрасте 7 и 28 суток.

Проведённый анализ ЭС-модели (1) на основе полигонов частот (рис. 2) показал, что предел прочности при сжатии, соответствующий контрольному составу, может быть

обеспечен для цементных композитов с минеральной добавкой при любом изученном уровне температуры и продолжительности обжига глинистого сырья. В то же время для принятых температурных и временных интервалов прокаливания минеральной добавки общая доля композитов с улучшенными или соответствующими контрольному составу показателями прочности варьируется от 22 до 41% в зависимости от продолжительности и от 11 до 45% в зависимости от температура прокаливания. Установлено, что увеличение времени прокаливания глины с 2 до 3 ÷ 4 часов приводит к расширению диапазона относительных значений прочностных характеристик модифицированных цементных композитов с 77,5 ÷ 115 до 62,5 ÷ 130%. Повышение температуры прокаливания обожженных глинистых пород с 400 до 720 °С позволяет изменить предельный (достижимый) диапазон сопротивления сжатию с 62,5 ÷ 107,5 до 85 ÷ 130%. Дальнейшее повышение температуры приводит к определенному снижению границ значений показателя относительной прочности – от 77,5 (нижняя граница) и до 122,5% (верхняя граница) соответственно.

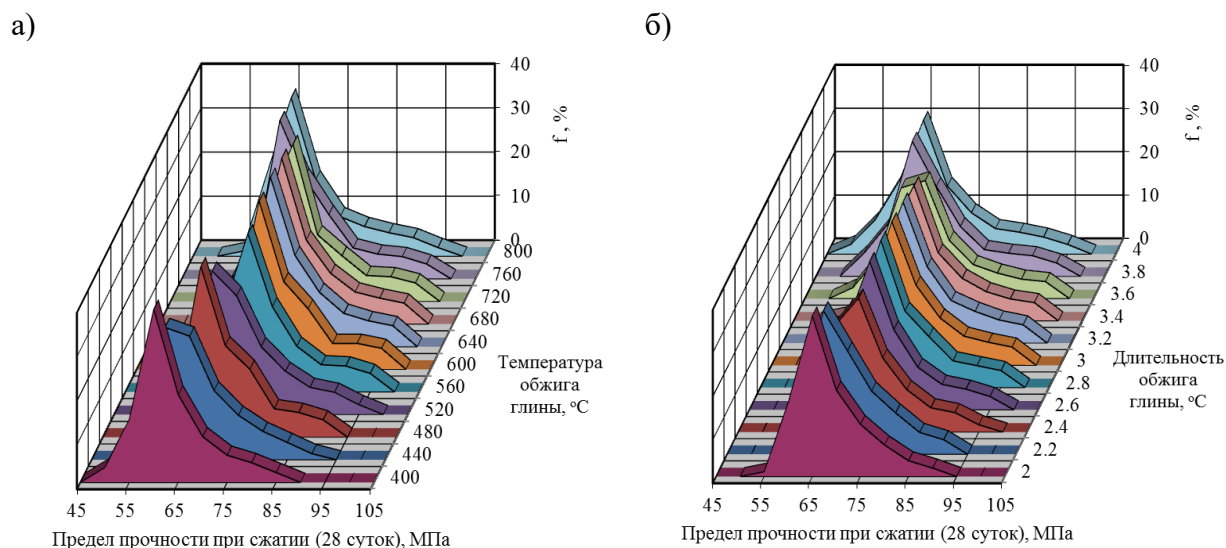


Рис. 2. Полигоны распределения предела прочности при сжатии модифицированных цементных композитов в возрасте 28 суток:
а – от температуры обжига, б – от длительности обжига.

По результатам исследования определены оптимальные рецептурные и технологические принципы получения минеральной добавки на основе глинистого сырья, которые позволяют повысить прочность на сжатие модифицированных цементных композитов по сравнению с композицией без добавок. Наиболее эффективные добавки были получены при длительности прокаливания глины от 3 до 3,6 часов при температуре 640 ÷ 720 °С.

Полученные данные свидетельствуют о перспективности и актуальности разработки бетонов с модифицирующими добавками на основе термически активированных

полиминеральных глин, что позволяет расширить ассортимент выпускаемых сегодня модифицированных цементных композитов за счет лучшего использования местной минерально-сырьевой базы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Строительство в России. 2016: Стат. сб. / Росстат. – М., 2016. – 111 с.
2. Кирсанова А.А., Ионов Ю.В., Орлова А.А., Крамар Л.Я. Особенности гидратации и твердения цементных бетонов с добавками модификаторами, содержащими метакраолин // Цемент и его применение. – 2015. – № 2. – С. 130-135.
3. Низина Т.А., Балыков А.С., Макарова Л.В., Коровкин Д.И., Володин В.В. Исследование комплексов активных минеральных добавок и дисперсных волокон при разработке составов дисперсно-армированных модифицированных мелкозернистых бетонов // Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. – 2017. – № 20. – С. 230-240.
4. Дворкин Л.И., Житковский В.В., Дворкин О.Л., Разумовский А.Р. Метакраолин – эффективная минеральная добавка для бетонов // Технологии бетонов. – 2015. – № 9-10 (110-111). – С. 21-24.
5. Schulze S.E., Pierkes R., Rickert J. Optimization of cements with calcined clays as supplementary cementations materials // Proceedings of the 1st International Conference on Calcined Clays for Sustainable Concrete. – Springer, 2015. – P. 59-66.
6. Rakhimov R.Z., Rakhimova N.R., Gaifullin A.R., Morozov V.P. Properties of Portland cement paste incorporated with loamy clay // Geosystem Engineering. – 2017. – Т. 20. – №6. – С. 318-325.
7. Fernandez R., Martizena F., Scrivener K.L. The origin of the pozzolanic activity of calcined clay minerals: A comparison between kaolinite, illite and montmorillonite // Cement and Concrete Research. – 2011. – No. 41. – P. 113-122.
8. Володин В.В., Низина Т.А., Балыков А.С., Коровкин Д.И. Опыт применения обожжённой глины в качестве минеральной добавки к цементным композитам // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций: материалы Всерос. науч.-техн. конф. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2018. – С. 36-41.
9. Ляшенко Т.В., Вознесенский В.А. Методология рецептурно-технологических полей в компьютерном строительном материаловедении. – Одесса: Астропринт, 2017. – 168 с.