

**ВОЛОДИН В. В., НИЗИНА Т. А., БАЛЫКОВ А. С.,**

**КОРОВКИН Д. И., КАРАБАНОВ М. О.**

**ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК ГЛИНИТОВ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
МОДИФИЦИРОВАННОГО ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ<sup>1</sup>**

**Аннотация.** Приведены результаты исследования прочностных характеристик (пределов прочности при сжатии и на растяжение при изгибе) цементного камня с добавками термоактивированной глины Старошайговского месторождения Республики Мордовия. Установлена возможность повышения прочностных показателей цементных систем за счет оптимизации параметров обжига глины и дозировки модификатора.

**Ключевые слова:** цементный камень, минеральная добавка, пуццоланическая активность, термоактивированная глина, дозировка, параметры обжига, прочностные показатели.

**VOLODIN V. V., NIZINA T. A., BALYKOV A. S.,**

**KOROVKIN D. I., KARABANOV M. O.**

**THE EFFECT OF GLINITE ADDITIVES ON STRENGTH CHARACTERISTICS  
OF MODIFIED CEMENT STONE<sup>1</sup>**

**Abstract.** The results of the study of the strength characteristics (tensile strengths under compression and tensile bending) of cement stone with the addition of thermally activated clay from the Staroshaigovsky deposit of the Republic of Mordovia are presented. The possibility of increasing the strength characteristics of cement systems by optimizing the parameters of clay firing and the dosage of the modifier is established.

**Keywords:** cement composites, mineral additive, pozzolanic activity, thermally activated clay, dosage, firing parameters, strength indicators.

В настоящее время одним из приоритетных направлений строительного материаловедения является разработка модифицированных цементных бетонов с высокими эксплуатационными свойствами, отличающихся сложным многокомпонентным составом с использованием индивидуальных и комплексных добавок разной природы и механизма действия – химических, минеральных, органоминеральных [1–4]. Применение модификаторов

---

<sup>1</sup> 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».

стало ключом к решению многих технологических задач бетоноведения, в том числе к получению цементных композитов повышенной прочности (60÷100 МПа и выше).

Одной из наиболее пуццоланически активных минеральных добавок для цементных бетонов является метакаолин [5]. Однако территориальная и количественная ограниченность каолиновых глин, высокая стоимость получаемого обогащённого сырья, растущие потребности в каолине бумажной и медицинской промышленностей обуславливают низкую степень применения метакаолина в цементной отрасли. В связи с этим актуальным направлением является разработка эффективных пуццолановых добавок для цементных систем на основе широко распространенных полиминеральных глин [6–7].

Исследования полиминеральных глин Республики Татарстан, Оренбургской и Челябинской областей [8–9] показали, что минеральные добавки, полученные на основе данных осадочных пород, отличаются повышенной физико-химической эффективностью в рецептуре цементных систем, не уступающей микрокремнезёму и метакаолину. В работе [10] установлено, что пуццолановой активностью после термической обработки обладают не только каолиновые, но и монтмориллонитовые, мусковитовые и иллитовые глины. Таким образом, полиминеральные глины, являющиеся повсеместно распространенным, доступным и дешевым материалом, представляют собой ценное сырьё для получения пуццоланов, что подтверждается результатами собственных исследований [11–14].

Целью данной работы являлось исследование влияния параметров обжига (температуры, длительности) и дозировки термоактивированной глины на прочностные характеристики цементного камня – пределы прочности при сжатии и на растяжение при изгибе в возрасте 28 суток.

В рецептуре цементных систем основным компонентом вяжущего являлся портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н производства АО «Серебряковцемент». В качестве исходного сырья для получения минеральной добавки выбрана глина Старошайговского месторождения Республики Мордовия. Температура обжига глины составляла 400, 600 и 800°C, время обжига – 2, 3 и 4 часа. Прокалённые глины подвергались помолу в шаровой мельнице в течении 1 часа. Получаемые порошки вводились в состав цементного вяжущего в количестве от 2 до 18 % от массы портландцемента. Водотвёрдое отношение во всех составах принято постоянным – 0,3.

В ходе экспериментальных исследований было изучено изменение в зависимости от варьируемых факторов пределов прочности при сжатии и на растяжение при изгибе в возрасте 7 и 28 суток. По результатам проведенного анализа определены числовые значения коэффициентов полиномиальных зависимостей, описывающих изменение предела прочности

при сжатии (1) и на растяжение при изгибе (2) цементного камня в возрасте 28 суток от варьируемых рецептурно-технологических факторов:

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

$$\sigma_{\text{раст.}} = 10,11 + 0,62 \cdot x_1 - 2,06 \cdot x_2 - 0,57 \cdot x_3 - 0,49 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,19 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,14 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,09 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,57 \cdot x_1^2 + 0,43 \cdot x_2^2 + 0,12 \cdot x_3^2 + 2,47 \cdot x_1^2 \cdot x_2 - 0,19 \cdot x_1 \cdot x_2^2 + 0,23 \cdot x_1^2 \cdot x_3 - 0,36 \cdot (x_1 \cdot x_2 \cdot x_3)^2, \quad (2)$$

где  $x_1$ ,  $x_2$  – температура и время обжига глины соответственно;  $x_3$  – дозировка добавки термоактивированной глины.

Уровни варьирования исследуемых факторов в натуральных и кодированных величинах приведены в таблице 1. С использованием уравнений (1) и (2) построены графические зависимости в виде изолиний изменения прочностных показателей цементного камня от исследуемых факторов (см. рис. 1).

Таблица 1

### Исследуемые факторы и уровни их варьирования

| Уровни варьирования в кодированных величинах | Варьируемые факторы          |                          |   |
|--|------------------------------|--------------------------|---|
|  | Температура обжига глины, °С | Время обжига глины, час. | Дозировка добавки термоактивированной глины, % от массы цемента |
| -2   | –                            | –                        | 2   |
| -1   | 400                          | 2                        | 6   |
| 0  | 600                          | 3                        | 10  |
| +1   | 800                          | 4                        | 14  |
| +2   | –                            | –                        | 8   |

По результатам исследования установлена возможность получения модифицированного цементного камня с прочностью при сжатии в возрасте 28 суток не менее 75 МПа, что соответствует контрольному составу, даже при достаточно высоком содержании используемой минеральной добавки – 18% от массы портландцемента (см. рис. 1, в). При этом указанный уровень прочностной характеристики достигается в цементных системах с добавками полиминеральной глины, обожженной при температуре 600 °С в течение 2-3,5 часов.

Анализируя данные рис. 1 (а, в, д), выявлено падение прочностных показателей при сжатии модифицированного цементного камня при изменении температуры обжига глины с 600 до 800 или 400 °С. По сравнению с немодифицированным составом наиболее высокий прирост предела прочности при сжатии (более 20%) зафиксирован у цементных систем с содержанием минеральной добавки термоактивированной глины в количестве 2% от массы

портландцемента. При этом оптимальная длительность обжига глинистого сырья для всех температурных режимов близка к 3 часам.

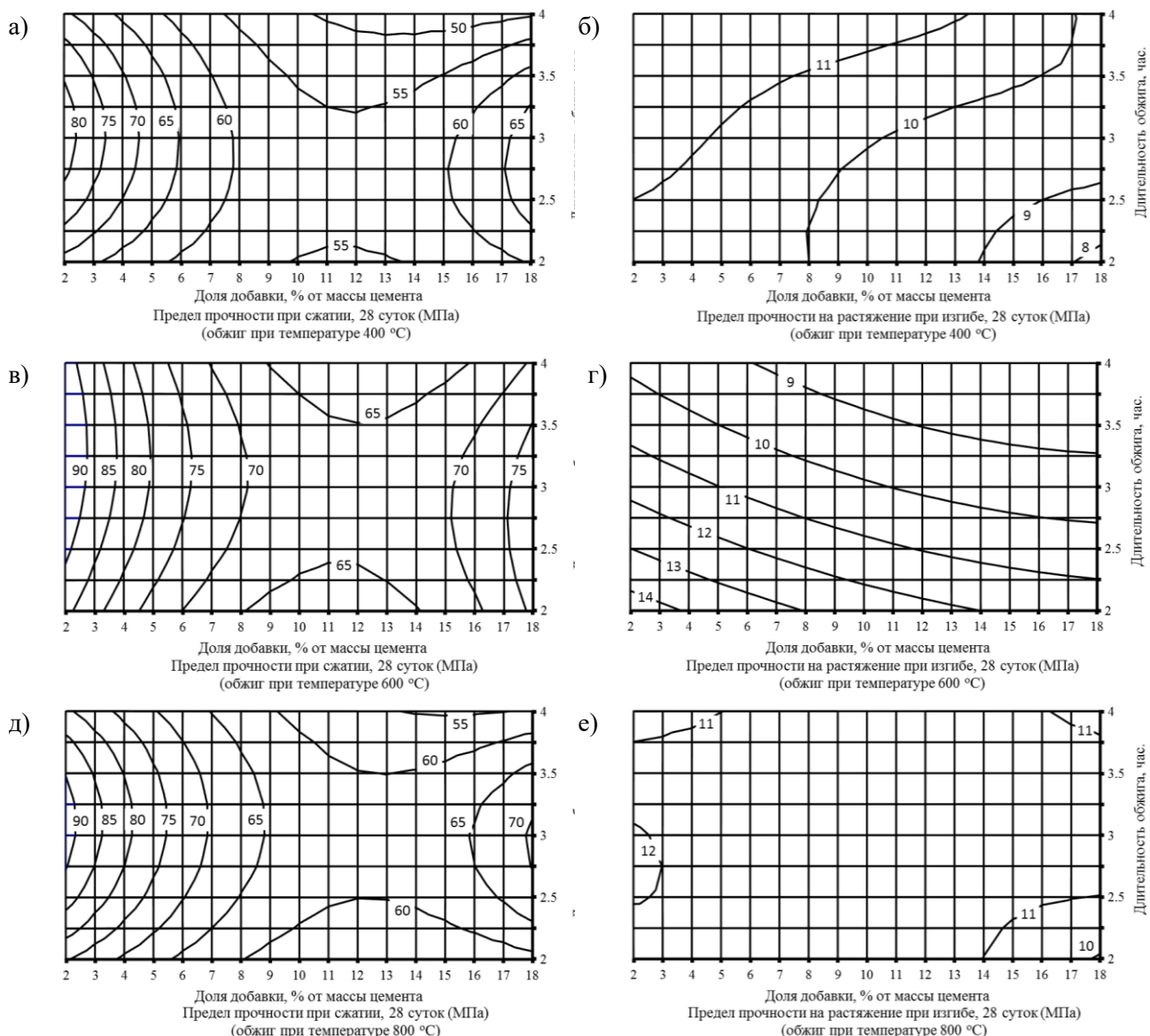


Рис. 1. Изменение предела прочности при сжатии (а, в, д) и на растяжение при изгибе (б, г, е) модифицированного цементного камня в возрасте 28 суток в зависимости от варьируемых факторов. Температура обжига: а, б – 400 °С; в, г – 600 °С; д, е – 800 °С.

Анализ кривых изменения предела прочности на растяжение при изгибе (см. рис. 1, б, г, е) показал, что наиболее высокие значения прочностных показателей модифицированного цементного камня в возрасте 28 суток (14 МПа и более) достигаются в составах с содержанием минеральной добавки термоактивированной глины в количестве 2-4% от массы портландцемента, при температуре и длительности обжига глинистого сырья – 600 °С и 2-2,2 часа соответственно. При этом изменение температуры термоактивации глины с 600 до 400 и 800 °С приводит к падению анализируемого прочностного показателя цементных систем. В то же время при увеличении температуры обжига с 400 до 800 °С достижение верхней границы

предела прочности на растяжение при изгибе цементного камня может быть обеспечено при снижении длительности термоактивации глинистого сырья с 4 до 2 часов.

Таким образом, по результатам экспериментального исследования установлена возможность получения модифицированного цементного камня, прочностные показатели которого не уступают контрольному составу без минеральной добавки, что свидетельствует о повышенной физико-химической эффективности модификаторов на основе глины Старошайговского месторождения. Полученные данные подтверждают перспективность и актуальность направления по разработке минеральных добавок для цементных систем на основе полиминеральных глин, что позволит расширить номенклатуру выпускаемых на сегодняшний день модификаторов за счёт более полного использования местной минеральной сырьевой базы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Давидюк А. Н. Бетон в строительстве – новые вызовы и перспективы // Вестник НИЦ. Строительство. – 2017. – №12. – С. 5-13.
2. Калашников В. И., Тараканов О. В. О применении комплексных добавок в бетонах нового поколения // Строительные материалы. – 2017. – №1-2. – С. 62-67.
3. Каприелов С. С., Шейнфельд А. В., Дондуков В. Г. Цементы и добавки для производства высокопрочных бетонов // Строительные материалы. – №11. – 2017. – С. 4-10.
4. 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.
5. Кирсанова А. А., Крамар Л. Я. Органоминеральные модификаторы на основе метакаолина для цементных бетонов // Строительные материалы. – 2013. – №10. – С. 54-56.
6. Schulze S. E., Pierkes R., Rickert J. Optimization of cements with calcined clays as supplementary cementitious materials // Proc. XIV International Congress on the Chemistry of cement. – Beijing, China, 2015. – 693 p.
7. Castello L. R., Hernandez H.J.F., Scrivener K. L., Antonic M. Evolution of calcined clays soils as supplementary cementitious materials // Proceedings of a XII International Congress of the chemistry of cement. Instituto de Ciencias de la Construction «Eduardo torroja». – Madrid. – 2011. – P. 117.

8. Рахимов Р. З., Рахимова Н. Р., Гайфуллин А.Р. Влияние добавок в портландцемент прокаленной и молотой глины с содержанием 40% каолинита на прочность цементного камня // *Academia. Архитектура и строительство*. – 2015. – №2. – С. 131-133.
9. Гайфуллин А. Р., Рахимов Р. З., Рахимова Н. Р. Влияние добавок глинистых в портландцемент на прочность при сжатии цементного камня // *Инженерно-строительный журнал*. – 2015. – № 7 (59). – С. 66-73.
10. 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. – № 41. – P. 113-122.
11. Володин В.В. Низина Т. А., Балыков А. С., Коровкин Д. И., Козлятников И. С., Башкаев Д. С., Григорьева А. А. Опыт применения обожжённой глины в качестве минеральной добавки к цементным композитам // *Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций: материалы Всеросс. науч.-техн. конф.* – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та. – 2018. – С. 36-42.
12. Володин В. В., Низина Т. А., Балыков А. С., Ошкина Л. М., Коровкин Д. И. Влияние добавок термоактивированной глины на прочность цементного камня [Электронный ресурс] // *Огарёв-online. Раздел «Технические науки»*. – 2019. – №5. – Режим доступа: <http://journal.mrsu.ru/arts/vliyanie-dobavok-termoaktivirovannoj-gliny-na-prochnost-sementnogo-kamnya> (дата обращения 20.01.2020).
13. Низина Т. А., Володин В. В., Балыков А. С., Коровкин Д. И. Влияние добавок в портландцемент обожжённой глины на прочность цементного камня // *Региональная архитектура и строительство*. – 2019. – №3 (40). – С. 58-68.
14. Володин В. В., Низина Т. А., Балыков А. С., Коровкин Д. И. Влияние минеральной добавки на основе термоактивированной глины на прочностные характеристики цементных композитов // *Техническое регулирование в транспортном строительстве*. – 2019. – № 6(39). – С. 284-290.