

Строительные материалы и изделия Building materials and products

Научная статья

УДК 691.5

DOI: 10.14529/build260207

СОСТАВЫ НА ОСНОВЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ИЗВЕСТИ ДЛЯ РЕСТАВРАЦИИ ИСТОРИЧЕСКИХ ЗДАНИЙ

В.И. Логанина^{1✉}, М.В. Зайцева²

¹ Пензенский государственный архитектурно-строительный университет,
Пенза, Россия

² Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Москва, Россия
✉ loganin@mail.ru

Аннотация. В статье приведены сведения о влиянии добавки метакеолина на свойства раствора на основе искусственной гидравлической извести, применяемого для реставрации зданий исторической застройки. Рассмотрено влияние добавки метакеолина на прочность при сжатии, прочность сцепления с кирпичной поверхностью. Установлено, что введение добавки метакеолина МК повышает прочность раствора на сжатие в условиях воздушно-сухого твердения в 1,859–2,0 раза в зависимости от возраста твердения. Выявлено повышение прочности сцепления с 0,3 МПа до 0,5 МПа при 10%-ном содержании метакеолина.

Ключевые слова: известь, метакеолин, прочность, штукатурный раствор

Для цитирования. Логанина В.И., Зайцева М.В. Составы на основе гидравлической извести для реставрации исторических зданий // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2026. Т. 26, № 2. С. 55–59. DOI: 10.14529/build260207

Original article

DOI: 10.14529/build260207

HYDRAULIC LIME-BASED MORTARS FOR THE RESTORATION OF HISTORIC BUILDINGS

V.I. Loganina^{1✉}, M.V. Zaytseva²

¹ Penza State University of Architecture and Civil Engineering, Penza, Russia

² Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia
✉ loganin@mail.ru

Abstract. The article presents information on the effect of metakaolin additives on the properties hydraulic lime-based mortars used for the restoration of historic buildings. The effect of metakaolin additives on compressive strength and adhesion to brick surfaces is considered. It has been found that the addition of metakaolin MK increases the compressive strength of mortar under air-dry conditions by 1.859–2.0 times, depending on the setting age. An increase in the adhesion strength from 0.3 MPa to 0.5 MPa has been revealed with a 10% content of methakaolin.

Keywords: lime, metakaolin, strength, plaster mortar

For citation. Loganina V.I., Zaytseva M.V. Hydraulic lime-based mortars for the restoration of historic buildings. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2026;26(2):55–59. (in Russ.). DOI: 10.14529/build260207

Введение

Для реставрации зданий исторической застройки широкое применение находят известковые растворы благодаря своей совместимости со старыми материалами и воздухопроницаемости, что обеспечивает задержку влаги в конструкции [1, 2]. Несмотря на свою историческую значимость, известковые растворы обладают определенными недостатками, такими как выраженная пористость и ограниченная прочность на ранних стадиях [3–7].

В проектах реставрации предпочтение отдается гидравлической извести NLH, которая обладает рядом преимуществ, таких как быстрое схватывание, затвердевание, умеренная прочность, высокая паропроницаемость и хорошая адгезия к реставрируемому материалу [8–11].

В России гидравлическая известь имеет ограниченное применение. Для проведения реставрационных работ применяют гидравлическую известь зарубежного производства. В связи с этим актуальным является исследование возможности создания искусственной гидравлической извести НЛ на базе отечественных материалов, которая не уступала бы по своим свойствам натуральной гидравлической извести.

Материалы и методы исследований

Для приготовления сухой смеси применяли гашеную известь (пушонку) активностью 64–67 %, истинной плотностью 2230 кг/м³, насыпной плотностью 280 кг/м³, с удельной поверхностью 1000 м²/кг (ГОСТ 9179–18). В качестве заполнителя применяли сурский кварцевый песок фракции 0,14–0,315 с соотношением вяжущее : песок = 1:3. Плотность песка составляла 1527 кг/м³. Соотношение цемент:песок в растворе составляло 1:2. В качестве пуццолановой добавки в работе применяли высокоактивный метакраолин ВМК-45 ($S_{уд} = 1700 \text{ м}^2/\text{кг}$) с содержанием (в % по массе): SiO₂ – 53; Al₂O₃ – 42 и пуццолановой активностью 1210 мг/г (ООО «Синерго», РФ). В качестве структурирующей добавки в рецептуру вводили микрокальцит марки КМ2 (ГОСТ 56775–2015). Содержание микрокальцита в рецептуре составляло 25 %.

Для разработки состава искусственной гидравлической извести также применяли белый цемент ПЦБ 1-500 Д0 (ГОСТ 965-89).

Водоцементное отношение составляло В/Ц = 0,65. Образцы твердели в воздушно сухих условиях.

Прочность при сжатии образцов определяли с помощью испытательной машины типа ИР 5057–50 и рассчитывали по формуле

$$R_{сж} = \frac{P}{F}, \quad (1)$$

где P – разрушающая сила, Н; F – площадь поперечного сечения образца до испытания, м².

Прочность сцепления определяли методом отрыва шайб и вычисляли по формуле

$$R_{адг} = \frac{P}{F}, \quad (2)$$

где P – сила отрыва, Н; F – площадь контакта штампа с покрытием, м².

В качестве подложки использовали керамический кирпич.

Усадочные деформации составов определяли с помощью оптического компаратора ИЗА-2 и вычисляли по формуле

$$\varepsilon = \frac{l_0 l_1}{l_0} \cdot 100, \quad (3)$$

где l_0 – длина образца (расстояние между реперами) в начальный период твердения, мм; l_1 – длина образца в промежуточные периоды твердения, мм.

Водопоглощение образцов раствора определяли по ГОСТ Р 58767–2019 «Растворы строительные. Методы испытаний по контрольным образцам».

Результаты исследований

Составы раствора приведены в таблице. Результаты исследований приведены в таблице и на рис. 1–3.

Анализ результатов исследований, приведенный на рис. 1, показывает, что введение метакраолина МК значительно повышает прочность раствора на сжатие в условиях воздушно-сухого твердения. Увеличение прочности составляет в 1,859–2,0 раза в зависимости от возраста твердения, что обусловлено пуццоланическими свойствами метакраолина [12, 13].

Введение метакраолина в рецептуру раствора способствует повышению прочности сцепления

Составы растворов

Содержание компонентов, %			
Цемент	Известь	Метакраолин	Микрокальцит марки КМ2
25	50	0	25
25	48	2	25
25	46	4	25
25	42	8	25
25	40	10	25

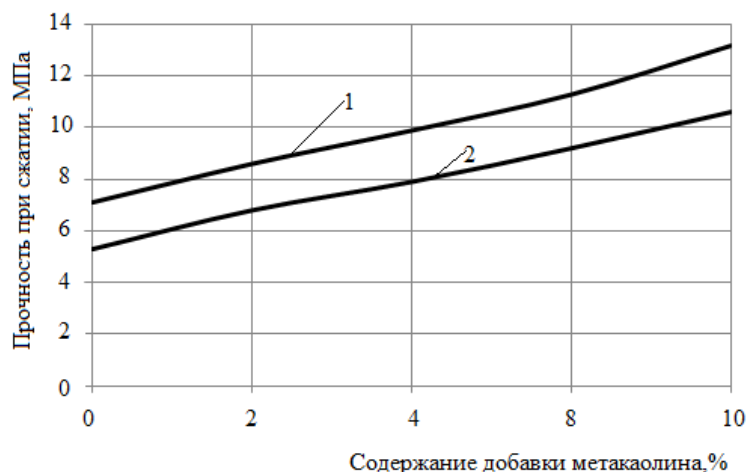


Рис. 1. Влияние добавки метакеолина на прочность при сжатии известкового раствора:
1 – возраст раствора 28 суток твердения; 2 – возраст раствора 7 суток твердения

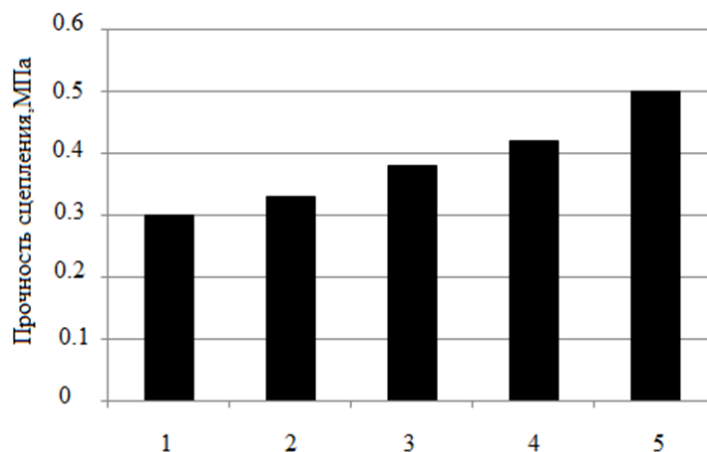


Рис. 2. Прочность сцепления растворов с кирпичной подложкой:
1 – контрольный состав (содержание метакеолина 0 %);
2 – содержание метакеолина 2,0 %; 3 – содержание метакеолина 4,0 %;
4 – содержание метакеолина 8,0 %; 5 – содержание метакеолина 10,0 %

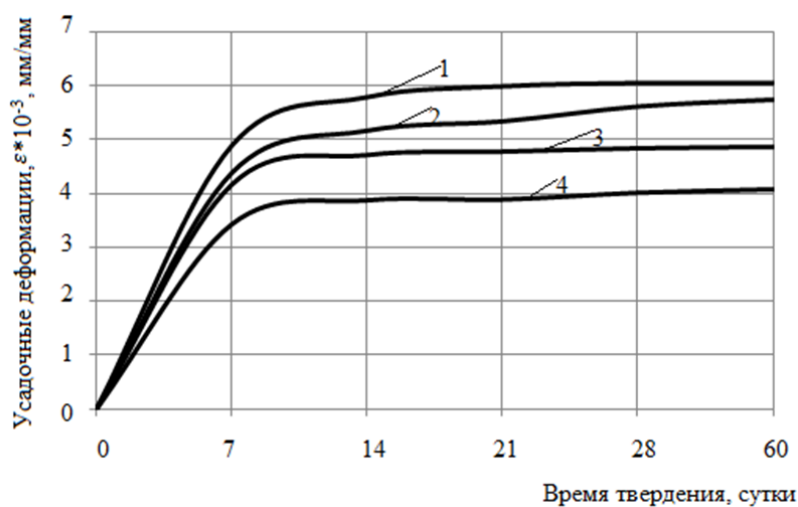


Рис. 3. Усадочные деформации известкового раствора:
1 – контрольный состав (содержание метакеолина 0 %);
2 – содержание метакеолина 2,0 %; 3 – содержание метакеолина 4,0 %;
4 – содержание метакеолина 10,0 %

(см. рис. 2). По сравнению с контрольным образцом прочность сцепления увеличилась с 0,3 МПа до 0,5 МПа при 10%-ном содержании метакеолина, увеличение составляет 66,6 %. Повышение прочности сцепления объясняется пуццолановой реакцией метакеолина, которая усиливает образование геля гидросиликата кальция (C-S-H), улучшая микроструктуру и адгезионные свойства раствора.

На рис. 3 приведены значения деформаций известкового раствора. Выявлено, что усадка образцов уменьшается с увеличением дозировки МК, значительно снижает риск растрескивания отделочного слоя. Снижение усадки при введении добавки метакеолина составляет 7–33,3 %.

Водопоглощение образцов раствора на основе искусственной гидравлической извести с добавкой метакеолина составляет 35–37 %, в то время как у контрольных образцов – 38 %.

Сопоставление свойств раствора на основе искусственной гидравлической извести НЛ со свойствами раствора на основе натуральной гидравлической извести NHL показывает, что пред-

лагаемая рецептура искусственной гидравлической извести обеспечивает требования национальных и международных нормативных документов. В соответствии с DIN 18550 растворы на основе гидравлической и высокогидравлической извести должны иметь минимальный предел прочности при сжатии, соответственно – 1,0 и 2,5 МПа. Штукатурные растворы на основе предлагаемой рецептуры обеспечивают паропроницаемость штукатурного отделочного слоя, отсутствие высолов на поверхности, влагостойкость, прочность сцепления с реставрируемым объектом.

Выводы

Установлено, что введение добавки метакеолина в рецептуру известкового раствора способствует повышению прочности сцепления отделочного слоя к кирпичной поверхности на 66,6 %, прочности на сжатие в условиях воздушно-сухого твердения – в 1,859–2,0 раза в зависимости от возраста твердения, снижению усадочных деформаций – на 7–33,3 % в зависимости от дозировки метакеолина.

Список литературы

1. Реставрация исторических объектов с применением современных сухих строительных смесей Ю.В. Пухаренко, А.М. Харитонов, Н.Н. Шангина, Т.Ю. Сафонова // Вестник гражданских инженеров. 2011. № 1. С. 98–103.
2. Lime Mortars for the Conservation of Historic Buildings / K. Elert, C. Rodriguez-Navarro, E. Sebastian Pardo et al. // Studies in Conservation. 2002. Vol. 47, pp. 62–75.
3. Оптимизация состава композитов общестроительного назначения, модифицированных наноразмерными добавками / В.И. Логанина, Л.В. Макарова, Р.В. Тарасов, О.А. Давыдова // Региональная архитектура и строительство. 2010. № 2. С. 53–57.
4. Логанина В.И., Давыдова О.А., Симонов Е.Е. Исследования закономерностей влияния золя кремниевой кислоты на структуру и свойства диатомита // Строительные материалы. 2011. № 12. С. 62–65.
5. Экспериментальный подбор ремонтно-реставрационного состава раствора на основе гидравлической строительной извести / Г.Н. Хаджишалапов, П.Д. Батаева, Х.М. Батаева, А.Д. Батаев // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2025. № 52 (2). С. 227–234. DOI: 10.21822/2073-6185-2025-52-2-227-234
6. Arizzi A., Cultrone G. Aerial lime-based mortars blended with a pozzolanic additive and different admixtures: a mineralogical, textural and physical-mechanical study // Construction and Building Materials. 2012. Vol. 31, pp. 135–143.
7. Aggelakopoulou E., Bakolas A., Moropoulou A. Properties of lime–metakolin mortars for the restoration of historic masonries // Applied Clay Science. 2011. Vol. 53, pp. 15–19.
8. The manufacture of natural hydraulic limes: Influence of raw materials' composition, calcination and slaking in the crystal-chemical properties of binders / A. Parra C.-Fernández, A. Arizzi, M. Secco, G. Cultrone // Cement and Concrete Research. 2024. Vol. 185, 107631. DOI: 10.1016/j.cemconres.2024.107631
9. Шелихов Н.С., Рахимов Р.З. Гидравлическая известь и романцемент из минерального сырья Татарстана // Строительный вестник Татарстана. 2002. № 2. С. 48–53.
10. Maravelaki-Kalaitzaki P., Bakolas A., Karatasios I., Kilikoglou V. Hydraulic lime mortars for the restoration of historic masonry in Crete // Cement and Concrete Research. 2005. Vol. 35, pp. 1577–1586.
11. Kang S.-H., Lee S.-O., Hong S.-G., Kwon Y.-H. Historical and Scientific Investigations into the Use of Hydraulic Lime in Korea and Preventive Conservation of Historic Masonry Structures // Sustainability. 2019. Vol. 11, pp. 5169.
12. Shan M., Chen Y.-F., Zhai Z., Du J. Investigating the Critical Issues in the Conservation of Heritage Building: The Case of China // Journal of Building Engineering. 2022. Vol. 51, pp. 104319.
13. Несветаев Г.В., Хаджишалапов Г.Н., Животкова И.А. Анализ критериев стойкости модифицированных строительных растворов при различных воздействиях // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2025. № 52 (1). С. 210–218. DOI: 10.21822/2073-6185-2025-52-1-210-218

References

1. Pukharenko Yu.V., Kharitonov A.M., Shangina N.N., Safonova T.Yu. [Restoration of historical objects using modern dry building mixes]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov* [Bulletin of Civil Engineers], 2011, no. 1, pp. 98–103. (in Russ.)
2. Elert K., Rodriguez-Navarro C., Sebastian Pardo E., Hansen E., Cazalla O. Lime Mortars for the Conservation of Historic Buildings. *Studies in Conservation*, 2002, vol. 47, pp. 62–75.
3. Loganina V.I., Makarova L.V., Tarasov R.V., Davydova O.A. [Optimization of the composition of general-purpose composites modified with nanosized additives]. *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo* [Regional Architecture and Construction], 2010, no. 2, pp. 53–57. (in Russ.)
4. Loganina V.I., Davydova O.A., Simonov E.E. [Research on the patterns of influence of silicic acid sol on the structure and properties of diatomite]. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials], 2011, no. 12, pp. 62–65. (in Russ.)
5. Khadzhashalapov G.N., Bataeva P.D., Bataeva Kh.M., Bataev A.D. [Experimental selection of a repair-restoration mortar composition based on hydraulic building lime]. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [Bulletin of Dagestan State Technical University. Technical Sciences], 2025, no. 52 (2), pp. 227–234. (in Russ.). DOI: 10.21822/2073-6185-2025-52-2-227-234
6. Arizzi A., Cultrone G. Aerial lime-based mortars blended with a pozzolanic additive and different admixtures: a mineralogical, textural and physical-mechanical study. *Construction and Building Materials*, 2012, vol. 31, pp. 135–143.
7. Aggelakopoulou E., Bakolas A., Moropoulou A. Properties of lime–metakolin mortars for the restoration of historic masonries. *Applied Clay Science*, 2011, vol. 53, pp. 15–19.
8. Parra C.-Fernández A., Arizzi A., Secco M., Cultrone G. The manufacture of natural hydraulic limes: Influence of raw materials' composition, calcination and slaking in the crystal-chemical properties of binders. *Cement and Concrete Research*, 2024, vol. 185, 107631. DOI: 10.1016/j.cemconres.2024.107631
9. Shelikhov N.S., Rakhimov R.Z. [Hydraulic lime and Roman cement from the mineral raw materials of Tatarstan]. *Stroitel'nyy vestnik Tatarstana* [Construction Bulletin of Tatarstan], 2002, no. 2, pp. 48–53. (in Russ.)
10. Maravelaki-Kalaitzaki P., Bakolas A., Karatasios I., Kilikoglou V. Hydraulic lime mortars for the restoration of historic masonry in Crete. *Cement and Concrete Research*, 2005, vol. 35, pp. 1577–1586.
11. Kang S.-H., Lee S.-O., Hong S.-G., Kwon Y.-H. Historical and Scientific Investigations into the Use of Hydraulic Lime in Korea and Preventive Conservation of Historic Masonry Structures. *Sustainability*, 2019, vol. 11, pp. 5169.
12. Shan M., Chen Y.-F., Zhai Z., Du J. Investigating the critical issues in the conservation of heritage building: The case of China. *Journal of Building Engineering*, 2022, vol. 51, pp. 104319.
13. Nesvetaev G.V., Khadzhashalapov G.N., Zhivotkova I.A. [Analysis of the durability criteria of modified building mortars under various impacts]. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [Bulletin of Dagestan State Technical University. Technical Sciences], 2025, no. 52 (1), pp. 210–218. (in Russ.). DOI: 10.21822/2073-6185-2025-52-1-210-218.

Информация об авторах:

Логанина Валентина Ивановна, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Управление качеством», Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза, Россия, loganin@mail.ru

Зайцева Мария Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры международного бизнеса, Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Москва, Россия, zajc@yandex.ru

Information about the authors

Valentina I. Loganina, Doctor of Sciences (Engineering), Head of the Department of Quality Management, Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russia; loganin@mail.ru

Mariia V. Zaytseva, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor, Department of International Business, Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia; zajc@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 30.12.2025, принята к публикации 20.02.2026.

The article was submitted 30.12.2025, approved after reviewing 20.02.2026.