

УДК 691.5

В. И. Логанина^а, М. В. Зайцева^б

^а Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

^б Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова

ВЫБОР ШТУКАТУРНОГО РАСТВОРА ДЛЯ РЕСТАВРАЦИИ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

Статья посвящена сравнительной оценке составов растворов, предназначенных для реставрации зданий исторической застройки и объектов культурного наследия. Рассматривались 11 составов штукатурных растворов, а также чисто известково-песчаный раствор и цементно-песчаный раствор. В качестве гидравлической извести применяли известь «Тамасли» NHL5. Гидравлический модуль извести составлял $M = 2,69$. Для приготовления цементно-песчаного раствора применяли цемент марки ЦЕМ I 42,5Н. Известково-песчаный раствор изготавливали на основе гашеной извести (пушонки) активностью 74 %. В качестве пуццолановой добавки в работе применяли высокоактивный метакраин ВМК-45, диатомит марки NDP-D-230 и микрокремнезем МК-85. Установлено, что введение пуццолановых добавок в рецептуру известкового раствора повышает прочность на сжатие и адгезию штукатурного раствора в условиях воздушно-сухого твердения. Выявлено, что штукатурные растворы на основе искусственной гидравлической извести соответствуют требованиям национальных и международных нормативных документов (DIN 18550) в части минимального предела прочности при сжатии. Цементные растворы имеют более однородное распределение размеров пор, более низкую открытую пористость и более высокое значение прочности при сжатии и прочности сцепления с подложкой. Однако вследствие более низкого значения паропроницаемости штукатурного слоя существует возможность скопления влаги на границе контакта со стеной реставрируемого объекта. С точки зрения совместимости со старыми реставрируемыми стенами и учитывая закон сродства структур, нет необходимости добиваться высоких значений прочности; нами не рекомендуется применение цементного штукатурного раствора для реставрации.

Ключевые слова: растворы для реставрации, известь, пуццолановые добавки, прочность.

Введение

Для реставрации зданий исторической застройки широкое распространение нашли известковые растворы, известково-пуццолановые растворы, растворы на основе природной гидравлической извести [1—5]. Существует множество примеров исторических зданий с известковыми растворами, которые хорошо сохранились, что свидетельствует о том, что известковые растворы могут обладать достаточной долговечностью. Для повышения долговечности отделочного слоя на основе известковых растворов в их рецептуру вводят различные модифицирующие добавки [6—8]. Кроме того, выявлены также факторы, способствующие повышению срока службы известкового штукатурного раствора (использование мелкого заполнителя в штукатурках, специальные методы нанесения, например для штукатурок — последовательные слои с дифференцированными свойствами для предотвращения проникновения влаги в структуру, пропорции компонентов, тип и размер заполнителей) [9, 10]. Из этого следует, что система связующих является наиболее влиятельным параметром на долговременную прочность известковых растворных смесей. На основе этой концепции были разработаны и применены ремонтные материалы [11]. Разработка и применение совместимых и долговечных штукатурных

ремонтных растворов является актуальной научно-технической задачей в каждом проекте реставрации. Совместимость наносимых штукатурных растворов достигается за счет функционального сродства ремонтного раствора с оригиналом, которое может быть достигнуто за счет сопоставимой пористости, проницаемости и прочности, а также других важных свойств.

Представляет интерес рассмотрение некоторых известковых растворов, предназначенных в качестве реставрационных штукатурных растворов. Цель данной статьи — представить сравнительную оценку составов растворов, предназначенных для реставрации зданий исторической застройки и объектов культурного наследия, а также для отделки вновь возводимых зданий и сооружений.

Материалы и методы исследования

Рассматривались 11 составов штукатурных растворов, в том числе чисто известково-песчаный и цементно-песчаный раствор. Для приготовления цементно-песчаного раствора применяли цемент производства ООО «Азия Цемент» марки ЦЕМ I 42,5Н. Известково-песчаный раствор изготавливали на основе гашеной извести (пушонки) активностью 74 % (ГОСТ 9179—18).

Для сравнения в работе в качестве вяжущего применяли натуральную гидравлическую известь «Тамасли» NHL5 с гидравлическим модулем $M = 2,69$ и искусственную гидравлическую известь HL, полученную на основе воздушной извести с применением пуццолановых добавок, цемента.

В качестве пуццолановой добавки в работе применяли высокоактивный метакраин ВМК-45 ($S_{уд} = 1700 \text{ м}^2/\text{кг}$) с содержанием (в % по массе) SiO_2 — 53, Al_2O_3 — 42 и пуццолановой активностью 1210 мг/г (ООО «Синерго», РФ); диатомит марки NDP-D-230 (г. Никольск, Пензенская обл.); микрокремнезем МК-85 с насыпной плотностью 150...399 кг/м³, удельной поверхностью 12 000 м²/кг (ГОСТ Р 58894—2020). Состав диатомита представлен следующими оксидами, %: SiO_2 — 84...87; Al_2O_3 — 5,5...6; Fe_2O_3 — 2,5...3; CaO — 0,61.

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

Штукатурные растворы были изготовлены с применением в качестве заполнителя сурского кварцевого песка фракции 0,14...0,315 с соотношением «вяжущее : песок» = 1 : 3. Плотность песка составляла 1527 кг/м³. В качестве структурирующей добавки в рецептуру вводили микрокальцит марки КМ2 (ГОСТ 56775—2015) в количестве 25 %.

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.

Результаты

Составы раствора и результаты исследований приведены в табл.

Свойства растворов

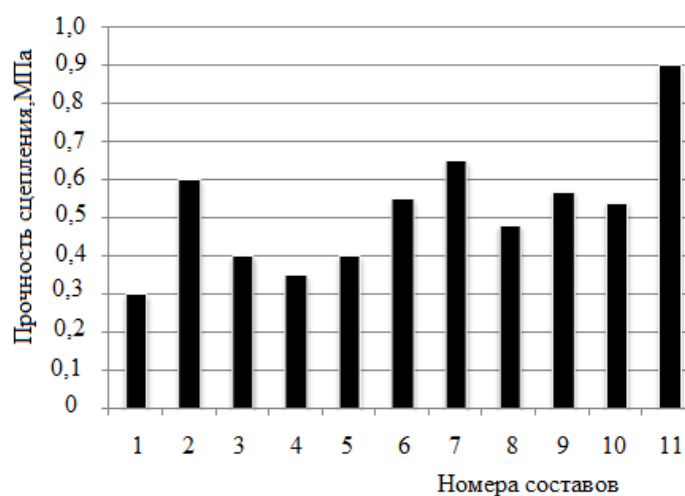
Вид вяжущего	Плотность, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа	Пористость, %
1. Воздушная известь	1580	0,6	32
2. Гидравлическая известь NHL 5	1700	1,4	30
3. Воздушная известь + портландцемент 30 %	1690	1,2	31
4. Воздушная известь + 10 % микрокремнезем	1610	0,75	31
5. Воздушная известь + 20 % микрокремнезем	1630	0,83	30,5
6. Гидравлическая известь NHL 5 + 25 % воздушная известь	1680	1,1	30
7. Гидравлическая известь NHL 5 + 10 % диатомит	1730	1,53	29
8. Воздушная известь + 20 % метаксаолин	1640	0,79	29
9. Воздушная известь + 50 % метаксаолин	1650	1,12	29
10. 40 % воздушная известь + +25 % цемент + 10 % метаксаолин + + 25 % микрокальцит	1654	1,28	28
11. Цемент	1900	5,3	28

Анализ результатов исследований, приведенных в табл., показывает, что введение в рецептуру известкового раствора метаксаолина ВМК (составы 8, 9) значительно повышает прочность известкового раствора на сжатие в условиях воздушно-сухого твердения, составляющую в возрасте 28 сут $R_{сж} = 0,79...1,12$ МПа в зависимости от дозировки метаксаолина. Полученные результаты согласуются с литературными данными [12—15].

Введение метаксаолина в рецептуру известкового раствора способствует также повышению прочности сцепления (рис.). По сравнению с контрольным образцом прочность сцепления увеличилась с 0,3 до 0,57 МПа (составы 1, 8, 9). Повышение прочности сцепления объясняется пуццолановой реакцией метаксаолина, которая усиливает образование геля гидросиликата кальция (C-S-H), улучшая микроструктуру и адгезионные свойства раствора.

Введение пуццолановых добавок в рецептуру растворов на основе гидравлической извести способствует повышению прочности при сжатии с 1,4 до 1,53 МПа и повышению прочности сцепления с 0,6 до 0,65 МПа (составы 2, 6, 7).

Сопоставление свойств раствора на основе искусственной гидравлической извести HL (составы 3, 9, 10) со свойствами раствора на основе натуральной гидравлической извести NHL (состав 2) показывает, что предлагаемая рецептура искусственной гидравлической извести обеспечивает требования национальных и международных нормативных документов (DIN 18550) в части достижения минимального значения предела прочности при сжатии, равного 1,0 МПа.



Прочность сцепления штукатурного раствора с подложкой

Цементные растворы имеют более однородное распределение размеров пор и более низкую открытую пористость, составляющую 28 % (состав 11). Значение прочности при сжатии составляет 5,3 МПа, прочности сцепления — 0,9 МПа. Чисто цементные растворы показывают лучшие показатели механических характеристик, чем известковые растворы, однако следует отметить, что цементные растворы имеют более низкую паропроницаемость. Поэтому анализ целесообразности применения цементных штукатурных растворов следует проводить с точки зрения совместимости со старыми стенами, учитывая паропроницаемость нанесенного штукатурного слоя и возможность скопления влаги на границе контакта со стеной реставрируемого объекта. Поэтому с этой точки зрения нет необходимости добиваться высоких значений прочности.

Выводы

Установлено, что для реставрации зданий исторической застройки в качестве штукатурного раствора следует применять растворы на основе воздушной извести с применением пуццолановых добавок, а также на основе искусственной и натуральной гидравлической извести, обеспечивающие паропроницаемость отделочного слоя, сродство структур с реставрируемым объектом, а также достаточные механические характеристики. Окончательный выбор рецептуры известковых штукатурных растворов должен проводиться с учетом оценки потенциала известковых растворов в зависимости от ожидаемых условий эксплуатации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пухаренко Ю. В., Харитонов А. М., Шангина Н. Н., Сафонова Т. Ю. Реставрация исторических объектов с применением современных сухих строительных смесей // Вестн. гражданских инженеров. 2011. № 1. С. 98—103.
2. 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. P. 5169.

3. New natural hydraulic lime mortars-physical and microstructural properties in different curing conditions / J. Grilo, P. Faria, R. Veiga, A. S. Silva, V. Silva, A. Velosa // *Constr. Build. Mater.* 2014. Vol. 54. Pp. 378—384. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2013.12.078.
4. Maravelaki-Kalaitzaki P., Bakolas A., Karatasios I., Kilikoglou V. Hydraulic lime mortars for the restoration of historic masonry in Crete // *Cem. Concr. Res.* 2005. Vol. 35. Pp. 1577—1586. DOI: 10.1016/j.cemconres.2004.09.001.
5. Silv B. A., Ferreira Pinto A. P., Gomes A. Natural hydraulic lime versus cement for blended lime mortars for restoration works // *Constr. Build. Mater.* 2015. Vol. 94. Pp. 346—360. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.06.058.
6. Логанина В. И., Макарова Л. В., Тарасов Р. В., Давыдова О. А. Оптимизация состава композитов общестроительного назначения, модифицированных наноразмерными добавками // *Региональная архитектура и строительство.* 2010. № 2. С. 53—57.
7. 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.
8. Никифоров Е. А., Логанина В. И., Симонов Е. Е. Влияние щелочной активации на структуру и свойства диатомита // *Вестн. Белгор. гос. технол. ун-та им. В. Г. Шухова.* 2011. № 2. С. 30—32.
9. Papayianni I., Papadimitriou D. Lime based mortars-relationships between composition parameters and mechanical strength // *Proceedings of the 5th Historic Mortars Conference* / Eds. J. I. Álvarez, J. M. Fernández, I. Navarro et al. Paris, France : RILEM Publications SARL, 2019. Pp. 1316—1324.
10. Characterization of repair mortars for the assessment of their compatibility in restoration projects: research and practice / L. Schueremans, Ö. Cizer, K. van Balen, G. Serré, E. Janssens // *Construction & Building Materials.* 2011. Vol. 25. Iss. 12. Pp. 4338—4350.
11. Groot C., Ashall G., Hughes J. Characterisation of old mortars with respect to their repair — final report of RILEM TC 167-COM. Paris : RILEM, 2004.
12. Faria P., Martins A. Influence of cure conditions on lime and lime-metakaolin mortars // *XII DBMC — 12th International Conference on Durability of Building Materials and Components.* 2011. Pp. 1—8.
13. Gameiro A., Santos-Silva A., Veiga R., Velosa A. Hydration products of lime-metakaolin pastes at ambient temperature with ageing // *Thermochim. Acta.* 2012. Vol. 535. Pp. 36—41. DOI: 10.1016/j.tca.2012.02.013.
14. Gameiro A., Santos-Silva A., Veiga M. R., Velosa A. L. Phase and microstructural characterization of lime-MK blended mixes // *Mater. Sci. Forum.* 2012. Vol. 730. Pp. 135—140. DOI: 10.4028/www.scientific.net/msf.730-732.135.
15. Pontes J., Santos-Silva A., Faria P. Evaluation of pozzolanic reactivity of artificial pozzolans // *Mater. Sci. Forum.* 2012. Vol. 730. Pp. 433—438. DOI: 10.4028/www.scientific.net/msf.730-732.433.

© Логанина В. И., Зайцева М. В., 2026

Поступила в редакцию
24.01.2026

Ссылка для цитирования:

Логанина В. И., Зайцева М. В. Выбор штукатурного раствора для реставрации объектов культурного наследия // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета.* Серия: Строительство и архитектура. 2026. Вып. 3(104). С. 155—160. DOI: 10.35211/18154360_2026_3_155.

Об авторах:

Логанина Валентина Ивановна — д-р техн. наук, проф., зав. каф. управления качеством, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (ПГУАС). Российская Федерация, 440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28; loganin@mail.ru

Зайцева Мария Владимировна — канд. техн. наук, доц. каф. международного бизнеса, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова. Российская Федерация, 109992, г. Москва, Стремянный пер. 36; zajc@yandex.ru

Valentina I. Loganina^a, Maria V. Zaytseva^b

^a **Penza State University of Architecture and Construction**

^b **Plekhanov Russian University of Economics**

CHOOSING A PLASTER MORTAR FOR THE RESTORATION OF CULTURAL HERITAGE SITES

This article is devoted to a comparative evaluation of mortar compositions intended for the restoration of historic buildings and cultural heritage sites. Eleven plaster mortar compositions were considered, as well as a pure lime-sand mortar and a cement-sand mortar. Tamasli NHL5 lime was used as the hydraulic lime. The hydraulic modulus of the lime was $M = 2.69$. Cement grade CEM I 42.5N was used to prepare the cement-sand mortar. The lime-sand mortar was made from slaked lime (fluff) with an activity of 74 %. Highly active metakaolin VMK-45, diatomaceous earth NDP-D-230, and microsilica MK-85 were used as pozzolanic additives in the study. It was found that the addition of pozzolanic additives to the lime mortar formulation increases the compressive strength and adhesion of the plaster mortar under air-dry curing conditions. It was found that plaster mortars based on artificial hydraulic lime comply with the requirements of national and international standards (DIN 18550) for minimum compressive strength. Cement mortars have a more uniform pore size distribution, lower open porosity, and higher compressive strength and adhesion to the substrate. However, due to the lower vapor permeability of the plaster layer, there is a possibility of moisture accumulation at the interface with the wall of the object being restored. For reasons of compatibility with old walls being restored and considering the law of structural affinity, there is no need to achieve high strength values. We do not recommend using cement-based plaster for restoration.

Key words: restoration mortars, lime, pozzolanic additives, strength.

For citation:

Loganina V. I., Zaytseva M. V. [Choosing a plaster mortar for the restoration of cultural heritage sites]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2026, iss. 3, pp. 155—160. DOI: 10.35211/18154360_2026_3_155.

About authors:

Valentina I. Loganina — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Penza State University of Architecture and Construction (PSUAS). 28, Titova st., Penza, 440028, Russian Federation; loganin@mail.ru

Maria V. Zaytseva — Candidate of Engineering Sciences, Plekhanov Russian University of Economics. 36, Stremenny Lane, Moscow, 109992, Russian Federation; zajc@yandex.ru