

**Ремонтно-реставрационный раствор на основе гидравлической
строительной извести**

Г.Н. Хаджишалапов¹, П.Д. Батаева², Х.М. Батаева², А.Д. Батаев²

¹Дагестанский государственный технический университет,

¹367015, г. Махачкала, проспект Имама Шамиля, 70, Россия,

²Комплексный научно-исследовательский институт им. Х.И. Ибрагимова РАН,

²364051, г. Грозный, В. Алиева (Старопромысловское шоссе), 21а, Россия

Резюме. Цель. В настоящем исследовании представлены результаты разработки и исследования ремонтно-реставрационных составов на основе гидравлической извести и белого цемента, а также их физико-механические свойства и химический состав. **Метод.** В работе использовались экспериментальный метод разрушающего и неразрушающего контроля качества строительных материалов и рентгенофазовый анализ для определения минералогического состава образцов. **Результат.** Проведены физико-механические испытания образцов с целью подбора реставрационного состава для каменной кладки стен памятников истории и культуры башенного типа. **Вывод.** Разработанные ремонтно-реставрационные составы на основе гидравлической извести и белого цемента обладают удовлетворительными физико-механическими свойствами, что делает их перспективными для использования в реставрации и реконструкции объектов культурного наследия. Полученные результаты подтверждают возможность применения данных составов в строительной практике, что будет способствовать сохранению культурного наследия.

Ключевые слова: гидравлическая известь, белый цемент, ремонт, восстановление, реставрация, реконструкция, объекты культурного наследия, памятники истории и культуры

Для цитирования: Г.Н. Хаджишалапов, П.Д. Батаева, Х.М. Батаева, А.Д. Батаев. Экспериментальный подбор ремонтно-реставрационного состава раствора на основе гидравлической строительной извести. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2025;52(2):227-234. DOI:10.21822/2073-6185-2025-52-2-227-234

**Experimental selection of a repair and restoration composition of a solution based
on hydraulic construction lime**

G.N. Khadzhishalapov¹, P.D. Bataeva², Kh.M. Bataeva², A.D. Bataev²

¹Daghestan State Technical University,

¹70 I. Shamil Ave., Makhachkala 367015, Russia,

²Kh.I. Ibragimov Integrated Research Institute of the Russian Academy of Sciences,

²364051, Grozny, V. Aliyeva (Staropromyslovskoe shosse), 21a, Russia

Abstract. Objective. This study presents the development and investigation of repair and restoration compositions based on hydraulic lime and white cement, as well as their physical and mechanical properties and chemical composition. **Method.** The work used an experimental method of destructive and non-destructive quality control of building materials and X-ray phase analysis to determine the mineralogical composition of the samples. **Result.** Physical and mechanical tests of the samples were carried out in order to select a restoration composition for the stone masonry of the walls of tower-type historical and cultural monuments. **Conclusion.** The developed repair and restoration compositions based on hydraulic lime and white cement have satisfactory physical and mechanical properties, which makes them promising for use in the restoration and

reconstruction of cultural heritage sites. The results confirm the possibility of using these compositions in construction practice, which can contribute to the preservation of cultural heritage.

Key words: hydraulic lime, white cement, repair, restoration, reconstruction, cultural heritage sites, historical and cultural monuments

For citation: G.N. Khadzhashalapov, P.D. Bataeva, H.M. Bataeva, A.D. Bataev. Experimental selection of repair and restoration composition of mortar based on hydraulic building lime. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2025;52(2):227-234. (In Russ) DOI:10.21822/2073-6185-2025-52-2-227-234.

Введение. Российская Федерация богата объектами культурного наследия (памятниками истории и культуры) федерального значения и объектами, обладающими признаками памятников истории и культуры. Значительное количество объектов культурного наследия сосредоточено на Юге России в Северо-Кавказском федеральном округе (СКФО). К ним относятся объекты древнего периода и средневековья, такие как циклопические строения, боевые, полубоевые и жилые башни, скальные убежища, отдельные заградительные стены, склепы, святилища, храмы и менгиры, которых можно сгруппировать в три основных вида: объекты культурного наследия (ОКН) оборонительного характера, религиозного характера и погребального характера [1, 2].

Состояние объектов культурного наследия СКФО по степени разрушенности следующее: 60% объектов сильно разрушены (разрушение составляет 70% ÷ 100%); 30% – имеет среднее разрушение (разрушение составляет 30% ÷ 60%); 10% – имеет слабое разрушение (разрушение составляет 0% ÷ 20%).

Федеральным центром и правительствами Северо-Кавказских республик принимаются определенные меры по воссозданию, ремонту и реставрации объектов культурного наследия, но эти меры недостаточны, учитывая большой массив памятников истории и культуры в регионе: более 2500 боевых, полубоевых и жилых башен с пристройками, более 2000 склепов, святилищ и храмов и около 500 циклопических построек, скальных убежищ и отдельных заградительных стен и сооружений.

Постановка задачи. Каменная кладка при ремонте и восстановлении памятников истории и культуры башенного типа выполняется с использованием растворов на современных вяжущих веществах, а применяемые в настоящее время методы ремонта и усиления конструкций памятников сводятся, в основном, к наращиванию новых слоев из обычного бетона, созданию стальных обоев, или полной замене конструктивов, что противоречит предъявляемым требованиям. Поэтому разработка ремонтно-реставрационных составов, приближенных к оригинальным, является задачей важной и актуальной.

Лабораторными исследованиями, выполненными в Комплексном научно-исследовательском институте (КНИИ) имени Х.И. Ибрагимова РАН в соответствии с нормированной методикой, установлено, что раствор штукатурки и каменной кладки объектов культурного наследия содержат: гашеную известь (гидравлическую и гидратную), каустический доломит, каустический магнезит, доломитовую известь, сланцевую крошку, обожженную глину - цемянку, казеиновый компонент, древесную золу и др. Известь встречается, в основном, гидравлическая, казеиновый компонент присутствует в виде обезжиренного творога, сыворотки, кефира или простокваши. В составе кладочного раствора и штукатурки встречаются также природные и искусственные кислые гидравлические добавки: зола или вулканический пепел - пемза, мелкая кирпичная или керамическая крошка, толченая обожженная глина для колорирования и активизации известкового вяжущего.

Казеин является биологической добавкой, которая усиливает клеящие свойства и адгезию. Казеиновый компонент используется и как вяжущее, и как замедлитель схватывания композита. В свою очередь, древесная зола, повышая гидравлические свойства, повышает трещиностойкость, снижает теплопроводность, применяется в качестве искусственной кислой гидравлической добавки [3].

В большинстве случаев в качестве вяжущего применяется гидравлическая известь, наряду с использованием гипсового, ангидритового и доломитового вяжущего. Использование в качестве вяжущего гидравлической извести, полученной из мергелей и мергелистых известняков, способствует твердению раствора каменной кладки и штукатурки в воздушной и влажной средах. Образующаяся при обжиге карбонатных пород углекислота (C_2O) реагирует с оксидами SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , содержащими в минералах глины (Al_2O_3), синтезируя силикаты $2C_2O SiO_2$, алюминаты $C_2O Al_2O_3$ и ферриты кальция $2C_2O Fe_2O_3$, которые обладают гидравлическими свойствами, то есть способностью твердеть в сухих воздушных и влажных условиях.

Методы исследования. Результаты исследований, выполненные в КНИИ имени Х.И. Ибрагимова РАН, показывают, что гипсовое, ангидритовое, известковое и магнезиальное вяжущее усиливает прочностные и гидравлические характеристики, положительно сказывается на структурообразование, повышая оригинальность раствора каменной кладки и штукатурки [4-6, 12]. С учетом требований ГОСТ 28013-98 «Растворы строительные. Общие технические условия» [7-8] приняты четыре марки ремонтно-реставрационных смесей по подвижности, которые представлены в табл. 1.

Таблица 1. Марки растворов смесей по подвижности

Table 1. Grades of mortar mixtures by mobility

Марка по подвижности Brand by mobility Π_k	Глубина погружения конуса, см Cone immersion depth
1	2
Π_{k1}	1-4
Π_{k2}	5-8
Π_{k3}	9-12
Π_{k4}	13-16

Соотношения и пропорции компонентов (гидравлической извести, сланцевой крошки, доломитового песка, цемянки, древесной золы, казеинового компонента и пр.) в зависимости от требуемой марки раствора каменной кладки и штукатурки представлены в табл. 2.

Таблица 2. Экспериментальные составы раствора для каменной кладки стен старинных башенных и некропольных строений на одну балочку 4x4x16 см

Table 2. Experimental mortar compositions for masonry of walls of ancient tower and necropolis buildings for one beam 4x4x16 cm

№ составов № compositions	Сланцевая крошка, гр. Shale chips, gr.	Доломитовый песок фр. 0-2,5, гр. Dolomite sand fr. 0-2.5, gr.	Цемянка, гр. Seменka, gr.	Вода, гр. Water, gr.	Гидравлическая известь Hydraulic lime	Известь пушонка, гр. Slaked lime, gr.	Древесная зола, гр. Wood ash, gr.
1	165	250	19	95	40	44	1
2	182	243	25	69	30	42	2
3	92	271	23	122	33	46	1
4	165	250	19	125	84	-	1
5	182	243	24	135	74	-	2
6	92	271	23	122	80	-	1
7	165	255	18	195	78	-	1
8	165	255	18	175	45	38	1
9	92	273	25	175	85	-	1
10	190	242	18	170	72	-	2
11	190	254	18	170	74	35	1
12	92	273	24	160	55	32	1

Обсуждение результатов. Марки ремонтно-реставрационных составов определялись испытанием балочек 40 x 40 x 160 мм на сжатие в возрасте 28 суток при температуре

твердения $21 \pm 2^\circ\text{C}$. В табл. 3 приведены физико-механические свойства экспериментальных составов ремонтно-реставрационного раствора.

Таблица 3. Физико-механические свойства экспериментальных составов ремонтно-реставрационного раствора

Table 3. Physical and mechanical properties of experimental compositions of repair and restoration mortar

№ экспериментальных составов No. of experimental compositions	Прочность на растяжение при изгибе, kg/cm^2 Tensile strength in bending, kg/cm^2	Прочность на сжатие, kg/cm^2 Compressive strength, kg/cm^2
1	2,25	19,7
2	2,15	16,2
3	1,87	5,5
4	2,35	20,4
5	0,95	6,2
6	2,05	6,3
7	2,21	46,7
8	2,14	47,7
9	1,8	21,5
10	2,3	25,7
11	0,95	33,3
12	2,07	19,5

В качестве активного вяжущего для приготовления ремонтно-реставрационного состава в экспериментальных целях был использован белый цемент (СЕМ 1.52,5 R) схожий по своим свойствам с гидравлической известью. Для определения прочностных характеристик в возрасте 7 и 28 суток и определения наиболее оптимальных составов ремонтно-реставрационных смесей было приготовлено 77 пробных замесов с применением белого цемента (СЕМ 1.52,5 R) в различных соотношениях, из которых формовались образцы-кубы размерами $70,7 \times 70,7 \times 70,7$ мм и образцы-балочки $160 \times 40 \times 40$ мм.

В результате испытаний отобраны наиболее оптимальные составы ремонтно-реставрационных смесей №1 - №9 с марками М10, М25, М50 и М75 для определения марок по подвижности и морозостойкости. Результаты представлены в табл. 4.

Таблица 4. Экспериментальные составы раствора для каменной кладки и штукатурки стен объектов культурного наследия на 1 м^3

Table 4. Experimental compositions of mortar for masonry and plastering of walls of cultural heritage sites per 1 m^3

№ состава № compositions	Сланцевая крошка, кг Shale chips.	Доломитовый песок, кг. Dolomite sand	Цемянка, кг. Seменка, kg.	Вода, л. Water	Гидратная известь кг. Hydraulic lime	Древесная зола, кг. Wood ash, kg.	Белый цемент СЕМ 1.52,5R кг. White cement СЕМ 1.52.5R kg.	Казеиновый клей, кг. Casein glue, kg
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	620	990	75	354	175	4	155	-
2	625	1160	74	293	125	9	110	1,5
3	1245	160	145	265	135	6	97	-
4	715	960	92	274	164	7	125	-
5	1345	270	120	325	185	10	124	-
6	355	1065	95	405	180	5	133	-
7	264	1450	115	163	115	6	-	2,7
8	153	1385	93	292	144	12	-	2,3
9	128	1403	110	2387	93	11	-	2,1

Прочности ремонтно-реставрационных растворов в возрасте до 28 суток для каменной кладки и штукатурки представлены в табл.5. В табл.5 за 100% принята прочность ремонтно-реставрационного раствора в возрасте 28 суток при температуре твердения $21 \pm 2^\circ\text{C}$.

Таблица 5. Прочность ремонтно-реставрационных растворов для каменной кладки и штукатурки
Table 5. Strength of repair and restoration mortars for masonry and plaster

Возраст, суток Age, days	Температура твердения, °C Curing temperature						
	1	5	10	20	30	40	50
Прочность раствора, % Solution strength							
1	2	4	5	12	22	34	44
2	4	7	13	25	37	55	77
3	6	12	19	34	48	65	87
7	17	27	38	57	75	88	103
14	35	48	65	84	95	105	-
21	45	59	75	93	104	-	-
28	54	69	86	105	-	-	-

Физико-механические свойства экспериментальных составов ремонтно-реставрационного раствора представлены в табл. 6.

Таблица 6. Физико-механические свойства экспериментальных составов ремонтно-реставрационного раствора

Table 6. Physical and mechanical properties of experimental compositions of repair and restoration mortar

№	Размер образца, мм Sample size, mm	Возраст, суток Age, days	Масса образца, г Sample weight, g	Предел прочности при сжатии, кгс/см ² Compressive strength	Циклы морозостойкости Frost resistance cycles	Погружение конуса Cone immersion
1	2	3	4	5	6	7
1	70,7x70,7x70,7	28	510	78,7	85	6,5
2	70,7x70,7x70,7	28	470	27,6	30	12,5
3	70,7x70,7x70,7	28	475	25,7	36	3,8
4	70,7x70,7x70,7	28	515	50,5	45	5,5
5	70,7x70,7x70,7	28	467	52,5	35	5,4
6	70,7x70,7x70,7	28	485	57,5	72	6,8
7	70,7x70,7x70,7	28	484	14,2	15	1,5
8	70,7x70,7x70,7	28	467	24,6	20	2,7
9	70,7x70,7x70,7	28	477	24,7	18	2,3

На дифрактометре Shimadzu XRD-6000 выполнялись рентгенофазовые исследования, полученных образцов. С использованием электронного микроскопа РЭМ Quanta 3D 200i (США) и по снимкам, полученным с помощью данного микроскопа, изучалась морфология цементного камня [9]. В лабораторных условиях изготавливались изопластичные смеси, определялись показатели подвижности, затем из них формовались призмы 40 x 40 x 160 мм и кубы 70,7 x 70,7 x 70,7 мм. В табл. 7 представлены результаты исследований показателей подвижности ремонтно-реставрационного раствора.

Таким образом получили следующие составы с компонентами в весовых частях (сланцевая крошка 0-5 мм, доломитовый песок, известь-пушонка, белый цемент СЕМ 1.52,5; цемянка, зола древесная):

- М75 (состав №1) – 4,10:6,44:1,13:1,00:0,55:0,04;
- М50 (состав № 2) – 5,95:7,93:1,38:1,00:0,70:0,06;
- М50 (состав №3) – 2,74:8,17:1,345:1,00:0,73:0,03.

Повышение прочности на сжатие есть результат совместного воздействия продуктов новообразований всей системы. Об этом свидетельствуют рентгенограммы контрольного образца и образцов (1, 2, 3) (рис. 1).

Таблица 7. Результаты исследований ремонтно-реставрационного раствора
 Table 7. Results of research of repair and restoration solution

№ п/п	Компоненты состава в 1 кг/м ³ Composition components in 1 kg/m ³							Погружение конуса immersion	Подвижность растворной смеси Mobility of the solution mixture	Морозостойкость Frost resistance	Предел прочности при сжатии, МПа
	Сланцевая крошка Shale chips.	Доломитовый песок Dolomite sand	Известь-пушонка Slaked lime	Белый цемент CEM 1.52,5R White cement	Цемянка Семянка, kg.	Зола древесная Wood ash	Вода Water				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	627	985	173	155	77	4	355	6,4	П _к -2	85	7,8
2	714	955	164	125	94	7	274	5,5	П _к -2	44	5,2
3	355	1067	180	135	91	5	402	6,6	П _к -2	53	5,7

По кристаллографической и кристаллохимической базе данных для минералов и их структурных аналогов производилась идентификация минералов (WWW-MINCRYST).

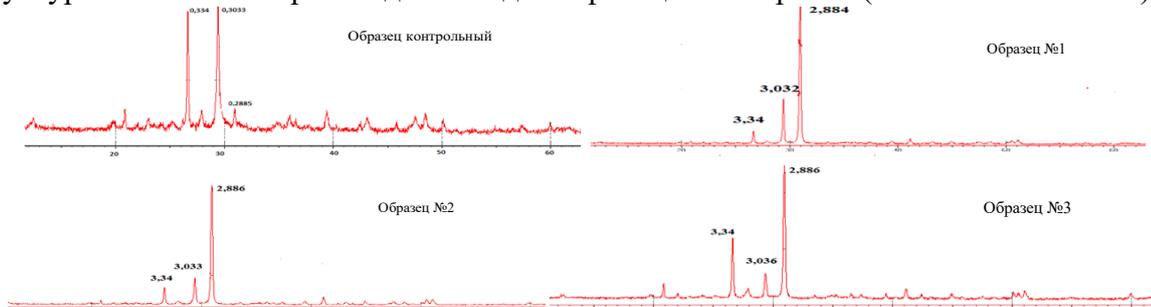


Рис. 1 – Рентгенограммы подобранных ремонтно-реставрационных составов
 Fig. 1 – Radiographs of selected repair and restoration compositions

С целью подтверждения экспериментальных данных, полученных рентгенофазовыми исследованиями растровым электронным микроскопом Quanta 3D 200i, определены химические составы образцов ремонтно-реставрационных составов (табл. 8). Результаты в виде спектров образцов показаны на рис. 2.

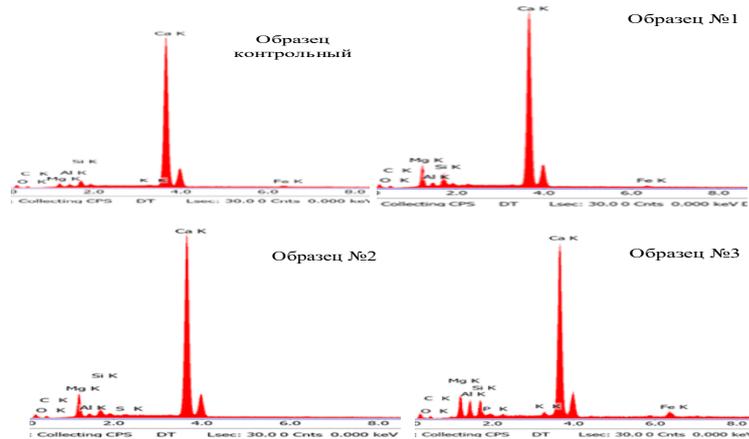


Рис. 2 – Спектры EDX образцов ремонтно-реставрационных составов
 Fig. 2 – EDX spectra of repair and restoration composition samples

Структура и морфология образцов ремонтно-реставрационных составов представлены микроскопическими фотографиями (рис. 3-6), из которых видно, что в образцах присутствуют большое количество мелких пор и частиц различной природы и размеров, не имеющих четко выраженных форм.

Таблица 8. Химический анализ образцов ремонтно-реставрационных составов

Table 8. Chemical analysis of samples of repair and restoration compounds

№ п/п	Элемент Element	Количественный состав образцов подобранных составов Quantitative composition of samples of selected compositions			
		Образец контрольный Control sample	Образец 1 Sample	Образец 2 Sample	Образец 3 Sample
1	2	3	4	5	6
1	CO ₂	20,45	33,5	37,85	19,80
2	MgO	3,03	7,85	11,33	8,15
3	Al ₂ O ₃	1,55	0,74	1,14	3,04
4	SiO ₂	4,75	3,93	3,91	6,42
5	SO ₃			0,52	
6	K ₂ O	0,32	1,17		
7	CaO	69,25	53,38	55,24	61,27
8	Fe ₂ O ₃	0,64	0,67		0,95

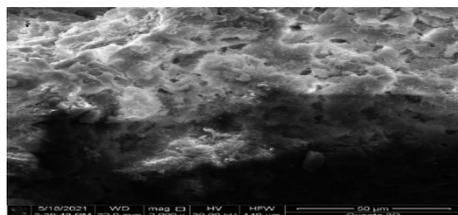


Рис. 3 – Образец контрольный

Fig. 3 – Control sample

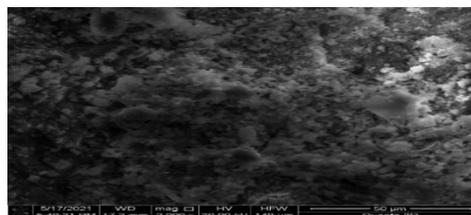


Рис. 4 – Образец № 1

Fig. 4 – Sample № 1

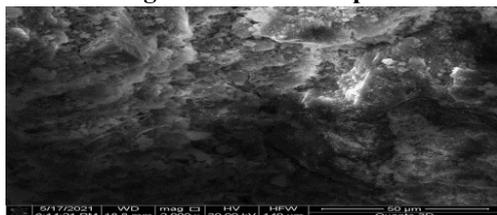


Рис. 5 – Образец № 2

Fig. 5 – Sample № 2

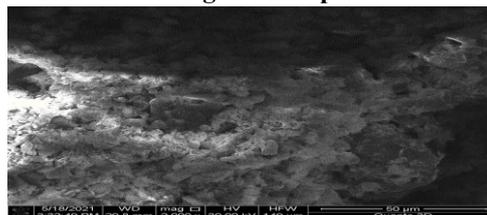


Рис. 6 – Образец № 3

Fig. 6 – Sample № 3

Вывод. Рентгенофазовый анализ подтверждает изменение межплоскостных расстояний в доломите, как минерале, в результате гидратационного твердения, на основании чего можно сделать вывод об участии доломитового компонента в физико-химических процессах формирования структуры ремонтно-реставрационного композита [10, 11].

Гидравлическая известь применяется для изготовления реставрационных, штукатурных и кладочных растворов, эксплуатируемых как в сухих, так и во влажных условиях и средах, а также для приготовления смешанных вяжущих. Практически вся каменная кладка и штукатурка объектов культурного наследия Северо-Кавказского федерального округа выполнена с использованием смешанных вяжущих в присутствии гидравлической извести. Долговечность ремонтных и реставрационных растворов на гидравлической извести сравнительно высока, поэтому памятники истории и культуры XV-XVI вв., уцелевшие от техногенных воздействий все еще сохранили свою несущую способность.

Библиографический список:

1. Батаева П.Д. Обзор составов и технологий для ремонта и реставрации объектов культурного наследия // Вестник Комплексного научно-исследовательского института им. Х.И. Ибрагимова Российской академии наук. – 2021. – № 5. – С. 49-53.
2. Батаева П.Д., Аларханова З.З. Многофункциональная химическая добавка для бетонных композитов // Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона». – № 6 (114). – 2024. – с. 469-478.
3. Бутт, Ю.М. Технология цемента и других вяжущих материалов – М: Стройиздат, 1976. – 407 с.
4. Вайвад, А.Я. Магнезиальные вяжущие вещества / А.Я. Вайвад. – Рига: Наука, 1971. – 315 с.
5. Волженский, А.В. Минеральные вяжущие вещества / А.В. Волженский. Технология и свойства: учебник. - 3-е изд., перераб. и доп. – М: Эколит, 2011. – 472 с.

6. Вологодский, Б.Ф. Инженерные работы при реставрации памятников архитектуры / Б.Ф. Вологодский. – М.: «Советская Россия», 1958. – С. 30.
7. ГОСТ 28013-98. «Растворы строительные. Общие технические условия».
8. ГОСТ Р557338-2016 «Растворы строительные для каменной кладки. Методы определения предела прочности на сжатие и изгиб».
9. Parrot L.I. Increase in Creep of Hardened Cement Past due to Carnonaion unde Load. - Magazine Concrete Research, 1975, IX, v.27, № 92, p. 181-187.
10. Schaffler H., Druckfestigkeit von dampfgehartetem Casbeton nach, vershildener lagerung. - In: Lightweight Concrete / RILEM, Göteborg, 1961, s. 62-78.
11. Vasicek I. Trvanlivost a odolnost autoklavovovanych porovitych betonu pri posobeni susnych Vnejsich jena. - Stavivo, 1965, N 6, p. 136-149.
12. П.Д. Батаева, З.З. Аларханова, Х.М. Батаева, А.Д. Батаев. Тепломассообмен в процессах декарбонизации и карбонизации воздушных и гидравлических известковых вяжущих веществ и ремонтно-реставрационных составов на их основе. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024;51(4):179-190. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-4-179-190.

References:

1. Bataeva P.D. Review of compositions and technologies for the repair and restoration of cultural heritage sites. *Bulletin of the Integrated Research Institute named after Kh.I. Ibragimov of the Russian Academy of Sciences*. 2021;5: 49-53. (In Russ)
2. Bataeva, P.D. Multifunctional chemical additive for concrete composites / P.D. Bataeva, Z.Z. Alarkhanova *Electronic scientific journal "Engineering Bulletin of the Don"*. 2024; (114): 469-478. (In Russ)
3. Butt, Yu.M. Technology of cement and other binders / Yu.M. Butt. - M: Stroyizdat, 1976; 407 p. (In Russ)
4. Vaivad, A.Ya. Magnesia binders. - Riga: Nauka, 1971;315 p.
5. Volzhensky, A. V. Mineral binders. *Technology and properties: textbook*. - 3rd ed., revised. and add. - M: Ekolite, 2011; 472 p. (In Russ)
6. Vologodsky, B. F. Engineering work in the restoration of architectural monuments. B. F. Vologodsky. M. : "Sovetskaya Rossiya", 1958; 30. (In Russ)
7. GOST 28013-98. "Building mortars. General specifications".(In Russ)
8. GOST R557338-2016 "Building mortars for masonry. Methods for determining the compressive and bending strength".(In Russ)
9. Parrot L.I. Increase in Creep of Hardened Cement Past due to Carnonaion unde Load. - *Magazine Concrete Research*, 1975; IX, 27 (92):181-187.
10. Schaffler H., Druckfestigkeit von dampfgehartetem Casbeton nach, vershildener lagerung. - In: Lightweight Concrete. *RILEM, Göteborg*, 1961; 62-78.
11. Vasicek I. Trvanlivost a odolnost autoklavovovanych porovitych betonu pri posobeni susnych *Vnejsich jena*. - *Stavivo*, 1965;6,:136-149.
12. P.D. Bataeva, Z.Z. Alarkhanova, Kh.M. Bataeva, A.D. Bataev. On the issue of forming the properties of restoration compositions based on air and hydraulic binders. *Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Sciences*. 2024;51(4):179-190.DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-4-179-190(In Russ)

Сведения об авторах:

Гаджимагомед Нурмагомедович Хаджишалапов, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология и организация строительного производства»; yarus-x@mail.ru

Петимат Денаевна Батаева, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории металлов, сплавов и композиционных материалов; bataeva_ggntu@mail.ru

Хава Маршаниевна Батаева, младший научный сотрудник лаборатории высокомолекулярных соединений; ya.vashka@mail.ru

Адам Денаевич Батаев, аспирант; adam.bataev1993@mail.ru

Information about the authors:

Gadzimagomed N. Hadzhishalapov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of the Department of Technology and Organization of Construction Production; yarus-x@mail.ru

Petimat D. Bataeva, Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher, Laboratory of metals, alloys and composite materials; bataeva_ggntu@mail.ru

Khava M. Bataeva, Junior Researcher, Laboratory of high-molecular compounds; ya.vashka@mail.ru

Adam D. Bataev, Postgraduate Student; adam.bataev1993@mail.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/Received 11.03.2025.

Одобрена после рецензирования/ Reveded 21.04.2025.

Принята в печать/Accepted for publication 19.05.2025.