

## РОМАНЦЕМЕНТ – МАТЕРИАЛ СТРОИТЕЛЬНОГО НАСЛЕДИЯ

**P.P. Сагдиев**, *ruslan-kgasu@yandex.ru*

**С.В. Белов**, *jerryccjj@gmail.com*

*Казанский государственный архитектурно-строительный университет,  
Казань, Россия*

**Аннотация.** Постановка задачи. Актуальность использования вяжущего вещества – романцемента – как реставрационного материала состоит в том, что много зданий культурного наследия XVII–XVIII веков в России и за рубежом требуют реконструкции, но не современными системами, такими как вентилируемый фасад или «мокрый фасад», а аутентичными материалами на основе романцемента. Аутентичность заключается в его неповторимой структуре, которая получается после высыхания штукатурного состава на основе романцемента. Данный материал имеет ряд преимуществ: пропускает пар и влажность, за счёт чего фасад дышит, не появляются разного вида грибки и плесень, имеет небольшой вес по сравнению со штукатурной смесью на основе портландцемента, имеет красивую текстуру. А также состав на основе романцемента превосходно показал свои свойства при реконструкции фасадов зданий, ранее отделанных романцементом, так как замечательно держался на старой штукатурке, увеличивая их срок службы. Целью данной статьи является обзор производства и применения романцемента XVII–XVIII веков для отделки фасадов и лепнин. Задачей является анализ на основе проведенного обзора преимуществ и недостатков романцемента, опыта его производства и использования с учетом состава материалов фасадов объектов культурного наследия, обоснование перспективности исследования и совершенствования состава и свойств романцемента. **Результаты.** Результатом является определение необходимых эксплуатационных свойств романцемента как строительного материала для фасадов при реконструкции и реставрации. **Выводы.** Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что романцемент является одним из немногих материалов, обладающих составом и структурой, совместимой с памятниками архитектуры, пригодной для проведения реставрационных работ.

**Ключевые слова:** архитектурные памятники, романцемент, реставрация, штукатурка, лепнина

**Для цитирования.** Сагдиев Р.Р., Белов С.В. Романцемент – материал строительного наследия // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2023. Т. 23, № 2. С. 64–72. DOI: 10.14529/build230208

Review article  
DOI: 10.14529/build230208

## ROMAN CONCRETE: THE MATERIAL OF CONSTRUCTION HERITAGE

**R.R. Sagdiyev**, *ruslan-kgasu@yandex.ru*

**S.V. Belov**, *jerryccjj@gmail.com*

*Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia*

**Abstract.** Statement of the problem. Many cultural heritage buildings of 17th–18th centuries in Russia and abroad require reconstruction not by modern systems such as ventilated facade or “wet facade”, but by authentic materials based on roman concrete. The authenticity lies in its unique structure, which is obtained after the drying of the plaster composition based on roman concrete. This material has a number of advantages: it permits the movement of steam and moisture, allowing the façade to breathe and preventing the growth of fungi and mold; it is lighter than plaster mixes based on Portland cement; and the texture is aesthetically pleasing. Compositions based on roman concrete have demonstrated their applicability in facade reconstruction, since it perfectly retains the old plaster, increasing service life. The purpose of this article is to give an overview of the production and use of roman concrete in the 17th and 18th centuries for finishing facades and stucco. Our task is to review and analyze the advantages and disadvantages of roman concrete and the experience of its production and use, and justify the prospects of researching and improving its composition and properties. **Results.** We define the necessary performance properties of roman concrete for the reconstruction and restoration of facades. **Conclusions.** Roman concrete is one of the few materials with a composition and structure compatible with architectural monuments that is suitable for restoration.

**Keywords:** architectural monuments, roman concrete, restoration, plaster, stucco

**Для цитирования.** Sagdiyev R.R., Belov S.V. Roman concrete: the material of construction heritage. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture.* 2023;23(2):64–72. (in Russ.). DOI: 10.14529/build230208

### Введение

Гидравлические вяжущие вещества, известные как природный или натуральный цемент, были основными материалами для эффективного и простого производства лепнины для наружной части зданий в течение девятнадцатого и начале двадцатого веков. Романцементы производились путём добычи в естественных залежах и прокаливания карбоната кальция, богатого глинистыми минералами. Они отличались от других гидравлических вяжущих веществ главным образом очень быстрыми сроками схватывания, привлекательной текстурой и цветом, малой усадкой при схватывании и отличной устойчивостью к атмосферным воздействиям. Впервые они были произведены в Англии в 1796 году, когда Джеймс Паркер запатентовал цемент, известный как цемент Паркера или романцемент. Материал был получен путём обжига глиносодержащих известковых смесей, расположенных в лондонских глинистых пластах на острове Шеппи, Англия. Несмотря на подразумеваемую связь с римскими вяжущими веществами, романцемент Паркера был настоящим гидравлическим цементом, сильно отличавшимся от гидравлических вяжущих веществ, использовавшихся римлянами, в которых пуццолановые материалы, не цементирующиеся сами по себе, соединялись с известью в присутствии воды, образуя нерастворимые соединения, обладающие цементирующими свойствами. Романцементные растворы в основном использовались в строительстве, где каменная кладка подвергалась воздействию влаги и требовались высокие показатели прочности и долговечности.

Романцементные растворы были настоятельно рекомендованы в современной технической литературе [1] и учебниках для штукатуров как технологичные материалы для нанесения штукатурки (в частности, для лепнины и литья). Они широко использовались для простого изготовления орнаментов и облицовки экстерьера зданий в период европейского историзма и модерна (XIX – начало XX века). Романцемент сегодня часто называют эквивалентом гипсовой штукатурки, поскольку он обеспечивает такую же скорость схватывания и манипуляций, как и гипс, но при этом может эффективно противостоять внешним условиям. Уникальные свойства этого вяжущего вещества и особые методы его использования позволили мастерам разработать стилистический язык архитектурного декора, который сегодня определяет эстетический облик центральных районов большинства европейских городов [3].

В Великобритании во второй половине XIX века использование романцемента постепенно сократилось, его вытеснил новый материал – портландцемент, который стал доминировать на рынке. Напротив, из источников [1] известно, что, например, в Австро-Венгрии в 1887 году количество произведенного романцемента было в пять раз больше, чем портландцемента или гидравличе-

ской извести [1]. В годы после Первой мировой войны доминирование на рынке портландцемента и функциональная архитектура XX века с полным отсутствием орнамента привели к быстрому сокращению производства и использования романцемента.

Отсутствие соответствующих вяжущих материалов – таких же, как те, что были доступны мастерам XIX века – долгое время лишало архитекторов-реконструкторов оригинальной исторической технологии для ремонта и консервации таких объектов. Еще одной проблемой было отсутствие широкой информации о характеристиках материала, поведении при старении и подходящих технологиях защиты и восстановления, что привело к недостаточному пониманию необходимости высококачественных ремонтных работ. Несмотря на то, что существует целый ряд архивных источников, описывающих сырье, процесс производства, состав растворов, а также технологии применения и ремесла [1, 2,], качество этой литературы не соответствует действительности, поскольку оно непостоянно из-за изменения региональных рынков, научного подхода и методологии в рассматриваемый период, т. е. с конца XVIII по начало XX века.

Лишь относительно недавно, с ростом интереса к европейскому искусству конца XIX – начала XX веков, были предприняты попытки исследовать описанные выше исторические факты и разработать стратегии и верные меры по их сохранению. Проект RENDEC (1997–1999 гг.) предоставил обширную информацию об исторических цементах и строительных растворах, использовавшихся в Центральной Европе в период около 1900 года [3]. Cailleux и др. [2] оценили свойства, микроструктуру и механизмы разрушения исторических бетонов, изготовленных с использованием натуральных цементов из французского региона Рона-Альпы. Французский натуральный цемент Prompt до сих пор производится компанией Vicat путем обжига мергеля при умеренных температурах в Шартрузе в Ронийских Альпах и является единственным натуральным цементом, производимым в Европе. Pessonі и др. [4] предоставили информацию о петрографических, минералогических и химических характеристиках «искусственных камней», использовавшихся для украшения дворцов во Флоренции в XIX и XX веках. Все исследованные материалы были растворами на основе гидравлических вяжущих, и об использовании натуральных цементов для производства отделки можно судить по присутствию негидратированного диоксида кремния (белита), обнаруженного в некоторых образцах. Vargas и др. охарактеризовали [2] гидравлические растворы, изготовленные с использованием испанских природных цементов в конце XIX века. В рамках проекта ROCEM, поддержанного Европейской комиссией в рамках 5-й Рамочной программы, были проведены подробные исследования исторических штукатурок

на основе романцемента и восстановлена практика применения этого исторического материала и технологии в практике консервации [4].

Романцементы получали из мергелей – известняков, содержащих глину, которые часто добывались в виде цементных камней, вкрапленных в глинистые или сланцевые отложения. Это природное сочетание известковых и аргиллитовых веществ требовало лишь умеренного прокаливания (800–1200 °С) ниже температуры спекания и последующего измельчения для получения прочного и долговечного вяжущего вещества. Успех получения цемента при низких температурах был обусловлен наличием в мергеле природной смеси извести и глины (источник кремнезема, глинозема и оксида железа), чего не удалось достичь в одной искусственной смеси [5, 6].

В классификации вяжущих веществ, приведенной на рис. 1, романцементы могут быть размещены между гидравлической известью и портландцементами. С точки зрения технологии изготовления романцементы отличаются от гидравлической извести тем, что в них мало свободной извести, и поэтому требуют измельчения, а не гашения. Минеральный состав романцемента отличается от портландцементов другим минеральным составом, возникающим в результате значительно более низкой температуры прокаливания [7]. В то время как  $C_2S$  (двухкальциевый силикат, белит) является основной гидравлической фазой в романцементах,  $C_3S$  (трехкальциевый силикат, алит) является основной фазой в обычном портландцементе.

Австрийский стандарт 1878 года, измененный в 1890 году, дает определение романцементов: «романцементы – это продукты, полученные из аргиллитовых мергелей путем обжига ниже температуры спекания. Они не расслаиваются при контакте с водой и поэтому должны быть измельчены до мучнистой тонкости». Стандарт определяет диапазон времени схватывания, что облегчает выбор подходящего материала для решения той или иной декоративной задачи: «Романцементы связываются быстро, средне и медленно [8]. Под быстросхватывающимися цементами следует понимать те, которые без добавления песка начинают твердеть в течение 7 минут с момента добавления воды. Романцемент считается медленно схватывающимся, если твердение начинается позже, чем через 15 минут». Другие характеристики, указанные в стандарте [9]: постоянство объема под водой и на воздухе, тонкость помола, а также прочность на растяжение и сжатие для различных цементов и возрастов, как указано в табл. 1.

#### Материалы и методы

Мергели, подходящие для использования в производстве романцементов, можно было обнаружить в различных геологических формациях. Самые известные английские романцементы были изготовлены путем прокаливания септариальных конкреций из эоценовых лондонских глин или из юрских и меловых формаций вдоль береговой линии. В континентальной Европе существовали месторождения, где добывался слоистый мергель, во Франции, особенно в юрских районах Бургундии и мело-

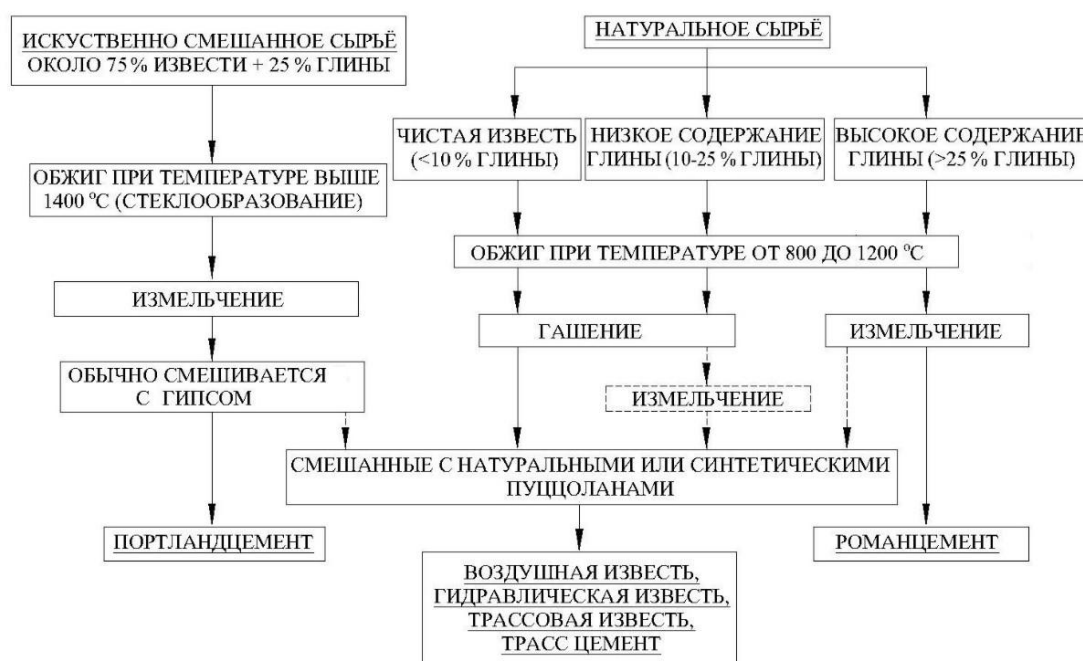


Рис. 1. Получение портландцемента и романцемента  
(авторы изображения D. Hughes, D. Jaglin, R. Kozlowski, N. Mayr, D. Mucha, J. Weber)

Таблица 1

Характеристики прочности для романцементных и портландцементных растворов, приведенные в австрийских стандартах 1878 и 1890 гг. [7]

Возраст	Прочность на разрыв (Н/мм <sup>2</sup> )			Прочность на сжатие (Н/мм <sup>2</sup> )		
	Романцемент 15 минут		Портланд цемент	Романцемент		Портланд цемент
	Быстрое твердение ≤15 мин	Медленное твердение >15 мин		Быстрое твердение ≤15 мин	Медленное твердение >15 мин	
7 суток	≥0,4	≥0,5	≥1	не указано		
28 суток	≥0,8	≥1	≥1,5	≥6	≥8	≥5

вом регионе около Гренобля. В Восточных Альпах добывали мергель юрского, мелового или эоценового возраста, например, в районе Бергамо на севере Италии, в Тироле, в окрестностях Зальцбурга и в районе к западу и югу от Вены. Другие важные места добычи находились в основном в Швейцарских Преральпах, в Южной Германии, Богемии и Галиции, современной Южной Польше.

Мраморный камень дробили на мелкие, размером с кулак, фрагменты и в основном обжигали в шахтных печах – ранний пример показан на рис. 2. Точный тип и размер этих печей варьировался, но с развитием индустриализации в XIX веке все большее число крупных заводов использовали батареи печей для производства романцемента [10, 11]. В качестве топлива применялись уголь, кокс, дрова или дерн. Температура обжига должна быть достаточно высокой, чтобы в значительной степени обеспечить разложение кальцита, но, с другой стороны, достаточно низкой, чтобы предотвратить спекание. В таких условиях даже в пределах одной партии были возможны различные степени прокаливания.

Неспособный растворяться при контакте с водой из-за отсутствия в нем свободной извести обожжённый романцементный «клинкер» измельчался в мелкий порошок. Затем его упаковывали,

как правило, в бочки по 250 кг или мешки по 60 кг и отправляли по железной дороге или по реке.

### Результаты и обсуждение

В ходе проекта ROCEM был обследован ряд исторических зданий по всей Европе, облицованных и украшенных романцементными растворами. Weber и др. [12] охватывали длительный период XIX и начала XX веков. Собранные образцы растворов представляли различные способы нанесения, от литых орнаментов до нанесенной штукатурки и элементов ручной работы. Очевидным фактом было то, что в целом сохранность исследованных элементов была превосходной.

Имеется широкий диапазон содержания заполнителей: для литых и вручную наносимых растворов содержание заполнителей было низким – обычно 20–25 %, для штукатурок и особенно кладочных растворов доля заполнителя была выше – обычно 40–50 %. Данные содержания заполнителя соответствуют рецептам строительных смесей, приведенным в справочниках девятнадцатого века. В качестве заполнителя использовался широкий спектр минералов, характерных для данной местности. На рис. 3 показан срез оригинального романцемента под микроскопом, показывающий гидратированное кольцо вокруг негидратированного ядра [13].

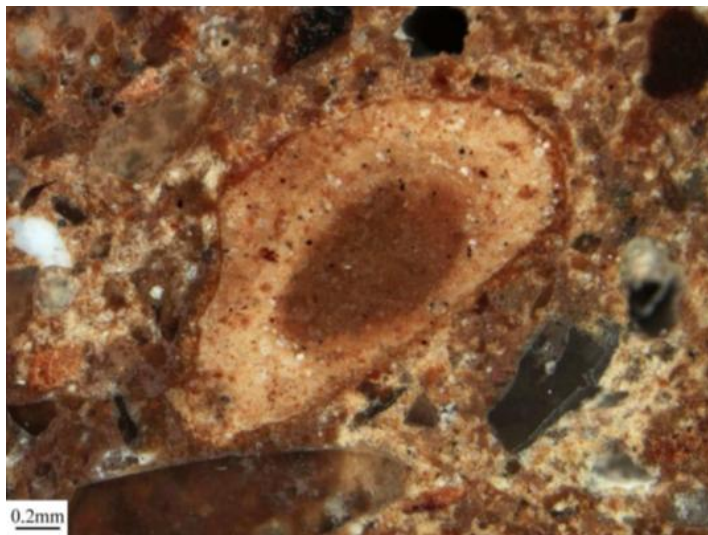


Рис. 2. Первое производство романцемента, 1811 год, деревня Сандсенд, недалеко от Уитби, Северный Йоркшир, Англия (авторы изображения D. Hughes, D. Jaglin, R. Kozlowski, N. Mayr, D. Mucha, J. Weber)

При исследовании гидравлического вяжущего [7] выявлено, что микроструктура романцементных паст показывает очень тонкую «грунтовую массу», содержащую значительное количество негидратированных остатков исходных цементов; в некоторых литых растворах их количество может даже превосходить инертный наполнитель. Наиболее часто встречаются неполностью гидратированные зерна  $C_2S$  – основного соединения романцементов, а также геленит ( $C_2AS$ ), ранкинит ( $C_3S_2$ ), волластонит ( $CS$ ) и ряд твердых растворов в системе  $SiO_2-CaO-Al_2O_3-Fe_2O_3$ . Тщательное исследование с помощью SEM/EDX позволило классифицировать зерна негидратированного цемента на три основные группы: переобоженные, хорошо обожженные и недообоженные. Различная степень прокаливания сырья в одной и той же партии является результатом его естественной неоднородности, а также температурных градиентов в печи. Обломки имеют большое значение для свойств раствора, так как они выполняют роль

заполнителя, прочно связанные с окружающей гидратированной матрицей цемента [14]. Их максимальный размер зерна составляет около 1 мм, что свидетельствует о том, что исторические римские цементы измельчались довольно грубо. Исторические романцементные растворы обычно сильно карбонизированы.

Толщина простых штукатурок варьировалась в пределах 2–50 мм. В результате низкой усадки при схватывании, можно было наносить романцементные растворы слоями большей толщины по сравнению с известковыми, толщина которых не превышала 10–12 мм. Облицовка может состоять из одного слоя, нанесенного непосредственно на сплошную каменную кладку, или представлять собой многослойную конструкцию, в которой за слоем облицовки следует второй слой, обеспечивающий окончательную ровную поверхность. Кроме того, прогоны формовки и отливки обычно имели более тонкие внешние слои и грубую внутреннюю сердцевину. На рис. 4 показано попереч-



**Рис. 3. Срез романцемента под микроскопом**  
(авторы изображения D. Hughes, D. Jaglin, R. Kozłowski,  
N. Mayr, D. Mucha, J. Weber)



**Рис. 4. Поперечное сечение романцементного литого элемента**  
(авторы изображения D. Hughes, D. Jaglin, R. Kozłowski, N. Mayr,  
D. Mucha, J. Weber)

ное сечение типичного романцементного литого элемента с очень малым количеством заполнителя, включая немного крупнозернистого гравия, поверхностная зона окрашена остатками клея или масла из формы или изолирующей среды.

Имеются документальные свидетельства того, что ранняя английская римская цементная штукатурка окрашивалась известковыми, а позднее масляными красками, иногда для имитации цвета камня из Бата. Романцементная лепнина в Центральной Европе после 1850 года обычно была неокрашенной, а римская цементная смывка, состоящая из цемента, разведенного в воде, была универсальной техникой для ее отделки [15].

Отличительной особенностью большинства исторических романцементных растворов является их высокая открытая пористость, доступная для воды (30–40 % по объему), в сочетании с общей высокой механической прочностью и отличной долговечностью. Ртутная порометрия (ртутная порозиметрия, англ. Mercury Intrusion Porosimetry) – это широко распространенный метод измерения объема пор (общего и удельного) и распределения их по размерам в диапазоне мезо- и макропор [16]) выявила две основные категории пор. Самые мелкие поры с диаметром менее 0,2 мкм присутствуют в очень хорошо увлажненной зрелой матрице романцемента. Более крупные поры с диаметром около 1 мкм характерны для растворов, сильно подверженных воздействию воздуха, в которых процесс гидратации был прерван испарением воды [17].

Исторические романцементные растворы демонстрируют высокую прочность и модуль упругости, но в то же время они пористые и водопроницаемые (паропроницаемые). Таким образом, их можно рассматривать как прочные, хрупкие и пористые материалы [18, 19]. Добавление извести, довольно распространенное для штукатурок, но никогда для архитектурного литья, значительно

снижает прочность при увеличении эластичности, пористости, водопоглощения и паропроницаемости (табл. 2).

### Заключение

Главным достижением науки за последние десять лет является возобновление использования романцементов в практике консервации. Благодаря доступности романцементов – исторических гидравлических вяжущих материалов, необходимых для надлежащего сохранения строительного наследия XIX и XX веков, – отпала необходимость применять заменители. Можно надеяться, что использование растворов и промывок на основе романцемента при реставрации исторических зданий получит большее признание на основании эксплуатационных характеристик этих уникальных вяжущих веществ. Романцементы обладают следующими преимуществами:

- расширяют диапазон природных исторических вяжущих веществ различной гидравлическости, доступных для практики консервации – известь – гидравлическая известь – природный цемент;

- являются подлинным историческим материалом и физически совместимы с оригинальной лепниной. Романцементы оптимально сочетаются с цветами и текстурами исторических материалов здания;

- являются универсальными связующими, позволяющими реставраторам создавать различные декоративные элементы на фасадах зданий – от архитектурных отливок до простых облицовок;

- представляют собой чистый бессолевой материал. Их можно наносить толстым слоем благодаря низкой усадке;

- сочетают в себе высокую прочность и высокую пористость, что обеспечивает хорошую циркуляцию воды и водяного пара;

- демонстрируют превосходную долговечность.

Таблица 2

Совокупность физико-механических показателей, оцененных [7] для исторических романцементных растворов

Исторические романцементные штукатурки	Прочность на сжатие (МПа)	Прочность на разрыв (МПа)	Модуль упругости (кН/мм <sup>2</sup> )	Насыпная плотность (г/см <sup>3</sup> )	Доступная для воды пористость (об. %)	Коэффициент водопоглощения (кг/м <sup>2</sup> ч <sup>1/2</sup> )	Водяная паропроницаемость 10 <sup>-10</sup> (кг/м <sup>2</sup> сПа)
Рендеринг (с известью)	11	0,6	5,4	1,43	39	23	11
Рендеринг (чистый Романцемент)	38 ± 19	1,6 ± 0,8	21 ± 10	1,7 ± 0,04	28 ± 9	9 ± 4	4
Отливка	44 ± 7	2,1 ± 1,5	17 ± 1	1,64 ± 0,02	31 ± 1	7 ± 0,5	3

*Примечание.* Прочность на сжатие была определена на основе образцов размером 40 × 40 × 20 мм, и значения соответствующим образом пересчитаны для того, чтобы можно было провести сравнение со значениями, полученными на основе обычных цилиндров или кубов.

История романцемента очень богата, дальнейшее её изучение поможет реконструировать здания XVII–XVIII веков лучше, чтобы фасады сохранили свой первоначальный вид после реконструкции на многие десятилетия.

В России производятся следующие виды рестаурационных штукатурок:

- штукатурка известковая крупнозернистая;
- штукатурка известковая накрывочная;
- штукатурка известковая крупнозернистая с гидравлической добавкой;
- штукатурка известковая накрывочная с гидравлической добавкой;
- штукатурка известковая финишная с гидравлической добавкой;
- штукатурка известково-гипсовая крупнозернистая;

– штукатурка известково-гипсовая накрывочная.

Гидравлическая известь и романцемент в настоящее время применяются редко. На данный момент имеется ограниченное производство романцемента в России, производительность которого недостаточна. В республике Татарстан на сегодняшний день производства не существует и имеется острая нехватка данного типа штукатурных смесей, но российские материаловеды и производители стараются наладить производство данных штукатурных смесей для реконструкции.

Одной из особенностей вяжущих ближайших десятилетий будут, очевидно, являться их многокомпонентность за счет содержания минеральных и других добавок различного происхождения и назначения.

### Список литературы

1. Austrian Standard for Roman Cement (1878) Österreichische Bestimmungen für die einheitliche Lieferung und Prüfung von Portland-Cement. Aufgestellt und genehmigt vom Österreichischen Ingenieur- und Architektenverein, in Tarnawski A (1887) pp. 193–197, modification of 1890, in Schoch C (1896)
2. Cailleux E., Marie-Victoire E., Sommain D. Study of natural cements from the French Rhône-Alpes region // Proceedings of the International Conference on Heritage, Weathering and Conservation, HWC. 2006. № 1. P. 77–84.
3. Decorated Renders around 1900 in Europe: Technological Studies and Principles of Conservation and Restoration // EU-Rendec, Federal Monuments Office, workbooks on monument preservation. Mauerbach: Association for the Promotion of Monument Preservation, 1999.
4. Eckel E.C. Cements, Limes and Plasters: their Materials, Manufacture, and Properties. 1st edition. New York: John Wiley & Sons Inc., 1905.
5. Kirilovica I., Vitina I., Grase L. Structural investigation of carbonation and hydration process of hydraulic dolomitic binder // Construction and Building Materials. 2021. Vol. 275. P. 122050. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.122050
6. Потапова Е.Н. История вяжущих материалов: учебное пособие. СПб.: Изд-во «Лань», 2018. 224 с.
7. Тлехусеж М.А., Щербак Д.В. Неорганические вяжущие вещества // XI Международная студенческая электронная научная конференция «Студенческий научный форум-2019», 15–20 февраля 2019 года. Москва: ООО «Научно-издательский центр «Академия Естествознания», 2019.
8. Щербак Д.В., Тлехусеж М.А. Неорганические вяжущие вещества // Научное обозрение. Педагогические науки. 2019. № 4 (4). С. 102–105.
9. Машукова А.И., Матвеев С.Ф., Дорофеева Н.Л. История создания бетона // Science time. 2015. № 3 (15). С. 377–379.
10. Халиуллина Л.Ф., Чиликина К.В. Гидрофобный и пластифицированный портландцемент // Образование и наука в современных реалиях. Сборник материалов IV Международной научно-практической конференции. Чебоксары, 26 февраля 2018 года. Чебоксары: Общество с ограниченной ответственностью «Центр научного сотрудничества «Интерактив плюс», 2018. С. 210–211.
11. Структура и свойства известково-золевого цемента и его модификация / А.Н. Рязанов, В.И. Винниченко, И.В. Недосеко и др. // Строительные материалы. 2018. № 1-2. С. 18–22.
12. Calcination of marl to produce Roman cement / D.C. Hughes, D. Jaglin, R. Kozlowski, N. Mayr, D. Mucha, J. Weber // Journal of ASTM International. 2007 Vol. 4, No 1. P. JAI100661. DOI: 10.1520/JAI100661
13. Гришина А.Н., Еремин А.В. Влияние гидросиликатов бария на интенсивность ранней гидратации портландцемента // Неорганические материалы. 2016. Т. 52, № 9. С. 1040–1044. DOI: 10.7868/S0002337X16090074
14. Ахметшин В.Э., Тангаева Р.А. Кинетика процессов гидратации и твердения портландцемента в присутствии цеолитсодержащих добавок // Проблемы рационального природопользования и история геологического поиска в Западной Сибири: сборник тезисов V региональной молодежной конференции им. В.И. Шпильмана, Ханты-Мансийск, 29–30 марта 2017 года. Ханты-Мансийск: Общество с ограниченной ответственностью «Югорский формат», 2017. С. 113–115.

15. Гидравлическая известь и романцемент на магнизиальном сырье. Влияние технологических факторов на свойства вяжущих / Н.С. Шелихов, Р.З. Рахимов, Р.Р. Сагдиев, О.В. Стоянов // Вестник Технологического университета. 2015. Т. 18, № 3. С. 134–136.
16. Патент № RU 2665722 С1 Сырьевая смесь для получения искусственного камня / Ю.А. Щепочкина; заявл. 05.12.2017; опубл. 04.09.2018.
17. Влияние химических добавок-пластификаторов на свойства гидравлических вяжущих низкотемпературного обжига / Н.С. Шелихов, Р.З. Рахимов, Р.Р. Сагдиев, О.В. Стоянов // Вестник Технологического университета. 2015. Т. 18. № 7. С. 151–153.
18. Влияние минеральных добавок на свойства гидравлических вяжущих низкотемпературного обжига / Н.С. Шелихов, Р.З. Рахимов, Р.Р. Сагдиев, О.В. Стоянов // Вестник Технологического университета. 2016. Т. 19. № 5. С. 93–96.
19. Ртутная порометрия [Электронный ресурс]. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D1%82%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B0%D1%8F\\_%D0%BF%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%8F](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D1%82%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%8F) (дата обращения: 29.07.2022).

### References

1. Austrian Standard for Roman Cement (1878) Österreichische Bestimmungen für die einheitliche Lieferung und Prüfung von Portland-Cement. Aufgestellt und genehmigt vom Österreichischen Ingenieur- und Architektenverein, in Tarnawski A (1887) pp. 193–197, modification of 1890, in Schoch C (1896).
2. Cailleux E., Marie-Victoire E., Sommain D. Study of natural cements from the French Rhône-Alpes region. *Proceedings of the International Conference on Heritage, Weathering and Conservation, HWC*. 2006;1:77–84.
3. *Decorated Renders around 1900 in Europe: Technological Studies and Principles of Conservation and Restoration*. EU-Rendec, Federal Monuments Office, workbooks on monument preservation. Mauerbach: Association for the Promotion of Monument Preservation, 1999.
4. Eckel E.C. *Cements, Limes and Plasters: their Materials, Manufacture, and Properties*. 1st edition. New York: John Wiley & Sons Inc., 1905.
5. Kirilovica I., Vitina I., Grase L. Structural investigation of carbonation and hydration process of hydraulic dolomitic binder. *Construction and Building Materials*. 2021;275:122050. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.122050
6. Potapova E.N. *Istoriya vyazhushchikh materialov: uchebnoe posobie* [History of Binders: tutorial]. Saint Petersburg: Lan Publishing House; 2018. 224 p. (In Russ.)
7. Tlekhusezh M.A., Shcherbak D.V. [Inorganic binders]. In: *XI Mezhdunarodnaya studencheskaya elektron-naya nauchnaya konferentsiya “Studencheskiy nauchnyy forum – 2019”*. [XI International student electronic science conference “Student science forum – 2019” Moscow, February 15–20, 2019]. Moscow: SPC Academy of Natural History, Ltd; 2019. (In Russ.)
8. Shcherbak D.V., Tlekhusezh M.A. [Inorganic binders]. *Scientific review. Pedagogical sciences*. 2019;4(4):102–105 (In Russ.)
9. Mashukova A.I., Matveev S.F., Dorofeeva N.L. [History of concrete creation]. *Science time*. 2015;3(15):377–379 (In Russ.)
10. Khaliullina L.F., Chilikina. K.V. [Hydrophobic and plastified portlandcement] In: *Obrazovanie i nauka v sovremennykh realiyakh. Sbornik materialov IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii Cheboksary*, [Education and science in modern realities. Collection of materials of the IV International Scientific and Practical Conference. Cheboksary, February 26, 2018]. Cheboksary: Scientific Cooperation Center “Interactive plus”; 2018:210–211 (In Russ.)
11. Riazanov A.N., Vinnichenko V.I., Nedoseko I.V., Riazanova V.A., Riazanov A.A. Structure and properties of lime-ash cement and its modification. *Construction materials*. 2018;1-2:18–22 (In Russ.)
12. Hughes D.C., Jaglin D., Kozlowski R., Mayr N., Mucha D., Weber J. Calcination of marl to produce Roman cement. *Journal of ASTM International*. 2007;4(1): JAI100661. DOI: 10.1520/JAI100661
13. Grishina A.N., Eremin A.V. Effect of barium hydrosilicates on the early hydration rate of portland cement. *Inorganic Materials*. 2016;52,9:1040–1044. (In Russ.) DOI: 10.7868/S0002337X16090074
14. Akhmetshin V.E., Tangaeva R.A. [Kinetics of Portland cement hydration and hardness processes in the presence of zeolite-containing additives]. In: *Problemy ratsional'nogo prirodopol'zovaniya i istoriya geologicheskogo poiska v Zapadnoy Sibiri: Sbornik tezisov V regional'noy molodezhnoy konferentsii im. V.I. Shpil'mana* [Problems of rational nature management and the history of geological prospecting in Western Siberia: Collection of abstracts In the regional youth conference named after. V.I. Shpilman, Khanty-Mansiysk, March 29–30, 2017]. Khanty-Mansiysk: Yugorskiy format Publ.; 2017:113–115. (In Russ.)
15. Shelihov N.S., Rakhimov R.Z., Sagdiev R.R., Stoyanov O.V. [Hydraulic binder and romancement on magnesium raw materials. Influence of technological factors on the properties of binders]. *Herald of Technological University*. 2015;18(3):134–136 (In Russ.)



16. Shchepochkina Yu.A. *Syr'evaya smes' dlya polucheniya iskusstvennogo kamnya* [Mixture for the production of artificial stone]. Patent RF, no RU 2665722 C1, 2018.

17. Shelihov N.S., Rakhimov R.Z., Sagdiev R.R., Stoyanov O.V. [Influence of chemical additives-plastifiers on properties of low-temperature hydraulically bonded binders]. *Herald of Technological University*. 2015;18(7):151–153 (In Russ.)

18. Shelihov N.S., Rakhimov R.Z., Sagdiev R.R., Stoyanov O.V. [Influence of mineral additives on properties of low-temperature hydrogen bonding]. *Herald of Technological University*. 2016;19(5):93–96 (In Russ.)

19. *Rtutnaya porometriya* [Mercury Intrusion Porosimetry] [*Electronic resource*] Available at: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D1%82%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B0%D1%8F\\_%D0%BF%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%8F](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D1%82%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%8F) (accessed 29.07.2022). (In Russ.)

***Информация об авторах:***

**Сагдиев Руслан Рустемович**, доцент, кандидат технических наук, кафедра «Строительные материалы», Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Казань, Россия, ruslan-kgasu@yandex.ru

**Белов Сергей Владимирович**, инженер-конструктор, аспирант кафедры «Строительные материалы», Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Казань, Россия, jerrycjij@gmail.com

***Information about the authors:***

**Ruslan R. Sagdiyev**, associate professor, candidate of technical sciences. Department of Building Materials Kazan State University of Architecture and Civil Engineering, г. Kazan, Russia, ruslan-kgasu@yandex.ru

**Sergei V. Belov**, constructor, postgraduate student of the Department of Construction Materials, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia, jerrycjij@gmail.com

***Статья поступила в редакцию 20.02.2023, принята к публикации 01.03.2023.***

***The article was submitted 20.02.2023; approved after reviewing 01.03.2023.***