УДК 691.554

© Д. С. Григорьев, аспирант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: grigoriev@agioproekt.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2017-14-3-139-145

© D. S. Grigor'ev, post-graduate student
(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)
E-mail: grigoriev@agioproekt.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СПОСОБОВ ФОРМИРОВАНИЯ ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА НА СВОЙСТВА САНИРУЮЩЕЙ ШТУКАТУРКИ

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF THE POROUS SPACE FORMATION METHODS ON THE SANITIZING PLASTER PROPERTIES

Приводятся результаты исследований влияния различных компонентов (перлита, пеностекла и воздухововлекающей добавки), используемых для формирования развитой поровой структуры, на ключевые эксплуатационные характеристики санирующей штукатурки. Установлены и проанализированы математические зависимости, связывающие расход указанных компонентов с капиллярным водопоглощением, солестойкостью, прочностью и параметрами пористости штукатурных составов.

Ключевые слова: санирующая штукатурка, капиллярное водопоглощение, солестойкость, перлит, пеностекло.

The paper presents the results of researching the influence of various components (namely, perlite, foam glass and air-entraining additives) used for the formation of well-developed porous structure on the most important operational characteristics of sanitizing plaster. There were established and analyzed the mathematical relationships demonstrating the connection between the consumption of the specified components with the capillary absorption, salt resistance, strength and porosity parameters of plaster compositions.

Keywords: sanitizing plaster, capillary water absorption, salt resistance, perlite, foam glass.

Эксплуатация зданий и сооружений, несущие или ограждающие конструкции которых являются кирпичной кладкой, очень часто сопровождается проявлением деструкций, обусловленных солевой коррозией.

Растворимые соли могут вызывать существенное разрушение пористого материала каменных конструкций и штукатурных слоев зданий, они ухудшают декоративные свойства фасада, требуют проведения повторной реставрации, а также угрожают несущей способности конструкций, приводят к утрате исходного материала, что особенно важно в части охраны объектов культурного наследия — памятников архитектуры [1].

Обширные исследования, проведенные В. В. Инчиком [2], а также аналитические исследования образцов штукатурки показывают, что почти все процессы разрушений отделочных покрытий связаны с воздействием на них влаги и растворимых в ней солей.

Попадая в стены с грунтовыми водами или уже находясь в кирпичной кладке, растворы солей пронизывают капилляры и поры керамического черепка. В зависимости от температуры и уровня влажности среды в теле кирпича и на его поверхности с различной скоростью начинают идти попеременные процессы испарения воды и кристаллизации солей в виде твердых кристаллогидратов — объемных гидрофильных образований. Периодически возникающее кристаллизационное и гидратационное давление, а также увеличение объема солевой массы неизбежно приводят к деструкции кирпича [3]. Ситуация усугубляется, если для отделки применялись цементно-песчаные штукатурки, имеющие малую паропроницаемость.

Существует ряд способов борьбы с избыточной влажностью и засоленностью каменных конструкций [5, 6], наиболее эффективным из которых является применение санирующих штукатурок, отличающихся высокой пористо-

стью, солестойкостью и паропроницаемостью. Ключевой особенностью подобных штукатурок является ограниченное водопоглощение при капиллярном подсосе. Процесс кристаллизации солей в таких штукатурках происходит внутри поровой системы, без отрицательного влияния на ее структуру [5].

Широкие исследования в области санирующих систем были проведены научно-техническим объединением по содержанию памятников и охране архитектурных сооружений (Байербрунн, Германия) и завершились созданием нормативно-технической записки WTA 1-85 [7]. Санирующие штукатурки, отвечающие этим требованиям, очень хорошо зарекомендовали себя в течение длительного времени эксплуатации и получили широкое распространение за рубежом.

Результаты исследований по созданию, оценке эффекта и технологии нанесения санирующих штукатурок также отражены в трудах М. А. Яковлевой, Е. А. Урецкой, С. А. Белых и А. А. Чикичева [3, 5, 6].

Вместе с тем требуются научно обоснованные решения проблем защиты конструкций применительно к условиям Российской Федерации. На практике в настоящее время для санирования отечественных объектов используют зарубежные технологии и импортные материалы, которые имеют повышенную стоимость и не адаптированы под климатические условия и особенности конструкций в России.

Кроме этого, требуется создание отечественных нормативных документов, относящихся к методикам, материалам и технологиям защиты кирпичных конструкций с применением санирующих штукатурок, что вызывает необходимость проведения комплекса научных исследований в данной области.

Исследования, приведенные в данной работе, касаются исследования влияния в составе санирующей штукатурки перлита, пеностекла и воздухововлекающей добавки, формирующих объем пор в материале, на ключевые эксплуатационные параметры защитного состава.

Основные требования к санирующим штукатуркам — это высокая пористость (которая определяет паропроницаемость состава) при достаточной прочности, обеспечивающей водостойкость и солестойкость. Материал должен

характеризоваться достаточно высоким водопоглощением по массе для возможности аккумулировать соли внутри пор. В то же время необходимо обеспечить ограниченное водопоглощение при капиллярном подсосе, чтобы растворы солей не имели возможность выходить на лицевую поверхность штукатурного состава и уже в виде выделов ухудшать декоративные свойства отделки.

С учетом этих требований проведена оптимизация базового состава известково-цементной штукатурной сухой смеси за счет введения вспученного перлитового песка марки 75 производства Апрелевского завода теплоизделий, гранулированного пеностекла с размером фракций 0,1–4 мм производства Рыбинского завода строительных технологий и воздухововлекающей добавки Ufapore TLA, получаемой на основе лаурилсульфата натрия. Рецепт базового состава представлен в табл. 1.

Исследование проводилось методом математического планирования с помощью трехфакторного трехуровневого эксперимента.

Основными переменными факторами на данном этапе выбраны расход перлита, расход пеностекла и воздухововлекающей добавки в процентах от массы смеси.

В качестве функций отклика исследовались прочность при сжатии в возрасте 28 суток ($R_{сж}$, МПа), солестойкость (F_2 , баллы), водопоглощение по массе (W_m , %), водопоглощение при капиллярном подсосе (W_k , кг/(м² · ч^{0,5})), параметры порового пространства, определенные по методике Туркестанова (ГОСТ 12730.4–78) (α , λ).

Солестойкость образцов раствора определялась согласно методике ГОСТ 30629–2011 с изменениями в части критерия солестойкости: выбрана визуальная оценка поврежденности образцов в баллах от 0 до 10. Максимальный балл соответствует наилучшей стойкости состава.

Свойства смесей определялись при равном водоцементном отношении $B/C = \text{const} = 0,83$.

Для прочностных испытаний, а также определения плотности, параметров пористости и солестойкости изготавливались образцы-кубики размером 7,07×7,07×7,07 см. Образцы-балочки 4×4×16 см изготавливались для определения капиллярного подсоса. Образцы хранились до испытаний в нормально-влажных условиях.

Таблица 1

Рецептура базового состава известково-цементной штукатурной сухой смеси

Компонент сухой смеси	Расход, % от массы смеси
Цемент ПЦ Д0 М-500 Сланцевского цементного завода «ЦЕСЛА»	20
Известь гидратная Россошь (пушонка)	10
Кварцево-полевошпатовый песок фракции 0–2,5 мм месторождения «Шапки»	69,9
Суперпластификатор С-3	0,1

Значения переменных факторов и экспериментальные величины функций отклика согласно композиционному плану неполного трехфакторного эксперимента представлены в табл. 2.

На основании полученных данных построены регрессионные модели второго порядка, с помощью которых далее анализировалось влияние состава санирующей штукатурки на ее свойства. Адекватность моделей подтверждена методом оценки дисперсий (по критерию Фишера).

При анализе результатов исследований проявляется ожидаемая закономерность: чем выше плотность и прочность образцов раствора, тем выше солестойкость.

В этой связи следует отметить, что для обеспечения надежной совместной работы штукатурного слоя и кирпичной кладки прочность

раствора должна быть не выше прочности основания (6–10 МПа). При этом величина солестойкости штукатурного состава должна быть наибольшей из возможных, а величина водопоглощения при капиллярном подсосе — наименьшей.

С увеличением однородности размеров открытых капиллярных пор (рост значения показателя α) прочность и солестойкость раствора также возрастает. При этом значимого влияния среднего размера капиллярных пор на солестойкость составов не установлено.

Таким образом, с одной стороны, значимым элементом обеспечения высокой эффективности раствора относительно солевой коррозии является создание порового пространства, равномерного по размеру пор. Это достигается, главным образом, в случае введения одного вида поро-

Таблица 2

Составы и свойства смесей согласно плану эксперимента

№ п/п	Расход компонентов, % от массы смеси			$R_{сж}$, МПа	Солестойкость, баллы	W_m , %	W_k , кг/(м ² · ч ^{0,5})	α^*	λ^{**}
	Перлит	Пеностекло	Ufapore TLA						
1	1	1	0,1	11,6	2	12,6	1,3	0,33	2,65
2	1	0	0,1	14,26	2	11,1	1,5	0,09	0,01
3	0	1	0,1	11,65	1	11,9	1,8	0,15	1,89
4	0	0	0,1	11,35	6	12,3	1,7	0,50	0,64
5	0,5	0,5	0,1	5,65	7	11,9	1,1	0,41	0,53
6	1	0,5	0,2	4,15	5	18,9	1,0	0,13	10,65
7	1	0,5	0	19,9	7	9,9	1,8	0,51	2,07
8	0	0,5	0,2	4,75	4	13,7	0,8	0,10	0,01
9	0	0,5	0	17,05	9	7,2	0,9	0,74	0,93
10	0,5	0,5	0,1	6,2	7	10,1	0,9	0,31	0,15
11	0,5	1	0,2	11,05	3	9,5	1,2	0,40	0,15
12	0,5	1	0	16,15	6	10,3	2,4	0,67	1,0
13	0,5	0	0,2	13,25	9	6,5	0,8	0,66	4,01
14	0,5	0	0	22,0	10	5,1	1,9	0,74	0,45
15	0,5	0,5	0,1	5,8	8	15,7	0,9	0,32	0,46

* α — показатель однородности размеров капиллярных пор; ** λ — показатель среднего размера капиллярных пор.

образующего компонента, а не при сочетании нескольких разновидностей в составе.

С другой стороны, сочетание порообразующих компонентов в составе сухой смеси позволяет достигнуть наибольшего значения водопоглощения и, следовательно, паропроницаемости, которое у saniрующих штукатурок априори должно быть высоким.

Зависимость прочности раствора от суммарного количества легких заполнителей при различном расходе воздухововлекающей добавки Ufapore TLA в графическом виде представлена на рис. 1.

Из представленных на графике данных следует, что при постоянном расходе воздухововлекающей добавки прочность составов вначале снижается с ростом расхода легких заполнителей, но затем вновь несколько возрастает. Вероятно, это обусловлено снижением концентраций напряжений в структуре материала при уменьшении доли кварцевого песка как наиболее жесткого компонента [8].

Введение воздухововлекающей добавки в количестве до 0,1 % приводит к значительному снижению прочности. Дальнейшее повышение ее расхода до 0,2 % уже не оказывает значительного влияния на прочность раствора.

На рис. 2 представлен график, отражающий зависимость солестойкости от расхода легких заполнителей. В случае введения в состав saniрующей штукатурки перлита и пеностекла в количестве от 0 до 0,5 % наблюдается стабильность по солестойкости, даже с незначительным ее увеличением. Существенное снижение солестойкости происходит при увеличении расхода легких заполнителей свыше 0,5 %.

Вместе с тем, согласно представленным на рис. 3 данным, с увеличением количества легких заполнителей возрастает капиллярное водопоглощение. Использование воздухововлекающей добавки позволяет ограничить водопоглощение при капиллярном подсосе, не снижая при этом общей пористости материала и добиваясь наибольшей паропроницаемости.

Зависимость водопоглощения по массе W_m от суммарного количества легких заполнителей при различном расходе воздухововлекающей добавки Ufapore TLA в графическом виде представлена на рис. 4.

Водопоглощение по массе растет с увеличением суммарного количества легких заполнителей, при этом темпы роста снижаются по мере увеличения количества воздухововлекающей добавки.

Рис. 1. Влияние количества легких заполнителей на прочность

Рис. 2. Влияние количества легких заполнителей на солестойкость

Рис. 3. Влияние количества легких заполнителей на капиллярное водопоглощение

Таким образом, в процессе разработки штукатурки с заданными свойствами при формировании порового пространства saniрующих составов с помощью перлита, пеностекла и воздухововлекающей добавки необходимо учитывать следующие факторы:

- увеличение расхода воздухововлекающей добавки и легких заполнителей сопровождается снижением прочности и солестойкости составов, однако темпы снижения замедляются, не оказывая сильного влияния на поровый объем. Вместе с тем прочность должна быть

Рис. 4. Влияние количества легких заполнителей на водопоглощение по массе

достаточной для обеспечения водостойкости и нормального сопротивления штукатурки разрушению;

- сочетание различных видов порообразующих компонентов позволяет достигнуть наибольшей пористости, что благоприятно с точки зрения обеспечения необходимой паропроницаемости;

- введение легких заполнителей увеличивает капиллярный подсос, однако за счет введения воздухововлекающей добавки возможно снижение подсоса, при том что пористость состава возрастает.

Для дальнейших исследований можно принять следующие характеристики оптимального состава:

- предел прочности при сжатии в возрасте 28 суток — 6–10 МПа;
- капиллярное водопоглощение — не более 1,0 кг/(м² · ч^{0,5});
- солестойкость — не менее 7 баллов.

Согласно полученным регрессионным моделям, указанным требованиям соответствует состав, характеризующийся содержанием перлита и пеностекла в количестве 1 % от массы смеси (0,5 % перлита и 0,5 % пеностекла) и расходом воздухововлекающей добавки 0,1 %.

Библиографический список

1. Claudio T., Gonsalves D. Salt crystallization in plastered or rendered walls. Lisbon: Universidade Tecnica De Lisboa. July 2007. 245 с.
2. Инчик В. В. Высолы и солевая коррозия кирпичных стен. СПб.: СПбГАСУ, 1998. 324 с.
3. Яковлева М. Я. Защита строительных сооружений от водно-солевых нагрузок // Сухие строительные смеси. 2015. № 4. С. 32–33.
4. Терновий В. І., Уманець І. М. Дослідження впливу технології нанесення розбленої санувальної штукатурки на формування її фізико-механічних властивостей / Технологія, організація, механізація та геодезичне забезпечення будівництва. 2010. № 3 (83). С. 65.
5. Урецкая Е. А. Ремонт влажных и поврежденных солями строительных конструкций // Сухие строительные смеси. 2011. № 1. С. 33.
6. Белых С. А., Чикичев А. А. Оценка основного эффекта действия санирующей штукатурки // Труды БрГУ. Серия: Естественные и инженерные науки. 2014. Т. 1. С. 94.
7. WTA Merkblatt 252591/D. Sanierputzsysteme. Deutsche Fassung. Stand Juli 1992 (Vorversion): Wissenschaftlich Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. 5WTA, München; 1992, 9 S.
8. Kharitonov A., Prokofieva V. Theoretical and Experimental Justification of Low-Rigid Components' Use for Concrete Dynamic Strength Enhancement / Materials Science Forum. 2016. Vol. 871. Pp. 154–159.

9. Kharitonov A., Korobkova M., Smirnova O. The influence of low-hard dispersed additives on impact strength of concrete // *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 108. Pp. 239–244.

10. Харитонов А. М., Коробкова М. В., Рябова А. А. Влияние маложестких дисперсных включений на ударную прочность цементных бетонов // *Естественные и технические науки*. 2014. № 8 (76). С. 154–156.

References

1. Claudio T., Gonsalves D. *Salt crystallization in plastered or rendered walls*. Lisbon, Universidade Tecnica De Lisboa Publ., July 2007, 245 p.

2. Inchik V. V. *Vysoly I solevaya korroziya kirpichnykh sten* [Efflorescence and salt corrosion of brick walls]. St. Petersburg, SPSUACE, 1998, 324 p.

3. Yakovleva M. Ya. *Zashchita stroitel'nykh sooruzheniy ot vodno-solevykh nagruzok* [Protection of construction structures against water-salt loadings]. *Sukhie stroitel'nye smesi – Dry construction mixes*, 2015, no. 4, pp. 32–33.

4. Терновий В. І., Уманець І. М. Дослідження впливу технології нанесення розбленоісанувальної штукатурки на формування фізико механічних властивостей. *Технологія, організація, механізація та геодезичне забезпечення будівництва*. 2010. № 3 (83). С. 65.

5. Uretskaya E. A. *Remont vlazhnykh I povrezhdennykh solyami stroitel'nykh konstruktsey* [Repair of the damp and

salt damaged building constructions]. *Sukhie stroitel'nye smesi – Dry construction mixes*, 2011, no. 1, p. 33.

6. Belykh S. A., Chikichev A. A. *Otsenka osnovnogo ehffekta deystviya saniruyushchey shtukaturki* [Evaluation of the main effect of the sanitizing plaster action]. *Trudy BrGU. Seriya: Estestvennye I inzhenernye nauki – Works BRSU. Series: Natural and engineering sciences*, 2014, vol. 1, 94 p.

7. WTAMerkblatt252591/D. *Sanierputzsysteme. Deutsche Fassung*. Stand Juli 1992 (Vorversion). Wissenschaftlich Technische Arbeitsgemeinschaft fur Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. 5WTA, München; 1992, 9 S.

8. Kharitonov A., Prokofieva V. *Theoretical and Experimental Justification of Low-Rigid Components' Use for Concrete Dynamic Strength Enhancement*. *Materials Science Forum*, 2016, vol. 871, pp. 154–159.

9. Kharitonov A., Korobkova M., Smirnova O. The influence of low-hard dispersed additives on impact strength of concrete. *Procedia Engineering*, 2015, vol. 108, pp. 239–244.

10. Kharitonov A. M., Korobkova M. V., Ryabova A. A. *Vliyanie malozhestkikh dispersnykh vklyucheniy na udarnuyu prochnost' tsementnykh betonov* [Influence of low-rigid disperse inclusions on the shock strength of cement concrete]. *Estestvennye I tekhnicheskie nauki – Natural and technical science*, 2014, no. 8 (76), pp. 154–156.