

Р.Б. ОРЛОВИЧ¹, А.С. ГОРШКОВ², В.Н. ДЕРКАЧ³, С.С. ЗИМИН⁴, М.В. ГРАВИТ⁴

¹ООО «ПИ Геореконструкция», г. Санкт-Петербург, Россия,

²ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна», г. Санкт-Петербург, Россия,

³Филиал РУП «Институт БелНИИС» - Научно-технический центр, г. Брест, Республика Беларусь,

⁴ФГАУО ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», г. Санкт-Петербург, Россия

ПРИЧИНЫ ПОВРЕЖДЕНИЙ КАМЕННОЙ КЛАДКИ ПОСЛЕ РЕСТАВРАЦИИ

Аннотация. Выполнен анализ причин возникновения повреждений в каменной кладке исторических зданий после их реставрации. Установлено, что применение растворов повышенной марки и, соответственно, жесткости при ремонтах исторической кладки приводит к росту растягивающих напряжений в кирпиче при температурно-влажностных воздействиях. Мотивацией к применению таких растворов является стремление повысить прочность и долговечность восстанавливаемых участков исторической кладки. В статье на основе результатов численного моделирования показано, что кладочный раствор должен быть достаточно прочным при сжатии и при этом в достаточной мере пластичным. В частности установлено, что применение жестких растворов на основе цементного связующего по сравнению с пластичными на основе известкового связующего увеличивает значение нормальных растягивающих напряжений при температурном перепаде $\Delta T = +10$ °C в среднем в два раза, а при набухании камней из-за их увлажнения – на порядок. Сделан вывод, что для реставрационных работ с кирпичной кладкой следует применять растворы в соответствии с технологией, соответствующей данному историческому периоду, с использованием известки с добавками, которые были выявлены при лабораторных испытаниях образцов, отобранных с исторической каменной кладки. Предпочтение следует отдавать низкомарочным минеральным растворам, обладающим низким модулем упругости, что повышает трещиностойкость кладки при температурно-влажностных воздействиях. Показано, что деструкции каменной кладки также способствует неправильная расшивка кладочных швов, когда образуются участки скопления дождевой воды, приводящие к повышенному увлажнению камней в зонах прямого воздействия дождевых осадков.

Ключевые слова: исторические каменные здания, каменная кладка, кирпич, кладочный раствор, увлажнение, потеря прочности, повреждения, разрушение, физический износ, реставрация.

R.B. ORLOVICH¹, A.S. GORSHKOV², V.N. DERKACH³, S.S. ZIMIN⁴, M.V. GRAWIT⁴

¹ООО «PI Georekonstrukcia», Saint-Petersburg, Russia,

²Saint-Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Saint-Petersburg, Russia,

³Branch office of the RUE "Institute BelNIIS" - Scientific-Technical Center, Brest, Republic of Belarus,

⁴Saint-Petersburg state polytechnical university, Saint-Petersburg, Russia

CAUSES OF DAMAGE TO MASONRY AFTER RESTORATION

Abstract. The article provides the analysis of the causes of damage in the masonry of historical buildings after their restoration. It has been established that the use of mortars of an increased grade and, accordingly, stiffness during repairs of historical masonry leads to an increase in tensile stresses in bricks under temperature and humidity effects. The reasoning behind the use of such mortars is to increase the strength and durability of the restored areas of historical masonry. The results of numerical simulation show that the masonry mortar must be sufficiently strong in compression and, at the same time, sufficiently plastic. It is shown that the use of hard mortars based on a cement binder,

compared with plastic mortars based on a lime binder, on average doubles the value of normal tensile stresses at a temperature difference $\Delta T = +100^\circ\text{C}$. This effect is much higher when stones swell due to their moisture. According to the results, for restoration work with brickwork, one should use mortars in accordance with the technology corresponding to this historical period, i.e., lime with additives that were identified during laboratory tests of samples taken from historical masonry. Low-grade mineral solutions with a low modulus of elasticity are preferable. It increases the crack resistance of the masonry under temperature and humidity effects. The article also shows that improper jointing of masonry joints facilitates the destruction of masonry. It happens when areas of accumulation of rainwater are formed, leading to increased wetting of stones in areas of direct impact of rainfall.

Keywords: historical stone buildings, masonry, brick, masonry mortar, moisture, loss of strength, damage, destruction, physical wear, restoration

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Domaclowski W., Lewandowska M., Lukaszewicz V. Badania nad konserwacją murów ceglanych. Torun, 2004. 210 s.
2. Горчаков Г.И. Коэффициенты температурного расширения и температурные деформации строительных материалов. М. : Изд-во Комитета стандартов, мер и измерительных приборов при Совмине СССР, 1968. 165 с.
3. Орлович Р.Б., Горшков А.С., Зимин С.С. Применение камней с высокой пустотностью в облицовочном слое многослойных стен // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 8 (43). С. 14-23. doi: 10.5862/MCE.43.3.
4. Серикхалиев С.Б., Зимин С.С., Орлович Р.Б. Дефекты защитно-декоративной кирпичной облицовки фасадов каркасных зданий // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 5 (20). С. 28-38. doi: 10.18720/CUBS.20.3.
5. Горшков А.С. Модель физического износа строительных конструкций // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2014. № 12 (191). С. 34-37.
6. Кнатько М.В., Ефименко М.В., Горшков А.С. К вопросу о долговечности и энергоэффективности современных ограждающих стеновых конструкций жилых, административных и производственных зданий // Инженерно-строительный журнал. 2008. № 2 (2). С. 50-53. doi: 10.18720/MCE.2.8.
7. Горшков А.С. Оценка долговечности стеновой конструкции на основании лабораторных и натуральных испытаний // Строительные материалы. 2009. № 8. С. 12-17.
8. Горшков А.С., Кнатько М.В., Рымкевич П.П. Лабораторные и натурные исследования долговечности (эксплуатационного срока службы) стеновой конструкции из автоклавного газобетона с облицовочным слоем из силикатного кирпича // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 8 (10). С. 20-26. doi: 10.18720/MCE.10.3.
9. Горшков А.С., Кнатько М.В., Рымкевич П.П. Оценка долговечности ограждающих конструкций зданий // Стройпрофиль. 2009. № 3. С. 7-8.
10. Деркач В.Н., Демчук И.Е., Орлович Р.Б. Механизм повреждаемости несущей облицовки многослойных каменных стен // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. № 3(54). С. 63-70. doi: 10.18720/CUBS.54.5.
11. Онищик Л.И. Каменные конструкции / Л.И. Онищик. М.: Стройиздат, 1939. 208 с.
12. Поляков С.В., Сафаргалиев С.М. Монолитность каменной кладки. Алма-Ата: Гылым, 1991. 210 с.
13. Поляков С.В. К вопросу сцепления в кирпичной кладке // «Исследования по каменным конструкциям»: сб. статей под научн. ред. Л.И. Онищика. М.: ЦНИИСК, 1957. С. 298-301.
14. Гурьев В.В., Никитин В.И., Кофанов В.А. Влияние косога дождя на влагосодержание ограждающих конструкций из силикатных материалов // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 5. С. 15-21.
15. Улыбин А.В., Старцев С.А., Зубков С.В. Контроль влажности при обследовании каменных конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 7. С. 32-39. doi: 10.5862/MCE.42.5.
16. Мурыш М.А. Температурные деформации влажной кирпичной кладки // Вестник ТГАСУ. 2008. №1. С. 79-85.
17. Корниенко С.В. Характеристики состояния влаги в материалах ограждающих конструкций зданий // Строительные материалы. 2007. № 4. С. 74-78.
18. Корниенко С.В. Потенциал влажности для определения влажностного состояния материалов наружных ограждений в неизотермических условиях // Строительные материалы. 2006. № 4. С. 88-89.
19. Корниенко С.В., Ватин Н.И., Горшков А.С. Оценка влажностного режима стен с фасадными теплоизоляционными композиционными системами // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 6 (45). С. 34-54. doi: 10.18720/CUBS.45.2.

20. Корниенко С.В., Ватин Н.И., Петриченко М.Р., Горшков А.С. Оценка влажностного режима многослойной стеновой конструкции в годовом цикле. // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. No. 6 (33). Pp. 19-33. doi: 10.18720/CUBS.33.2.

21. Lourenco P.B. Computational strategies for masonry structures: PhD Dissertation. Delfi: Delfi University Press, 1996. 210 p.

REFERENCES

1. Domaclowski W., Lewandowska M., Lukaszewicz V. Badania nad konserwacja murów ceglanych [Research on the preservation of brick walls]. Torun, 2004. 210 p. (pol).
2. Gorchakov G.I. Koeffitsienty temperaturnogo rasshireniya i temperaturnye deformacii stroitel'nykh materialov [Coefficients of thermal expansion and thermal deformation of building materials]. M. : Izd-vo Komiteta standartov, mer i izmeritel'nykh priborov pri Sovmine SSSR, 1968. 165 p. (rus).
3. Orlovich R.B., Gorshkov A.S., Zimin S.S. Primenenie kamnej s vysokoj pustotnost'yu v oblicovochnom sloe mnogoslojnykh sten [Application of stones of high voidage in the facing layer of the multilayer walls]. *Magazine of Civil Engineering*. 2013. No. 8 (43). Pp. 14-23. doi: 10.5862/MCE.43.3. (rus).
4. Serikhaliev S.B., Zimin S.S., Orlovich R.B. Defekty zashchitno-dekorativnoj kirpichnoj oblicovki fasadov karkasnykh zdaniy [The defects of protective facing masonry of frame buildings]. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2014. No. 5 (20). Pp. 28-38. doi: 10.18720/CUBS.20.3. (rus).
5. Gorshkov A.S. Model' fizicheskogo iznosa stroitel'nykh konstrukcij [Physical deterioration model of building structures]. *Building materials, equipment, technologies of the XXI century*. 2014. No. 12 (191). Pp. 34-37. (rus).
6. Knat'ko M.V., Efimenko M.N., Gorshkov A.S. K voprosu o dolgovechnosti i energoeffektivnosti sovremennykh ograzhdayushchih stenovykh konstrukcij zhilykh, administrativnykh i proizvodstvennykh zdaniy [On the issue of durability and energy efficiency of modern enclosing wall structures of residential, administrative and industrial buildings]. *Magazine of Civil Engineering*. 2008. No. 2 (2). Pp. 50-53. doi: 10.18720/MCE.2.8. (rus).
7. Gorshkov A.S. Ocenka dolgovechnosti stenovoj konstrukcii na osnovanii laboratornykh i naturnykh ispytaniy [Assessment of operating life of wall structure on the basis of laboratory and full-scale tests]. *Construction materials*. 2009. No. 8. Pp. 12-17. (rus).
8. Gorshkov A.S., Knat'ko M.V., Rymkevich P.P. Laboratornye i naturnye issledovaniya dolgovechnosti (ekspluatatsionnogo sroka sluzhby) stenovoj konstrukcii iz avtoklavnogo gazobeton s oblicovochnym sloem iz silikatnogo kirpicha [Laboratory and full-scale studies of durability (operational service life) of a wall structure from autoclaved aerated concrete with a facing layer from silicate brick] // *Magazine of Civil Engineering*. 2009. No. 8 (10). Pp. 20-26. doi: 10.18720/MCE.10.3. (rus).
9. Gorshkov A.S., Knat'ko M.V., Rymkevich P.P. Ocenka dolgovechnosti ograzhdayushchih konstrukcij zdaniy [Assessment of the durability of building envelopes]. *Strojprofile*. 2009. No. 3. Pp. 7-8. (rus).
10. Derkach V.N., Demchuk I.E., Orlovich R.B. Mekhanizm povrezhdaemosti nenesushchej oblicovki mnogoslojnykh kamennykh sten [The mechanism of damage non-bearing facing multilayered masonry walls]. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2017. No. 3 (54). Pp. 63-70. doi: 10.18720/CUBS.54.5. (rus).
11. Onishchik L.I. Kamennye konstrukcii [Stone structures]. M.: Strojizdat, 1939. 208 p. (rus).
12. Polyakov S.V., Safargaliev S.M. Monolitnost' kamennoj kladki [Monolithic of masonry]. Alma-Ata: Gylym, 1991. 210 p. (rus).
13. Polyakov S.V. K voprosu scepneniya v kirpichnoj kladke [On the issue of adhesion in brickwork]. "Issledovaniya po kamennym konstrukciyam": sb. statej pod nauchn. red. L.I. Onishchika ["Research on stone structures": coll. of articles under scientific. ed. L.I. Onishchik]. M.: CNIISK, 1957. Pp. 298 – 301. (rus).
14. Gur'ev V.V., Nikitin V.I., Kofanov V.A. Vliyanie kosogo dozhdya na vlagosoderzhanie ograzhdayushchih konstrukcij iz silikatnykh materialov [Influence of slanting rain on the moisture content of building envelopes made of silicate materials]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2016. No. 5. Pp. 15-21. (rus).
15. Ulybin A.V., Starcev S.A., Zubkov S.V. Kontrol' vlazhnosti pri obsledovanii kamennykh konstrukcij [Humidity control in the inspection of masonry structures]. *Magazine of Civil Engineering*. 2013. No. 7. Pp. 32-39. doi: 10.5862/MCE.42.5. (rus).
16. Muryj M.A. Temperaturnye deformacii vlazhnoj kirpichnoj kladki [Temperature deformations of wet brickwork]. *Vestnik TGASU*. 2008. No. 1. Pp. 79-85. (rus).
17. Kornienko S.V. Harakteristiki sostoyaniya vlagi v materialah ograzhdayushchih konstrukcij zdaniy [Characteristics of the state of moisture in the building envelope materials]. *Construction materials*. 2007. No. 4. Pp. 74-78. (rus).
18. Kornienko S.V. Potencial vlazhnosti dlya opredeleniya vlazhnostnogo sostoyaniya materialov naruzhnykh ograzhdenij v neizotermicheskikh usloviyah [Humidity potential for determining the moisture condition of external fencing materials in non-isothermal conditions]. *Construction materials*. 2006. No. 4. Pp. 88-89. (rus).
19. Kornienko S.V., Vatin N.I., Gorshkov A.S. Ocenka vlazhnostnogo rezhima sten s fasadnymi teploizolyatsionnymi kompozitsionnymi sistemami [Assessment of moisture conditions of walls with facade's

thermo-insulation composite]. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2016. No. 6 (45). Pp. 34-54. doi: 10.18720/CUBS.45.2. (rus).

20. Kornienko S.V., Vatin N.I., Petrichenro M.R., Gorshkov A.S. Ocenka vlazhnostnogo rezhima mnogoslojnoj stenovoj konstrukcii v godovom cikle [Evaluation of hygrothermal performance of multilayered wall design in annual cycle]. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2015. No. 6 (33). Pp. 19-33. doi: 10.18720/CUBS.33.2. (rus).

21. Lourenco P.B. Computational strategies for masonry structures: PhD Dissertation. Delfi: Delfi University Press, 1996. 210 p.

Информация об авторах:

Орлович Роман Болеславович

ООО «ПИ Геореконструкция», г. Санкт-Петербург, Россия,
доктор технических наук, профессор, научный консультант.
E-mail: orlowicz@mail.ru

Горшков Александр Сергеевич

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна»,
г. Санкт-Петербург, Россия,
доктор технических наук, профессор кафедры Интеллектуальных систем и защиты информации.
E-mail: alsgor@yandex.ru

Деркач Валерий Николаевич

Филиал РУП «Институт БелНИИС» - Научно-технический центр, г. Брест, Республика Беларусь,
доктор технических наук, директор.
E-mail: v-derkach@yandex.ru

Зимин Сергей Сергеевич,

ФГАУО ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»,
г. Санкт-Петербург, Россия,
кандидат технических наук, доцент Инженерно-строительного института.
E-mail: zimin_sergei@mail.ru

Гравит Марина Викторовна

ФГАУО ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»,
г. Санкт-Петербург, Россия,
кандидат технических наук, доцент Инженерно-строительного института.
E-mail: kit451@mail.ru

Information about authors:

Orlovich Roman B.

ООО «PI Georekonstrukcia», Saint-Petersburg, Russia,
doctor of technical science, Professor, Scientific consultant.
E-mail: orlowicz@mail.ru

Gorshkov Alexander S.

Saint-Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Saint-Petersburg, Russia,
doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Intelligent Systems and Information Security.
E-mail: alsgor@yandex.ru

Derkach Valery N.

Branch office of the RUE "Institute BelNIIS" - Scientific-Technical Center, Brest, Republic of Belarus,
doctor of Technical Sciences, Director.
E-mail: v-derkach@yandex.ru

Zimin Sergey S.

Saint-Petersburg state polytechnical university, Saint-Petersburg, Russia,
candidate of technical sciences, Associate Professor of the Institute of Civil Engineering.
E-mail: zimin_sergei@mail.ru

Grawit Marina V.

Saint-Petersburg state polytechnical university, Saint-Petersburg, Russia,
candidate of technical sciences, Associate Professor of the Institute of Civil Engineering.
E-mail: kit451@mail.ru