

УДК 699.86

**Н. Н. Шангина^а, А. М. Харитонов^б, С. В. Корниенко^в, В. Я. Ольшевский^г,
А. И. Еникеев^д, С. Н. Фомин^д, А. С. Горшков^е**

^а *Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I*

^б *Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет*

^в *Волгоградский государственный технический университет*

^г *Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого*

^д *ООО «АЖИО»*

^е *Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий
и дизайна*

ВЛИЯНИЕ ТИПА НАРУЖНОГО ШТУКАТУРНОГО ПОКРЫТИЯ НА ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОДНОРОДНЫХ КАМЕННЫХ СТЕН

Выполнено исследование теплотехнических свойств двух фрагментов каменной кладки, выполненных из полнотелого кирпича, в климатической камере. Отличие испытываемых фрагментов обусловлено различием наружных штукатурных покрытий — цементного и известкового. Измерения температур и тепловых потоков измерены при трех режимах проведения испытаний. Результаты показали, что при прочих равных условиях термическое сопротивление фрагмента стеновой конструкции с известковой штукатуркой оказалось больше, чем у фрагмента с цементной штукатуркой. Кроме того, после завершения цикла испытаний на фрагменте кладки с цементной штукатуркой выявлены многочисленные волосяные трещины, появление которых обусловлено циклическими температурно-влажностными деформациями.

К л ю ч е в ы е с л о в а: фасады, каменная кладка, кирпич, штукатурное покрытие, климатическая камера, теплопроводность, термическое сопротивление, сопротивление теплопередаче.

Введение

В 1995 г., с введением изменений № 3 к СНиП II-3—79*, произошло существенное увеличение нормативных требований к уровню тепловой защиты наружных ограждающих конструкций зданий¹ [1, 2]. Данное изменение во многом обусловлено изменением всей структуры хозяйственной деятельности страны, включая такие важные ее сферы, как строительство и энергетика. Тарифы на тепловую энергию стали возрастать более высокими темпами, что привело к существенному увеличению эксплуатационных затрат на отопление зданий. Для того, чтобы снизить потери тепловой энергии через наружную оболочку зданий, требуемые значения сопротивлений теплопередаче наружных ограждающих конструкций были повышены более чем в 2 раза [3, 4].

С введением в действие СНиП 23-02—2003 в стандарте по тепловой защите появилось новое требование², устанавливающее для зданий нормируемый удельный расход тепловой энергии на отопление. Предполагалось, что реконструкция, модернизация или капитальный ремонт существующих зданий будут сопровождаться повышением их энергетической эффективности

¹ СНиП II-3—79*. Строительная теплотехника. URL: <https://docs.cntd.ru/document/871001234?ysclid=m88cxjy7gf792784967>.

² СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02—2003. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095525?ysclid=m88d0kh3v394126048>.

[5—8], в т. ч. за счет обеспечения не менее чем на 90 % значений требуемых сопротивлений теплопередаче ограждающих конструкций, установленных в табл. 4 СНиП 23-02—2003 (см. раздел 10 СП 23-101—2004³).

В редакции свода правил СП 50.13330.2012 для реконструируемых зданий появляется требование⁴, что при реконструкции зданий, для которых по архитектурным или историческим причинам невозможно утепление стен снаружи, нормируемое значение сопротивления теплопередаче стен допускается определять по формуле, соответствующей санитарно-гигиеническим условиям, т. е. по более низким требованиям, существовавшим до значительного их повышения в 1995 г. Таким образом, многим историческим зданиям удалось отстоять идентичность своих фасадов. Здесь следует отметить, что большинство сохранившихся исторических зданий построены из полнотелого кирпича и подавляющая их часть оштукатурена снаружи.

До начала XX в. большинство каменных фасадов отделывались снаружи с использованием известковых штукатурок. В XX в. по мере увеличения предприятий, выпускающих цемент, для наружной отделки фасадов стали применяться цементные и более сложные цементно-известковые составы. Не всегда опыт применения цементных составов при отделке наружных фасадов оказывался успешным. Цементная штукатурка обладает более высокой прочностью по сравнению с известковой, но и большей усадкой. Ее паропроницаемость ниже, чем у известковой, что при эксплуатации в холодный период года может приводить к более интенсивному увлажнению каменной кладки и, как следствие, снижению ее эксплуатационных теплотехнических характеристик и более интенсивному повреждению при воздействии отрицательных температур [9—12]. Анализ температурно-влажностного режима каменных стен памятников архитектуры в условиях влажного климата выполнен в исследованиях [13—15], которые показали, что по мере уменьшения паропроницаемости наружной штукатурки на границе соприкосновения каменного основания и штукатурного покрытия происходит сближение кривых распределения действительного и максимального парциальных давлений, что свидетельствует о высоком риске конденсации влаги, и этот риск тем выше, чем менее паропроницаемым оказывается штукатурное покрытие.

Вопросам совершенствования нормирования теплозащиты зданий посвящены исследования [16, 17], с акцентом на микроклимате помещений и развитии «зеленых» технологий.

В [18] исследован температурно-влажностный режим массивных каменных стен трех исторических зданий в условиях умеренного мягкого климата Португалии и Италии. Показано, что неучет высокой начальной влажности стен при оштукатуривании снижает скорость сушки каменной кладки. В работах [19—21] обсуждаются вопросы механической безопасности стеновых конструкций при воздействии на них влаги. В [22] на примере исторического здания библиотеки в условиях южно-европейского климата показано, что применение теплых штукатурных растворов эффективно при модернизации массивных стен. В [23] на основе теоретических и экспериментальных иссле-

³ СП 23-101—2004. Проектирование тепловой защиты зданий. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200037434?ysclid=m88d4p5fm560587587>.

⁴ СП 50.13330.2012.

ований каменных стен исторических зданий XIII—XVIII вв., расположенных в Ломбардии (Италия) показано, что влияние штукатурных слоев на теплотехнические характеристики тонких стен выше, чем массивных. В другом исследовании [24] установлено почти трехкратное увеличение коэффициента теплопроницаемости увлажненных кирпичных стен по сравнению с сухими в музее в Антверпене (Бельгия).

Проведенный обзор литературы показал, что при восстановлении эксплуатационных свойств каменных стен исторических зданий эффективно использовать наружное оштукатуривание стен. Такая технология позволяет полностью сохранить интерьер помещений. Незначительно меняется экстерьер зданий. Улучшаются эксплуатационные свойства стеновых ограждающих конструкций.

Исследование влияния вида штукатурной отделки на теплотехнические свойства кирпичных ограждающих конструкций представляет, безусловно, актуальную задачу. В этой связи целесообразно проведение сравнительных испытаний фрагментов кладки с различным исполнением наружных штукатурных покрытий для сравнения их теплотехнических и эксплуатационных показателей.

Методы

Объект исследования — фрагменты каменной кладки, выполненной из полнотелого кирпича и оштукатуренные с двух сторон различными штукатурными покрытиями.

Цель работы — моделирование климатических воздействий на оштукатуренные фрагменты каменной кладки с оценкой температурно-влажностного режима испытываемых фрагментов после заданного количества циклов климатических воздействий.

Задачи исследования:

1. Разработка алгоритма теплотехнических испытаний.
2. Проведение испытаний.
3. Обработка результатов испытаний.
4. Анализ полученных данных, формирование отчета.

Определение термического сопротивления испытываемых фрагментов кладки, оштукатуренных с двух сторон, выполнено в климатической камере по методике ГОСТ Р 54853—2011⁵. Сущность метода заключается в создании в климатической камере температурно-влажностных условий внутренней и наружной сред, соответствующих различным условиям эксплуатации ограждающих конструкций.

Для уменьшения влияния внешней среды конструкция изолирована по торцам согласно схеме, показанной на рис. 1. Термическое сопротивление торцевых поверхностей исследуемых фрагментов кладки составляет около $6 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, что более чем в 16 раз превышает ожидаемые термические сопротивления испытываемых фрагментов кладки. Следовательно, тепловыми потоками через торцевые поверхности фрагментов кладки можно пренебречь и рассматривать процесс теплопереноса по одномерной схеме.

⁵ ГОСТ Р 54853—2011. Здания и сооружения. Метод определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций с помощью тепломера. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200089412?ysclid=m88derrnsw198093080>.

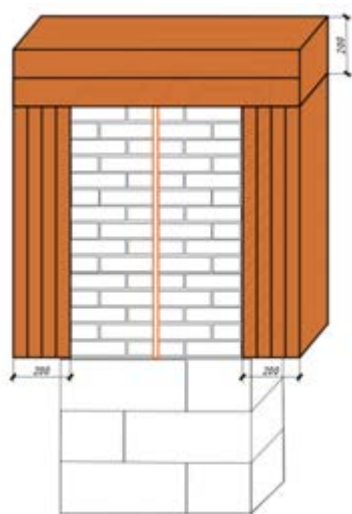


Рис. 1. Внешний вид фрагмента кладки в изометрии

Датчики температуры размещены на внутренней и наружной поверхностях испытываемых фрагментов стеновых конструкций, под образцами штукатурки, а также в геометрическом центре в теле кладки. Датчики тепловых потоков размещены на каждой из поверхностей испытываемых образцов с внутренней стороны.

Температурно-влажностные воздействия на фрагменты кладки реализованы в 3 этапа согласно графику, представленному на рис. 2.

Этап I моделирует расчетные условия отопительного периода в Санкт-Петербурге; этап II — условия наиболее холодного месяца года; этап III — изменения температуры наружного воздуха с циклическими суточными переходами температуры наружного воздуха через 0°C .

Для проведения исследования использованы:

климатическая камера СМ 5/100-500 для моделирования условий внутренней среды (теплый отсек);

климатическая камера ТХ-500 для моделирования условий наружной среды (холодный отсек);

прибор-регистратор «Теплограф» с датчиками теплового потока и температуры.

На рисунках 3—5 приведены внешний вид испытываемого фрагмента стеновой конструкции и испытательного оборудования.

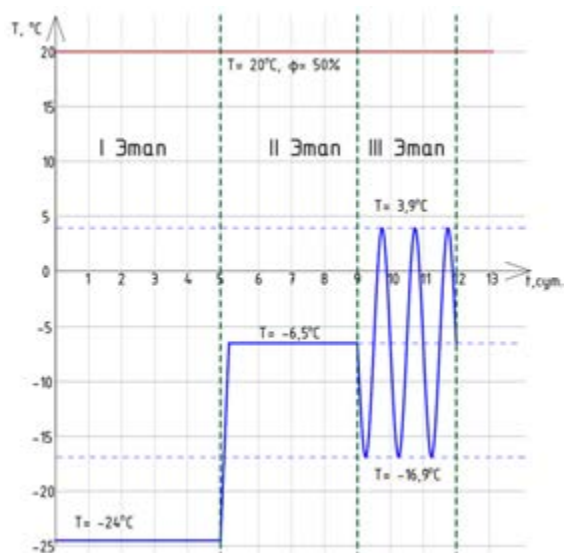


Рис. 2. Температурно-влажностные воздействия на фрагменты кладки:
красная линия — теплый отсек; синяя — холодный отсек



Рис. 3. Фрагменты кладки без штукатурки



Рис. 4. Испытываемая конструкция после утепления торцов



Рис. 5. Установка в рабочем режиме

Испытания двух фрагментов стеновых конструкций (образцов каменной кладки с различными типами наружной штукатурки) проводилось в течение 12 сут (см. рис. 2). Значения тепловых потоков и температур измерялись с помощью первичных датчиков, размещенных согласно методике, описанной в соответствующем разделе настоящего исследования, коммутация данных производилась прибором «Модуль-07», подключенным к регистратору «Теплограф».

Результаты

По результатам испытаний фрагментов кладки в климатической камере построены графики измеренных значений температур и тепловых потоков (рис. 6).

Из полученных графиков видно, что результаты теплотехнических испытаний закономерно отражают заданные температурно-влажностные воздействия (см. рис. 2) с чередованием установившихся, переходных и колебательных температурных режимов. Максимальные колебания температур отмечаются на наружной поверхности фрагментов кладки. По мере удаления от наружной поверхности в толщу конструкции эти колебания постепенно сглаживаются и практически полностью выравниваются на внутренней поверхности кладки. Продолжительность каждого из переходных периодов не превышает 1,5 сут, следовательно, фрагменты относятся к классу ограждающих конструкций малой тепловой инерционности. Циклические суточные колебания температур в холодном отсеке вызывают образование в образцах кладки тепловых волн, при этом толщина слоя резких температурных колебаний составляет около 80 мм.

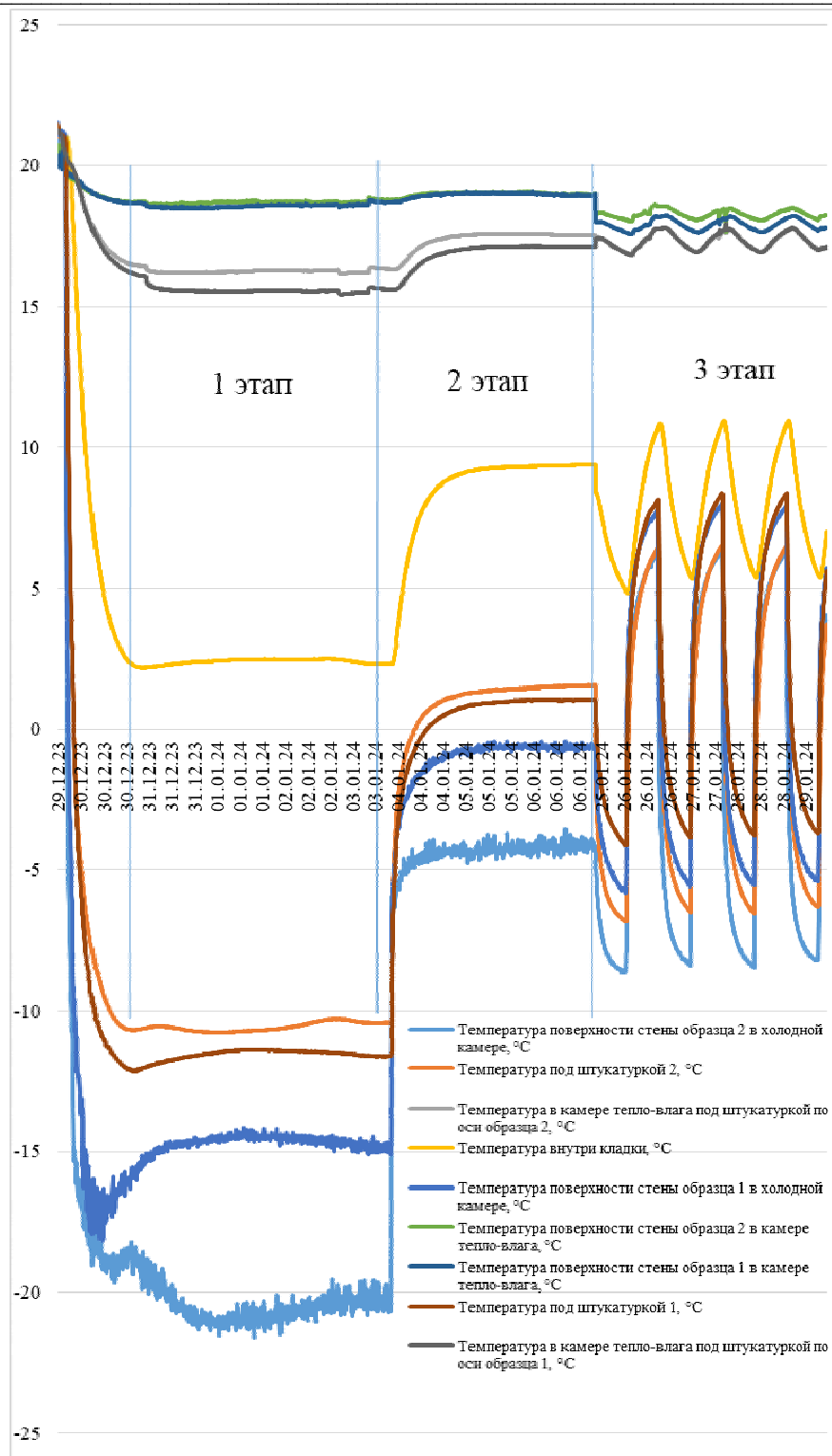


Рис. 6. Графики измеренных значений температур и тепловых потоков для исследованных фрагментов кладки



Рис. 7. Повреждения (волосные трещины) на поверхности фрагмента кладки, оштукатуренного снаружи цементной штукатуркой, после заданного цикла климатических воздействий

По результатам выполненных испытаний установлено, что термическое сопротивление фрагмента стеновой конструкции, оштукатуренного снаружи известковой штукатуркой, составило $0,373 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, фрагмента, оштукатуренного снаружи цементной штукатуркой, — $0,308 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$.

Более высокое значение термического сопротивления фрагмента кладки с наружной известковой штукатуркой может быть объяснено двумя обстоятельствами:

- а) более низкой теплопроводностью известковой штукатурки по сравнению с цементной;
- б) более низкой влажностью стеновой конструкции, оштукатуренной снаружи известковой штукатуркой.

После завершения цикла испытаний на фрагменте кладки, оштукатуренном снаружи цементной штукатуркой, выявлены многочисленные волосные трещины (рис. 7), появление которых обусловлено циклическими температурно-влажностными деформациями. На фрагменте, оштукатуренном снаружи известковой штукатуркой, характеризующейся большей деформативностью, подобных повреждений не выявлено.

Выводы

1. Термическое сопротивление фрагмента стеновой конструкции, оштукатуренной снаружи известковой штукатуркой, по результатам выполненных испытаний составило $0,373 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, фрагмента, оштукатуренного снаружи цементной штукатуркой, — $0,308 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$. Более высокое значение термического сопротивления фрагмента кладки с известковой штукатуркой снаружи может быть обусловлено двумя обстоятельствами:

- а) более низкой теплопроводностью известковой штукатурки по сравнению с цементной;
- б) более низкой влажностью стеновой конструкции, оштукатуренной снаружи известковой штукатуркой.

2. Полученные результаты теплотехнических испытаний закономерно отражают заданные температурно-влажностные воздействия, с чередованием

переходных, установившихся и колебательных температурных режимов. Продолжительность каждого из переходных периодов не превышает 1,5 сут, следовательно, фрагменты относятся к классу ограждающих конструкций малой тепловой инерционности. Циклические суточные колебания температур в холодном отсеке вызывают образование в образцах кладки тепловых волн, при этом толщина слоя резких температурных колебаний составляет около 80 мм.

3. После завершения цикла испытаний на фрагменте кладки, оштукатуренном снаружи цементной штукатуркой, выявлены многочисленные волосяные трещины, появление которых обусловлено циклическими температурно-влажностными деформациями. На фрагменте, оштукатуренном снаружи известковой штукатуркой, характеризующейся большей деформативностью, подобных повреждений не выявлено.

4. Дальнейшие исследования будут связаны с исследованием влияния влажности на теплопроводность штукатурных слоев.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горшков А. С., Ливчак В. И. Ограждающие конструкции зданий: обзор и анализ нормативных требований. Saarbrücken: LAP LAMBERT, 2015. 67 с.
2. Горшков А. С. Обзор нормативных требований к ограждающим конструкциям зданий: от Урочного положения до 1995 года // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2016. № 3-4 (206-207). С. 41—45.
3. Корниенко С. В. Комплексная оценка теплозащиты ограждающих конструкций оболочки здания // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 7(33). С. 43—49.
4. Горшков А. С., Немова Д. В., Рымкевич П. П. Экономим или нет? Российские энергосберегающие требования // Энергосбережение. 2014. № 2. С. 26—32.
5. Korniyenko S. V. Renovation of Residential Buildings of the First Mass Series // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 463. Iss. 2. Pp. 022060.
6. Korniyenko S. V., Astafurova T. N., Kozlova O. P. Energy Efficient Major Overhaul in Residential Buildings of the First Mass Series // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 753. Iss. 4. Pp. 042039.
7. Vatin N., Gorshkov A., Nemova D., Tarasova D. Energy efficiency of facades at major repairs of buildings // Applied Mechanics and Materials. 2014. Vol. 633-634. Pp. 991—996.
8. Аверьянов В. К., Байкова С. А., Горшков А. С. Региональная концепция обеспечения энергетической эффективности жилых и общественных зданий // Жилищное строительство. 2012. № 3. С. 2—4.
9. Васильев Г. П., Жолобецкий Я. Я., Личман В. А. Теплотехнические испытания кладок из различных строительных материалов // Энергосбережение. 2016. № 3. С. 48—61.
10. Орлович Р. Б., Горшков А. С., Шангина Н. Н., Харитонов А. М. Причины и механизмы повреждения штукатурного покрытия фасадов исторических каменных зданий // Социология города. 2023. № 2. С. 59—77.
11. Корниенко С. В., Горшков Р. А. Теплотехнические риски при решении задач сохранения каменных стен памятников архитектуры // Энергосбережение. 2024. № 3. С. 38—41.
12. Горшков А. С. Оценка долговечности стеновой конструкции на основании лабораторных и натурных испытаний // Строительные материалы. 2009. № 8. С. 12—17.
13. Горшков Р. А., Корниенко С. В. Влияние климата и наружной штукатурки на влажностный режим каменных стен // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. № 6. С. 971—981.
14. Корниенко С. В., Горшков Р. А. Конденсационное увлажнение каменных стен памятников архитектуры в условиях влажного климата // Социология города. 2023. № 2. С. 44—58.
15. Vasilyev G. P., Lichman V. A., Kolesova M. V. Simulation of heat and moisture transfer in a multiplex structure // Energy and Buildings. 2015. Vol. 86. Pp. 803—807.
16. Корниенко С. В. Энергоэффективность, экологическая безопасность, экономическая эффективность — приоритетные задачи «зеленого» строительства // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 49(68). С. 167—177.

17. *Перехоженцев А. Г.* Тепловой комфорт в помещении — основа нормирования теплозащиты зданий. Предложения по совершенствованию норм по теплозащите зданий // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 4(81). С. 227—237.
18. *Posani M., Veiga R., Peixoto de Freitas V.* Thermal renders for traditional and historic masonry walls: Comparative study and recommendations for hygric compatibility // Building and Environment. 2023. Vol. 228. Pp. 109737.
19. *Mistretta F., Stochino F., Sassu M.* Structural and thermal retrofitting of masonry walls: An integrated costanalysis approach for the Italian context // Building and Environment. 2019. Vol. 155. Pp. 127—136.
20. *Зимин С. С., Горшков Р. А., Войлоков И. А., Корниенко С. В.* Причины образования трещин в штукатурке неотапливаемых каменных зданий // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 10. С. 1297—1306.
21. *Besen P., Boarin P.* Integrating energy retrofit with seismic upgrades to future-proof built heritage: Case studies of unreinforced masonry buildings in Aotearoa New Zealand // Building and Environment. 2023. Vol. 241. Pp. 110512.
22. *Posani M., Veiga R., Freitas V.* Post-Insulating traditional massive walls in Southern Europe: A moderate thermal resistance can be more effective than you think // Energy and Buildings. 2023. Vol. 295. Pp. 113299.
23. *Lucchi E.* Thermal transmittance of historical stone masonries: A comparison among standard, calculated and measured data // Energy and Buildings. 2017. Vol. 151. Pp. 393—405.
24. *Litti G., Khoshdel S., Audenaert A., Braet J.* Hygrothermal performance evaluation of traditional brick masonry in historic buildings // Energy and Buildings. 2015. Vol. 105. Pp. 393—411.

© *Шангина Н. Н., Харитонов А. М., Корниенко С. В., Ольшевский В. Я., Еникеев А. И., Фомин С. Н., Горшков А. С., 2025*

*Поступила в редакцию
в декабре 2024 г.*

Ссылка для цитирования:

Влияние типа наружного штукатурного покрытия на температурно-влажностные характеристики однородных каменных стен / Н. Н. Шангина, А. М. Харитонов, С. В. Корниенко, В. Я. Ольшевский, А. И. Еникеев, С. Н. Фомин, А. С. Горшков // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2025. Вып. 1(98). С. 407—417. DOI: 10.35211/18154360_2025_1_407.

Об авторах:

Шангина Нина Николаевна — д-р техн. наук, проф., и.о. зав. каф. архитектурно-строительного проектирования, Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I. Российская Федерация, 190031, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 9; arsp@pgups.ru

Харитонов Алексей Михайлович — д-р техн. наук, доц., проф. каф. технологии строительных материалов и метрологии, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Российская Федерация, 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, 4; reepdv@mail.ru

Корниенко Сергей Валерьевич — д-р техн. наук, доц., зав. каф. архитектуры зданий и сооружений, Волгоградский государственный технический университет. Российская Федерация, 400001, Волгоград, пр. Ленина, 28; skorn73@mail.ru

Ольшевский Вячеслав Янушевич — канд. техн. наук, вед. науч. сотр. лаборатории защищенных и модульных сооружений, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. Российская Федерация, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29; olshevskij-yuo@spbstu.ru

Еникеев Артем Искандарович — инженер НОЦ «Высота», Инженерно-строительный институт, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. Российская Федерация, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29; yaenikeeff@yandex.ru

Фомин Станислав Николаевич — зам. руководителя ИИЦ «Строительство и реконструкция», ООО «АЖИО». Российская Федерация, 196608, г. Санкт-Петербург, ул. Автомобильная, 9, лит. Б, пом. 1-Н; fomin@agiogk.ru

Горшков Александр Сергеевич — д-р техн. наук, проф. каф. интеллектуальных систем и защиты информации, Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна. Российская Федерация, 191186, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 18; alsgor@yandex.ru

**Nina N. Shangina^a, Alexey M. Kharitonov^b, Sergey V. Kornienko^c,
Vyacheslav Ya. Olshevsky^d, Artem I. Yenikeev^d, Stanislav N. Fomin^e,
Alexander S. Gorshkov^f**

^a *Emperor Alexander I Saint Petersburg State Transport University*

^b *Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering*

^c *Volgograd State Technical University*

^d *Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University*

^e *LLC "AGIO"*

^f *Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design*

INFLUENCE OF THE TYPE OF PLASTER FINISHING ON THE THERMAL PROPERTIES OF BRICK BUILDING COMPONENTS

A research of the thermal properties of two fragments of masonry made of full-bodied brick in the climatic chamber was carried out. The difference in the tested fragments is due to the difference in external plaster coatings: cement and lime. The temperatures and heat fluxes measured at three modes of testing were measured. The results demonstrated that the thermal resistance of a fragment with lime plaster turned out to be more than that of a fragment with cement plaster. In addition, after completion of the test cycle, numerous hair cracks were revealed on the masonry fragment plastered outside with cement plaster, the appearance of which is due to cyclic temperature and humidity deformations.

Key words: facades, masonry, brick, plaster, climate chamber, thermal conductivity, thermal resistance, total resistance to heat transfer

For citation:

Shangina N. N., Kharitonov A. M., Kornienko S. V., Olshevsky V. Ya., Yenikeev A. I., Fomin S. N., Gorshkov A. S. [Influence of the type of plaster finishing on the thermal properties of brick building components]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2025, iss. 1, pp. 407—417. DOI: 10.35211/18154360_2025_1_407.

About authors:

Nina N. Shangina — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Emperor Alexander I Saint Petersburg State Transport University. 9, Moscow Avenue, Saint Petersburg, 190031, Russian Federation; arsp@pgups.ru

Alexey M. Kharitonov — Doctor of Engineering Sciences, Docent, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. 4, 2nd Krasnoarmeyskaya st., Saint Petersburg, 190005, Russian Federation; peepdv@mail.ru

Sergey V. Kornienko — Doctor of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University. 28, Lenin Avenue, Volgograd, 400001, Russian Federation; skorn73@mail.ru

Vyacheslav Ya. Olshevsky — Candidate of Engineering Sciences, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University. 29, Polytechnicheskaya st., Saint Petersburg, 195251, Russian Federation; olshevskij-vyo@spbstu.ru

Artem I. Yenikeev — engineer of REC "Height", Civil Engineering Institute, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University. 29, Polytechnicheskaya st., Saint Petersburg, 195251, Russian Federation; yaenikeeff@yandex.ru

Stanislav N. Fomin — Deputy Head of the LLC "Construction and Reconstruction", LLC "AGIO". 9B, Avtomobilnaya st., Saint Petersburg, 196608, Russian Federation; fomin@agiogk.ru

Alexander S. Gorshkov — Doctor of Engineering Sciences, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design. 18, Bolshaya Morskaya st., Saint Petersburg, 191186, Russian Federation; alsgor@yandex.ru