

Влияние климата и наружной штукатурки на влажностный режим каменных стен

Ростислав Александрович Горшков¹, Сергей Валерьевич Корниенко²

¹ Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения (ГУАП);
г. Санкт-Петербург, Россия;

² Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ); г. Волгоград, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Исследование выполнено для установления возможных причин повреждения отделочных штукатурных покрытий на фасадах исторических каменных зданий, построенных в Санкт-Петербурге до 1917 г., в результате их переувлажнения и последующего морозного разрушения.

Материалы и методы. Изучен механизм увлажнения оштукатуренной с двух сторон однородной стеновой конструкции вследствие переноса влаги из помещения в окружающую среду через толщу стены за счет разности парциальных давлений водяного пара изнутри и снаружи помещения в холодный период года. Построены графики распределения действительного и максимального парциальных давлений водяного пара по толщине стеновой конструкции в зависимости от типа штукатурного покрытия применительно для двух расчетных случаев — для условий наиболее холодного месяца и наиболее холодной пятидневки в Санкт-Петербурге.

Результаты. Выявлено, что для условий наиболее холодного месяца в Санкт-Петербурге действительное парциальное давление водяного пара по толщине рассматриваемой стеновой конструкции не превышает максимальное, что свидетельствует об отсутствии условий для конденсации влаги в толще стенового ограждения. Однако по мере уменьшения паропроницаемости наружной штукатурки на границе соприкосновения каменного основания и штукатурного покрытия происходит сближение кривых распределения действительного и максимального парциальных давлений. Для условий наиболее холодной пятидневки действительное парциальное давление водяного пара уже на расстоянии 135 мм от внутренней поверхности превышает максимальное парциальное давление, что свидетельствует о высоком риске конденсации влаги, и этот риск тем выше, чем менее паропроницаемым оказывается штукатурное покрытие.

Выводы. Доказано, что при установлении наиболее холодных температур наружного воздуха существует высокая вероятность конденсации водяного пара в толще рассматриваемой стеновой конструкции. Наиболее высокий риск замерзания конденсирующейся влаги будет наблюдаться на границе соприкосновения каменного основания с наружной штукатуркой. Замерзание влаги в трещинах и пустотах контактной зоны каменного основания и штукатурного покрытия может приводить к заземлению воды, возникновению значительных внутренних напряжений в отделочном слое и, как следствие, к его постепенному повреждению, вплоть до выпадения отдельных фрагментов штукатурки.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: исторические здания, наружные стены, каменная кладка, штукатурка, увлажнение, влажностный режим, замерзание влаги, морозостойкость, трещины, морозное разрушение

Благодарности. Авторы выражают благодарность известному специалисту каменных конструкций доктору технических наук, профессору Роману Болеславовичу Орловичу за полезные замечания и профессиональные советы при подготовке статьи.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Горшков Р.А., Корниенко С.В. Влияние климата и наружной штукатурки на влажностный режим каменных стен // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. Вып. 6. С. 971–981. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.6.971-981

Автор, ответственный за переписку: Ростислав Александрович Горшков, rostalsgor@gmail.com.

Influence of climate and external plaster on the humidity conditions of masonry walls

Rostislav A. Gorshkov¹, Sergey V. Kornienko²

¹ Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation (SUAI); Saint Petersburg, Russian Federation;

² Volgograd State Technical University (VSTU); Volgograd, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The study was carried out to determine the possible causes of damage to the finishing plaster coverings on the facades of historical stone buildings, built in St. Petersburg before 1917, as a result of their humidification and subsequent frost destruction.

Materials and methods. The mechanism of humidification of a homogeneous wall structure plastered on both sides due

to the moisture transfer from the room to the environment through the wall thickness due to the difference in partial pressures of water vapour from inside and outside the room during the cold season is studied. The paper provides the graphs of the distribution of the actual and maximum partial pressures of water vapour over the thickness of the wall structure, depending on the type of plaster covering, for two calculated cases — for the conditions of the coldest month and the coldest five-day period in St. Petersburg.

Results. It is revealed that for the conditions of the coldest month in St. Petersburg, the actual partial pressure of water vapour in the thickness of the wall structure under consideration does not exceed the maximum, which indicates the absence of conditions for moisture condensation in the thickness of the wall envelope. However, as the vapour permeability of the external plaster decreases, the curves of the distribution of the actual and maximum partial pressures converge at the interface of the stone base and the plaster covering. For the conditions of the coldest five-day period, the actual partial pressure of water vapour already at a distance of 135 mm from the inner surface exceeds the maximum partial pressure, which indicates a high risk of moisture condensation, and this risk is the higher the less vapour permeable the plaster covering is.

Conclusions. It is proven that when the coldest outdoor temperatures are established, there is a high probability of condensation of water vapour in the thickness of the wall structure under consideration. The highest risk of freezing of the condensable moisture will be observed at the interface of stone base with the external plaster. Freezing of moisture in cracks and voids in the contact zone of the stone base and the plaster covering can lead to water trapping, the occurrence of significant internal stresses in the finishing layer and, as a result, to its gradual damage, up to the loss of individual fragments of plaster.

KEYWORDS: historical buildings, external walls, masonry, plaster, humidification, moisture conditions, moisture freezing, frost resistance, cracks, frost destruction

Acknowledgments. The authors express their gratitude to a well-known specialist of masonry structures, Doctor of Technical Sciences, Professor Roman Boleslavovich Orlovich for useful comments and professional advice during the preparation of the paper.

FOR CITATION: Gorshkov R.A., Kornienko S.V. Influence of climate and external plaster on the humidity conditions of masonry walls. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2024; 19(6):971-981. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.6.971-981 (rus.).

Corresponding author: Rostislav A. Gorshkov, rostalsgor@gmail.com.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в Санкт-Петербурге участились случаи падения фрагментов наружной штукатурки на тротуары, внутридомовую территорию и проезжую часть дорог. Падение штукатурки влечет за собой риск травмирования пешеходов, а также повреждения транспортных средств и дорожных покрытий.

В Санкт-Петербурге расположено наибольшее количество по стране исторических каменных зданий [1], большинство из которых имеют наружный отделочный слой из штукатурки. В связи с этим вопросы обеспечения долговечности и надежности штукатурных покрытий исторических каменных зданий являются важными (рис. 1, 2).

Один из механизмов разрушения отделочного штукатурного покрытия наружных каменных стен — появление влаги в толще стенового ограждения, замораживание поровой влаги при отрицательных температурах и последующее его разрушение в результате воздействия знакопеременных температур [2–10].

Для исторических каменных зданий строительный, эксплуатационный и гигроскопический типы влагонакопления неактуальны, так как процесс их возведения давно завершен, технологические факторы маловероятны, а все материалы, которые могут способствовать накоплению гигроскопической влаги в материалах стенового ограждения, уже реализовались. Грунтовая влага, особенно при недостаточно надежной горизонтальной гидроизоляции, может приводить к намоканию наружных слоев кирпичной кладки, но высота ее воздействия,

а следовательно, и высота повреждений штукатурки оказываются незначительными.

Капиллярный подсос влаги в каменной кладке также незначителен, поскольку мелкие капилляры в кирпиче прерываются по высоте каменной кладки растворными швами с более высокой пористостью, что в значительной степени замедляет процесс подъема влаги [11, 12].

Воздействие атмосферной влаги нельзя исключать, однако его детальное рассмотрение требует проведения лабораторных и натурных исследований, длительных, дорогостоящих и, как правило, недостаточно полно отраженных в стандартах [13, 14].

В рамках настоящего исследования рассмотрен механизм увлажнения оштукатуренной с двух сторон однородной ограждающей конструкции вследствие переноса влаги из помещения в окружающую среду через толщу стены за счет разности парциальных давлений водяного пара изнутри и снаружи помещения в холодный период года.

Паропроницаемость каменного основания наружной стены и штукатурного покрытия могут в той или иной мере отличаться друг от друга. Как правило, паропроницаемость отделочного покрытия наружной стены ниже, чем у основания. В этой связи на границе материалов с различающимися характеристиками может происходить накопление водяного пара и его последующая конденсация из-за градиента температур по толщине стены. Чем ниже паропроницаемость внешнего штукатурного слоя, тем более интенсивным следует ожидать процесс накопления влаги в толще стенового ограждения и на границе слоев с различающимися тепловлажностными характеристиками. В связи с этим интерес представляет



Рис. 1. Разрушение отделочного слоя штукатурного покрытия

Fig. 1. Destruction of the finishing layer of the plaster covering

оценка влажностного режима однородных каменных стен исторических зданий в зависимости от типа наружной штукатурки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объекта исследования выбрана стеновая конструкция из полнотелого глиняного (керамического) кирпича толщиной 640 мм (в два с половиной кирпича) с внутренним и наружным штукатурным покрытием. С учетом толщины внутренней (15 мм) и наружной (20 мм) штукатурки суммарная толщина стеновой конструкции составляет 675 мм. Объект исследования расположен в Санкт-Петербурге.

Толщина стен в два с половиной кирпича характерна для большинства исторических зданий, построенных в Санкт-Петербурге до 1917 г. [15, 16].

Характеристики климата для расчета влажностного режима:

- температура наружного воздуха наиболее холодного месяца (января) — минус 6,6 °С;
- температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 — минус 24 °С;
- относительная влажность воздуха — 86 %.

В настоящее время большинство исторических каменных зданий в Санкт-Петербурге являются жилыми, в связи с чем расчетные параметры внутреннего воздуха в помещениях приняты следующими:

- температура — 20 °С;
- относительная влажность — 55 %.

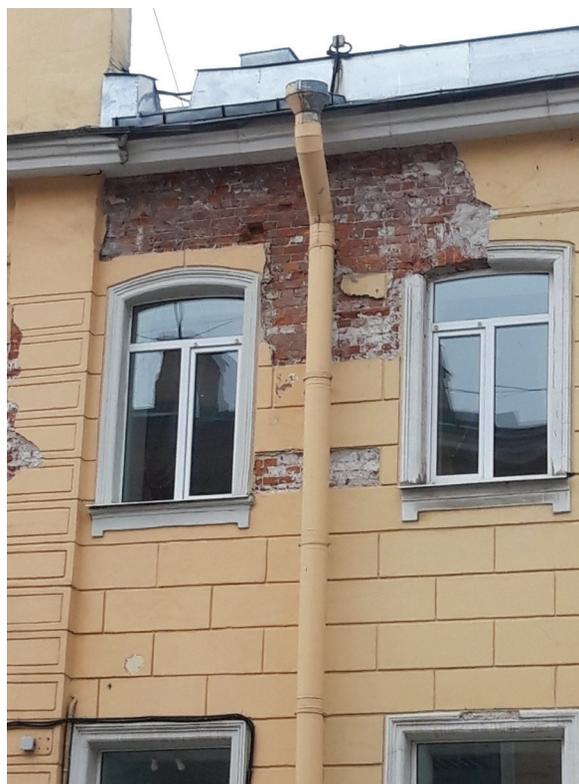


Рис. 2. Повреждение штукатурного покрытия с выпадением отдельных его фрагментов

Fig. 2. Damage to the plaster covering with the loss of its fragments

Теплофизические характеристики материалов стенового ограждения (по данным СП 23-101)

Thermal characteristics of wall envelope materials according to CP 23-101

Номер/тип слоя Layer type	Толщина, мм Thickness, mm	Характеристики в сухом состоянии Characteristics in dry condition		Расчетные характеристики при условиях эксплуатации Б Design characteristics by operating conditions B		
		плотность, кг/м ³ density, kg/m ³	теплопроводность, Вт/(м·К) thermal conductivity, W/(m·K)	массовое отношение влаги, % mass moisture ratio, %	теплопроводность, Вт/(м·К) thermal conductivity, W/(m·K)	паропроницаемость, мг/(м·ч·Па) vapour permeability, mg/(m·h·Pa)
1	<i>Внутренняя штукатурка Internal plaster</i>					
–	15	1600	0,47	4	0,81	0,12
2	<i>Каменное основание Masonry</i>					
–	640	1800	0,56	2	0,81	0,11
3	<i>Наружная штукатурка (по типам) External plaster (by type)</i>					
3.1	20	1600	0,47	4	0,81	0,12
3.2	20	1700	0,52	4	0,87	0,098
3.3	20	1800	0,58	4	0,93	0,090

Влажностный режим помещений (по табл. 1 СП 50.13330) — нормальный.

Расчетные условия эксплуатации наружных ограждающих конструкций (по данным табл. 2 СП 50.13330) — Б.

Для моделирования влажностного режима выбранного объекта исследования рассмотрены три типа наружной штукатурки (табл.):

- известково-песчаная (тип 3.1);
- на основе сложного раствора (тип 3.2);
- цементно-песчаная (тип 3.3).

Расчетные теплофизические характеристики материалов рассматриваемой стеновой конструкции представлены в таблице.

Из данных таблицы следует, что паропроницаемость известково-песчаной штукатурки выше, чем у каменного основания, т.е. материал с такими свойствами будет способствовать выведению водяного пара из ограждения в холодный период года. Паропроницаемость сложного раствора, состоящего из песка, извести и цемента, и цементно-песчаного раствора, ниже паропроницаемости каменной кладки, ввиду чего существует высокая вероятность накопления и последующей конденсации водяного пара на границе раздела каменного основания и штукатурного покрытия.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты исследования представлены на рис. 3, 4.

Из рис. 3 видно, что по мере уменьшения паропроницаемости наружной штукатурки ближе к границе соприкосновения каменного основания и штукатурного покрытия происходит сближение кривых

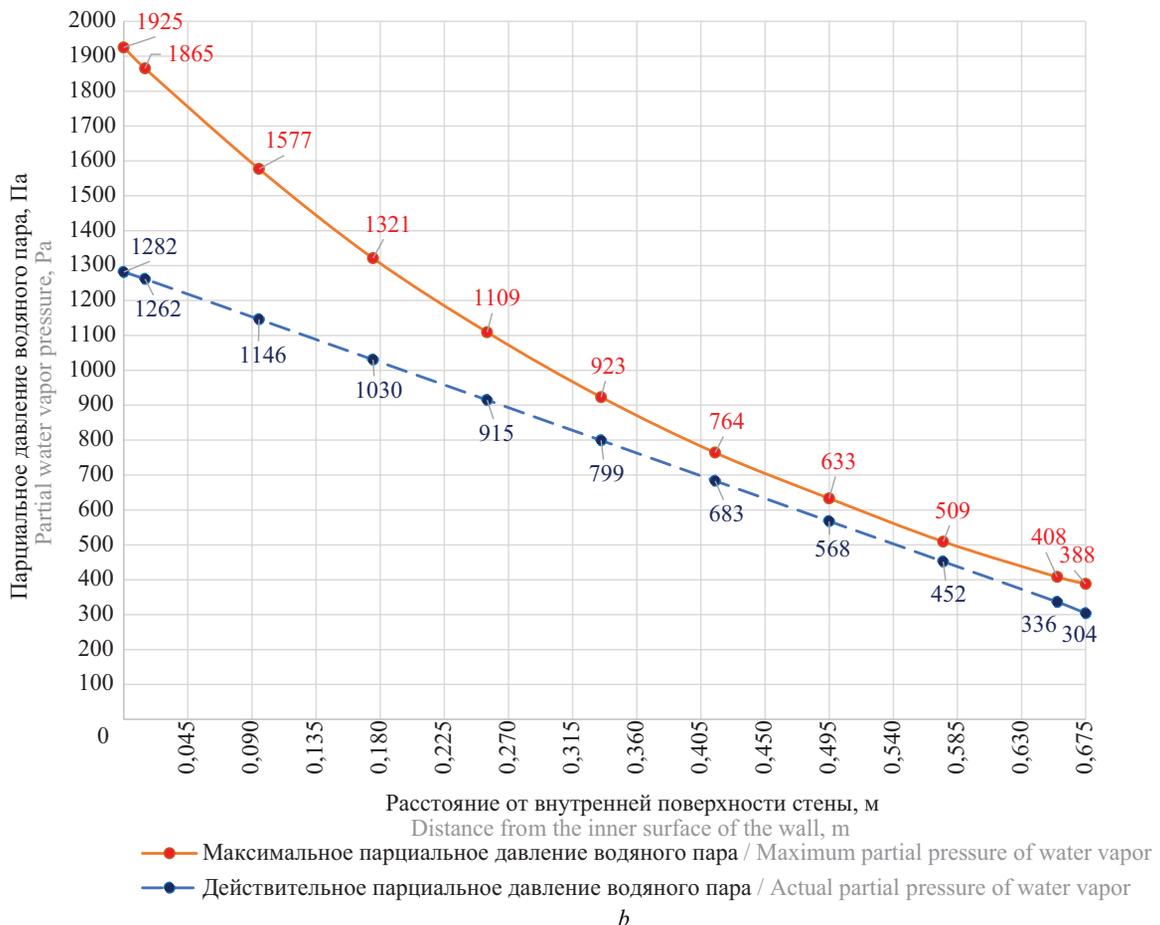
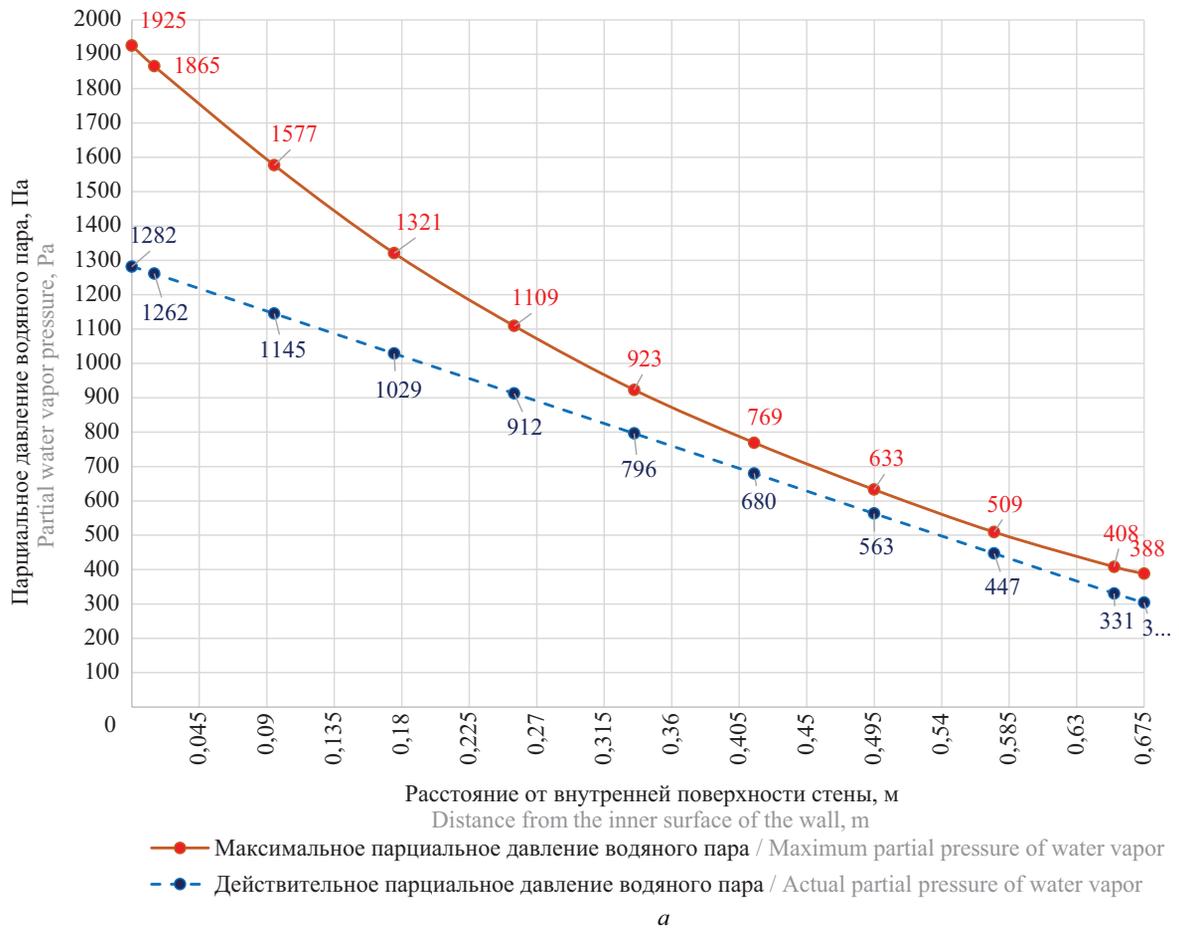
распределения действительного и максимального парциальных давлений водяного пара, однако наложения их не наблюдается, что при принятых граничных условиях свидетельствует о невысокой вероятности конденсации влаги в толще стенового ограждения.

Иная ситуация наблюдается для условий наиболее холодной пятидневки (рис. 4). Уже начиная с расстояния 135 мм от внутренней поверхности стены, существует риск образования конденсата для всех типов наружных штукатурных покрытий.

С учетом распределения температуры внутри рассматриваемого стенового ограждения в зоне отрицательных температур высока вероятность замерзания конденсирующейся в порах стеновых материалов влаги с последующим их морозным разрушением.

Следует отметить, что ввиду малости влияния теплофизических свойств штукатурных покрытий на общее сопротивление теплопередаче рассматриваемой стеновой конструкции распределение температур по ее толщине практически не зависит от типа штукатурного покрытия.

Замерзание конденсационной влаги в порах стеновых материалов приводит к образованию ледяной прослойки, значительно замедляющей миграцию пара из стены наружу, в результате чего происходит более интенсивное накопление влаги внутри конструкции стены. Данное обстоятельство никак не отражается в приведенных выше расчетах влажностного режима ограждающих конструкций, однако выявляется в ходе лабораторных исследований [17, 18].



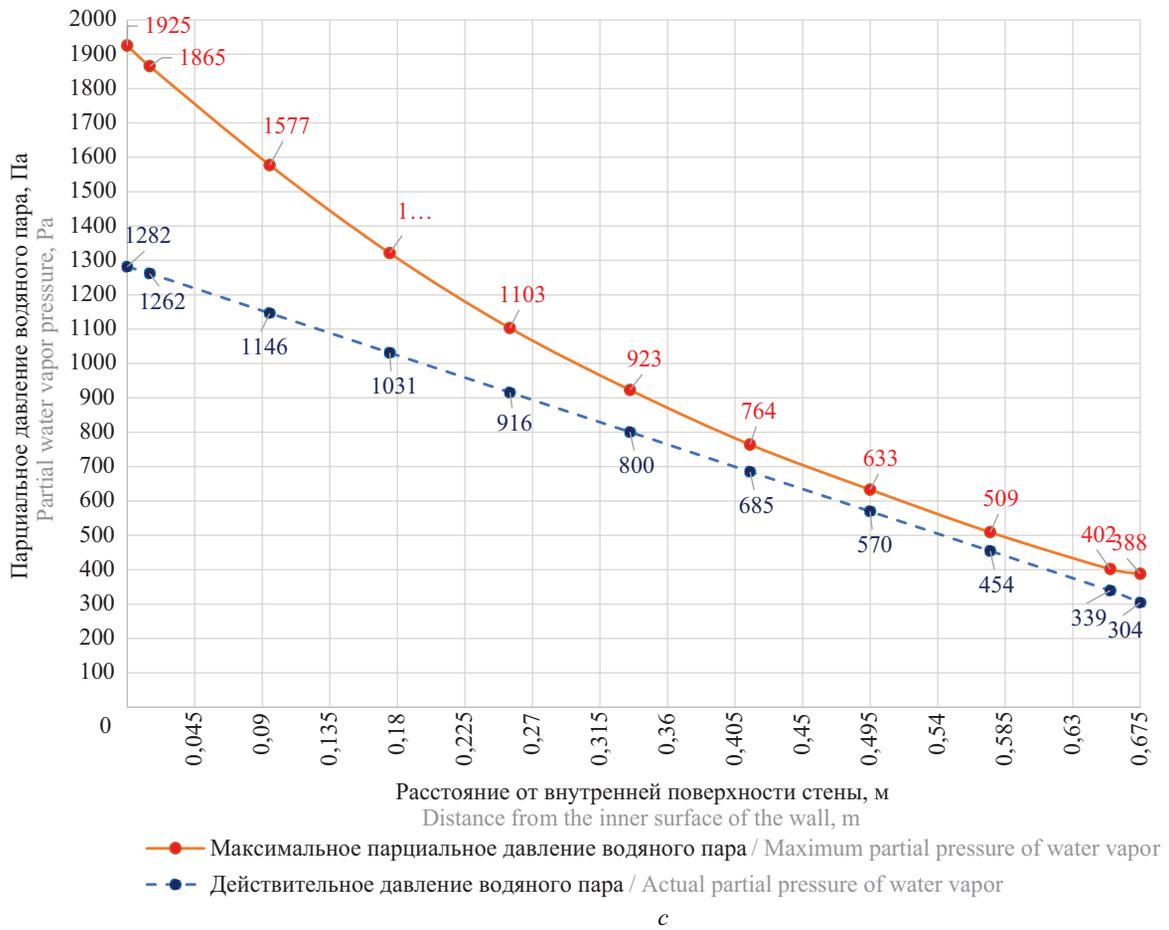
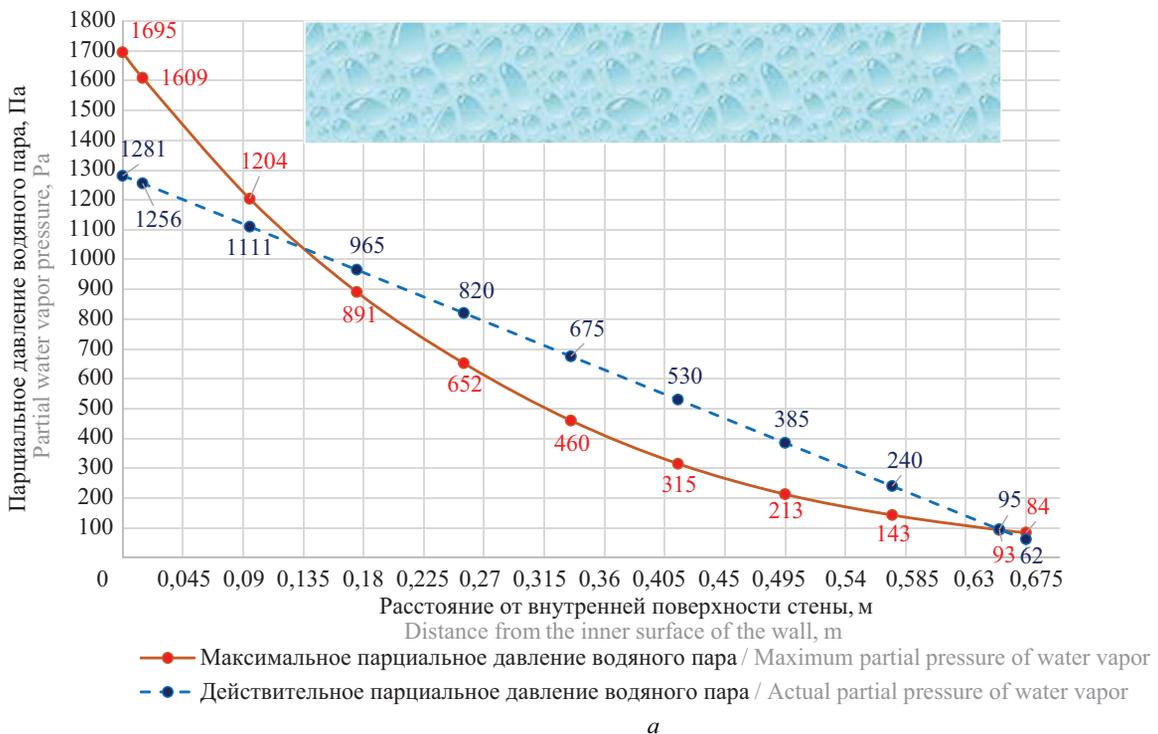


Рис. 3. Распределение парциальных давлений водяного пара по толщине стеновой конструкции с наружным штукатурным покрытием из известково-песчаного раствора (а); сложного раствора (b); цементно-песчаного раствора (с) для условий наиболее холодного месяца

Fig. 3. Distribution of partial pressures of water vapour along the thickness of the wall structure with an external plaster covering based on lime-sand mortar (a); complex mortar (b); cement-sand mortar (c) for the conditions of the coldest month



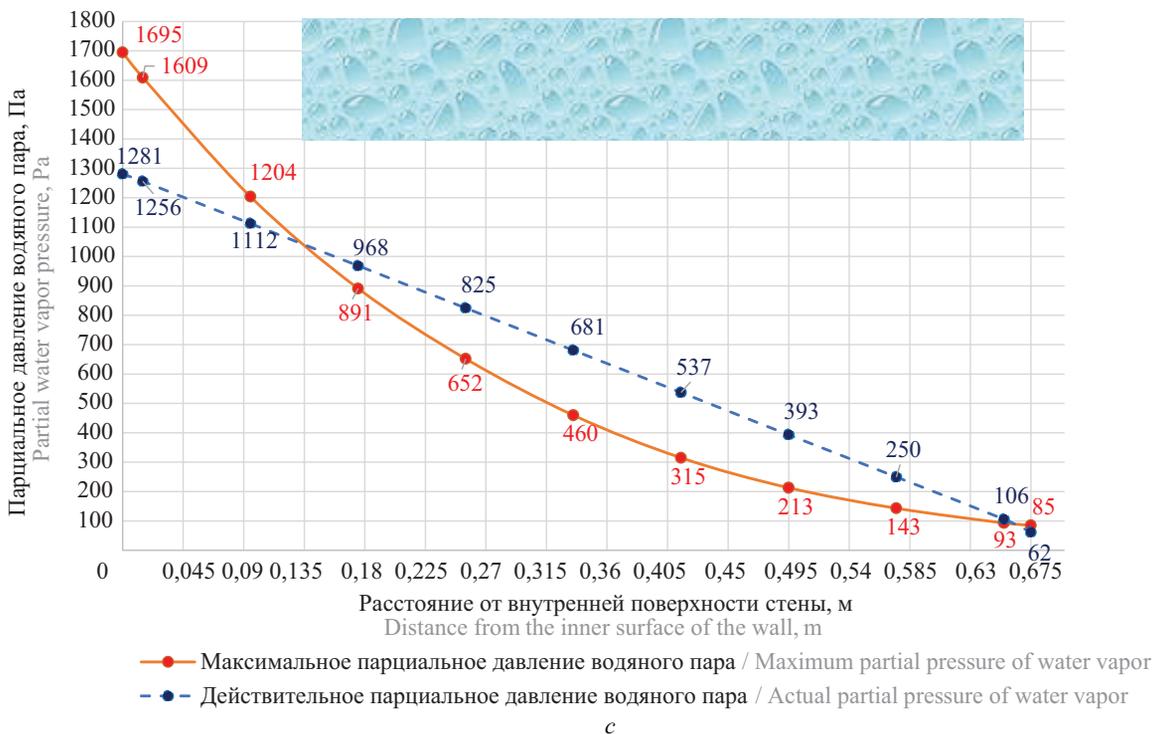
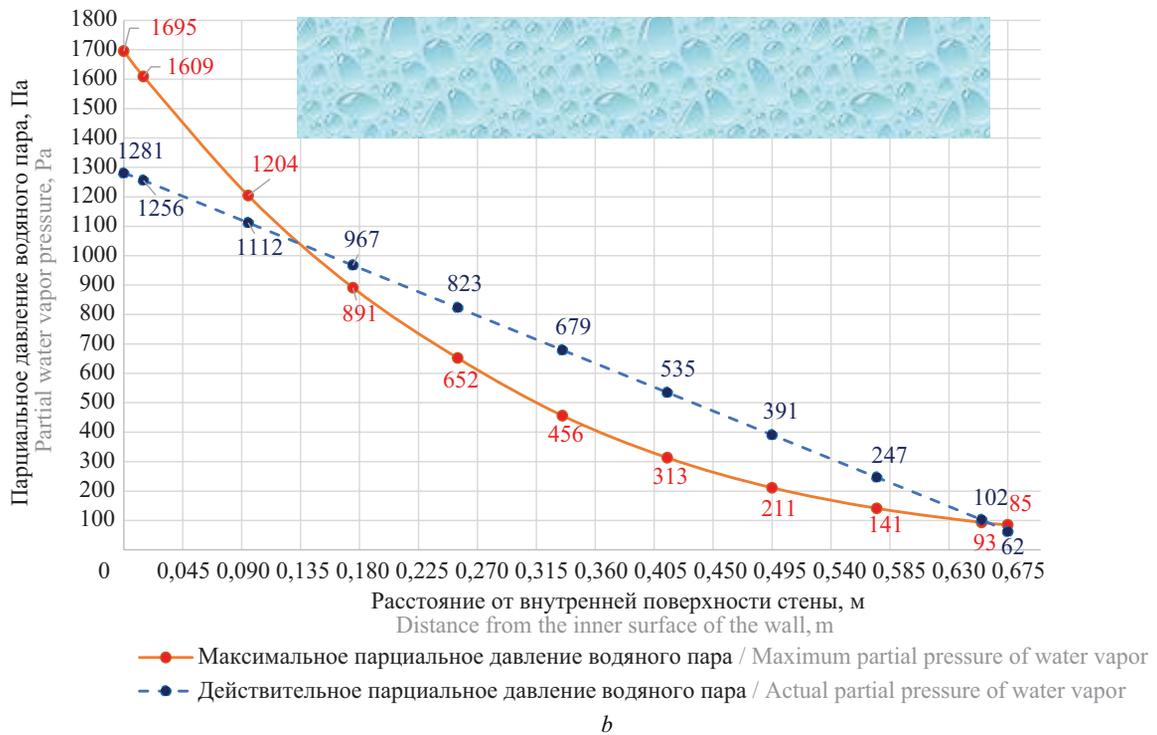


Рис. 4. Распределение парциальных давлений водяного пара по толщине стеновой конструкции с наружным штукатурным покрытием из известково-песчаного раствора (а); сложного раствора (б); цементно-песчаного раствора (с) для условий наиболее холодной пятидневки

Fig. 4. Distribution of partial pressures of water vapour along the thickness of a wall structure with an external plaster covering based on lime-sand mortar (a); complex mortar (b); cement-sand mortar (c) for the conditions of the coldest five-day period

Рассмотренная выше модель не лишена недостатков, среди которых можно выделить:

1. Метод расчета влажностного режима по стационарным условиям переноса парообразной влаги является ориентировочным и не в полной мере отражает реальную картину изменения влажности ма-

териалов ограждающей конструкции ввиду того, что процессы диффузии водяного пара протекают медленно (влагоинерционный эффект).

2. Слабым местом данного метода служит также то обстоятельство, что он позволяет установить лишь возможность конденсации влаги, но не дает возмож-

ности определить влажность материалов ограждающей конструкции и степень их насыщения влагой.

При выявлении плоскости конденсации в наиболее холодный месяц года целесообразно установить годовой баланс влаги в конструкции, что позволит выяснить, происходит ли в рассматриваемой стеновой конструкции систематическое накопление влаги или влага, конденсированная в холодный период года, успевает испариться из конструкции в течение теплого периода. Такие условия более подробно рассмотрены в исследованиях [19–24]. Для получения более точных результатов расчет влажностного режима ограждающих конструкций желательнее проводить по нестационарным условиям с учетом совместного переноса влаги в парообразной и жидкой фазах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Из полученных результатов следует, что при наиболее низких температурах наружного воздуха становится вероятной конденсация влаги в порах стеновых материалов, которая в области отрицательных температур может переходить в твердое агрегатное состояние. При этом необходимо иметь в виду, что температура начала замерзания влаги в большинстве строительных материалов и изделий, применяемых в составе наружных стеновых конструкций, отличается от 0 °С. Этому способствуют два фактора:

- наличие солей в каменной кладке или штукатурном покрытии, которые понижают температуру замерзания жидкости (например, температура замерзания насыщенного раствора поваренной соли составляет –21,2 °С). Однако стоит отметить, что в кладке исторических зданий химически активных солей со временем остается крайне мало, а их новое появление возможно только в цокольной части наружных стен вследствие обработки тротуаров прогивогололедными реагентами;

- заземленная в полостях или трещинах вода находится под давлением, ввиду чего замерзает при более низких температурах.

Механизм заземления влаги может являться одной из причин разрушения штукатурки в зоне ее контакта с каменным основанием.

Дальнейшее понижение температуры приводит к замерзанию и увеличению в объеме заземленных

слоев воды, что сопровождается возникновением значительных внутренних напряжений в отделочном слое. Лед и заземленная в пустотах и трещинах вода оказывают расклинивающее воздействие на штукатурку, что при знакопеременных температурных воздействиях приводит к постепенному ее отделению от основания, вплоть до выпадения отдельных фрагментов.

Результаты выполненного исследования показывают:

- для условий наиболее холодного месяца в Санкт-Петербурге по мере уменьшения паропроницаемости наружной штукатурки происходит сближение кривых распределения действительного и максимального парциальных давлений на границе соприкосновения основания и штукатурного покрытия. Однако по всей толщине рассматриваемого ограждения действительное парциальное давление водяного пара не превышает максимальное, что свидетельствует об отсутствии условий для конденсации влаги в толще стенового ограждения;

- для условий наиболее холодной пятидневки действительное парциальное давление водяного пара уже на расстоянии 135 мм от внутренней поверхности превышает максимальное парциальное давление, что свидетельствует о высоком риске конденсации влаги, и этот риск тем выше, чем менее паропроницаемым оказывается штукатурное покрытие;

- в зоне конденсации влаги при отрицательных температурах возможно образование ледяного барьера, препятствующего миграции влаги из толщи стены наружу и способствующего более интенсивному накоплению влаги, не учитываемого расчетными моделями;

- с учетом распределения температуры по толщине рассматриваемой стеновой конструкции существует риск замерзания влаги в порах стеновых материалов, наиболее высокий на границе соприкосновения каменного основания с наружной штукатуркой;

- замерзание влаги в порах, трещинах и пустотах контактной зоны каменного основания и штукатурного покрытия может приводить к заземлению воды, возникновению значительных внутренних напряжений в штукатурном слое и, как следствие, к его постепенному повреждению, вплоть до выпадения отдельных фрагментов наружу.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Горшков А.С. Градостроительные эксперименты Петербурга // AlfaBuild. 2018. № 4 (6). С. 23–48. DOI: 10.34910/ALF.6.4. EDN FBDDQI.

2. Ицук М.К. Причины дефектов наружных стен с лицевым слоем из кирпичной кладки // Жилищное строительство. 2008. № 3. С. 28–31. EDN ISDXUR.

3. Лобов О.И., Ананьев А.И. Долговечность наружных стен современных многоэтажных зданий // Жилищное строительство. 2008. № 8. С. 48–54. EDN JTDKSKZ.

4. Деркач В.Н., Горшков А.С., Орлович Р.Б. Проблемы трещиностойкости стенового заполне-

- ния каркасных зданий из ячеисто-бетонных блоков // Строительные материалы. 2019. № 3. С. 52–56. DOI: 10.31659/0585-430X-2019-768-3-52-56. EDN TBACNL.
5. 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/МСЕ.43.3. EDN RQAJQL.
6. 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. EDN SEISBF.
7. Горшков Р.А., Райцева А.Р., Войлоков И.А. Системный анализ причин повреждения лицевого керамического кирпича // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2022. № 2. С. 106–114. DOI: 10.46418/2619-0729_2022_2_19. EDN IZSAWJ.
8. Ефименко М.Н., Горшков Р.А. К вопросу об испытании пустотелых керамических кирпичей на прочность при изгибе // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2021. № 3. С. 11–15. DOI: 10.46418/2619-0729_2021_3_2. EDN NZILXJ.
9. Горшков А.С. Модель физического износа строительных конструкций // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2014. № 12 (191). С. 34–37. EDN TFCARV.
10. 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. № 10. С. 1297–1306. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.10.1297-1306
11. Старцев С.А., Харитонов А.М., Ступак М.В., Чиркин А.С. Оценка степени влияния капиллярного подсоса на увлажнение кирпичной кладки // Инновации и инвестиции. 2021. № 4. С. 293–297. EDN XPXXGD.
12. Далинчук В.С., Старцев С.А. Исследование влияния процессов конденсации и капиллярного подъема влаги в кирпичной кладке цокольной части исторических зданий // Тенденции развития науки и образования. 2019. № 49–11. С. 29–34. DOI: 10.18411/lj-04-2019-225. EDN GBIUQC.
13. Гурьев В.В., Никитин В.И., Кофанов В.А. Влияние косого дождя на влагосодержание ограждающих конструкций из пористых силикатных материалов // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 5. С. 15–21. EDN VZDPWD.
14. Улыбин А.В., Старцев С.А., Зубков С.В. Контроль влажности при обследовании каменных конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 7 (42). С. 32–39. DOI: 10.5862/МСЕ.42.5. EDN RHAJJH.
15. Горшков А.С., Ливчак В.И. История, эволюция и развитие нормативных требований к ограждающим конструкциям // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 3 (30). С. 7–37. EDN TUHVST.
16. Горшков А.С., Рымкевич П.П., Пестряков И.И., Кнатько М.В. Прогнозирование эксплуатационного срока службы стеновой конструкции из газобетона с облицовочным слоем из силикатного кирпича // Строительные материалы. 2010. № 9. С. 49–53. EDN NBIJUT.
17. Горшков А.С., Пестряков И.И., Корниенко С.В., Ватин Н.И., Ольшевский В.Я. Фактические теплотехнические характеристики ячеистых бетонов автоклавного твердения // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. № 5 (68). С. 75–104. DOI: 10.18720/CUBS.68.7. EDN YLUYNF.
18. Горшков А.С. Оценка долговечности стеновой конструкции на основании лабораторных и натуральных испытаний // Строительные материалы. 2009. № 8. С. 12–17. EDN KUUCQL.
19. 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. № 6 (33). С. 19–33. EDN UQFYDB.
20. 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. EDN WEFRDD.
21. Korniyenko S. Advanced hygrothermal performance of building component at reconstruction of S. Radonezhskiy temple in Volgograd // MATEC Web of Conferences. 2016. Vol. 53. P. 01003. DOI: 10.1051/mateconf/20165301003
22. Корниенко С.В. Потенциал влажности для определения влажностного состояния материалов наружных ограждений в неизотермических условиях // Строительные материалы. 2006. № 4. С. 88–89. EDN HTCJ CZ.
23. Корниенко С.В. Уточнение расчетных параметров микроклимата помещений при оценке влагозащитных свойств ограждающих конструкций // Вестник МГСУ. 2016. № 11. С. 132–145. DOI: 10.22227/1997-0935.2016.11.132-145
24. Sovetnikov D.O., Baranova D.V., Borodinecs A., Korniyenko S.V. Technical problems in churches in different climatic conditions // Construction of Unique Buildings and Structures. 2018. No. 1 (64). Pp. 20–35. DOI: 10.18720/CUBS.64.2

Поступила в редакцию 17 января 2023 г.

Принята в доработанном виде 9 апреля 2024 г.

Одобрена для публикации 9 апреля 2024 г.

ОБ АВТОРАХ: Ростислав Александрович Горшков — студент; Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения (ГУАП); 190000, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А; РИНЦ ID: 1033779, ORCID: 0000-0002-0489-4107; rostalsgor@gmail.com;

Сергей Валерьевич Корниенко — доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой архитектуры зданий и сооружений, Институт архитектуры и строительства; Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ); 400005, г. Волгоград, пр-т им. Ленина, д. 28; РИНЦ ID: 351367, Scopus: 56352359500, ResearcherID: G-1611-2018, ORCID: 0000-0002-5156-7352; svkorn2009@yandex.ru.

Вклад авторов:

Горшков Р.А. — идея, сбор материала, написание исходного текста, сбор и обработка данных, составление расчетной модели, развитие методологии.

Корниенко С.В. — научное руководство, концепция исследования, итоговые выводы.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Gorshkov A.S. Urban planning experiments in St. Petersburg. *AlfaBuild*. 2018; 4(6):23-48. DOI: 10.34910/ALF.6.4. EDN FBDDQI. (rus.).
2. Ishchuk M.K. Causes of defects in exterior walls with a front layer of brickwork. *Housing Construction*. 2008; 3:28-31. EDN ISDXUR. (rus.).
3. Lobov O.I., Anan'ev A.I. Durability of exterior walls of modern multi-storey buildings. *Housing Construction*. 2008; 8:48-54. EDN JTDKSZ. (rus.).
4. Derkach V.N., Gorshkov A.S., Orlovich R.B. Problems of crack resistance of wall filling of frame buildings of cellular concrete blocks. *Construction Materials*. 2019; 3:52-56. DOI: 10.31659/0585-430X-2019-768-3-52-56. EDN TBACNL. (rus.).
5. Orlovich R.B., Gorshkov A.S., Zimin Z.S. Application of stones of high voidage in the facing layer of the multilayer walls. *Magazine of Civil Engineering*. 2013; 8(43):14-23. DOI: 10.5862/MCE.43.3. EDN RQAJQL. (rus.).
6. Serikkhaliyev S.B., Zimin S.S., Orlovich R.B. The defects of protective facing masonry of frame buildings. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2014; 5(20):28-38. DOI: 10.18720/CUBS.20.3. EDN SEISBF. (rus.).
7. Gorshkov R.A., Raitseva A.R., Voilokov I.A. System analysis of the causes of damage to the facing ceramic brick. Vestnik of St. Petersburg State University of Technology and Design. Series 4. *Industrial Technologies*. 2022; 2:106-114. DOI: 10.46418/2619-0729_2022_2_19. EDN IZSAWJ. (rus.).
8. Efimenko M.N., Gorshkov R.A. Testing hollow ceramic bricks for bending strength. Vestnik of St. Petersburg State University of Technology and Design. Series 4. *Industrial technologies*. 2021; 3:11-15. DOI: 10.46418/2619-0729_2021_3_2. EDN NZILXJ. (rus.).
9. Gorshkov A.S. Physical deterioration model of building structures. *Construction Materials, Equipment, Technologies of the XXI Century*. 2014; 12(191):34-37. EDN TFCARV. (rus.).
10. Zimin S.S., Gorshkov R.A., Voilokov I.A., Kornienko S.V. Causes of cracks in the plaster of unheated stone buildings. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2022; 17(10):1297-1306. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.10.1297-1306 (rus.).
11. Startsev S.A., Kharitonov A.M., Stupak M.V., Chirkin A.S. Evaluation of the degree of influence of capillary suction on the moistening of brickwork. *Innovations and Investments*. 2021; 4:293-297. EDN XPXXGD. (rus.).
12. Dalinchuk V.S., Starcev S.A. Investigation of the influence of condensation processes and capillary rise of moisture in the brickwork of the basement of historical buildings. *Trends in the Development of Science and Education*. 2019; 49-11:29-34. DOI: 10.18411/lj-04-2019-225. EDN GBIUQC. (rus.).
13. Gur'ev V.V., Nikitin V.I., Kofanov V.A. The effect of oblique rain on the moisture content of enclosing structures made of silicate materials. *Industrial and Civil Engineering*. 2016; 5:15-21. EDN VZDPWD. (rus.).
14. Ulybin Av., Startsev S.A., Zubkov S.V. Humidity control in the inspection of masonry structures. *Magazine of Civil Engineering*. 2013; 7(42):32-39. DOI: 10.5862/MCE.42.5. EDN RHAJJH. (rus.).
15. Gorshkov A.S., Livchak V.I. History, evolution and development of regulatory requirements for enclosing structures. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2015; 3(30):7-37. EDN TUHVST. (rus.).
16. Gorshkov A.S., Rymkevich P.P., Pestryakov I.I., Knat'ko M.V. Forecasting the operational life of a wall structure made of aerated concrete with a silicate brick lining layer. *Construction Materials*. 2010; 9:49-53. EDN NBIUT. (rus.).

17. Gorshkov A.S., Pestryakov I.I., Korniyenko S.V., Vatin N.I., Olshevskiy V. Actual thermal insulation properties of cellular autoclave curing concretes. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2018; 5(68):75-104. DOI: 10.18720/CUBS.68.7. EDN YLUYNF. (rus.).
18. Gorshkov A.S. Evaluation of the durability of the wall structure based on laboratory and field tests. *Construction Materials*. 2009; 8:12-17. EDN KUUCQL. (rus.).
19. Korniyenko S.V., Vatin N.I., Petritchenko M.R., Gorshkov A.S. Evaluation of hygrothermal performance of multilayered wall design in annual cycle. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2015; 6(33):19-33. EDN UQFYDB. (rus.).
20. Korniyenko S.K., Vatin N.I., Gorshkov A.S. Assessment of moisture conditions of walls with facade's thermo-insulation composite. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2016; 6(45):34-54. EDN WEFRDD. (rus.).
21. Korniyenko S. Advanced hygrothermal performance of building component at reconstruction of S. Radonezhskiy temple in Volgograd. *MATEC Web of Conferences*. 2016; 53:01003. DOI: 10.1051/matec-conf/20165301003
22. Korniyenko S.V. Humidity potential for determining the humidity state of exterior fencing materials in non-isothermal conditions. *Construction Materials*. 2006; 4:88-89. EDN HTCJCZ. (rus.).
23. Korniyenko S.V. Specification of Indoor Climate Design Parameters at the Assessment of Moisture Protective Properties of Enclosing Structures. *Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]*. 2016; 11:132-145. DOI: 10.22227/1997-0935.2016.11.132-145 (rus.).
24. Sovetnikov D.O., Baranova D.V., Borodinecs A., Korniyenko S.V. Technical problems in churches in different climatic conditions. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2018; 1(64):20-35. DOI: 10.18720/CUBS.64.2

Received January 17, 2023.

Adopted in revised form on April 9, 2024.

Approved for publication on April 9, 2024.

BIONOTES: **Rostislav A. Gorshkov** — student; **Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation (SUAI)**; 67 Bolshaya Morskaya st., Saint Petersburg, 190000, Russian Federation; ID RSCI: 1033779, ORCID: 0000-0002-0489-4107; rostalsgor@gmail.com;

Sergey V. Korniyenko — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Architecture of Buildings and Structures; Institute of Architecture and Construction; **Volgograd State Technical University (VSTU)**; 28 Lenin avenue, Volgograd, 400005, Russian Federation; ID RSCI: 351367, Scopus: 56352359500, ResearcherID: G-1611-2018, ORCID: 0000-0002-5156-7352; svkorn2009@yandex.ru.

Contribution of the authors:

Rostislav A. Gorshkov — idea, collection of material, data gathering and processing, compilation of the calculation model, methodology.

Sergey V. Korniyenko — scientific guidance, conceptualization scientific editing of the text, final conclusions.

The authors declare that there is no conflict of interest.