

УДК 624.012.082: 624.042.5

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-3\(42\)-148-157](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-3(42)-148-157)

EDN: DISGMI

ДЛИНА ТЕМПЕРАТУРНОГО БЛОКА ЗАМОРАЖИВАЕМОЙ ВЛАЖНОЙ ОБЛИЦОВОЧНОЙ КЛАДКИ

В.А. ТИТАЕВ^{1,2,✉}, канд. техн. наук

И.А. ЧЕРНЫЙ^{1,2}

Д.В. ТИТАЕВ³

¹ Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 5, г. Москва, 109428, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Ярославское шоссе, д. 26, г. Москва, 129337, Российская Федерация

³ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (НИЯУ МИФИ), Каширское шоссе, д. 31, г. Москва, 115409, Российская Федерация

Аннотация

Введение. Внешним слоем наружных стен является облицовочная каменная кладка, испытывающая сложное напряженно-деформированное состояние при восприятии собственного веса кладки, климатических нагрузок и воздействий (действия ветрового давления, влажности и температуры воздуха). Анализ имеющихся результатов исследований, а также требований нормативных документов показал, что они не учитывают температурные деформации увлажненной кладки при замерзании. В связи с этим авторами проведены исследования по оценке влияния данного воздействия на напряженно-деформированное состояние облицовочной кладки.

Цель. Получение универсальной зависимости длины температурного блока облицовочной кладки, в том числе при ее замораживании.

Материалы и методы. Материалом исследования является облицовочная каменная кладка (облицовочный слой) многослойных наружных стен зданий, моделируемая в программном комплексе ЛИРА-САПР, реализующем метод конечных элементов в форме метода перемещений. В данной статье использованы данные из работы М.А. Мурого «Температурные деформации влажной кирпичной кладки», опубликованной в 2008 году.

Результаты. На основании анализа термонапряженного состояния кладки, полученного в ходе численного моделирования, получена эмпирическая зависимость длины температурного блока облицовочной каменной кладки для наружных многослойных стен. Предложено логически обоснованное конструктивное решение узла облицовочной кладки с антифрикционным сопряжением ее с плитой перекрытия.

Выводы. На длину температурного блока кладки, опираясь на результаты исследования, оказывает влияние не только перепад температур и жесткость опорной конструкции, но и влажностные условия ее эксплуатации. При повышении влажности кладки от 6 до 12 % расчетная длина температурного блока существенно снижается. Длины температурных блоков, назначаемые по существующим методикам (включая методики норм проектирования), имеют завышенное значение, что существенно снижает долговечность облицовочной кладки, а также в ряде случаев может привести к ее разрушению.

Ключевые слова: коэффициент линейной температурной деформации, облицовочная кладка, длина температурного блока, влажность кладки, каменная кладка при заморозке

Для цитирования: Титаев В.А., Черный И.А., Титаев Д.В. Длина температурного блока замораживаемой влажной облицовочной кладки. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2024;42(3):148–157. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-3\(42\)-148-157](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-3(42)-148-157)

Вклад авторов

Все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 27.05.2024

Поступила после рецензирования 21.06.2024

Принята к публикации 27.06.2024

THE TEMPERATURE BLOCK LENGTH FOR THE WET FACING MASONRY UNDER FREEZING

V.A. TITAEV^{1,2,✉}, Cand. Sci. (Engineering)

I.A. CHERNY^{1,2}

D.V. TITAEV³

¹ Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 5, Moscow, 109428, Russian Federation

² Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation

³ National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Kashirskoye Shosse, 31, Moscow, 115409, Russian Federation

Abstract

Introduction. The outer layer of exterior walls is the facing masonry, experiencing a complex stress-strain state when taking its own weight, climatic loads, and exposures (wind pressure, humidity, and air temperature). An analysis of available research results, as well as the requirements of regulatory documents showed that no consideration is given to the temperature deformations of wet masonry when freezing. In this regard, the studies were conducted to assess the impact of this effect on the stress-strain state of the facing masonry.

Aim. To obtain a universal dependence of the temperature block length of the facing masonry, including its freezing.

Materials and methods. The study is applied to the facing masonry (facing layer) of multilayer exterior walls of buildings, modeled in the LIRA-CAD software package, which implements the finite element method in the form of displacement method. The research results of the work of M.A. Mury "Temperature deformations of wet brickwork" (2008) are used here.

Results. An empirical dependence of the temperature block length of the facing masonry for exterior multilayer walls is obtained based on the analysis of the thermal stress state of the masonry resulting from numerical calculation. A logically justified structural solution of the facing masonry unit with antifriction interface with the floor slab is proposed.

Conclusions. According to the results, the length of the masonry temperature block is not only affected by the temperature difference and the stiffness of the supporting structure, but also by the humidity conditions of its operation. When the humidity of the masonry increases from 6 to 12 %, the design length of the temperature block significantly decreases. The lengths of temperature blocks, set according to existing methods (including methods of design standards), have an overestimated value, and thus the durability of facing masonry is essentially reduced, or even destructed in a number of cases.

Keywords: coefficient of linear temperature expansion, facing masonry, temperature block length, humidity of masonry, masonry at freezing

For citation: Titaev V.A., Cherny I.A., Titaev D.V. The temperature block length for the wet facing masonry under freezing. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2024;42(3):148–157. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-3\(42\)-148-157](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-3(42)-148-157)

Authors contribution statement

All authors made equal contributions to the study and the publication.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 27.05.2024

Revised 21.06.2024

Accepted 27.06.2024

Введение

При современном строительстве широко применяются многослойные наружные стены [1–5], выполняющие роль ограждающих конструкций и предназначенные для тепло- и звукоизоляции внутреннего микроклимата зданий. В качестве наружного облицовочного слоя находит применение каменная кладка, которая выполняет роль препятствия для инфильтрации наружного воздуха, фасадно-декоративного элемента с определенной архитектурной выразительностью и конструкции, воспринимающей и передающей на внутреннюю несущую часть стены ветровую нагрузку.

Наружный каменный облицовочный слой стены (далее – облицовочная кладка) испытывает сложное напряженно-деформированное состояние при восприятии гравитационных, ветровых и климатических воздействий. Силовые (гравитационные и ветровые воздействия) не вызывают у нас интереса ввиду их подробной изученности большим числом исследователей. Восприятие климатических (в первую очередь температурных и влажностных) воздействий часто вызывает сложности при проектировании каменной облицовки.

Исследованием работы облицовочной кладки занимались многие ученые как в России [1–9], так и за рубежом [10–14]. Конструктивные решения сопряжения облицовочной кладки с опорной конструкцией имеют существенные различия в зарубежной и отечественной практике проектирования. Данные отличия обусловлены в первую очередь климатическими особенностями районов строительства. В массовом гражданском строительстве в России высота наружных стен и соответственно облицовочной кладки принимается 3–4,5 м, то есть высота облицовочной кладки определяется высотой этажа здания. По данным исследований [3, 4, 7–9], основным фактором, влияющим на напряженно-деформированное состояние облицовочной кладки, является изменение ее температуры. Основной механической характеристикой, используемой при расчетах по образованию трещин и разрушению кладки, является ее прочность на растяжение. Прочность кладки на растяжение по перевязанному сечению (вдоль рядов кладки) является критерием при расчетном обосновании длины температурного блока (расстояние между температурными деформационными швами).

При свободной деформации кладки напряжений в ней не возникает. Однако реальная кладка всегда опирается на железобетонную плиту, в результате облицовка испытывает стесненную деформацию, что обуславливает появление напряжений при изменении ее температуры. В результате этой совместной работы кладки и плиты при охлаждении кладки возможно появление в ней трещин при растягивающих нормальных напряжениях, превышающих прочность кладки на растяжение.

Исследователями разработаны различные рекомендации по назначению длины температурных блоков, но ряд этих рекомендаций применим только в определенных климатических условиях. Однако есть и универсальные, в частности в работе [10], а также в работе [6] и нормативном документе СП 327.1325800.2017 [15] длину температурного блока определяют по эмпирическим формулам.

Нами также проведены исследования напряженно-деформированного состояния узла сопряжения облицовочной каменной кладки с железобетонной плитой перекрытия. Моделирование выполнялось при помощи программного комплекса ЛИРА-САПР. В компьютерной модели учтено наличие в плите термовкладышей, позволяющих снизить потери тепла через рассматриваемый узел. Исследовались предельно допустимые значения длины температурного блока при воздействии различных факторов. Критерием для проводимых нами исследований выбрано, как и в работах [6, 10], непревышение горизонтальными растягивающими нормальными напряжениями прочности кладки на растяжение – $\sigma_x \leq R_t$. Расчетное сопротивление кладки на растяжение по перевязанному сечению R_t принято по СП 15.13330.2020 [16].

В результате исследования получено выражение длины температурного блока, зависящее от величины температуры охлаждения кладки, прочностных и деформативных характеристик кладки и способа ее опирания:

$$L = 1 - \frac{k \times \delta}{\Delta t_{red} \times \alpha_{dry}^x}, \quad (1)$$

где $k = \frac{R_t}{E_{mas}^x}$;

R_t – сопротивление кладки на растяжение по перевязанному сечению, проходящему по камню, МПа;

E_{mas}^x – модуль деформации кладки, МПа;

δ – условная жесткостная характеристика сопряжения кладки с основанием, при непосредственном опирании кладки на плиту перекрытия следует принимать равной $15 \frac{\text{МПа}}{\text{МПа}} \text{ м}$;

α_{dry}^x – КЛТД (коэффициент линейной температурной деформации) кладки в воздушно-сухом состоянии;

Δt_{red} – расчетное приведенное значение перепада температуры, °С, определяемое по СП 20.13330.2016 [17], но с учетом изменения КЛТД кладки при ее замораживании:

$$\Delta t_{red} = t_w - t_{0c} \frac{\alpha_{tw}^x}{\alpha_{dry}^x}, \quad \Delta t_{red} = t_c \frac{\alpha_{dry}^x}{\alpha_{tw}^x} - t_{0w}, \quad (2)$$

где t_w, t_c – нормативные значения средних температур по сечению элемента соответственно в теплое и холодное время года;

t_{0w}, t_{0c} – начальные температуры соответственно в теплое и холодное время года или температура замыкания кладки;

α_{tw}^x – КЛТД кладки во влажном состоянии по данным работы [18];
индекс «x» в обозначениях элементов формул означает горизонтальное направление (т. е. вдоль рядов кладки).

Помимо выражения (1), получен ряд зависимостей, которые позволяют оценить влияние на длину температурного блока облицовочной кладки различных факторов.

Для сравнения формулы, определяющие длины температурных блоков облицовочной кладки, из источников [6, 11] и формула (1) приведены в таблице.

На рис. 1 показан график зависимости длины температурного блока от соотношения КЛТД кладки и опорной железобетонной плиты $\frac{\alpha_{t,mas}^x}{\alpha_{t,plate}^x}$.

На рис. 2 представлены графики сравнения длин температурного блока кладки в зависимости от влажности и перепада температур $\Delta t = -50\text{ }^{\circ}\text{C}$, где температура охлаждения

Таблица

Длина температурного блока облицовочной каменной кладки

Table

Temperature block length of the facing masonry

М. К. Ищук [6]	P. Schubert [11]	И. А. Черный, В. А. Титаев
$L_x \leq \frac{N}{\beta \times A \times E_{кл} \times \Delta_t \times \alpha_t} + b$	$l_m \leq -\ln \left(1 - \frac{\beta_{z,mw}}{E_{z,mw} \times \varepsilon \times R} \right) \frac{h_{mw}}{0,23}$	$L = 1 - \frac{k \times \delta}{\Delta t_{red} \times \alpha_{dry}^x}$
где b – параметры, характеризующие материал кладки, учитывающие влияние температуры при возведении кладки и температуры плиты перекрытия в эксплуатационный период, солнечной радиации, концентрацию напряжений на опоре и вблизи проемов; A – площадь вертикального сечения лицевого слоя, включаемая в работу с плитой перекрытия, принимаемая равной 0,8 м; $E_{кл}$ – модуль деформаций кладки; Δ_t – разность температуры с момента замыкания конструкции и температуры в рассматриваемый период времени; α_t – КЛТД кладки; N – горизонтальное усилие, определяемое для случая наступления предельного состояния в кладке $N(R_t) = R_t \times A$ и для случая образования первых трещин $N(\sigma_{t,cr}) = 0,6 R_{t,ult} \times A$; R_t – расчетное сопротивление кладки растяжению по горизонтали; $R_{t,ult}$ – временное сопротивление кладки растяжению по горизонтали	где $\beta_{z,mw}$ – прочность кладки на растяжение вдоль горизонтальных растворных швов; $E_{z,mw}$ – модуль упругости кладки при растяжении вдоль горизонтальных растворных швов; ε – полные температурные деформации кладки с учетом ее реологии; R – коэффициент, учитывающий влияние сил трения на контакте лицевого слоя с опорой (например, при возведении кладки непосредственно на железобетонной плите перекрытия $R = 1,0$, при ее возведении на скользящей прослойке из полиэтиленовой пленки или рубероида $R = 0,6$); $h_{z,mw}$ – высота стены	где $k = \frac{R_t}{E_{mas}^x}$; R_t – сопротивление кладки на растяжение по перевязанному сечению, проходящему по камню, МПа; E_{mas}^x – модуль деформации кладки, МПа; δ – условная жесткостная характеристика сопряжения кладки с основанием, при непосредственном опирании кладки на плиту перекрытия следует принимать равной 15 $\frac{\text{МПа}}{\text{м}}$; α_{dry}^x – КЛТД кладки в воздушно-сухом состоянии ($w \approx 1,2\%$), $^{\circ}\text{C}^{-1}$, вдоль рядов кладки; Δt_{red} – расчетное приведенное значение перепада температуры, $^{\circ}\text{C}$

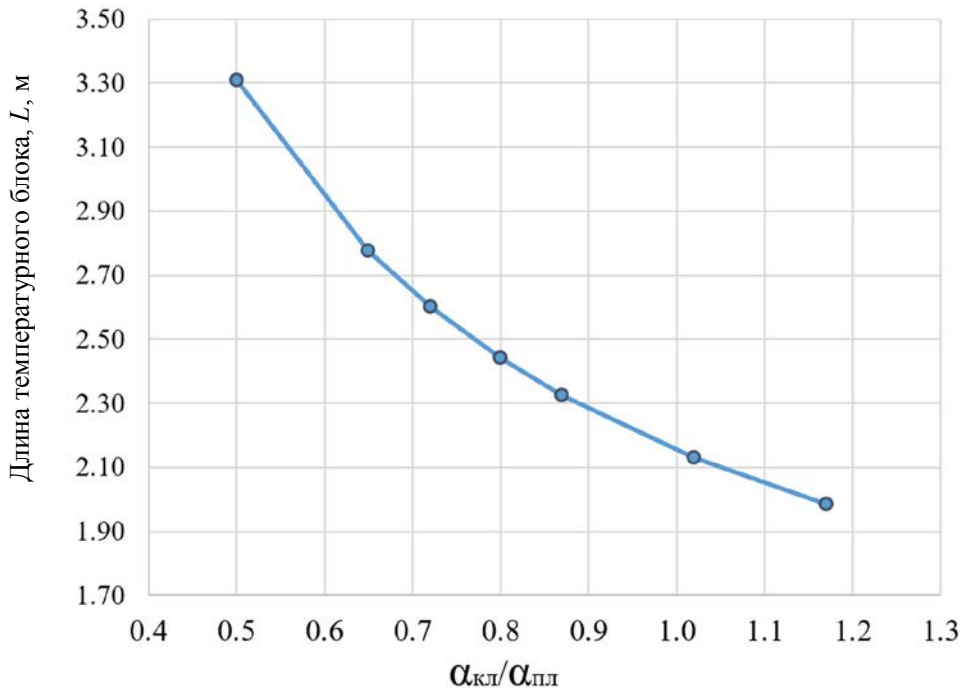


Рис. 1. График длины температурного блока лицевой кладки от соотношения КЛТД кладки и КЛТД железобетонного основания

Fig. 1. Temperature block length of facing masonry depending on the ratio of CLTE of masonry and CLTE of reinforced concrete foundation

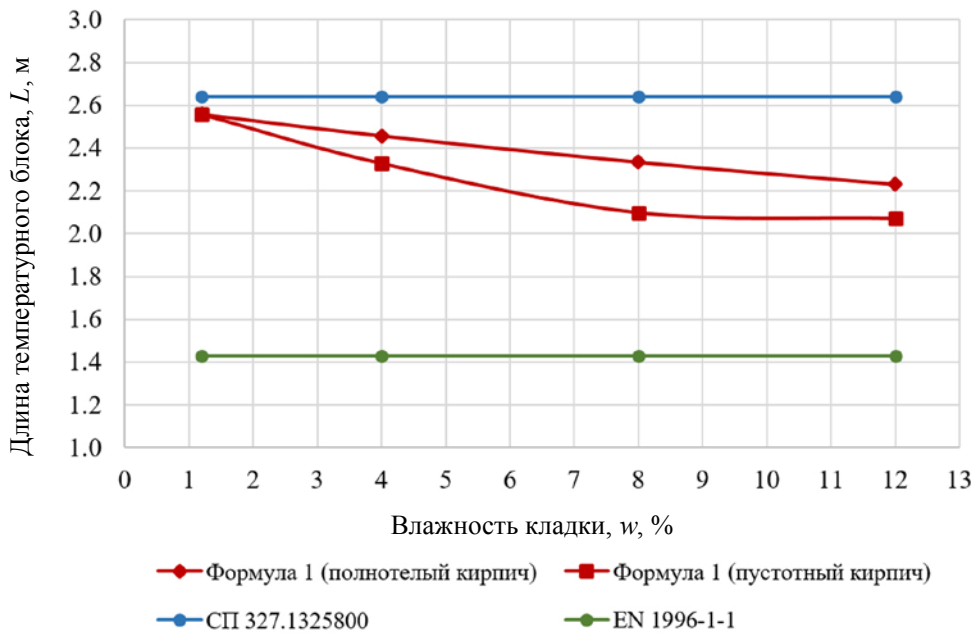


Рис. 2. Зависимость длины температурного блока лицевой кладки от ее влажности при замораживании

Fig. 2. Dependence of the temperature block length of the facing masonry on its humidity when freezing

составляет $T = -35\text{ }^{\circ}\text{C}$, что соответствует условиям ряда регионов Центральной России. Графики, построенные по формуле (1), учитывают изменение КЛТД кладки при ее замораживании по данным исследований работы [18].

Для сравнения на этом рисунке показаны значения длины температурного блока: по методике работы [6] и СП 327.1325800.2017 [15] $L = 2,64\text{ м}$, по формуле из работы [10] $L = 1,43\text{ м}$, по формуле (1) $L = 2,56\text{ м}$ (в воздушно-сухом состоянии каменной кладки) и уменьшается (на 13 % меньше) до 2,23 м (для кладки из полнотелого керамического кирпича) и (на 19 % меньше) до 2,07 м (для кладки из щелевого керамического кирпича) при влажности кладки 12 %.

На рис. 3 показаны графики зависимости длины температурного блока от модуля деформации нижнего растворного шва между облицовочной кладкой и плитой перекрытия для различных марок камня и раствора. Из графиков видно, что длина температурного блока от применяемых для облицовки марок по прочности камня и раствора зависят незначительно. В то же время наблюдаем существенную зависимость от жесткости шва, при минимальной его жесткости имеем на графике максимальную длину температурного блока.

Для реализации возможности иметь повышенную длину температурного блока облицовочной кладки авторами разработана конструкция, при которой податливость контакта кладки с плитой максимальна. Достигается она путем применения антифрикционной прокладки между плитой перекрытия и облицовочной кладкой (рис. 3). Прокладка представляет собой лист фторопласта по ГОСТ 10007-80 [19] и уложенного поверх него листа оцинкованной

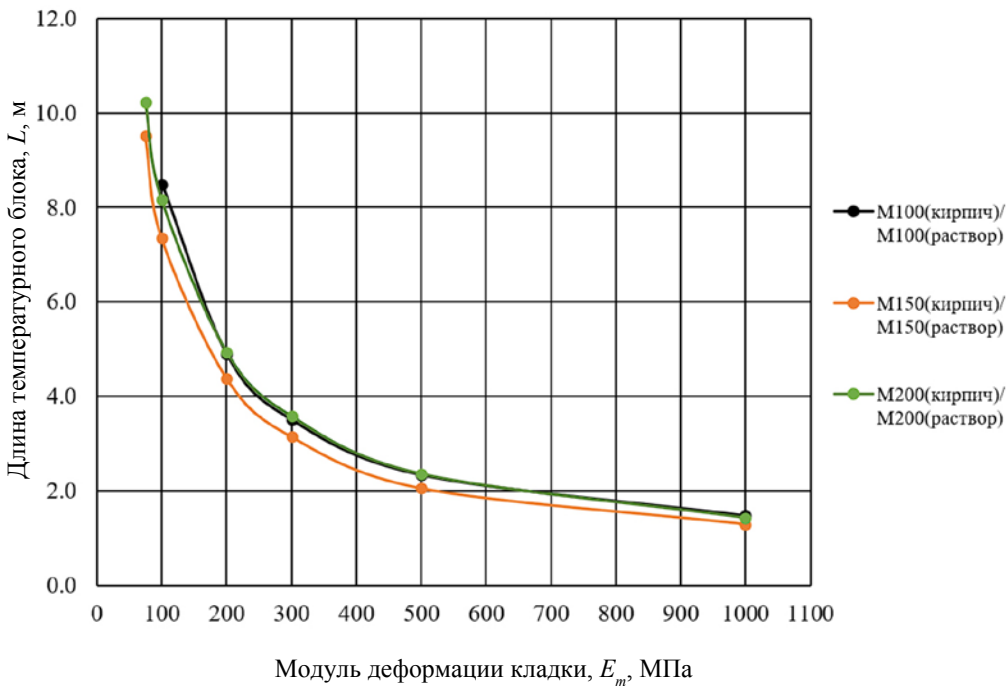


Рис. 3. Семейство графиков длины температурного блока лицевой кладки в зависимости от модуля деформации нижнего растворного шва
Fig. 3. Family graphs of the temperature block length of the facing masonry as a function of the modulus of deformation of the lower mortar joints

стали по ГОСТ 14918-2020 [20]. Такое сочетание материалов имеет коэффициент трения 0,04–0,1. За счет прокладки достигается скольжение кладки в горизонтальном направлении, что приводит к существенному снижению растягивающих и отсутствию сдвигающих напряжений в нижней части облицовочной кладки.

Выводы

В результате исследования облицовочной каменной кладки нами получены следующие выводы:

1. Получено выражение длины температурного блока, зависящее от величины температуры охлаждения кладки, прочностных и деформативных характеристик кладки и способа ее опирания.
2. Получены графические зависимости длины температурного блока облицовочной кладки от соотношения КЛТД кладки и опорной железобетонной плиты, а также от модуля деформации нижнего растворного шва для различных соотношений марок по прочности камня и кладочного раствора.
3. Разработано конструктивное решение узла сопряжения многослойной наружной стены с плитой перекрытия, при реализации которого можно иметь практически неограниченную длину температурного блока каменной облицовки.

Список литературы

1. Избицкая Ю.С., Калошина С.В. Конструктивные решения многослойных стен из кирпича. Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2019;2:145–150.
2. Орлович Р.Б., Горшков А.С., Зимин С.С. Применение камней с высокой пустотностью в облицовочном слое многослойных стен. Инженерно-строительный журнал. 2013;(8):14–23.
3. Орлович Р.Б., Рубцов Н.М., Зимин С.С. О работе анкеров в многослойных ограждающих конструкциях с наружным кирпичным слоем. Инженерно-строительный журнал. 2013;(1):3–11.
4. Зимин С.С. Напряженно-деформированное состояние лицевого слоя многослойных каменных стен при климатических температурных воздействиях [диссертация]. Санкт-Петербург; 2020.
5. Ищук М.К. Анализ напряженно-деформированного состояния кладки лицевого слоя наружных стен. Жилищное строительство. 2008;(4):23–28.
6. Ищук М.К. Прочность и трещиностойкость каменной кладки наружных многослойных стен [диссертация]. Москва; 2019.
7. Ищук М.К. Учет совместной работы кирпичной кладки лицевого слоя наружных стен и плиты перекрытия. Промышленное и гражданское строительство. 2018;(8):50–56.
8. Ищук М.К., Ищук В.Л., Шапиро Г.И. Механизм образования трещин в кладке лицевого слоя наружных стен при температурных воздействиях. Строительство и реконструкция. 2021;(2):14–27. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2021-94-2-14-27>
9. Черный И.А. Конструктивная адаптация идеи увеличения длины температурного блока облицовочной кладки. В: Дни студенческой науки: сборник докладов науч.-техн. конф. по итогам науч.-исслед. работ студентов института промышленного и гражданского строительства, Москва, 27 февр. – 03 марта 2023 г. Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет; 2023, с. 38–40.
10. Schubert P. Vermeiden von schädlichen Rissen in Mauerwerkbauteilen. In: Mauerwerk-Kalender. Berlin: Ernst & Sohn; 1996, pp. 621–651.
11. Schubert P. Rißfreie Wandlänge von tragenden, senkrecht zu den Lagerfugen belasteten Mauerwerkswänden aus Porenbetonsteinen: Forschungsbericht № F. 595. Aachen: Institut für Bauforschung; 1999.
12. Brameshuber W., Schubert P., Schmidt U., Hannawald J. Rißfreie Wandlänge von Porenbeton-Mauerwerk. Mauerwerk. 2006;10(4):132–139. <https://doi.org/10.1002/dama.200600279>

13. *Martens D.R.W.* New Method for determining spacing of movement joints in solid unreinforced veneer walls. In: Brick and Block Masonry. Proceedings of the 16th International Brick and Block Masonry Conference, Padova, Italy, 26-30 June 2016. CRC Press; 2016, pp. 255–262. <https://doi.org/10.1201/b21889-29>
14. *Martens D.R.W.* Typical masonry wall enclosures in Belgium and The Netherlands. In: Enclosure Masonry Wall Systems Worldwide. Berlin: CRC Press; 2011, pp. 13–14.
15. СП 327.1325800.2017. Стены наружные с лицевым кирпичным слоем. Правила проектирования, эксплуатации и ремонта. Москва: Минстрой России; 2020.
16. СП 15.13330.2020. Каменные и армокаменные конструкции. Москва: Минстрой России; 2020.
17. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Москва: Стандартинформ; 2018.
18. *Мурий М.А.* Температурные деформации влажной кирпичной кладки. Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2008;(1):79–85.
19. ГОСТ 10007-80. Фторопласт-4. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2005.
20. ГОСТ 14918-2020. Прокат листовой горячеоцинкованный. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2020.

References

1. *Izbitskaya Yu.S., Kaloshina S.V.* Constructive solutions for multi-layer brick walls. Modern technologies in construction. Theory and practice. 2019;2:145–150. (In Russian).
2. *Orlovich R.B., Gorshkov A.S., Zimin S.S.* The use of stones with high hollowness in the facing layer of multilayer walls. Magazine of Civil Engineering. 2013;(8):14–23. (In Russian).
3. *Orlovich R.B., Rubtsov N.M., Zimin S.S.* On the work of anchors in multilayer enclosing structures with an outer brick layer. Magazine of Civil Engineering. 2013;(1):3–11. (In Russian).
4. *Zimin S.S.* Stress-strain state of the front layer of multilayer stone walls under climatic temperature influences [dissertation]. St. Petersburg; 2020. (In Russian).
5. *Ishchuk M.K.* Analysis of the stress-strain state of the masonry of the facing layer of external walls. Zhilishchnoe Stroitel'stvo = Housing Construction. 2008;(4):23–28. (In Russian).
6. *Ishchuk M.K.* Strength and crack resistance of masonry external multilayer walls [dissertation]. Moscow; 2019. (In Russian).
7. *Ishchuk M.K.* Taking into account the joint work of the brickwork of the front layer of external walls and the floor slab. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo = Industrial and Civil Engineering. 2018;(8):50–56. (In Russian).
8. *Ishchuk M.K., Ishchuk V.L., Shapiro G.I.* Mechanism of the Formation of Cracks in the Brick Veneer of the Exterior Walls With Flexible Ties Under Temperature Influences. Building and Reconstruction. 2021;(2):14–27. (In Russian). <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2021-94-2-14-27>
9. *Cherny I.A.* Constructive adaptation of the idea of increasing the length of the temperature block of facing masonry. In: Days of student science: sat. dokl. sci.-tech. conf. based on the results of scientific research. works of students of the Institute of Industrial and Civil Engineering, Moscow, February 27 – March 03, 2023. Moscow: Moscow State University of Civil Engineering; 2023, pp. 38–40. (In Russian).
10. *Schubert P.* Vermeiden von schädlichen Rissen in Mauerwerkbauteilen. In: Mauerwerk-Kalender. Berlin: Ernst & Sohn; 1996, pp. 621–651.
11. *Schubert P.* Rißfreie Wandlänge von tragenden, senkrecht zu den Lagerfugen belasteten Mauerwerkswänden aus Porenbetonsteinen: Forschungsbericht № F. 595. Aachen: Institut für Bauforschung; 1999.
12. *Brameshuber W., Schubert P., Schmidt U., Hannawald J.* Rißfreie Wandlänge von Porenbeton-Mauerwerk. Mauerwerk. 2006;10(4):132–139. <https://doi.org/10.1002/dama.200600279>
13. *Martens D.R.W.* New Method for determining spacing of movement joints in solid unreinforced veneer walls. In: Brick and Block Masonry. Proceedings of the 16th International Brick and Block Masonry Conference, Padova, Italy, 26-30 June 2016. CRC Press; 2016, pp. 255–262. <https://doi.org/10.1201/b21889-29>
14. *Martens D.R.W.* Typical masonry wall enclosures in Belgium and The Netherlands. In: Enclosure Masonry Wall Systems Worldwide. Berlin: CRC Press; 2011, pp. 13–14.
15. СП 327.1325800.2017. Exterior masonry walls with brick veneer. Rules of design, operation and repair. Moscow: Ministry of Construction, Housing and Utilities of the Russian Federation; 2020. (In Russian).

16. SP 15.13330.2020. Masonry and reinforced masonry structures. Moscow: Ministry of Construction, Housing and Utilities of the Russian Federation; 2020. (In Russian).
17. SP 20.13330.2016. Loads and actions. Moscow: Standartinform Publ.; 2018. (In Russian).
18. Mury M.A. Temperature deformations of wet brickwork. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta = Journal of Construction and Architecture. 2008;(1):79–85. (In Russian).
19. State Standard 10007-80. Polytetrafluoroethylene. Specifications. Moscow: Standartinform Publ.; 2005. (In Russian).
20. State Standard 14918-2020. Hot-dip zinc-coated steel sheet. Specifications. Moscow: Standartinform Publ.; 2020. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Виталий Александрович Титаев , канд. техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории тонкостенных и пространственных конструкций, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство»; доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций, НИУ МГСУ, Москва
e-mail: titaev@bk.ru
тел.: +7 (499) 174-74-92

Vitaly A. Titaev , Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Leading Researcher, Laboratory of the Thin-Walled and Spatial Structures, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction; Associate Professor, Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, Moscow State University of Civil Engineering, Moscow
e-mail: titaev@bk.ru
tel.: +7 (499) 174-74-92

Иван Александрович Черный, инженер лаборатории тонкостенных и пространственных конструкций, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство»; магистрант Института промышленного и гражданского строительства, НИУ МГСУ, Москва
e-mail: kron_975@mail.ru
тел.: +7 (499) 174-74-00

Ivan A. Cherny, Engineer of the Laboratory for Thin-Walled and Spatial Structures, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction; Master's student of the Institute of Industrial and Civil Engineering, Moscow State University of Civil Engineering, Moscow
e-mail: kron_975@mail.ru
tel.: +7 (499) 174-74-00

Денис Витальевич Титаев, аспирант, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (НИЯУ МИФИ), Москва
e-mail: titaev-d@bk.ru
тел.: +7 (499) 324-77-77

Denis V. Titaev, Postgraduate student, National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow
e-mail: titaev-d@bk.ru
tel.: +7 (499) 324-77-77

 Автор, ответственный за переписку / Corresponding author