

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2020-2\(25\)-26-33](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2020-2(25)-26-33)
УДК 624.012.1/.2

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРЕХСЛОЙНЫХ КАМЕННЫХ СТЕН ПРИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

EXPERIMENTAL STUDIES OF THREE-LAYER MASONRY WALLS UNDER TEMPERATURE EFFECTS

М. К. ИЩУК, канд. техн. наук
В. А. ЧЕРЕМНЫХ
Х. А. АЙЗЯТУЛЛИН

Обобщены результаты проводимых в течение 4,5 лет исследований совместной работы кладки лицевого слоя трехслойных наружных стен и монолитной железобетонной плиты при температурных воздействиях.

Исследования проводились на модели здания высотой на этаж. Измеряли деформации кладки и плиты, ширина раскрытия трещин в кладке в зависимости от изменения температуры воздуха и конструкций, изменение температуры кладки лицевого слоя по его толщине, в том числе с учетом солнечной радиации.

Исследования подтвердили полученные ранее результаты по механизму образования и развития трещин в лицевом слое, а также позволили получить ряд новых результатов.

На основе проводимых исследований были откорректированы методы расчета напряженно-деформированного состояния кладки лицевого слоя и усилий в гибких связях.

This article summarizes the results of a four-and-a-half-year study of the joint work of masonry of the front layer of three-layer exterior walls and a monolithic reinforced concrete slab under temperature effects.

The studies were conducted on a model of a building height on the floor. The deformations of the masonry and slabs, the width of the opening of cracks in the masonry, depending on changes in air temperature and structures, the change in the temperature of the masonry of the front layer by its thickness, including taking into account solar radiation were measured.

The studies confirmed the previously obtained results on the mechanism of formation and development of cracks in the facial layer and also allowed to obtain a number of new ones.

Based on the studies, the methods for calculating the stress-strain state of the face layer masonry and the efforts in flexible connections were adjusted.

Ключевые слова:

Кирпичная кладка, солнечная радиация, температурные деформации, трехслойные стены с гибкими связями, ширина раскрытия трещин

Key words:

Brickwork, crack opening width, solar radiation, temperature deformations, three-layer walls with flexible ties

Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния кладки лицевого слоя наружных стен при температурных воздействиях с учетом образования трещин практически, не нашли своего отражения в зарубежной литературе. В основном натурные исследования сводятся к изучению влияния колебаний температуры наружного воздуха и солнечной радиации на микроклимат в помещении и процессы образования трещин в кладке стен [1, 2, 3, 4, 5 и др.]. Большинство работ по исследованию прочности и трещиностойкости кладки лицевого слоя, в том числе и с учетом влияния солнечной радиации, проводится в России [10, 11, 12 и др.].

Приводимые в статье исследования являются продолжением и обобщением выполненных в предыдущие годы экспериментальных исследований на модели здания [13, 14, 15, 16, 17], выполняемых в лаборатории реконструкции уникальных каменных зданий и сооружений ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, начиная с 2015 г.

Исследования проводились на модели здания, образованной трехслойными стенами высотой на один этаж (2,8 м), опирающимися на железобетонную плиту с габаритами 2×9 м (рис. 1). Лицевой слой стен выполнен кирпичной кладкой толщиной 12 см, внутренний кладкой из керамических камней толщиной 12 см, расстояние между ними составляет 18 см. Слои соединены связями из базальтопластика. Между утеплителем из минераловатных плит толщиной 15 см и лицевым слоем имеется зазор толщиной 3 см.

Общий вид модели показан на рис. 1. Ее возведение начато летом и закончено осенью 2015 г.



Рис.1. Общий вид модели

С помощью прогибомеров Мокина с ценой деления 0,01 мм измеряли горизонтальные перемещения продольных и поперечных стен в трех уровнях по высоте на углах стен. При этом учитывали температурные деформации стальных струн прогибомеров, а также влияние изменения температуры непосредственно на измерительные приборы. Предварительно в холодильной камере определяли коэффициент линейного расширения кладки.

Горизонтальные перемещения плиты измеряли по наружным граням плиты.

На рис. 2 показаны графики изменения температуры кладки лицевого слоя, расположенной на солнечной стороне, в один из летних дней. В утренние часы температуры воздуха и кладки по всей ее толщине оказывались, практически, одинаковыми. Во второй половине дня температура на поверхности кладки повышалась как за счет повышения температуры воздуха, так и за счет нагрева поверхности прямыми лучами солнца. С внутренней стороны кладки лицевого слоя температура повышалась с некоторой задержкой. Наибольший перепад температуры наблюдался во второй половине дня и составил около +12,6 °С (рис. 2, а).

В дальнейшем происходило остывание наружной поверхности кладки при некотором подъеме температуры внутри. Около шести часов вечера температуры по толщине кладки становились близки друг другу, и в дальнейшем перепад температур по толщине приобретал обратный знак за счет более быстрого остывания наружной поверхности. Около восьми часов утра температуры сравнивались и цикл повторялся.

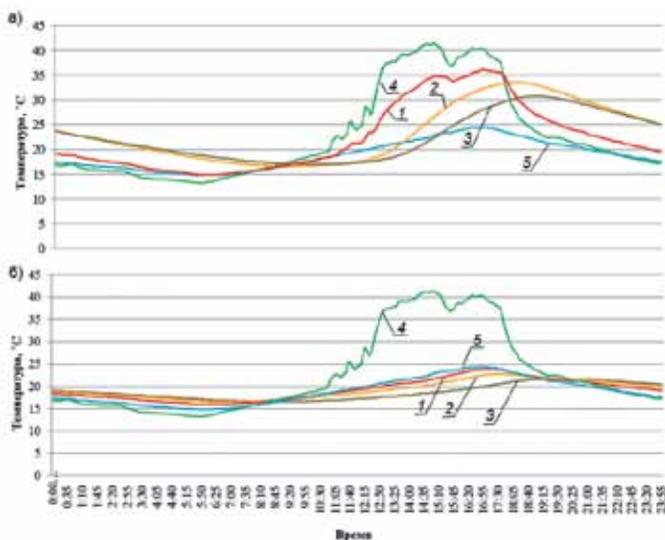


Рис.2. Изменение температуры лицевого слоя, расположенного с солнечной стороны (а) и в тени (б), в теплое время года в течение суток: 1 – температура кладки на ее поверхности; 2 – температура кладки в середине лицевого слоя; 3 – температура кладки на внутренней поверхности лицевого слоя; 4 – температура на темной поверхности с солнечной стороны (для сравнения с кирпичом оранжевого цвета); 5 – температура воздуха в тени

Изменение температуры кладки лицевого слоя, расположенной в тени, происходило более плавно (рис. 3). Температура на внешней поверхности была близка к температуре наружного воздуха, а перепад ее по толщине слоя не превышал +4,4 °С. При этом средняя по толщине слоя температура отличалась от температуры воздуха, соответственно, не более чем на +2,2 °С. Аналогичная картина наблюдалась и в другие периоды времени (рис. 4 и 5).



Рис.3. Перепад температуры кладки лицевого слоя, расположенного с солнечной стороны (1) и в тени (2), по его толщине в теплое время года в течение суток

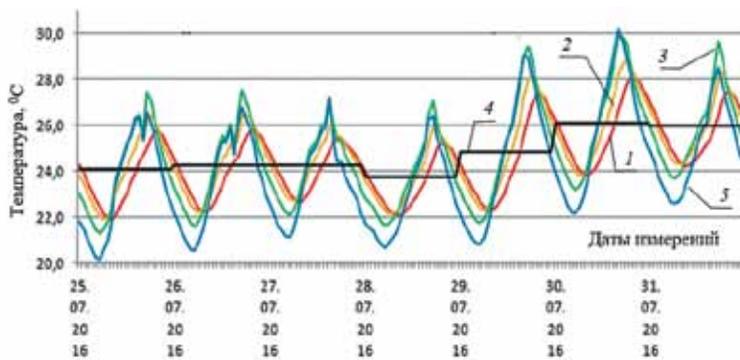


Рис.4. Температуры в тени в июле 2016 г.: 1 – с внутренней стороны лицевого слоя; 2 – в середине лицевого слоя; 3 – с наружной стороны лицевого слоя; 4 – среднесуточная лицевого слоя; 5 – наружного воздуха

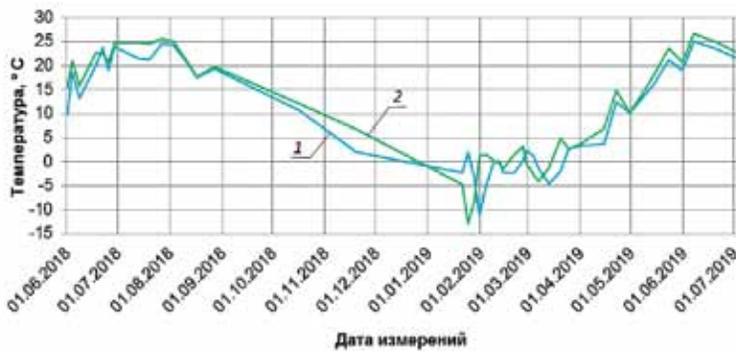


Рис.5. Температуры лицевого слоя и наружного воздуха в тени с июня 2018 г. по июль 2019 г.: 1 – температура воздуха; 2 – температура кладки

Ширина раскрытия трещин измеряли с помощью оптического микроскопа, устанавливаемого на трещину, с гипсовыми маячками. Также измеряли горизонтальные деформации лицевого слоя на участках с трещинами с помощью индикаторов часового типа с ценой деления 0,01 мм, имеющих базу измерения по 1 м.

На рис. 6 приведены графики ширины раскрытия всех трещин в кладке лицевого слоя правой стены с 1.06.18 г. по 17.09.19 г. на высоте 1,5 м от основания. Там же показан график изменения температуры кладки лицевого слоя. Здесь также прослеживается зависимость ширины раскрытия трещин от температуры кладки (а, следовательно, и от температуры воздуха).

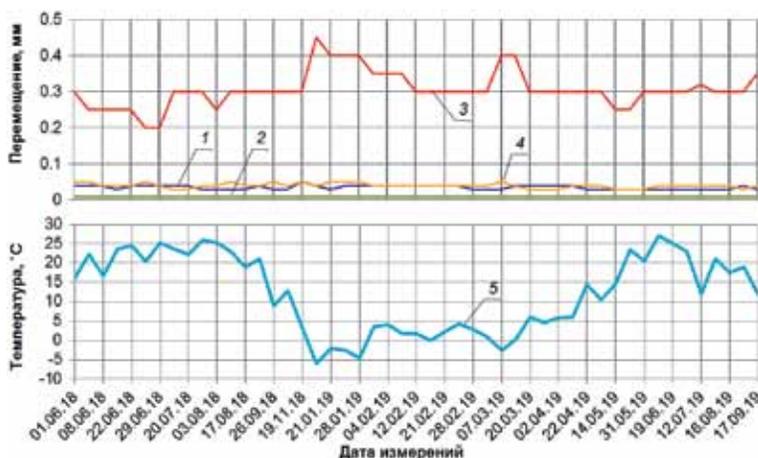


Рис.6. Ширина раскрытия трещин на высоте 1,5 м в левой стене в зависимости от температуры наружного воздуха: 1 — ширина раскрытия трещины №1; 2 — ширина раскрытия трещины №2; 3 — ширина раскрытия трещины №3; 4 — ширина раскрытия трещины №4; 5 — температура наружного воздуха

Как и прежде, наибольшее раскрытие наблюдается по трещине, проходящей на всю высоту стены.

На графике, представленном на рис. 7, приведены результаты измерений горизонтальных перемещений кладки лицевого слоя вдоль ее наружных граней. Перемещения кладки лицевого слоя даны для середины его толщины и подсчитаны как среднее между перемещениями по наружной и внутренней его сторонам. Знак минус принят для перемещений и деформаций, при которых происходило сокращение размеров. Для сравнения 1 июня 2018 г. принято нулевое значение перемещения.

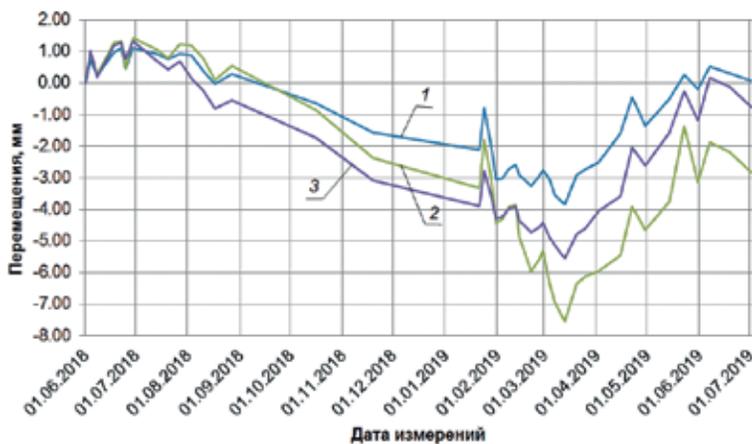


Рис.7. Горизонтальные перемещения кладки лицевого слоя между противоположными углами правой стены в трех уровнях по высоте в период с 1 июня 2018 г. по 1 июля 2019 г.: 1 – перемещение кладки у основания стены; 2 – перемещение кладки на высоте 1 м; 3 – перемещение кладки на высоте 2 м

Выводы

1. Проведенные в 2018 - 2019 гг. исследования в целом подтвердили результаты исследований предыдущих трех лет.

2. Экспериментально подтверждено сдерживание температурных деформаций кладки лицевого слоя в нижней части несущих стен железобетонной плитой, на которую они опираются.

2. Вследствие сдерживания температурных деформаций кладки лицевого слоя железобетонной плитой, на которую он опирается, возникают горизонтальные растягивающие усилия, приводящие к образованию вертикальных трещин.

3. На прямолинейных участках вертикальные трещины, вызванные температурными деформациями, в лицевом слое возникают и раскрываются преимущественно в холодное время года после пуска тепла в помещение, и частично закрываются в теплое время. Причиной возникновения этих трещин является превышение прочности кладки на растяжение по перевязанному сечению.

4. Расстояния между трещинами, как правило, близки между собой. В случае, когда на каком-либо участке расстояние между двумя трещинами значительно превышает расстояния между трещинами на соседних участках, при дальнейшем понижении температуры по середине этого участка возможно развитие новой трещины. Вследствие неоднородности кладки расстояния между трещинами могут отличаться от определенных без учета этого фактора на величину до 30%.

5. После образования в обеих продольных стенах по одной трещине, доходящей до верха, дальнейшее раскрытие трещин в холодное время происходило преимущественно по ним.

6. В дополнение к прошлым исследованиям были проведены натурные наблюдения за изменением температуры кладки лицевого слоя по его толщине с учетом солнечной радиации. Максимальный перепад температур наблюдался во второй половине дня. Наблюдения показали необходимость учета перепада температур при расчетах стен, расположенных на солнечной стороне здания.

Библиографический список

1. *Beasley K.J.* Masonry facade stress failures // *The construction specifier*. 1998. Vol.51. №2. Pp. 25-28.

2. *Schubert P., Caballero Gonzalez A., Hannawald J.* Rißfreie Wandlänge von tragenden, senkrecht zu den Lagerfugen belasteten Mauerwerkswänden aus Porenbetonsteinen. Aachen // *Institut für Bauforschung*, 1999. – Forschungsbericht Nr. F s. 595.

3. *Schubert P.* Vermeiden von schädlichen Rissen in Mauerwerkbauteilen // *Mauerwerk-Kalender*. Berlin, 1996. S. 621-651.

4. *Dilrukshi K.G.S., Dias W.P.S.* Field survey and numerical modelling of cracking in masonry walls due to thermal movements of an overlying slab // *J. Natn. Sci. Foundation*. Sri Lanka. 2008. №36 (3). P. 205–213.

5. *Li Y., Wang T., Nie H.* The Simple Simulation Study of Temperature Cracks in Masonry Structure Wall // *Published in: 2015 Sixth International Conference on Intelligent Systems*

Design and Engineering Applications. – Guiyang, 2015. – P. 894–897.

6. *Alterman D., Page A., Moghtaderi B., Zhang C.* Contribution of thermal resistance and thermal mass to the energy demand of walling systems // *Mauerwerk*. Berlin. 2015. №19. P. 64–73

7. *Filiz S. Cihan M.T., Sükran D.* Experimental analysis of the thermal behaviour of mezzanine floors in buildings with cavity wall insulation // *Turkey Scientific Research and Essays*. 2010. Vol. 5(14). P. 1925–193

8. *Grimm C. T.* Design for Differential Movement in Brick Walls // *J. Struc. Div. Amer. Soc. Civ. Eng. Nov.* 1975. Vol. 101. №. ST11. P. 2385–2403.

9. *Sandra Gusta, Janis Gruntmanis, Silvija Strausa, Andris Steinerts.* Significancy of movement joints of masonry walls for buildings being in operation // *Latvia University of Life Sciences and Technologies*. Latvia. 2019. №215. Pp. 1022-1029

10. *Ищук М.К.* Отечественный опыт возведения зданий с наружными стенами из облегченной кладки. — М.: РИФ «Стройматериалы». 2009. 390 с.

11. *Орлова Н.С., Улыбин А.В., Федотов С.Д.* Влияние температурных воздействий на кирпичную облицовку стен. / В сб.: *Обследование зданий и сооружений: проблемы и пути их решения*. Материалы IX научно-практической конференции. 2018. С. 160-184.

12. *Орлова Н.С., Улыбин А.В., Федотов С.Д.* Определение температурных воздействий на кирпичную облицовку фасадов зданий. / В сб.: *Обследование зданий и сооружений: проблемы и пути их решения* Материалы IX научно-практической конференции. 2018. С. 185-201.

13. *Ищук М. К.* Причины дефектов наружных стен с лицевым слоем из кирпичной кладки // *Жилищное строительство*. 2008. № 3. С. 28-31.

14. *Ищук М.К.* Исследование напряженно-деформированного состояния кладки лицевого слоя наружных стен с гибкими связями при температурно-влажностных воздействиях // *Строительная механика и расчет сооружений*. 2018, №1. С. 72-76.

15. *Ищук М.К.* Учет совместной работы кирпичной кладки лицевого слоя наружных стен и плиты перекрытия // *Промышленное и гражданское строительство*. 2018. №6. С. 30-36.

16. *Ищук М.К.* Экспериментальные исследования НДС кирпичной кладки лицевого слоя наружных стен с гибкими связями на температурно-влажностные воздействия // *Вестник НИЦ Строительство*. 2018. № 3(18). С. 61–78.

17. Проведение научных исследований и разработка проекта изменения №1 к Своду правил (СП) 15.13330.2012 Каменные и армокаменные конструкции в части технического регулирования проектирования энергоэффективных каркасных зданий повышенной этажности с многослойными каменными стенами: отчет о НИР / М.К. Ищук, Х.А. Айзятуллин, В.А. Черемных [и др.]. – ЕГИСУ НИОКТР, 2019. – № НИОКТР АААА-А19-119041790080-8. – т.1 – 189 с. – т.2 – 235 с. – т.3 – 83 с.

Авторы:

Михаил Карпович ИЩУК, канд. техн. наук, зав. лабораторией ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Mikhail ISHCHUK, Ph.D. (Engineering), Head of the Laboratory of TSNIISK named after V. A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: kamkon@yandex.ru

тел.: +7 (926) 535-20-32; +7 (499) 174-79-96 (83)

Виктория Александровна ЧЕРЕМНЫХ, магистр, инженер ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Victoria CHEREMNYKH, master, engineer of TSNIISK named after V. A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: cheremnykh_v.a@mail.ru

Халит Алиевич АЙЗЯТУЛЛИН, магистр, инженер ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Halit AJZYATULLIN, master, engineer of TSNIISK named after V. A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: halit915@mail.ru