УДК 624.012.1/.2
doi: 10.33622/0869-7019.2022.04.29-35

Дефекты наружных стен с лицевым слоем из пустотелого кирпича

Михаил Карпович ИЩУК, доктор технических наук, зав. лабораторией реконструкции уникальных каменных зданий и сооружений, kamkon@yandex.ru

Евгений Михайлович ИЩУК, зав. группой, ruskon@inbox.ru

Халит Алиевич АЙЗЯТУЛЛИН, инженер, магистр, halit915@mail.ru

Виктория Александровна ЧЕРЕМНЫХ, инженер, магистр, cheremnykh_v.a@mail.ru

ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», 109428 Москва, 2-я Институтская ул., 6

Аннотация. *Описаны основные дефекты наружных многослойных стен с лицевым слоем из пустотелого кирпича. На основе проведенных натурных наблюдений, экспериментальных и численных исследований установлено, что эти дефекты вызывает комплекс причин. Среди них выделяются такие, как несоблюдение требований по устройству вертикальных и горизонтальных деформационных швов, расшивке растворных швов кладки, качеству исполнения опорных узлов кладки лицевого слоя на стальные кронштейны. Показано, что применение пустотелого кирпича требует соблюдения дополнительных конструктивных ограничений по сравнению с кладкой из полнотелого кирпича. Даже в случае высокой марки по морозостойкости пустотелый кирпич подвержен разрушению при замерзании воды, попадающей в его пустоты. Вероятность разрушения пустотелого кирпича при температурных воздействиях, изгибе стены из плоскости также существенно выше, чем у полнотелого кирпича той же марки по прочности. На примере построенных зданий показана ненадежность вертикальных зигзагообразных деформационных швов, проходящих по вертикальным и горизонтальным растворным швам кладки. Значительное количество дефектов кладки лицевого слоя было сосредоточено на участках таких швов. Особенно это касается случаев выполнения кладки лицевого слоя из пустотелого кирпича. Многих дефектов удалось бы избежать в случае применения полнотелого кирпича, однако промышленность строительных материалов до настоящего времени не освоила в достаточном количестве его выпуск, что помимо прочего связано с его более высокой стоимостью по сравнению с пустотелым.*

Ключевые слова: *кирпичная кладка лицевого слоя, наружные многослойные стены, пустотелый кирпич, температурно-влажностные деформации кладки, трещины, расслоение кирпича, деформационные швы*

Для цитирования: *Ищук М. К., Ищук Е. М., Айзятуллин Х. А., Черемных В. А.* Дефекты наружных стен с лицевым слоем из пустотелого кирпича // Промышленное и гражданское строительство. 2022. № 4. С. 29–35. doi: 10.33622/0869-7019.2022.04.29-35

DEFECTS OF EXTERIOR WALLS WITH A FACING LAYER OF HOLLOW BRICK

Mikhail K. ISHCHUK, kamkon@yandex.ru

Evgeniy M. ISHCHUK, ruskon@inbox.ru

Khalit A. AIZYATULLIN, halit915@mail.ru

Viktoriya A. CHEREMNYKH, cheremnykh_v.a@mail.ru

Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V. A. Koucherenko, Research Center of Construction, 2-ya Institutskaya ul., 6, Moscow 109428, Russian Federation

Abstract. *The article describes the main defects of the facing layer of external multilayer walls made of hollow bricks. Based on the conducted field observations, experimental and numerical studies, it has been established that these defects are caused by a complex of causes. Among them, there are such as non-compliance with the requirements for the installation of vertical and horizontal deformation seams, the pointing of mortar joints of masonry, the quality of execution of the support units of the masonry of the facing layer on steel brackets. It is shown that the use of hollow bricks requires compliance with additional structural restrictions in comparison with the masonry of solid bricks. Even in the case of a high grade of frost resistance, a hollow brick is susceptible to destruction when water freezes into its voids. The probability of destruction of a hollow brick under temperature influences, bending of the wall from the plane is also significantly higher than that of a solid brick of the same brand in strength. On the example of constructed buildings, the unreliability of vertical zigzag deformation seams passing through vertical and horizontal mortar joints of masonry is shown. A significant number of defects in the masonry of the facing layer were concentrated in the areas of such seams.This is especially true in cases of masonry of the facing layer of hollow bricks. Many defects could have been avoided if solid bricks were used, but the construction materials industry has not yet mastered its production in sufficient quantities, which is, among other things, due to its higher cost compared to hollow bricks.*

Keywords: *brickwork of the facing layer, external multilayer walls, hollow brick, temperature and humidity deformations of masonry, cracks, brick layering, deformation seams*

For citation: Ishchuk M. K., Ishchuk E. M., Aizyatullin Kh. A., Cheremnykh V. A. Defects of Exterior Walls With a Facing Layer of Hollow Brick. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2022, no. 4, pp. 29–35. (In Russ.). doi: 10.33622/0869-7019.2022.04.29-35

© ИЩУК М. К., ИЩУК Е. М., АЙЗЯТУЛЛИН Х. А., ЧЕРЕМНЫХ В. А., 2022

Введение

Большая часть описанных в статье дефектов связана с разрушением кирпича лицевого слоя наружных стен вследствие того, что в вертикальных пустотах накапливается атмосферная влага с последующим замерзанием воды зимой. Попадание воды в пустоты кирпича наиболее вероятно на участках вертикальных зигзагообразных деформационных швов и на опоре лицевого слоя на металлические балки (кронштейны, уголки и т. п.). В последнем случае разрушению кирпича способствуют также относительно высокие вертикальные сжимающие напряжения, возрастающие с увеличением свеса кирпича с металлической опорной балки [1].

Существенную роль играют температурные деформации кладки лицевого слоя [2], носящие циклический характер и вызывающие как изгиб лицевого слоя из плоскости, так и его сжатие, особенно на опоре на металлические балки.

В настоящей работе не рассматриваются дефекты кладки лицевого слоя, а именно вертикальные трещины на участках между вертикальными деформационными швами при сверхнормативных расстояниях между ними либо вертикальные и наклонные трещины на углах, вызванные температурными деформациями, а также и дефекты кладки в уровне перекрытий при отсутствии горизонтальных деформационных швов или некачественном их выполнении. Впервые эти дефекты были в достаточной степени изложены в работах [1 и др.].

Дефекты кладки вблизи вертикальных зигзагообразных деформационных швов

В качестве примера рассмотрим здание школы *(рис. 1)*. В кладке лицевого слоя на участках вертикальных деформационных швов обнаружено расслоение кирпича.

Наружные стены здания трехслойные. Внутренний слой состоит из кладки из ячеистобетонных блоков, а на участках расположения элементов каркаса (пилоны и колонны) использован монолитный железобетон. Лицевой слой наружных стен выполнен из керамического кирпича с вертикальными пустотами. В лицевом слое имеются зигзагообразные деформационные швы, проходящие по вертикальным и горизонтальным растворным швам кладки *(рис. 1а, б)* и заполненные на всю толщину минватой. Поверх минваты выполнена гидроизоляционная мастика. Такое решение было обусловлено нежеланием заполнять швы вилатермом или подобными материалами, которые не препятствуют распространению огня в случае пожара.

Практически на всех фасадах вдоль вертикальных деформационных швов наблюдается расслоение кирпичей *(рис. 2в)*. На остальных участках расслоения кирпича обнаружено не было.

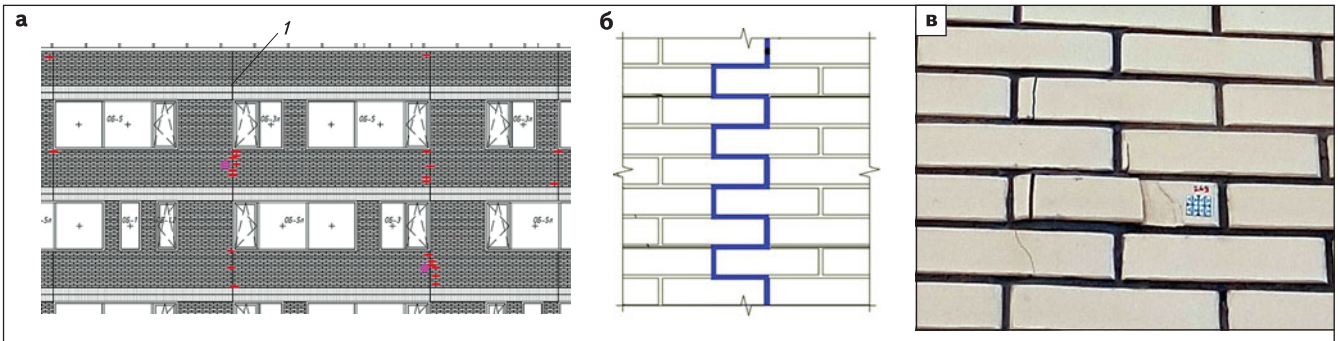
Наиболее вероятной причиной этого процесса представляется разрушение кирпича вследствие замерзания накопившейся в его пустотах воды, которая могла проникнуть туда в период возведения кладки, особенно еще до установки металлических отливов на окнах. Во время заполнения зигзагообразных деформационных швов минватой вода свободно проникала по высоте стены и задерживалась на опоре.

Проникание атмосферной влаги в пустоты кирпича

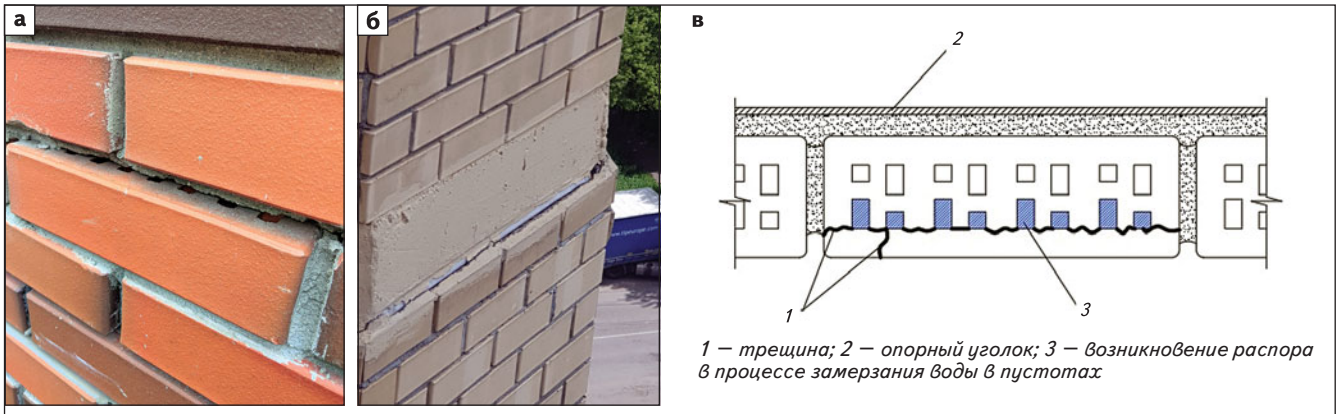
Атмосферная влага может попадать в вертикальные пустоты кирпича при глубине расшивки горизонтальных растворных швов, равной или большей чем толщина наружной стенки кирпича *(рис. 2а)*. Как и в описанном выше случае, при отрицательной температуре вода в пустотах замерзает и создает распор, в результате чего происходит выдавливание наружной стенки кирпича.

С целью уменьшения вероятности попадания дождевой и талой воды в пустоты кирпича впервые было предложено выполнять его наружную стенку толщиной не 12, а 20 мм и более [1]. Впос-

Рис. 1. ***Расслоение кирпичей в кладке лицевого слоя вблизи вертикальных зигзагообразных деформационных швов***



а – фрагмент фасада; б – вертикальный зигзагообразный деформационный шов; в – выпучивание лицевой стенки пустотелого кирпича; 1 – вертикальные зигзагообразные деформационные швы



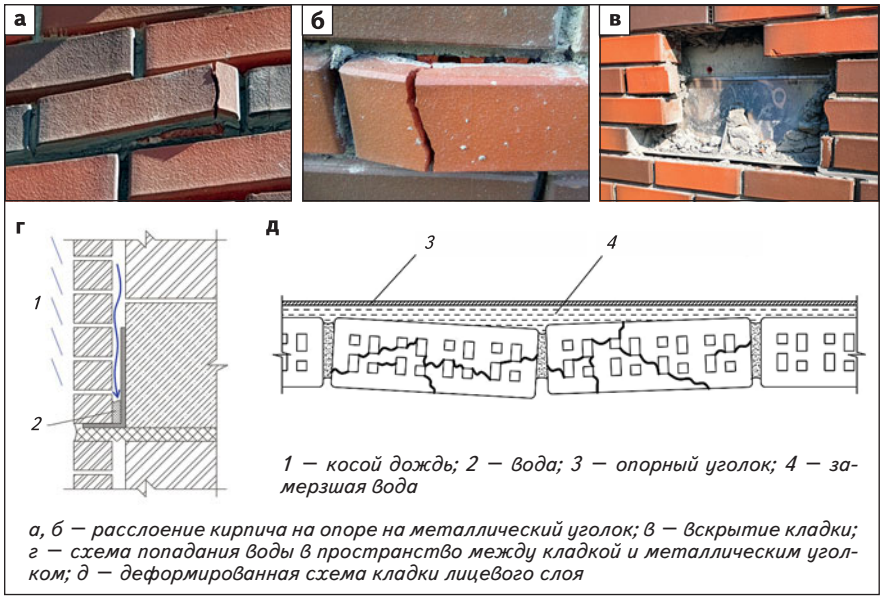
1 — трещина; 2 — опорный уголок; 3 — возникновение распора в процессе замерзания воды в пустотах

а, б — открытые пустоты в кирпиче; в — схема отслоения наружной стенки кирпича

Рис. 2. ***Разрушение кирпича от замерзания воды в пустотах***

1 — замерзшая вода; 2 — трещина

Рис. 3. ***Полученное в лабораторных условиях разрушение кирпича от замерзания воды в пустотах***



1 — косой дождь; 2 — вода; 3 — опорный уголок; 4 — замерзшая вода

а, б — расслоение кирпича на опоре на металлический уголок; в — вскрытие кладки; г — схема попадания воды в пространство между кладкой и металлическим уголком; д — деформированная схема кладки лицевого слоя

Рис. 4. ***Разрушение кирпича лицевого слоя над опорным уголком в результате изгиба кладки из ее плоскости***

ледствии это предложение было реализовано в нормативных документах. Вместе с тем многие заводы отказываются от выпуска кирпича с утолщенной стенкой, ссылаясь на удорожание производства. Еще сложнее достигнуть согласия и добиться, чтобы заводы наладили выпуск полнотелого лицевого кирпича. Это позволило бы решить многие проблемы надежности кирпичных фасадов.

В качестве компромисса в нормативных документах допускается применение для кладки лицевого слоя кирпича с толщиной наружной стенки 12 мм при условии полного заполнения раствором швов, т. е. заподлицо с поверхностью стены.

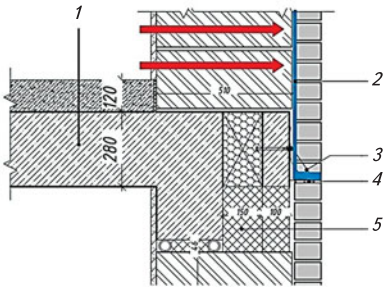
Еще одним источником попадания атмосферной влаги в пустоты в кирпиче служат горизонтальные деформационные швы в случае смещения кирпича наружу из-под плиты перекрытия *(рис. 2б)*. Эта проблема встречается очень часто и связана со сложностью обеспечить полное совпадение наружной поверхности кладки и торца плиты перекрытия, на который опирается кладка. Даже незначительное выступание кирпича из-под плиты приводит к тому, что пустоты в нем оказываются открытыми, поскольку защита мастикой горизонтального деформационного шва еще до истечения межремонтного срока во многих случаях уже не обеспечивает его герметичности.

Возможность отслоения стенки лицевого слоя кирпича от замерзания воды в пустотах была подтверждена экспериментально *(рис. 3)*. Характер трещин в кирпиче оказался аналогичным описанному выше.

Дефекты кладки вблизи зоны опирания на металлические балки

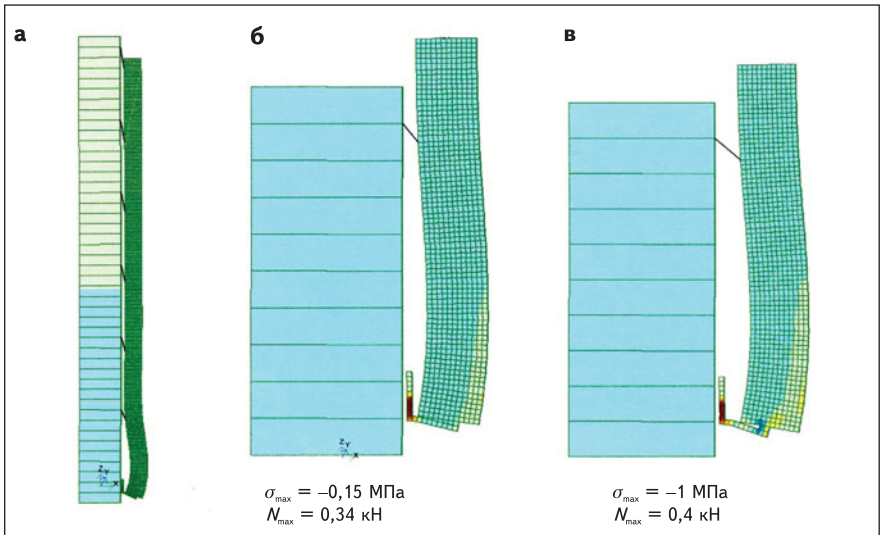
Кладка лицевого слоя на участке опирания на металлические балки, кронштейны может быть подвержена сразу нескольким воздействиям, способным вызвать разрушение кирпичей. Пример разрушения кирпича в результате замерзания воды, накопившейся со стороны внутренней

Рис. 5. ***Расслоение кирпича кладки лицевого слоя***



1 — монолитная железобетонная плита перекрытия; 2 — конденсат; 3 — опорная балка; 4 — деформационный шов; 5 — слой утеплителя (минвата)

Рис. 6. ***Возможность образования конденсата на кирпичной облицовке***



а — деформированная схема; б — вариант опирания с хорошим качеством растворного шва и свесом кирпича на 40 мм; в — то же, с низким качеством растворного шва и свесом кирпича на 60 мм

Рис. 7. ***Концентрация вертикальных сжимающих напряжений на опоре кладки лицевого слоя на металлический уголок [1]***

поверхности лицевого слоя, при отсутствии мероприятий по ее отводу наружу приведен на *рис. 4*. Подобно домкрату, лед выдавливает кладку, что приводит к ее изгибу из плоскости *(рис. 4д)* с образованием на наружной поверхности кирпича горизонтальных растягивающих напряжений.

Кроме того, попавшая в пространство между слоями стены вода насыщает пустоты в кирпиче, что также способствует расслаиванию кирпича при ее замерзании *(рис. 5)*.

Попадание влаги за облицовку может происходить и в результате образования конденсата, который появляется при проникании пара изнутри помещений. Скопившаяся влага стекает вниз до опорного уголка, и происходит намокание нижних рядов кирпичей *(рис. 6)*.

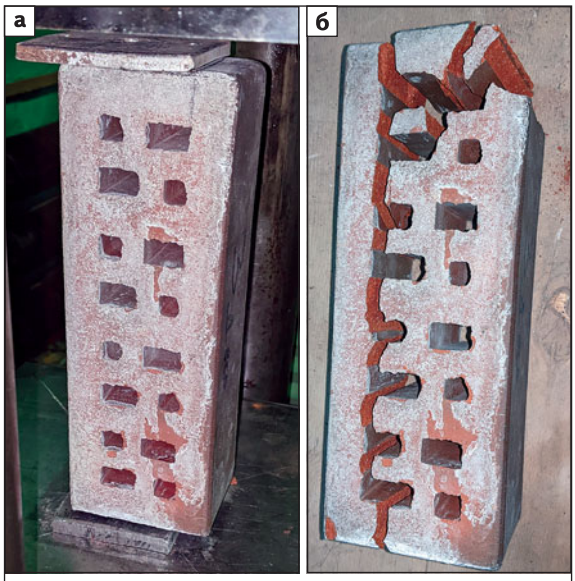
При опирании лицевого слоя на металлические балки свес кирпича может составить 2 см и более. Как показано в монографии М. К. Ищука [1], эксцентриситет опирания кладки на балку может возникнуть, в частности из-за неодинакового качества смежных участков горизонтальных растворных швов. В работе С. В. Полякова [3] изложено, что модуль деформаций шва определяется главным образом деформациями обжатия контактных зон раствора с кирпичом и примерно в 40 раз ниже модуля раствора, полученного при испытаниях кубиков. При численных расчетах неоднородное качество растворного шва имитировалось разным модулем деформаций раствора от 25 до 250 МПа.

Вследствие циклических температурных деформаций, неравномерно распределенных по толщине стены, или ветровой нагрузки лицевой слой подвергается многократно изгибу из плоскости *(рис. 7)*, во многом сдерживаемому гибкими связями, крепящими лицевой слой. При малом количестве связей, их низкой жесткости изгибающие моменты могут оказаться достаточно высокими [1, 4—7]. Это приводит к тому, что в сочетании с концентрацией вертикальных сжимающих напряжений от неоднородности растворного шва и большом свесе кладки с опоры может произойти скол лицевой стенки кирпича.

Изгиб и внецентренное сжатие кладки лицевого слоя происходят также и от сдерживания температурных горизонтальных деформаций лицевого слоя в теплое время года. Для оценки этого воздействия на напряженное состояние кирпичей в кладке были проведены лабораторные и численные исследования.

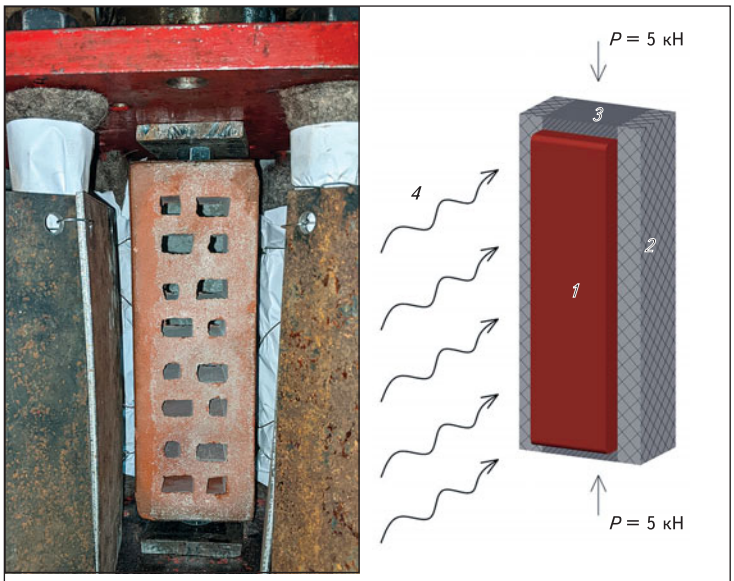
Исходя из того, что кирпич в кладке нагружается внецентренно из-за неполного заполнения вертикальных растворных швов, было смоделировано внецентренное нагружение путем установки стальных пластин с отступом от края кирпича на 2 см (глубина расшивки швов). Образец для испытаний показан на *рис. 8а*.

Разрушение кирпича произошло вследствие изгиба торцевой стенки, за которым последовало разрушение части внутренних стенок, с последующим полным отделением наружной стенки.



а — вид образца в прессе; б — трещины в кирпиче после проведения испытаний

Рис. 8. ***Испытание кирпича на внецентренное сжатие вдоль пустот***



1 — пустотелый кирпич; 2 — слой теплоизоляции; 3 — обжимающие пластины; 4 — нагрев

Рис. 9. ***Испытание кирпича на односторонний нагрев с предварительным обжатием вдоль пустот***

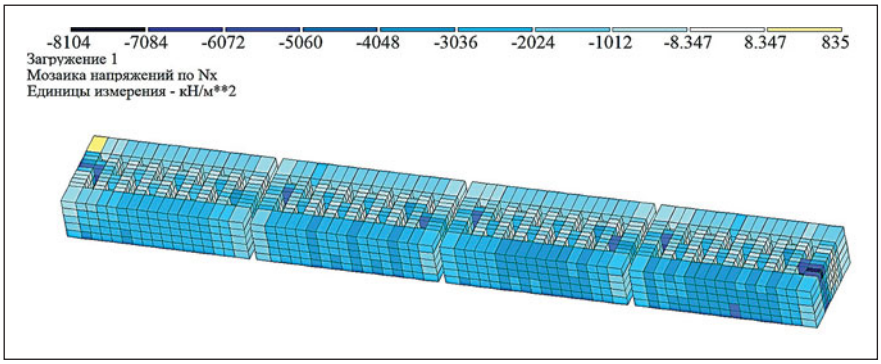


Рис. 10. ***Мозаика продольных напряжений фрагмента кладки***

Предельная разрушающая нагрузка составила 22 кН. Вид кирпича после проведения испытания приведен на *рис. 8б*.

Следующий этап испытаний заключался в оценке влияния одностороннего нагрева находящегося в стесненных условиях кирпича *(рис. 9)*. На торцы кирпича устанавливались стальные пластины, имеющие отступ от края кирпича на 2 см. Предварительное обжатие кирпича осуществлялось вдоль пустот домкратом. Для сравнения были выполнены испытания не только отдельного кирпича, но и установленных друг за другом двух кирпичей.

Односторонний нагрев кирпича был при температуре от 20 до 70 °С. После трех циклов испытаний произошло скалывание на углах кирпичей на длину не более 2 см. Это было обусловлено тем, что торцы кирпичей имеют несколько вогнутую форму и на углах возникает концентрация сжимающих напряжений. Раскалывания кирпича вдоль пустот не происходило.

Для уточнения причин образования трещин в кладке произвели расчеты отдельного кирпича и фрагментов кладки в программном комплексе ЛИРА-САПР. Нагружение при расчете фрагментов кладки задавалось температурными воздействиями вдоль местных осей координат. Расчет фрагментов кладки, расположенных в уровне плиты перекрытия, показал, что наибольшие сжимающие напряжения возникают на внутренних стенках кирпичей у торцов. Вместе с тем величины этих напряжений относительно невелики *(рис. 10)* и не вызывают раскалывания кирпича вдоль пустот, что коррелируется с экспериментом.

Дефекты кладки вблизи вертикальных зигзагообразных деформационных швов на углах стен

В ряде случаев при опирании лицевого слоя на металлические опорные балки (кронштейны, уголки и т. п.) может наблюдаться выдавливание кладки по границе расположенного на углу здания деформационного шва *(рис. 11)*. Это может происходить по двум причинам. При возможности проскальзывания кладки по металлической опоре температурные деформации в теплое время года вызывают горизонтальные перемещения в сто-

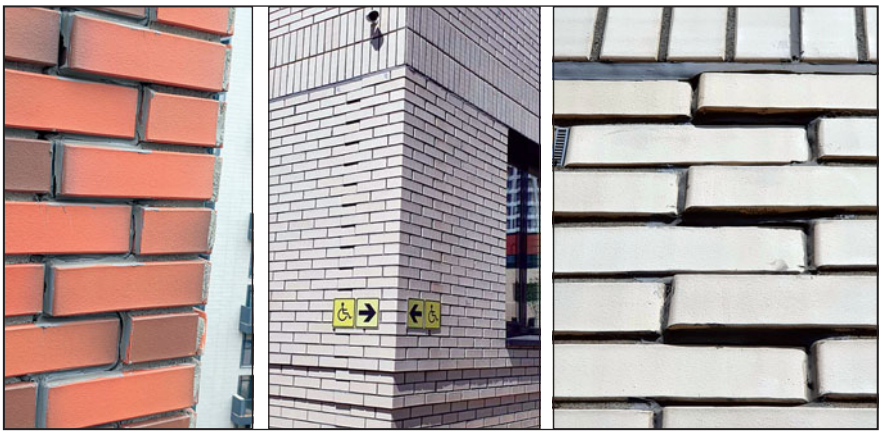


Рис. 11. ***Выдавливание кладки лицевого слоя с вертикальными зигзагообразными деформационными швами на углу стен вследствие температурных деформаций кладки***

рону угла. Поскольку гибкие связи на углу в силу конструктивных особенностей в трехслойных стенах отстоят от угла обычно на расстоянии не менее 35—40 см, то кладка на углу оказывается недостаточно закрепленной и перемещается из плоскости стены.

При наличии защемления кладки лицевого слоя на опоре *(см. рис. 4в)* аналогичный эффект может наблюдаться за счет температурного расширения металлических балок и торцевой части железобетонной плиты.

В случае зигзагообразных вертикальных деформационных швов выдавливание кладки приводит к открытию вертикальных пустот в кирпиче, что способствует попаданию туда воды и дальнейшему разрушению кладки.

Анализ проведенных исследований

Дефекты кладки лицевого слоя наружных многослойных стен целесообразно разделить на три основные группы.

Группа 1 (впервые эти дефекты были в достаточной степени описаны в работах [1 и др.]:

- вызванные температурными деформациями вертикальные трещины на участках между вертикальными деформационными швами при сверхнормативных расстояниях между ними либо вертикальные и наклонные трещины на углах;
- дефекты кладки в уровне перекрытий при отсутствии горизонтальных деформационных швов или некачественном их выполнении.

Группа 2. Дефекты, связанные с размораживанием кладки при недостаточной морозостойкости кирпича и отсутствием специальных мероприятий по его защите от увлажнения дождевой и талой водой, а также вследствие конденсата пара, проникающего из помещения.

Группа 3. Расслоение кирпича в кладке вызвано комплексом причин, среди них:

- замерзание проникающей в пустоты кирпича воды;
- сложное напряженное состояние, которому способствуют: внецентренное сжатие нагрузкой от собственного веса кладки с одновременным действием изгибающих моментов от неравномерно распределенной по толщине лицевого слоя температуры и ветровой нагрузки; внецентренное сжатие по горизонтали и изгиб из плоскости при температурном расширении кладки, а также распор от расширения замерзшей воды, скопившейся с внутренней стороны лицевого слоя, при отсутствии мероприятий по ее отводу.

Выводы

1. Практика возведения и эксплуатации зданий с наружными многослойными стенами показала необходимость соблюдения более строгих конструктивных ограничений в случае применения пустотелого кирпича по сравнению с полнотелым кирпичом в лицевом слое кладки.

2. Оптимальным с точки зрения надежности будет использование в кладке лицевого слоя полнотелого кирпича. Применение кирпича с утолщенной наружной стенкой (20 мм вместо 12 мм), рекомендованное в работе [1], является компромиссом с производителями кирпича и камня.

3. Устройство вертикальных зигзагообразных деформационных швов в кладке лицевого слоя из пустотелого кирпича не рекомендуется вследствие проникания атмосферной влаги в пустоты, особенно в случае заполнения шва минеральной ватой, как это встречается на ряде объектов школьного и дошкольного образования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Ищук М. К.* Отечественный опыт возведения зданий с наружными стенами из облегченной кладки. М. : РИФ «Стройматериалы», 2009. 390 с.
2. *Ищук М. К., Ищук В. Л.* Численные исследования прочности и деформаций наружных стен с лицевым слоем из каменной кладки с гибкими связями при температурных воздействиях // Вестник НИЦ «Строительство». 2019. № 2(21). С. 60–73.
3. *Поляков С. В.* Длительное сжатие кирпичной кладки. М. : Стройиздат, 1959. 183 с.

4. *Деркач В. Н., Демчук И. Е., Орлович Р. Б.* Механизм повреждаемости облицовки многослойных каменных стен // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. № 3(54). С. 63–70. doi: 10.18720/cubs.54.5

5. *Орлова Н. С., Улыбин А. В., Федотов С. Д.* Влияние температурных воздействий на кирпичную облицовку стен // Обследование зданий и сооружений: проблемы и пути их решения: материалы IX науч.-практ. конф. (Санкт-Петербург, 11–12 октября 2018 г.). СПб, 2018. С. 160–184.

6. *Орлова Н. С. Улыбин А. В., Федотов С. Д.* Определение температурных воздействий на кирпичную облицовку фасадов зданий // Там же. С. 185–201.

7. *Зимин С. С., Корсун В. И.* Экспериментальные исследования температурных деформаций лицевого слоя многослойных наружных стен при одностороннем замораживании // *Лолейтовские чтения-150. Современные методы расчета железобетонных и каменных конструкций по предельным состояниям:* сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. (Москва, 30 ноября 2018 г.) / под ред. А. Г. Тамразяна. М. : НИУ МГСУ, 2018. С. 116–121.

R E F E R E N C E S

1. Ishchuk M. K. *Otechestvennyi opyt vozvedeniya zdanii s naruzhnymi stenami iz oblegchennoi kladki* [Domestic experience in the construction of buildings with external walls of lightweight masonry]. Moscow, RIF Stroymaterialy Publ., 2009. 390 p. (In Russ.).

2. Ishchuk M. K., Ishchuk V. L. Numerical studies of the strength and deformations of external walls with a face layer of masonry with flexible connections under temperature influences. *Vestnik NITS "Stroitel'stvo"*, 2019, no. 2(21), pp. 60–73. (In Russ.).

3. Polyakov S. V. *Dlitel'noe szhatie kirpichnoy kladki* [Prolonged compression of brickwork]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1959. 183 p. (In Russ.).

4. Derkach V. N., Demchuk I. E., Orlovich R. B. Mechanism of damage to multi-layer stone wall cladding. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdanii i sooruzhenii*, 2017, no. 3(54), pp. 63–70. (In Russ.). doi: 10.18720/cubs.54.5

5. Orlova N. S., Ulybin A. V., Fedotov S. D. Influence of temperature influences on brick wall cladding. *Survey of buildings and structures: problems and ways to solve them. Materials of the IX scientific and practical conference (Saint Petersburg, Oct. 11-12, 2018)*, pp. 160–184. (In Russ.).

6. Orlova N. S., Ulybin A. V., Fedotov S. D. Determination of temperature actions on brick casing of buildings' facades. Ibid, pp. 185–201. (In Russ.).

7. Zimin S. S., Korsun V. I. Experimental studies of temperature deformations of the front layer of multilayered external walls during unilateral freezing. *Loleita readings-150. Modern methods of calculation of reinforced concrete and masonry structures limit states: a collection of papers of International scientific-practical conference* (Moscow, Nov. 30, 2018). Moscow, NIU MGSU, 2018, pp. 116–121. (In Russ.).