

Российский опыт возведения наружных стен с лицевым слоем из кирпичной кладки

История возведения наружных стен с лицевым слоем из кирпичной кладки

В России наружные стены из облегченной кладки предложил в 1829 году инженер Герард. Кладка состояла из внутреннего и наружного кирпичных слоев, пространство между которыми заполнялось засыпным органическим утеплителем. Слои соединялись между собой металлическими скобами, закрепляемыми в просверленные в кирпиче отверстия. К сожалению, долговечность применяемых материалов была крайне низкой, и большого распространения эти конструкции в ту пору не имели. До начала прошлого века конструкции наружных облегченных стен изменились незначительно [31, 33].

При реконструкции Александровского и Андреевского залов Большого Кремлёвского дворца (рис. 1, а), построенного в начале XIX века, в наружных стенах (рис. 1, б) и в пазухах сводов (рис. 1, в) была обнаружена облегченная кладка на известковом растворе с забутовкой из пустотелых керамических элементов [26].



Рис. 1. Керамические элементы для кладки забутовки стен (б) и пазух сводов (в) Большого Кремлёвского дворца (а)

На Западе наружные многослойные стены впервые начали возводить в Англии в середине XIX века.

При строительстве Дворца Советов, который предполагалось возвести на месте храма Христа Спасителя в Москве, должны были применяться пустотелые камни, имевшие форму куба

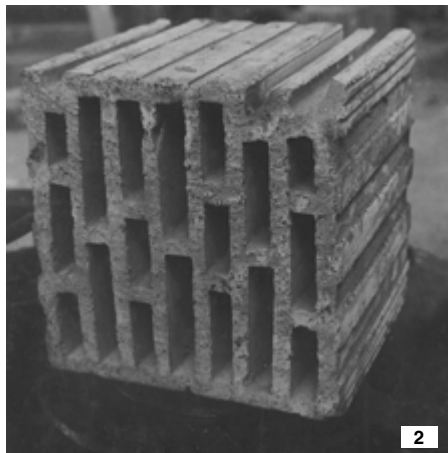


Рис. 2. Пустотелые камни для строительства Дворца Советов

с размерами ребер 30 см (рис. 2) [30]. Пустотность их составляла 57 и 66%. Кладка из этих камней служила заполнением в каркасе, как это делалось в высотных зданиях в США.

Начиная с середины прошлого столетия при участии ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко (бывший ЦНИПС) был разработан ряд нормативных документов по проектированию и возведению стен из многослойной кладки [1–6]. В том числе совместно с ЛЕНЗНИИЭП были разработаны типовые серии узлов и деталей наружных стен из облегченной кладки [6].

В 1987 году при участии автора статьи была подготовлена серия 2.130.8 вып. 0 и 1 [7]. В ней были применены более эффективные с точки зрения теплотехники узлы. Так, была исключена средняя надоконная перемычка, под

подоконником вместо кирпичной диафрагмы была принята растворная и др. В серию были включены более эффективные кладки с гибкими стальными связями. В то же время из серии была исключена кладка с утеплителем типа цементно-стружечного фибролита или минераловатных плит, устраиваемых с внутренней стороны стены, поскольку во многих зданиях с такими стенами наблюдалась сырость.

Все описанные выше нормативные документы предусматривали возведение стен из облегченной кладки высотой не более 2–5 этажей в зависимости от типа кладки и применяемых материалов.

Относительно много зданий с наружными стенами из облегченной кладки с применением в качестве утеплителя засыпки из шлака или с кладкой из шлакобетонных камней было построено в 30–50-е годы прошлого столетия.

На протяжении многих лет автор выступал за широкое внедрение в практику отечественного строительства наружных стен из облегченной кладки [16–19, 21–30].

В середине 80-х годов в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко под руководством ав-



Рис. 3. Строительство первого в России экспериментального жилого дома высотой 10 этажей с наружными стенами из трехслойной облегченной кладки с соединением слоев вертикальными кирпичными диафрагмами, г. Воскресенск, 1993 г.

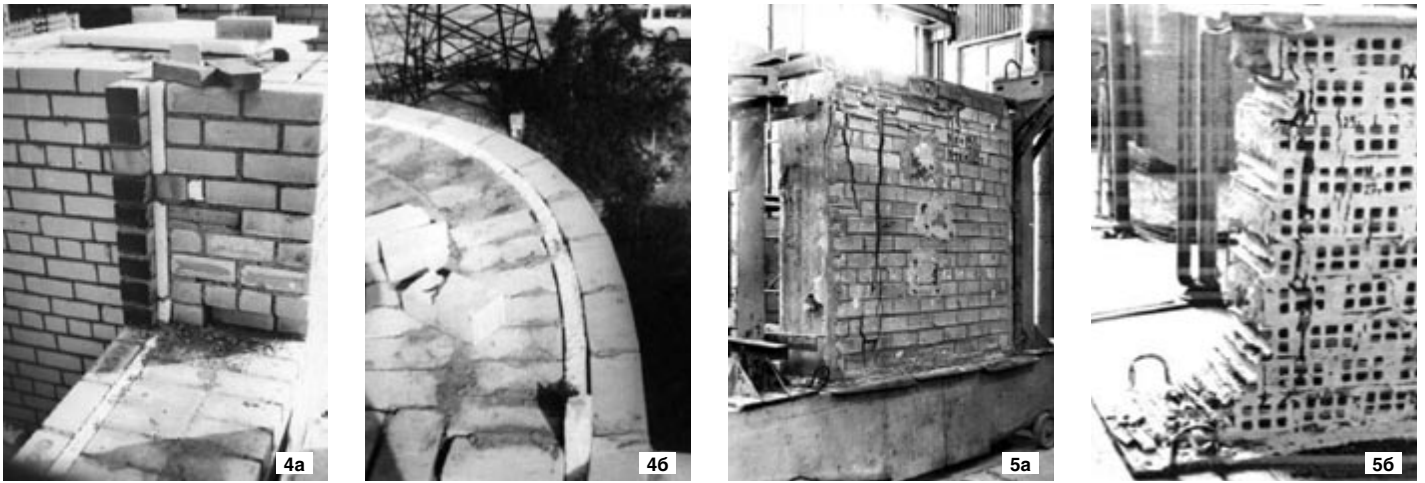


Рис. 4. Первый в России 12-этажный жилой дом с несущими наружными стенами из кладки с уширенным швом, заполненным плитами из пенополистирола, г. Апатиты Мурманской области (1990 г.)

Рис. 5. Испытания фрагментов стен из высокопустотных керамических камней и кирпича производства Норского завода, 1979 г.: а) из кирпича с горизонтальными пустотами, 1979 г.; б) из камней с горизонтальными пустотами

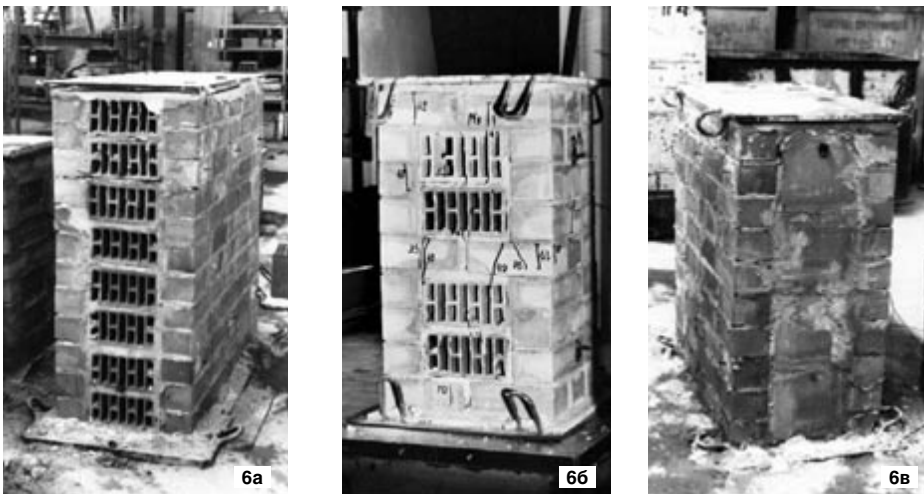


Рис. 6. Испытания фрагментов трехслойных стен из высокопустотных керамических камней и кирпича производства Норского завода, 1985 г.: а) из камней с горизонтальными пустотами с соединением слоев вертикальными диафрагмами и облицовкой из кирпича с вертикальными пустотами; б) из камней с горизонтальными пустотами с соединением слоев горизонтальными диафрагмами и облицовкой из кирпича с вертикальными пустотами (1985 г.); в) из камней с вертикальными пустотами с соединением слоев вертикальными диафрагмами и облицовкой из кирпича с вертикальными пустотами (1985 г.)

тора были проведены экспериментальные и расчетно-теоретические исследования работы вертикальных кирпичных диафрагм на сдвиг и разработана методика их расчета (рис. 5). Эта методика была проверена при строительстве в 1993 году в г. Воскресенске Московской области первого в России дома высотой 9 этажей с наружными трехслойными самонесущими стенами толщиной 40 см с вертикальными диафрагмами и утеплителем из керамзитового гравия (рис. 3).

В начале 2000-х годов эта работа была продолжена при исследовании стен с армированными диафрагмами из ячеистобетонных камней (рис. 6).

В 1990 году впервые в России в г. Апатиты Мурманской области в соответствии с техническими решениями автора был построен 12-этажный жилой дом с несущими наружными стенами из кладки с уширенным швом, заполненным плитами из пенополистирола (рис. 4).

Массовое строительство зданий с наружными стенами из облегченной кладки началось с конца 1995 года, когда были повышены требования по термическому сопротивлению ограждающих конструкций.

Существовавшая до этого типовая серия [6] уже не могла удовлетворить потребности проектировщиков, так как сопротивление теплопередаче многих типов

предлагавшихся там стен, как правило, не превышало $1,8\text{--}2,5 \text{ м}^2/\text{Вт} \cdot \text{°C}$). Кроме того, в этой серии высота зданий с наружными стенами из облегченной кладки ограничивалась 5-ю этажами.

Единственным нормативным документом, регламентирующим проектирование стен из каменной и кирпичной кладки, в том числе и многослойной, таким образом, остался СНиП II-22-81 «Каменные и армокаменные конструкции» и вышедшее в 1988 году Посobie к нему [5, 8]. К сожалению, перемены 90-х годов в части повышения требуемого термического сопротивления стен и высоты зданий, заставившие проектировщиков применять новые конструкции стен, не нашли своего отражения в этих документах и по сей день. В 2003 году в новой редакции СНиП II-22-81* изменения коснулись лишь дополнений по расчетным сопротивлениям кладки на сжатие.

В большинстве своем проектирование стало вестись по разработанному на основе действующих норм альбому ЦНИИ-ЭПжилица [9]. Его авторы наряду с разработками ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко для зданий высотой до 5 этажей использовали применявшиеся в зарубежной практике решения многослойных несущих наружных стен с поэтажной разрезкой, устанавливаемых на монолитное железобетонное перекрытие или сталь-

ной уголок, крепящийся к нему. Относительно удачным было широко применявшееся решение с опиранием кладки лицевого слоя на защемленную во внутреннем слое стены железобетонную консольную балку.

Впоследствии основным типом стены в этом альбоме стала кладка из ячеистобетонных блоков с облицовкой толщиной 12 см кирпичом в несущих стенах. В несущих стенах из монолитного железобетона лицевого слой крепился гибкими связями к железобетону, а между ними размещался эффективный утеплитель. Для исключения промерзания в местах перекрытий в местах опирания на них наружной стены устраивались отверстия, заполняемые эффективным утеплителем — минераловатными плитами или пенополистиролом.

Во многих проектах с целью уменьшения толщины наружных стен между слоями из ячеистобетонных камней толщиной 20 см и лицевого кирпича толщиной 12 см стали также размещать эффективный утеплитель. Крепление лицевого слоя осуществлялось гибкими связями.

Уже в первые годы возведения зданий с наружными стенами с лицевым слоем из кирпичной кладки нового поколения стали обнаруживаться дефекты, и этот процесс сегодня приобрел массовый характер [23, 27].



Рис. 7. Образцы стен с соединением слоев вертикальными кирпичными диафрагмами после испытания на сдвиг между слоями

Экспериментальные исследования кладки из высокопустотных кирпича и камня с горизонтальными пустотами

Применение камней и кирпича с горизонтальными пустотами позволяет избежать ряда неприятностей, связанных с попаданием атмосферной влаги в пустоты в тонких облицовочных слоях, что может повлечь их скорое размораживание. Наиболее эффективно использовать кладку из таких камней и кирпича для несущих стен. Вместе с тем, проведенные исследования показывают возможность применения их и в несущих стенах малоэтажных зданий.

В 1979–1980 годах автором под руководством В.А. Камейко, аспирантом которого он являлся, были проведены исследования кладки и камней с горизонтальными пустотами Норского комбината (рис. 5) [12, 13]. Было установлено, что разрушение кладки из кирпича и камня с горизонтальными пустотами близко к хрупкому. В этой связи рекомендовалось расчетное сопротивление кладки сжатию принимать с понижающим коэффициентом 0,6 по сравнению с кладкой из полнотелого кирпича. В связи с тем, что прочность кладки из них практически не увеличивается с ростом прочности раствора, начиная с $R_2 = 5,0$ МПа применение растворов с прочностью выше указанной не рекомендуется. В случае применения для кладки растворов $R_2 > 5,0$ МПа в расчете принимается $R_2 = 5,0$ МПа.

Аналогичные испытания проводились под руководством В.А. Камейко и в группе Л.М. Ломовой.

Экспериментальные исследования многослойной кладки

Исследования стен из многослойных кладок начали проводиться в ЦНИПС (ныне ЦНИИСК) еще в 30-е годы. Значительный вклад в эти исследования вне-

сли В.М. Милонов [34], С.А. Воробьева [3], А.И. Рабинович [6].

В 1985–1986 годы автором под руководством В.А. Камейко были проведены испытания фрагментов трехслойных стен из высокопустотных керамических камней и кирпича производства Норского завода. Целью работы было изучение возможности применения высокопустотных керамических камней с горизонтальными пустотами в комбинированной трехслойной кладке, где наружные слои выполняются из керамического кирпича с вертикальными пустотами (рис. 6).

Такая кладка значительно облегчала производство работ, попадание раствора в пустоты было минимальным. Благодаря облицовке из кирпича с вертикальными пустотами достаточно просто решались различные узлы стен, в том числе углы, оконные откосы, пилястры и т.п.



Сегодня большой интерес представляют исследования стен из высокопустотных камней из пористой керамики, выпускаемых заводом «Победа-Кнауф» [32].

Одной из причин ограничения высоты стен с соединением слоев кирпичными диафрагмами является опасность среза кирпичных диафрагм при сдвиге наружного и внутреннего слоев относительно друг друга. Сдвиг слоев возникает при действии на них неодинаковой нагрузки, различиях в упругих свойствах материалов слоев, а также в результате неодинаковых температурно-влажностных деформаций наружного и внутреннего слоев кладки. В 1987 году в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко инженером Е.В. Шенкаренко под руководством автора статьи и по программе, предложенной А.И. Рабиновичем и А.А. Емельяновым, испытано три серии из 18 образцов (рис. 7).

В лаборатории реконструкции уникальных каменных зданий и сооружений ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко под руководством автора статьи в основном за счет собственных средств лаборатории продолжают комплексные исследования наружных стен из многослойной кладки.

В 2003 году были проведены испытания кладки с соединением слоев диафрагмами из армированной и неармированной кладки из ячеистобетонных блоков (рис. 8). В результате были получены значения прочности при сдвиге кладки диафрагм различной конструкции и величины предельной деформации сдвига слоев. Предельная величина абсолютного сдвига слоев относительно друг друга может быть принята для кладки с вертикальными диафрагмами из кирпичной кладки равной 0,2 мм и из ячеистобетонных камней — 0,3 мм.



Рис. 8. Образцы стен с соединением слоев вертикальными диафрагмами из ячеистобетонных блоков после испытания на сдвиг между слоями

Существуют две основные причины разрушения многослойной облегченной кладки без горизонтальных деформационных швов нижних этажей при сжатии. В первом случае разрушение происходит за счет отслоения тонких кирпичных стенок вследствие разрушения поперечных связей (вертикальных или горизонтальных кирпичных диафрагм, вырыва арматурных гибких связей и т.п.).

В случае, когда поперечные связи между слоями кладки оказываются относительно прочными, происходит разрушение наиболее жесткого слоя кладки. Таким слоем в облегченных стенах является, как правило, тонкая кирпичная наружная стена.

Российские условия эксплуатации наружных стен во многом отличаются от условий в других странах. Основное отличие состоит в более холодных и продолжительных зимах. Это требует применения более толстых слоев утеплителя и, следовательно, устройства более широких зазоров между слоями кладки. Имеют место отличия в качестве кладочных материалов, связей, качестве производства работ. Все это требует проведения дополнительных исследований, особенно стен из многослойной кладки с гибкими связями.

Из проведенных испытаний (рис. 9) было установлено, что прочность на изгиб из плоскости тонких стенок (толщи-



Рис. 9. Изготовление образцов для проведения испытаний на вырыв связи из кладки

ной в полкирпича) зачастую значительно ниже прочности как самой связи, так и узла ее анкеровки. Поэтому при проектировании стен с гибкими связями необходимо исходить из оптимального соотношения прочности связей, их узлов анкеровки и прочности кладки слоев стены на изгиб из плоскости. В последнем случае необходимо учитывать условия опирания наружной стены на пересекающиеся с ней стены и перекрытия. Из испытаний были получены величин-

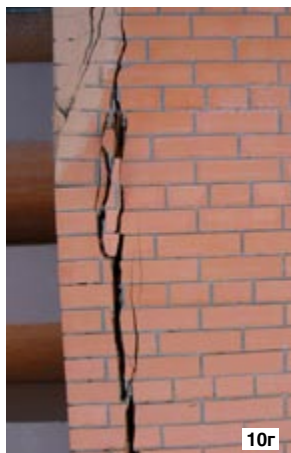


Рис. 10: а, б — вертикальные деформационные швы в лицевом кирпичном слое на углу здания, Берлин; в, г — трещины в лицевом слое на углу здания вследствие отсутствия там вертикальных деформационных швов; д, е — ремонт отслоившейся кладки на углу здания (ул. Магнитогорская, 2006 г.)



ны прочности и деформаций отдельных видов связей из стальной арматуры и сеток из стекловолокна. В настоящее время готовятся испытания некоторых других типов связей.

Натурные наблюдения

Особую ценность имеют натурные наблюдения за построенными объектами. Автору пришлось исследовать причины возникновения дефектов в многослойных стенах нового поколения практически сразу же после начала их возведения в конце 90-х годов [23, 27]. Проводимые исследования позволили более глубоко проанализировать причины возникновения дефектов в многослойных стенах.

Для компенсации температурно-влажностных деформаций должны выполняться вертикальные деформационные швы [10, 24–28, 40, 41]. Их отсутствие приводит к образованию и раскрытию вер-

тикальных трещин в лицевом слое из кирпичной кладки. Трещины возникают преимущественно на углах здания и развиваются в течение длительного времени (рис. 10).

Обследования большинства возведенных зданий показали, что вертикальные деформационные швы в наружном слое практически всегда отсутствуют. Положение усугубляется при отсутствии в уровне перекрытий горизонтальных деформационных швов.

Для компенсации разности вертикальных деформаций наружного и внутреннего слоев наружных стен, а также каркаса здания, прогиба перекрытий, должны выполняться горизонтальные деформационные швы [22, 23]. Их отсутствие или некачественное исполнение приводит к разрушению кирпича лицевого слоя в уровне перекрытий (рис. 11–13).

Типичным дефектом является смещение с опорного уголка или плиты перекрытия лицевого слоя кладки. Порою



что через несколько лет может привести к их коррозии.

Прочность анкеровки в растворные швы кладки многих из применяемых связей нигде не регламентирована и часто неизвестна. Анкеровка большинства видов связей в растворные швы кладки из легкобетонных или ячеистобетонных блоков класса по прочности ниже В1 требует применения специальных мероприятий.

Ссылка на удачные примеры применения аналогичных по конструкции связей за рубежом [42] является неубедительной по следующим причинам:

- расстояние между связями во многих проектах назначается без какого-либо обоснования. На стройке расстояние между связями и места их привязки, указанные в проекте, на многих из обследованных зданий не соблюдены;

Рис. 11. Некачественное исполнение горизонтального деформационного шва на доме (ул. Петрозаводская, 2007 г.)

Рис. 12. Раздробление кирпича в уровне перекрытия вследствие отсутствия там горизонтального деформационного шва (ул. Магнитогорская, 2006 г.)

Рис. 13. Раздробление кирпича в уровне перекрытия под стальным уголком вследствие отсутствия там горизонтального деформационного шва (ул. Старослободская, 2006 г.)

это смещение составляет 8–12 см и более (рис. 14). При этом свес нижнего ряда кладки наружного слоя с опорной конструкцией не должен превышать 15 мм. Перечисленные выше дефекты в ряде случаев привели к обрушению лицевого слоя кладки (рис. 15).

Отсутствие горизонтальных деформационных швов в штукатурном слое при их наличии в кирпичной кладке способствует отслоению штукатурки в уровне перекрытий (рис. 16, а, б). В случае, когда деформационный шов отсутствует и в кирпичной кладке, разрушение штукатурного слоя может произойти уже вместе с раздроблением кирпичей в уровне перекрытия.

Повсеместно наблюдается разрушение облицовки торца плит перекрытий керамической плиткой или пиленым кирпичом (рис. 11). Одной из причин этого является также отсутствие горизонтальных

деформационных швов между плиткой и кладкой наружного слоя.

Другой причиной отслоения штукатурного слоя и плитки в уровне перекрытий может явиться размораживание плитки и клеящего раствора, а также кладки, на которую нанесена штукатурка, вследствие увлажнения атмосферными осадками и конденсатом пара, поступающего из помещения.

Распространенными ошибками при устройстве гибких связей являются: недостаточная стойкость к коррозии, излишняя податливость из плоскости стены, излишняя жесткость на сдвиг, неудовлетворительная анкеровка в кладку лицевого и внутреннего слоев, большое расстояние между связями.

Известны случаи, когда гибкие связи, располагаемые в слое утеплителя, выполняются из обычной полосовой стали без антикоррозионного покрытия (рис 17),



Рис. 16. Отслоение штукатурного слоя, выполненного по стальной сетке, перекрывающей зазор между низом плиты перекрытия и подведенной под нее кладкой лицевого слоя: а) ул. Плющиха, 2003 г.; б) ул. 2-я Ямская, 2004 г.

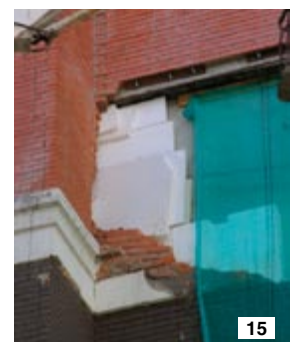


Рис. 14. Смещение кирпичей лицевого слоя с опорного стального уголка на 8–10 см (ул. Молодогвардейская, 1989 г.)

Рис. 15. Обрушение кладки лицевого слоя вследствие смещения кирпичей с опорного уголка, отсутствия горизонтального деформационного шва, недостаточного количества и большой податливости гибких связей (ул. Петрозаводская, 2007 г.)

— в наших климатических условиях с большим перепадом температур усилия в связях, расположенных на углах, при недостаточном количестве и нерациональном расположении вертикальных деформационных швов могут достигать 500 кгс и более;

— в развитых странах вертикальные деформационные швы в лицевом слое кладки устраиваются довольно часто, даже в регионах с весьма умеренным климатом. Расположение швов принимается таким образом, чтобы усилия в связях были минимальными;

— качество работ там значительно выше, что позволяет контролировать величину свеса кладки с опорного уголка или кронштейна, уменьшать опрокидывающие моменты от неперпендикулярности стен.

Все металлические опорные элементы, а также элементы их крепления (болты, дюбели), должны выполняться из нержавеющей стали или других стойких к коррозии материалов.

Одним из основных требований к утепляющим слоям является отсутствие в них сквозных зазоров, вызываемых как некачественной укладкой утеплителя, так и свойствами самого материала — усадкой, проседанием в течение какого-то времени (рис. 18, 19).

Помимо технологических дефектов утепляющего слоя, нередки случаи, вызванные ошибками при проектировании,



Рис. 17. Связи из стальной полосы без антикоррозионного покрытия

но наблюдается попадание атмосферной влаги через горизонтальные деформационные швы.

Для тонкого лицевого слоя из пустотелого кирпича это особенно опасно. В случае образования в кладке лицевого слоя трещин и сколов туда также проникает атмосферная влага. В этой связи рекомендуется кладку лицевого слоя в трех рядах над деформационным швом и в трех рядах под ним выполнять из кирпича с процентом пустотности не более 15% и толщиной наружной стенки не менее 20 мм. Марка по морозостойкости кирпича лицевого тонкостенного слоя в уровне перекрытий должна быть не ниже МРз 75, а в остальных местах не ниже МРз 50. К сожалению, действующий СНиП 2-22-81* [8] допускает применение

работе [29] и подготовленной к выпуску в марте сего года монографии «Отечественный опыт возведения зданий с наружными стенами из облегченной кладки».

Исследование напряженно-деформированного состояния кладки с вертикальными диафрагмами с учетом поэтапности и длительности возведения

В процессе строительства происходит непрерывное изменение расчетной схемы стен и всего здания в целом за счет возведения новых этажей, а также вертикальной нагрузки на здание, которая постоянно увеличивается. В течение всего периода строительства, а также в первые несколько лет эксплуатации происходит заметное увеличение модуля упругости кладки за счет твердения раствора в швах [15, 20, 21, 36, 37].

Деформации ползучести способствуют разгрузке более деформируемого и загрузке менее деформируемого слоев стены.

Величины усилий, перераспределившиеся между слоями на момент окончания возведения стены, в несущих стенах могут составлять 45% от усилий, подсчитанных в предположении раздельной работы слоев. После окончания возведения стены перераспределение усилий между слоями существенно меньше.



Рис. 18. Зазор между низом плиты перекрытия и утеплителем (ул. Петрозаводская, 2007 г.)



Рис. 19. Заполнение стыка между плитами утеплителя в месте расположения связевой сетки раствором (г. Красногорск, 1999 г.)

когда расчеты производятся без учета потерь тепла через различные вертикальные и горизонтальные диафрагмы, стальные связи между слоями. Не всегда выполняются расчеты и на паропроницание.

В результате увлажнения дождевыми и тальными водами, конденсатом поступающего из помещения пара возможно размораживание кладки наружного слоя. В первую очередь, это происходит в уровне перекрытий, где тепло и пароизоляция стены, как правило, ниже. Нередки случаи попадания атмосферной влаги в полость стены вследствие неудовлетворительного состояния кровли, закрывающей верх стены. Аналогичным образом возможно проникновение влаги и в местах проемов при неудовлетворительном состоянии сливов. Почти повсеместно

кирпича марки МРз 15, что совершенно недопустимо.

С целью ограничения попадания атмосферной влаги в горизонтальный деформационный шов рекомендуется устройство над ним отлива из металлопластика и т.п. Не допускается выступание верхнего ряда кладки относительно торца плиты перекрытия.

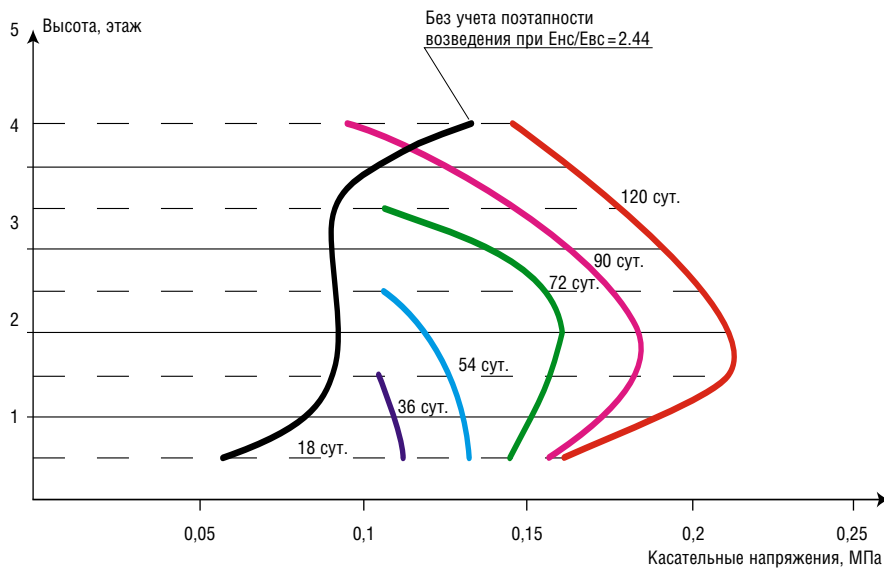
Не допускается в построечных условиях приклейка на наружный торец плиты перекрытия керамической плитки или пиленого кирпича. Оштукатуривание торца плиты по сетке допускается только в виде исключения и при соблюдении требований по устройству горизонтальных деформационных швов.

Более подробно требования к конструкциям стен и материалам изложены в

Эпюры касательных напряжений, подсчитанных с учетом и без учета поэтапности возведения стены, значительно различаются между собой (рис. 20). Так, при учете поэтапности возведения максимальные их величины оказываются в уровне 1–2-го этажей, а не в верхнем, если расчет выполнять без учета поэтапности возведения. Отметим, что срез лицевого слоя кирпичной кладки многослойных стен без горизонтальных деформационных швов чаще всего происходит именно в уровне 1–2-го этажей.

При кирпичных диафрагмах, имеющих относительно большую жесткость, касательные напряжения в диафрагмах от температурно-влажностных воздействий в верхнем этаже сопоставимы по величине с напряжениями от вертикальной

Рис. 20. Эпюры касательных напряжений в кирпичных диафрагмах, соединяющих слои несущей трехслойной стены, полученные с учетом поэтапности возведения



нагрузки. В нижележащих этажах касательными напряжениями в кирпичных диафрагмах от температурно-влажностных воздействий можно пренебречь.

Л.И. Онищиком было предложено перекрытия рассматривать как горизонтальные опоры для стен [35]. В этом случае изгибающие моменты от внецентренного приложения нагрузки учитываются только от нагрузок, приложенных в пределах рассматриваемого этажа.

При расчете стен с жесткими связями на центральное и внецентренное сжатие в основу взяты те же формулы, что и для сплошной кладки. В них вместо фактических значений подставляются приведенные площади поперечного сечения. Приведение площадей производится по расчетному сопротивлению кладки основного слоя, умноженному на коэффициент использования его несущей способности.

Основное отличие предлагаемого на основе проведенных исследований метода от приведенного в [8] состоит в том, что в нем предлагается дополнительно учитывать вертикальные усилия и изгибающие моменты, возникающие от температурных воздействий. Кроме того, дополнительно производится проверка прочности диафрагм, связывающих слои стены, на действие касательных напряжений. Коэффициенты использования несущей способности кладки слоев при этом должны назначаться с учетом длительного приложения нагрузки и усадки кладки.

В случае отсутствия экспериментальных данных по определению коэффициентов использования несущей способности кладки слоев с учетом длительного приложения нагрузки и усадки кладки, необходимо учитывать также моменты, возникающие от этих воздействий.

Расчетно-теоретические исследования напряженно-деформированного состояния лицевого слоя кладки на гибких связях и усилий в связях при температурно-влажностных воздействиях

С учетом результатов проводимых экспериментальных и натурных исследований были составлены расчетные схемы (рис. 21) и проведены расчетно-теоретические исследования напряженно-деформированного состояния лицевого слоя кладки на гибких связях и усилий в связях при температурно-влажностных воздействиях [24, 25, 28].

В кладке лицевого слоя вследствие температурных воздействий могут возникнуть значительные горизонтальные растягивающие напряжения. В качестве примера на рис. 22–27 изображены деформированные схемы и изополя горизонтальных напряжений.

В плоских фрагментах с двумя вертикальными температурными швами по их границе максимальные величины растягивающих напряжений наблюдаются на опоре в средней части стены. Объясняется это тем, что на опоре горизонтальные перемещения, вызванные температурными деформациями, сдерживаются опорными конструкциями.

Во многих материалах, наряду с температурными, могут развиваться деформации усадки или набухания. Наиболее интенсивно деформации усадки протекают в первые месяцы с момента возведения конструкции [4, 36, 37]. Поскольку в реальных условиях время возведения различных конструкций не всегда может быть заранее спланировано, расчет рекомендуется производить для различных сочетаний температурно-влажностных воздействий.

В плоских фрагментах усилия в гибких связях могут вызываться, в основном,

при внецентренном опирании наружного слоя, отклонении его от вертикали. В случае отсутствия горизонтальных деформационных швов или некачественном их исполнении эти усилия могут оказаться особенно существенными. В верхних этажах высоких зданий дополнительные усилия в связях, подлежащие учету, могут вызываться и ветровыми нагрузками.

В пространственных фрагментах вблизи угла кладка лицевого слоя подвергается изгибу из своей плоскости. Величины растягивающих напряжений от изгиба могут быть сопоставимы по величине с напряжениями от осевого растяжения.

В Z-образных фрагментах с двумя вертикальными температурными швами вследствие температурных воздействий может происходить сдвиг слоев относительно друг друга. Чем меньше длина средней стены, тем больше ощущается влияние сдвига лицевых слоев крайних стен относительно друг друга и тем выше растягивающие напряжения в наружном слое от его изгиба из плоскости. В П-образных фрагментах с короткими средними стенами возрастает влияние изгиба лицевого слоя из его плоскости вследствие перемещений крайних стен. Однако это влияние оказывается не столь существенно, как при сдвиге в Z-образных фрагментах.

Поскольку при отсутствии вертикальных температурных швов горизонтальные перемещения в плоскости стены не являются свободными даже при высоких стенах, напряжения там не столь значительно изменяются по высоте стены, как во фрагменте с температурными швами (рис. 26).

На напряженно-деформированное состояние наружного слоя очень большое влияние оказывают плиты перекрытий. Плиты перекрытий находятся в отличных от наружного слоя условиях, не подвержены столь значительным перепадам температур. В то же время коэффициент линейного расширения железобетона в два раза выше, чем кладки из керамического кирпича или камней. Особенно сказываются деформации плит в их плоскости на углах стен и особенно при отсутствии горизонтальных деформационных швов (рис. 27).

Напряженно-деформированное состояние кладки наружного слоя изменяется в течение года в зависимости от температуры окружающего воздуха и солнечной радиации. При этом определяющим является период замыкания конструкции, совпадающий со временем возведения кладки наружного слоя [25, 28]. Изменение температуры конструкций именно с момента возведения кладки наружного слоя приводит к изменению его напряженно-деформированного состояния. При этом важно учитывать изменение температуры не только наружного слоя, а и других конструкций. К ним

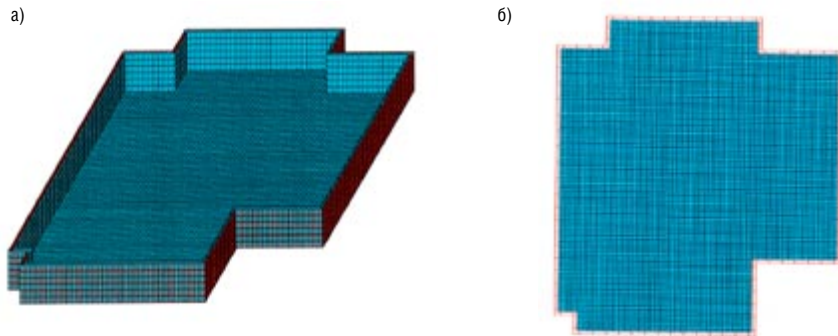


Рис. 21. Расчетные схемы фрагментов здания, образованные монолитным диском перекрытия с опирающимся на него внутренним слоем. Лицевой слой опирается на стальной уголок или железобетонную балку, соединенную с плитой железобетонными ребрами. Соединение слоев осуществлено гибкими связями

в первую очередь относятся плиты перекрытий, опорные балки, соединяющие их с плитой перекрытия ребра, внутренние слои наружных стен.

Для московского региона зимой наиболее вероятно образование трещин в случае возведения наружного слоя в межсезонье (рис. 24), а летом — в случае возведения наружного слоя зимой [18, 21–23].

При отсутствии по границам фрагмента вертикальных температурных швов горизонтальные перемещения кладки лицевого слоя при температурном расширении развиваются в основном в сторону угла пересечения стен. Этим перемещениям препятствуют расположенные на углу связи. При наличии по границам фрагмента вертикальных деформационных швов кладка лицевого слоя имеет возможность расширяться в сторону этих швов. При этом горизонтальные перемещения кладки на углу оказываются незначительными. Незначительными оказываются при этом и усилия в связях.

В стенах фрагментов без вертикальных и горизонтальных температурных швов горизонтальные усилия, действующие в связях, расположенных на уг-

лу стен с большим отношением высоты к длине, достигают максимальных значений в большинстве случаев с высоты 2–4 м. Во фрагментах с температурными вертикальными швами по мере убывания влияния опорных конструкций усилия в связях становятся незначительными с высоты 4–10 м в зависимости от соотношения высоты и длины стены.

Для приближенной оценки величин горизонтальных растягивающих напряжений в лицевом слое предложена следующая формула:

$$\sigma = (0,67 + 0,0088L) E_k \alpha_t \Delta t \text{ [МПа]},$$

где E_k — модуль деформаций кладки, определяемый с учетом длительных деформаций по формуле: $E_k = E^0/\eta$;

E^0 — модуль упругости кладки; η — коэффициент, учитывающий влияние ползучести кладки; α_t — коэффициент линейного расширения кладки; Δt — расчетный перепад температур;

L — расчетная суммарная длина стен фрагментов, зависящая от конфигурации фрагмента в плане, длин стен, наличия вертикальных температурных швов.

Горизонтальное усилие, действующее в кладке лицевого слоя, можно определить по формуле:

$$N = \sigma A,$$

где A — площадь вертикального сечения кладки лицевого слоя брутто (с учетом вертикальных швов) высотой 1 м.

Величины максимальных растягивающих усилий в расположенных на углу гибких связях могут быть оценены по формулам:

$$N = 2,21 [a \ln(L - b) + c] E_k \alpha_t \Delta t \text{ КН}$$

при $L > 8,5$;

$$N = 1,65 [d L^2 + e] E_k \alpha_t \Delta t \text{ КН},$$

при $L \leq 8,5$,

где коэффициенты принимают следующие значения: $a = 0,73$; $b = 8$; $c = 3,3$; $d = 0,05$; $e = 0,15$; модуль упругости задается в МПа, температура в °С; L — расчетная суммарная длина стен фрагментов.

В Г-образных фрагментах с внутренним углом и с двумя температурными швами усилия в связях могут превышать усилия в связях Г-образных фрагментов с внутренним углом почти в 10 раз. То же относится и к Z-образным фрагментам. В этой связи рекомендуется устройство вертикальных температурных швов не только по внешним, но и по внутренним углам. Z-образные фрагменты, особенно с короткой средней стороной, должны разбиваться на два или более фрагментов в любом случае.

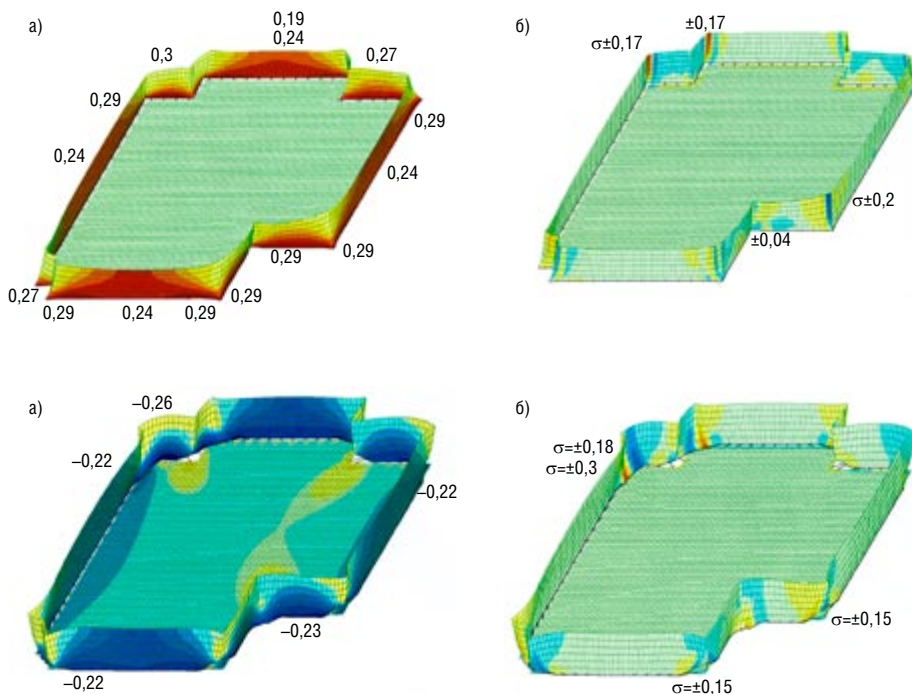


Рис. 22. Деформированная схема и изополя горизонтальных напряжений (МПа) в лицевом слое кладки в летнее время, при ее возведении в зимнее время: а) без учета напряжений от изгиба из плоскости; б) от изгиба из плоскости. Внутренний слой и гибкие связи условно не показаны

Рис. 23. Деформированная схема и изополя горизонтальных напряжений (МПа) в лицевом слое кладки в зимнее время, при ее возведении в летнее время: а) без учета напряжений от изгиба из плоскости; б) от изгиба из плоскости. Внутренний слой и гибкие связи условно не показаны

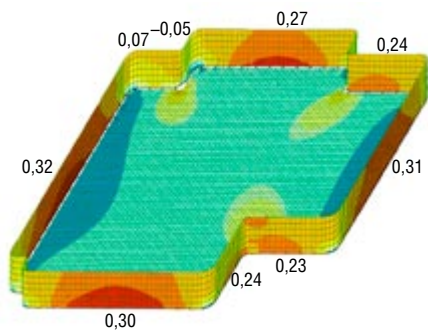


Рис. 24. Деформированная схема и изополя горизонтальных напряжений (МПа) в лицевом слое кладки в зимнее время, при ее возведении в межсезонье без учета напряжений от изгиба из плоскости. Внутренний слой и гибкие связи условно не показаны

В случае поэтажной разрезки горизонтальными деформационными швами при свесе лицевого слоя с опорного стального уголка на половину толщины слоя (6 см), напряжения в кладке могут достигнуть ее расчетного сопротивления. При плохом качестве растворного шва в отдельных местах вследствие концентрации напряжений может произойти разрушение нижних рядов кладки [28]. При отсутствии горизонтальных деформационных швов растворные швы между низом уголка и подводимым под него верхним кирпичом лицевого слоя, как правило, низкого качества из-за трудности заполнения этого шва раствором. Поэтому в этих местах возникают также значительные вертикальные напряжения вследствие концентрации напряжений.

При отсутствии горизонтальных деформационных швов в гибких связях возникают значительные усилия. Эти усилия суммируются с усилиями, вызванными горизонтальной составляющей температурно-влажностных деформаций, что в еще большей степени способствует вырыву связей.

Расстояния между вертикальными деформационными швами могут назначаться из соблюдения условий не превышения прочности кладки, связей и анкерных узлов на растяжение.

В любом случае, при назначении мест расположения вертикальных температурных швов следует соблюдать конструктивные требования.

Не допускается устройство горизонтальных деформационных швов реже, чем в каждом этаже в случае поэтажного опирания наружного слоя на плиты перекрытий или другие опорные конструкции (уголки, кронштейны, керамзитобетонные балки и т.п.). Это вызвано возможностью прогиба плиты перекрытия и передачи с нее нагрузки на наружный слой.

Во внутреннем слое наружной стены из кирпичной или каменной кладки также должен быть предусмотрен горизонтальный деформационный шов в уровне низа перекрытия каждого этажа.

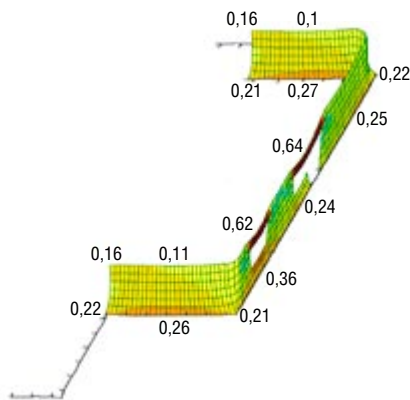


Рис. 25. Деформированная схема и изополя горизонтальных напряжений (МПа) в лицевом слое кладки в летнее время, при ее возведении в зимнее время без учета напряжений от изгиба из плоскости. Внутренний слой и гибкие связи условно не показаны

С увеличением расстояния между горизонтальными деформационными швами снижается надежность конструкции даже при соблюдении требований по устройству вертикальных температурных швов. Это обстоятельство предлагается учитывать путем введения дополнительного коэффициента условий работы $m_1 = 2$ при расстоянии между горизонтальными деформационными швами больше 3,5 м. Коэффициент подставляется в формулы для проверки прочности кладки лицевого слоя на растяжение и изгиб из плоскости и гибких связей на вырыв.

С целью повышения прочности кладки при растяжении в горизонтальные швы следует укладывать арматурные сетки. Укладку отдельных продольных стержней нельзя признать эффективной вследствие их возможного проскальзывания в растворном шве. Расстояние между сетками по высоте не должно превышать 40 см. В противном случае армирование считается конструктивным. Прочность кладки на растяжение проверяется по формулам:

- для неармированной кладки:

$$N_t \geq R_t A_{nt} \geq m_1 N$$

- для армированной кладки:

$$N_t \geq \gamma_{cs} R_s A_s \geq m_1 N,$$

где R_t — расчетное сопротивление кладки растяжению по перевязанно-

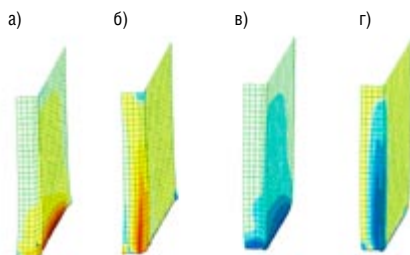


Рис. 26. Деформированная схема и изополя горизонтальных напряжений (МПа) в лицевом слое кладки без горизонтальных деформационных швов и вертикальными деформационными швами по границам фрагмента в летнее время, при ее возведении в зимнее время: а) без учета напряжений от изгиба из плоскости; б) от изгиба из плоскости. Внутренний слой и гибкие связи условно не показаны

му сечению; R_s — расчетное сопротивление продольной арматуры; A_{nt} — площадь вертикального сечения кладки по кирпичу нетто (за вычетом площади сечения вертикальных швов); A_s — площадь сечения продольной арматуры; γ_{cs} — коэффициент условий работы. При армировании сетками $\gamma_{cs} = 0,75$; N_t — несущая способность кладки на растяжение; N — горизонтальное растягивающее усилие, определяемое из расчета по программам, реализующим метод конечного элемента и т.п., либо по приближенным формулам; m_1 — коэффициент условий работы кладки лицевого слоя, принимаемый равным 1,0 при расстоянии между вертикальными температурными швами не более 3,5 м и 2,0 — при большем значении.

В результате действия в связи значительных растягивающих усилий может произойти разрыв связи или вырыв ее из кладки.

Прочность связи на растяжение N_{ts} проверяется по формуле:

$$N_{ts} \geq m_1 m_2 N$$

Прочность узла анкеровки связи $N_{t,a}$ проверяется по формуле:

$$N_{t,a} \geq m_1 m_2 N$$

В формулах приняты следующие обозначения:

N — растягивающее усилие в связи, определяемое из расчета по программам, реализующим метод конечного элемента и т.п., либо по приближенным формулам, приведенным выше; m_1 — коэффициент условий работы кладки лицевого слоя, принимаемый равным 1,0 при расстоянии между горизонтальными температурными швами не более 3,5 м и 2,0 при большем значении; m_2 — коэффициент условий работы связей, зависящий от неравномерности включения в работу отдельных связей, зависящий от конструкции связи, наличия или отсутствия предварительного напряжения связей.

На основе проведенных исследований был разработан стандарт организации по определению напряженно-деформированного состояния лицевого слоя кладки на гибких связях и усилий в связях при температурно-влажностных воздействиях [10].

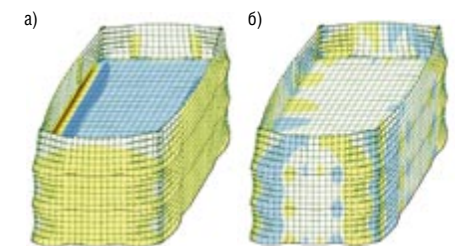


Рис. 27. Деформированная схема и изополя горизонтальных напряжений (МПа) в лицевом слое кладки без горизонтальных деформационных швов в летнее время, при ее возведении в зимнее время: а) без учета напряжений от изгиба из плоскости; б) от изгиба из плоскости. Внутренний слой и гибкие связи условно не показаны

Заключение

Нормативная база по проектированию конструкций из каменной кладки, и в первую очередь СНиП II-22-81 «Каменные и армокаменные конструкции», значительно отстала от изменившихся условий. Это заставляет проектировщиков и строителей применять зарубежные аналоги [38-43], зачастую упрощая их и заменяя более дорогие материалы на дешевые. Во то же время российские условия возведения и эксплуатации наружных стен во многом отличаются от условий в других странах. Сюда следует отнести и более суровый климат, и зачастую низкое качество строительства, дефицит многих качественных материалов, отсутствие

достаточного опыта проектирования многослойных стен. Поэтому даже хорошо известные за рубежом технические решения требуют их неформальной адаптации к местным условиям.

В этих условиях вступившие в силу в Московской области и Москве ограничения на возведение стен с лицевым слоем из кирпичной кладки представляются единственно возможными решениями, позволяющими избежать еще больших аварий и огромных затрат на ремонт. К сожалению, негативные процессы могут проявиться в уже построенных зданиях и спустя несколько лет. Не всегда оправдывают себя и выполненные ремонты в случае некачественно проведенного обследования и неверно принятого технического решения.

Вместе с тем, существует надежда, что техническое сообщество сумеет мобилизоваться с целью разработки как качественных документов, регламентирующих проектирование и возведение зданий с такими стенами, так и поднять качество проектирования и строительства.

В настоящей публикации автор попытался затронуть как можно больше вопросов, чтобы привлечь к ним внимание специалистов. Это не позволило остановиться на каждом из них подробно. Более основательно эти и ряд других тем рассмотрены в монографии «Отечественный опыт возведения зданий с наружными стенами из облегченной кладки», выход которой в свет намечен на март этого года.

Используемая литература

1. Инструкция по кладке стен системы инж. Н.С. Попова, Госстройиздат. М.-Л., 1939 г.
2. Инструкция по проектированию и возведению облегченных стен из кирпича и бетонных камней. Гос. Изд. Литературы по строительству и архитектуре. М.-Л., 1951 г.
3. Рекомендации по методике расчета, проектированию и применению панельных и кирпичных стен с различными видами облицовок. //Стройиздат, Москва, 1983 г., 40
4. Рекомендации по расчету конструкций крупнопанельных зданий на температурно-влажностные воздействия, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, ЛенЗНИИЭП, 1983 г. (А.А. Емельянов, Ю.В. Вишняков, И.Н. Сидько).
5. Пособие по проектированию каменных и армокаменных конструкций, М., 1988 г.
6. Серия 2.130.23 «Детали стен и перегородок жилых зданий», вып. 23, «Наружные кирпичные и каменные стены облегченной кладки», ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, ЛенЗНИИЭП, 1982 г. (Е.П. Гуров, А.И. Рабинович).
7. Серия 2.130.8, вып. 0, 1 «Детали стен и перегородок жилых зданий», вып. «Наружные кирпичные и каменные стены облегченной кладки», ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, ЛенЗНИИЭП, 1987 г. (Е.П. Гуров, М.К. Ищук).
8. СНиП II-22-81* «Каменные и армокаменные конструкции. Нормы проектирования», 2003 г.
9. Здания с монолитными железобетонными несущими конструкциями. Наружные стены из легкого бетонных блоков с облицовкой кирпичом. Технические решения. ЦНИИЭП жилища, 2005 г.
10. Стандарт организации СТО 36554501-013-2008 «Методы расчета лицевого слоя из кирпичной кладки наружных облегченных стен с учетом температурно-влажностных воздействий» (М.К. Ищук).
11. Брусенцов Г.Н., Ищук М.К. Зарубежный опыт применения метода конечных элементов в расчетах каменных конструкций//Архитектурно-строительное проектирование, серия 13, вып. 6, ВНИИС, 1981 г., с. 25-28.
12. Гаврильцев А.П., Ищук М.К.//Автоматизированный метод расчета деформаций каменной кладки//Архитектурно-строительное проектирование, серия 13, вып. 7, ВНИИС, 1981 г., с. 22-26.
13. Ищук М.К. Исследования прочности и упругих свойств кладки из керамических камней и кирпича с горизонтальными пустотами//Исследования по строительным конструкциям и их элементам//Сборник научных трудов//М., Изд. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, 1982 г., с. 77-83.
14. Ищук М.К. Учет работы дисков перекрытий при расчете зданий методом конечных элементов//Исследования по строительным конструкциям//ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, М., 1984 г., с. 132-137.
15. Ищук М.К. Исследование совместной работы разнотемпературных стен каменных зданий при вертикальном нагружении//Исследование крупнопанельных и каменных конструкций//Москва, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, 1986 г.
16. Ищук М.К., Гуров Е.П. Конструкции наружных стен из облегченной кладки//Жилищное строительство, №3, 1988 г.
17. Ищук М.К., Левин Н.И., Шенкаренко Е.В., Гуров Е.П. К выводу новой редакции альбома типовых деталей наружных стен из облегченной кладки//ВНИИС, серия 8, вып. 10, 1987 г., с. 18-21.
18. Ищук М.К., Гуров Е.П. Конструкции наружных стен из облегченной кладки//Жилищное строительство, №3, 1988 г.
19. Ищук М.К.//Наружная стена//Авторское свидетельство СССР 7023№ 203.
20. Ищук М.К., Шишкина Н.А. Расчет на ЭВМ каменного здания с учетом поэтапности возведения//Исследования каменных и крупнопанельных конструкций и перспективы их развития//ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, М., 1990 г., с. 93-103.
21. Ищук М.К. Практические методы определения деформаций каменной кладки//Исследования каменных и крупнопанельных и перспективы их развития//ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, М., 1990 г., с. 83-93.
22. Ищук М.К. Здания с наружными стенами из облегченной кладки//Жилищное строительство, №7, 1996 г.
23. Ищук М.К. Дефекты наружных стен из многослойной кладки//Интеграл, №1, 2001 г., с. 20-22.
24. Ищук М.К., Зуева А.В. Исследование напряженно-деформированного состояния лицевого слоя из кирпичной кладки при температурно-влажностных воздействиях//ПГС №3, 2007 г., с. 40-43.
25. Ищук М.К., Зуева А.В. Назначение расчетной температуры наружных стен с лицевым слоем из кирпичной кладки//Строительная механика и расчет сооружений №4, 2006 г., с. 71-73.
26. Ищук М.К. Отечественный опыт возведения зданий с наружными стенами из многослойной облегченной кладки//Строительные материалы №4, 2008 г., с. 101-105.
27. Ищук М.К. Причины дефектов наружных стен с лицевым слоем из кирпичной кладки//Жилищное строительство №3, 2008 г., с. 28-31.
28. Ищук М.К. Анализ напряженно-деформированного состояния кладки лицевого слоя наружных стен//Жилищное строительство №4, 2008 г., с. 23-27.
29. Ищук М.К. Требования к многослойным стенам с гибкими связями//Жилищное строительство №5, 2008 г., с. 15-19.
30. Ищук М.К. История выпуска пустотелых керамических камней в России//Строительные материалы №10, 2008 г., с. 87-90.
31. Кардо-Сысов. Практика строительного дела// Госстройиздат, 1932 г., 398 с.
32. Комов В.М., Ананьев А.И. Энергоэкономичные кирпичные стены для жилых зданий//Жилищное строительство, 2000 г., №1, с. 44-46.
33. Курдюмов В. Каменная кладка//Материалы для курса строительных работ//вып. 4 Каменная кладка, изд. Гольштейна, Петроград, 1916 г.
34. Милонов В.М. Исследование облегченных кирпичных стен//Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд.техн.наук. ЦНИПС, 1952 г.
35. Онищик Л.И. Каменные и армокаменные конструкции промышленных и гражданских зданий//М.-Л., Стройиздат, 1939 г.
36. Поляков С.В. Расчет деформаций ползучести при изменяющейся во времени сжимающей нагрузке//Строительная механика и расчет сооружений, 1962 г., №5, с. 18-24.
37. Черкашин А.В. Исследования прочности и деформаций при длительном сжатии бетонов и кладок, используемых для стен крупнопанельных зданий//Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, М., 1965 г.
38. The National Code of Canada, 1960.
39. T. Ritchie Canadian Building Digest. CBD-21. Cavity Walls. 1961.
40. Kimbal J. Beasley. Masonry Facade Stress Failures//The Construction Specifier, February 1998, v. 51 no. 2.
41. Volume Changes and Effects of Movement// Technical Notes on Brick Construction// Brick Industry Association// Technical Notes 18, Sept. 2000.
42. Wall Ties for Brick Masonry, Brick Industry Association, Tech Notes 44B, May 2003, Technical Notes on Brick Construction.
43. Brick and block cavity wall//International Masonry Institute//Masonry detailing series, 2007.