

Применение камней с высокой пустотностью в облицовочном слое многослойных стен

*Д.т.н., профессор, зав. кафедрой общего строительства Р.Б. Орлович,
Западно-Померанский технологический университет;*

к.т.н., доцент А.С. Горшков,

ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»;

старший преподаватель С.С. Зимин,

ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»;

Аннотация. В связи с повышением нормативных требований к теплозащитным свойствам наружных стен в последнее время стали широко применяться многослойные ограждающие конструкции. Отечественная практика эксплуатации многослойных наружных стен выявила их повышенную дефектность. В первую очередь это относится к лицевому слою, выполняемому обычно из камней с высокой пустотностью.

Лицевой слой, кроме эстетических свойств, должен в течение всего периода эксплуатации здания надежно выполнять функции защиты внутренних конструкций от негативного влияния окружающей среды. Это может быть достигнуто только с помощью анализа его работы (как прочностного, так и теплотехнического), которому не уделяется соответствующее внимание. Цель работы – оценить возможность дальнейшего повсеместного применения в России кладки из камней с высокой пустотностью в качестве лицевого наружного слоя, а также выявить наиболее рациональный способ анализа напряженно-деформированного состояния облицовочного слоя.

Рассмотрен зарубежный опыт применения многопустотных камней, проведены соответствующие прочностные и теплотехнические расчеты. Сделаны выводы о необходимости отказа от повсеместного применения в России камней с высокой пустотностью для облицовки многослойных каменных стен и о возможности применения камней с пустотностью не более 15%. Также сделаны выводы, что наиболее достоверное напряженно-деформированное состояние лицевого облицовочного слоя может быть получено по результатам совместного прочностного и температурного расчетов с учетом результатов мониторинга существующих зданий, а также натуральных и лабораторных испытаний.

Ключевые слова: каркасно-монолитные дома; лицевой кирпичный слой; слоистая кладка; теплотехника наружных стен

С середины 1990-х годов в связи с повышением требований к сопротивлению теплопередаче в странах СНГ стали широко применяться многослойные конструкции с лицевым слоем из камней с высокой пустотностью. К настоящему времени выявлено множество недостатков подобных конструкций [1–6], которые во многих случаях приводили к аварийному состоянию стенового ограждения и даже к обрушению лицевого слоя. Одной из причин этого является недостаточная проработка решений по материалу облицовочного слоя, который рассматривается, в первую очередь, с эстетической точки зрения.

В частности, не уделяется должного внимания анализу напряженно-деформированного состояния лицевого слоя. Кроме этого, распространено необоснованное мнение, что использование в лицевом слое камней с высокой пустотностью повышает теплотехнические характеристики стены и снижает ее вес.

Целью данной статьи является оценка преимуществ или недостатков применения в лицевом облицовочном слое пустотелых камней по сравнению с полнотелыми.

Камни, применяемые в облицовочном слое

По своему определению каменная облицовка, кроме эстетических свойств, должна в течение всего периода эксплуатации здания надежно выполнять функции защиты внутренних конструкций от негативного влияния окружающей среды: знакопеременных температурных воздействий, периодического увлажнения и высыхания, агрессивных воздействий окружающей среды, солнечной радиации, силовых воздействий (например, ветровой нагрузки) и т. д.

Орлович Р.Б., Горшков А.С., Зимин С.С. Применение камней с высокой пустотностью в облицовочном слое многослойных стен

Очевидно, что обеспечение этих функций достигается не только качеством производства работ, но и подбором соответствующих материалов. Облицовочные камни должны обладать соответствующими морозостойкостью, водопоглощением, пористостью и прочностью в зависимости от климатических условий. В странах с относительно мягким климатом, например, в Южной Америке или в странах южной Европы, для лицевого слоя обычно используются пустотелые керамические камни с пустотностью 50% и более. При этом во избежание попадания воды от косых дождей в пустоты камней (через горизонтальные растворные швы) пустоты выполняются в виде горизонтальных щелей, параллельных ложковой поверхности.

В северных европейских странах с отрицательными зимними температурами для облицовочного слоя используются полнотелые либо дырчатые керамические камни с пустотностью не более 15% (рис. 1а), что регламентировано европейскими нормами [7]. Более того, во избежание проникновения дождевой воды внутрь облицовочного слоя кладки облицовка выполняется на гидрофобизированных растворах. Особое внимание при этом уделяется качеству разделки горизонтальных и вертикальных растворных швов.

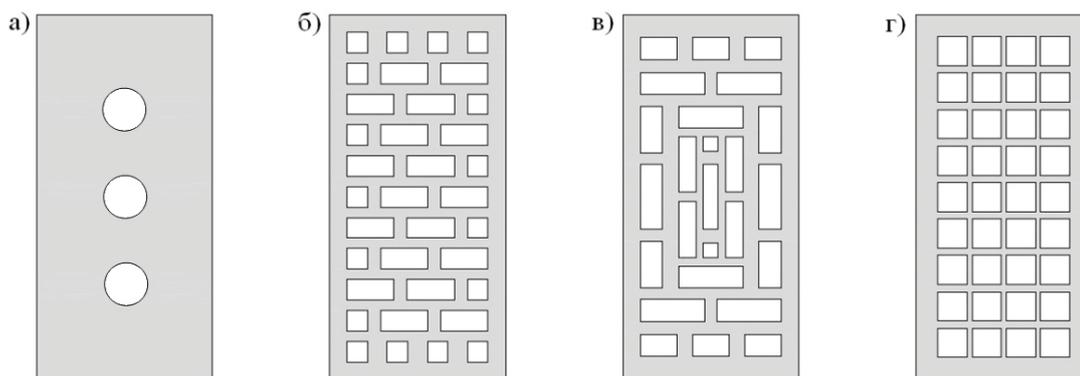


Рисунок 1. Виды керамических кирпичей лицевого слоя

В практике стран СНГ почти повсеместно используются керамические камни с высокой пустотностью (рис. 1б) для кладок облицовочного слоя, что приводит к преждевременному исчерпанию их защитно-декоративных свойств. Причины такого состояния широко освещены в технической литературе, например, в работах [1, 3, 8–10].

По мнению ряда исследователей [1, 10], основным фактором, влияющим на разрушение лицевого керамического кирпича в облицовочном слое наружных стен в условиях эксплуатации, являются знакопеременные температурно-влажностные воздействия наружной среды в осенне-зимний и зимне-весенний периоды года. В эти периоды количество переходов наружной температуры через $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ в облицовочном слое зависит от климата региона строительства. Эта специфика не учитывается при назначении марки по морозостойкости лицевого кирпича, применяемого для облицовочного слоя наружных стен. Нерациональное расположение пустот в камнях создает в облицовочном слое участки с пониженными теплозащитными свойствами и повышенной паропрооницаемостью, которая способствует накоплению влаги и, как следствие, переувлажнению и преждевременному разрушению камней от размораживания. В связи с этим предлагается использовать лицевой керамический кирпич [1], обеспечивающий одинаковую теплопроводность в тычковом и ложковом направлениях (рис. 1в, 1г). Однако применение таких камней, по мнению авторов настоящей статьи, не решает проблемы долговечности облицовочного слоя. Более того, улучшение теплофизических характеристик камней за счет повышения их пустотности приводит к снижению прочности камней [11].

Теплотехническая эффективность облицовочного слоя

Аргументами проектировщиков при использовании для лицевого слоя камней с высокой пустотностью являются облегченный вес кладки и повышение теплофизических свойств лицевого слоя. В действительности применение полнотелых кирпичей взамен пустотных в лицевом слое с оконными и дверными проемами приводит к увеличению общей нагрузки на диски перекрытий (с учетом их собственного веса, веса внутренних перегородок и полезной нагрузки) менее чем на 2%.

Применение пустотелого кирпича для лицевого слоя (по сравнению с полнотелым) практически не оказывает влияния на повышение теплофизических свойств слоистого стенового ограждения. В доказательство данного аргумента произведены несложные теплотехнические расчеты.

На рисунке 2 приведены фрагменты кладки наружных стен, выполненных из газобетонных блоков с облицовочным слоем из кирпича.

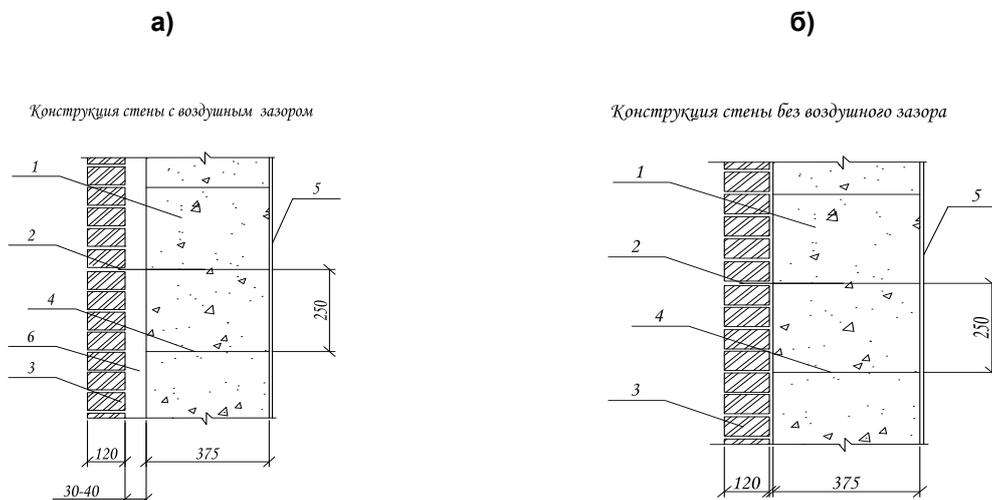


Рисунок 2. Фрагмент вертикального сечения наружной стены здания, выполненной с воздушным вентилируемым зазором между кладкой из газобетонных блоков и лицевым слоем из керамического кирпича (а) и без зазора между внутренним и наружным слоями двухслойной кладки (б):

- 1 – изделия стеновые неармированные из ячеистого бетона автоклавного твердения (газобетонные блоки); 2 – гибкие металлические связи для крепления лицевого слоя;**
3 – кладка из лицевого кирпича; 4 – швы кладки из газобетонных блоков;
5 – внутренний отделочный слой стены; 6 – воздушный вентилируемый зазор

Теплотехнические расчеты, выполненные в соответствии с требованиями СП 23-101 [12], показывают, что при наличии вентилируемой наружным воздухом прослойки (рис. 2а) сопротивление теплопередаче стены в случае использования для лицевого слоя полнотелого керамического (глиняного) кирпича и в случае использования поризованного кирпича одинаково. Вне зависимости от типа кирпичей лицевого слоя и их теплопроводности теплотехнические характеристики наружной стены остаются неизменными ввиду того, что слои конструкции, расположенные между воздушной прослойкой и наружной поверхностью, в теплотехническом расчете не участвуют (см. п. 9.1.2 СП 23-101 [12]).

Если воздушный вентилируемый зазор между лицевым кирпичным и внутренним слоем из газобетонных блоков отсутствует (рис. 2б), то при расчете сопротивления теплопередаче наружной стены лицевой слой кладки следует учитывать. Однако влияние теплопроводности лицевого слоя на теплотехнические параметры всей конструкции стены оказывается незначительным. Сопротивление теплопередаче наружной стены, представленной на рисунке 2б, при использовании в качестве облицовки лицевого слоя из обыкновенного глиняного кирпича (с теплопроводностью $0,81 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$) согласно расчетам, выполненным по формуле (8) СП 23-101-2004 [12], составляет $2,81 \text{ (м}^2\cdot^\circ\text{C)/Вт}$, а из поризованного керамического кирпича (с теплопроводностью $0,58 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$) – $2,87 \text{ (м}^2\cdot^\circ\text{C)/Вт}$, то есть всего на 2% выше.

Таким образом, даже при отсутствии воздушного вентилируемого зазора между лицевым облицовочным слоем из керамического кирпича и основной конструкцией наружной стены теплотехническая эффективность лицевого слоя не оказывает существенного влияния на уровень тепловой защиты наружной стены.

Аналогичные результаты получаются для наружных стен иного конструктивного исполнения.

Из представленных выше расчетов следует, что почти двукратное уменьшение коэффициента теплопроводности кладки из пустотного кирпича в лицевом слое наружной стены по сравнению с лицевой кладкой из обыкновенного глиняного кирпича практически не сказывается на теплозащитных свойствах стеновой конструкции. При учете коэффициента теплотехнической однородности γ конструкции наружной стены, который всегда из-за наличия теплопроводных включений в составе стен будет оказываться меньше единицы (для представленных на рисунках 2а, 2б стеновых конструкций $\gamma \approx 0,5 \div 0,7$), различие будет еще меньшим.

Следует также отметить, что в реальных условиях теплотехнические свойства пустотных камней в кладке приближаются к аналогичным свойствам полнотелых. Это связано с тем, что при возведении кладки из пустотных камней кладочный раствор, попадая в пустоты, иногда наполовину заполняет их (рис. 3). При этом имеет место перерасход растворных материалов. Проваливание раствора в пустоты создает для каменщиков проблемы в создании ровной растворной постели в горизонтальных растворных швах. Из-за перфорации камней горизонтальные растворные швы оказываются менее плотными и однородными, в отличие от швов в кладке из полнотелых камней. Это способствует проникновению атмосферной влаги внутрь пустот, особенно при косых дождях. Кроме того, пустотелые камни из-за наличия раствора в них входят в эксплуатационное влажностное состояние за более короткий срок [9]. Такое состояние является особенно неблагоприятным для регионов с влажным климатом и частыми годовыми сменами отрицательных и положительных температур, таких как Санкт-Петербург.



Рисунок 3. Заполнение щелей строительным раствором во время кладочных работ:
а – выкрашивание кирпичей на торцевых участках плит перекрытий;
б – выкрашивание кирпичей на участке примыкания к плите перекрытия

Анкеровка лицевого слоя

Одним из недостатков применения в лицевом слое камней с повышенной пустотностью является низкая надежность анкерных связей, соединяющих лицевой и внутренний каменные слои стены (рис. 4). Последние воспринимают не только горизонтальные, но и вертикальные сдвиговые усилия, вызванные температурными деформациями лицевого слоя. Сдвиговые усилия вызывают концентрацию местных напряжений на контакте анкеров с лицевыми частями обоих слоев каменной кладки. В пустотных камнях это вызывает выкрашивание материала под анкерами и уменьшение эффективной длины анкеровки.

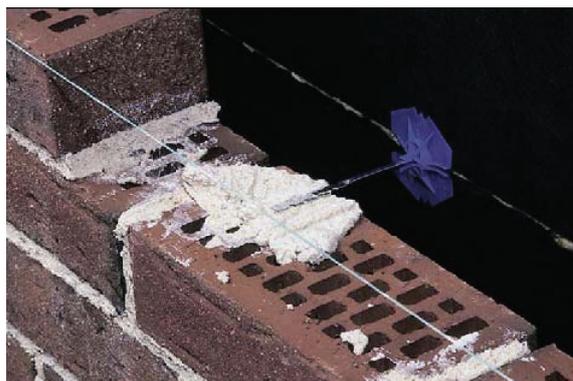


Рисунок 4. Анкерная связь, соединяющая лицевой слой с внутренним

Наиболее чувствительными к таким деформациям являются верхние ряды каменной кладки (примыкающие к горизонтальным деформационным швам между дисками перекрытий и кладкой), где сжимающие усилия от собственного веса кладки являются минимальными. В результате уменьшения эффективной длины анкеровки связи последние выключаются из работы, что неблагоприятно влияет на напряженно-деформированное состояние лицевого слоя [13].

Деформационные швы в лицевом слое

В крайне неблагоприятных условиях лицевой слой находится в случае отсутствия горизонтальных деформационных швов. Такое решение, к сожалению, имеет широкое распространение в практике возведения монолитно-каркасных зданий. Отсутствие горизонтального деформационного зазора приводит к защемлению лицевого слоя между дисками перекрытий смежных этажей. В результате стесненных температурных деформаций, а также прогибов дисков перекрытий лицевой слой испытывает вертикальные сжимающие напряжения, наибольшая концентрация которых имеет место на контакте с дисками перекрытий. При этом согласно исследованиям [14] в стенках камней между щелями возникают растягивающие напряжения σ_x (рис. 5), которые приводят к образованию трещин и прогрессирующему разрушению камней. Этому также способствуют касательные напряжения, возникающие на контакте кладки с плитами перекрытий от горизонтальных температурных деформаций облицовочного слоя. В результате действия указанных напряжений и размораживания кладки от попадания воды в пустоты кирпичей происходит выкрашивание и раздробление последних (рис. 3), что предопределяет аварийное состояние лицевого слоя.

Для предотвращения такого разрушения в работе [2] предлагается 3–5 нижних верст кладки лицевого слоя выполнять из полнотелого кирпича. Следует отметить, что в зарубежной практике в целях снижения касательных напряжений на контакте лицевого слоя с плитами перекрытий используются скользящие прокладки.

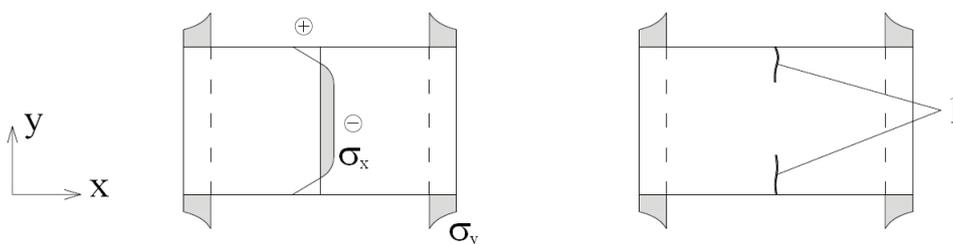


Рисунок 5. Напряженное состояние в тычковом сечении щелевых камней при сжатии (1 – трещина)

Температурные деформации лицевого слоя

Лицевой слой из пустотных камней по сравнению с полнотелыми является более уязвимым к действию напряжений, вызванных температурными деформациями. Величина последних определяется следующими факторами: наличием горизонтальных и вертикальных швов; ориентацией фасада относительно сторон света; неравномерностью нагрева в зависимости от цветовой гаммы лицевого слоя либо наличия остекления лоджий; наличием армирования горизонтальных растворных швов; расположением анкеров между лицевым и внутренним слоями; способом анкеровки стальных перемычек и т. д. На рисунке 6 приведены результаты выполненного авторами расчета напряженно-деформированного состояния фрагмента облицовочного слоя в пределах одного этажа при наличии горизонтального деформационного шва в зоне сопряжения с верхней плитой перекрытия и стесненных деформациях лицевого слоя в местах сопряжения с нижней плитой перекрытия. Расчет выполнен на температурные воздействия в зимнее время в соответствии с [12, 15] и рекомендациями, представленными в [2, 16].



Рисунок 6. Результаты расчета напряженно-деформированного состояния фрагмента облицовочного слоя с дверными и оконными проемами на температурные воздействия (изополя и траектория главных растягивающих напряжений, кПа)

Орлович Р.Б., Горшков А.С., Зимин С.С. Применение камней с высокой пустотностью в облицовочном слое многослойных стен

Из результатов расчета видно, что наибольшая концентрация главных растягивающих напряжений в лицевом слое наблюдается в его нижней зоне, где температурные деформации наиболее стеснены сцеплением кладки с плитой перекрытия, а также над перемычками дверного и оконных проемов. Существенным является то, что максимальные главные растягивающие напряжения ориентированы вдоль горизонтальных растворных швов ($\alpha = 0^\circ$) или под близким к ним углом, то есть в направлении, в котором прочность кладки из пустотелых камней существенно ниже прочности кладки, выполненной из полнотелых камней (рис. 7а).

Из экспериментальных исследований [17] следует, что при $\alpha = 90^\circ$, то есть при растяжении поперек горизонтальных растворных швов, прочность кладки из полнотелых и пустотелых кладочных элементов примерно одинакова (рис. 7а). Разрушение кладки в этом случае происходит в результате разрыва растворного шва или нарушения сцепления с поверхностью камня. При растяжении вдоль горизонтальных растворных швов ($\alpha = 0^\circ$) прочность кладки из пустотелых кладочных элементов лимитируется, как правило, прочностью ослабленных щелями камней. На рисунке 7б приведена экспериментальная зависимость относительной прочности каменной кладки $R_{от}$ на растяжение вдоль растворных швов от пустотности камней V (%) [17]. При пустотности $V = 50\%$ указанная прочность по сравнению с кладкой из полнотелых камней ($V = 0\%$) снижается более чем в 3 раза.

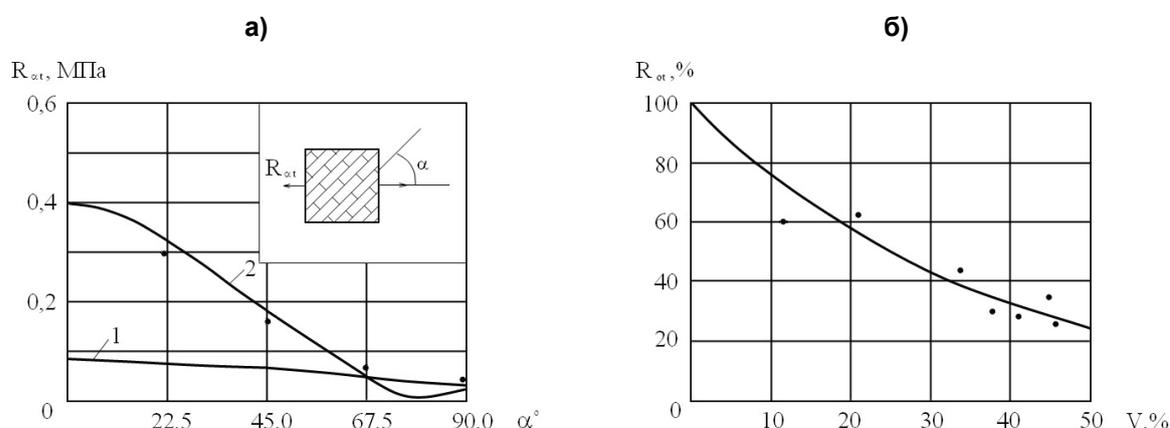


Рисунок 7. Сопrotивление кладки $R_{от}$ при растяжении под различными углами α к растворным швам (а) и в зависимости от пустотности камней (б):
1 – аппроксимирующая кривая для кладки из пустотных камней,
2 – аппроксимирующая кривая для кладки из полнотелых камней

Ремонтопригодность лицевого слоя

Недостатком лицевого слоя из пустотных камней также является его низкая ремонтпригодность (рис. 3). Выполнение отсутствующих горизонтальных и вертикальных деформационных швов в лицевом слое эксплуатируемых зданий приводит к раскрытию пустот в камнях, что при дальнейшей эксплуатации и некачественном уплотнении швов будет способствовать накоплению влаги в пустотах и интенсивному размораживанию камней в зоне указанных швов. Повышенное сцепление между пустотными камнями из-за анкерного эффекта растворных швов затрудняет замену выкрашивающихся камней из кладки. Применение перфораторов здесь не является эффективным, так как приводит к повреждению соседних камней.

Также проблемой является восполнение недостающих анкеров между лицевым и внутренним слоями стен эксплуатируемых зданий (рис. 4). При наличии пустотных камней монтажный раствор между пилотным отверстием и анкером может выпадать в пустоты камней, тем самым сводя к минимуму сцепление между кладкой и вновь устанавливаемыми анкерами. Это также касается надежности крепления к лицевому слою из пустотных камней кондиционеров, рекламных щитов, растяжек и другого оборудования, которое является дополнительной и чаще всего не учитываемой при проектировании нагрузкой.

Анализ напряженно-деформированного состояния лицевого слоя

Из вышесказанного можно заключить, что лицевой слой оказывается в условиях сложного напряженно-деформированного состояния, вызванного как температурными, так и силовыми воздействиями. Причем, кроме напряжений в плоскости стены, лицевой слой испытывает изгиб из своей плоскости, напряжения от которого зависят, например, от надежности анкеровки. На напряженное состояние лицевого слоя существенное влияние могут оказать мостики холода в виде балконных плит, перемычек и т. п. В наиболее сложном напряженно-деформированном состоянии находятся угловые участки на пересечении стен; на прямолинейных участках состояние существенно зависит от расстояния между вертикальными деформационными швами, расположения и площади оконных и дверных проемов [2].

В связи с этим авторами данной статьи предлагается комплексный метод исследования, основанный как на результатах расчета, так и на результатах обследования и мониторинга лицевого слоя.

Анализ напряженно-деформированного состояния лицевого слоя необходимо проводить в пространственной постановке на основе совместного прочностного и температурного расчетов. Причем достоверность подобных расчетов может быть существенно повышена за счет анализа уже достаточного опыта эксплуатации зданий с наружными многослойными стенами, то есть результатов их обследования и мониторинга. Данные результаты могут, с одной стороны, являться исходными данными для расчета при проектировании нового здания, а с другой – выявить ошибки и «тонкости», которые необходимо будет учесть при проектировании.

Так, наиболее достоверные результаты по анкеровке (усилие вырыва из шва, сопротивляемость срезу и т. п.) могут быть получены по результатам лабораторных испытаний [3, 18–21, 22–27]. Располагая аналогичными натурными испытаниями, можно анализировать фактические характеристики по анкеровке, а также причины их снижения по сравнению с лабораторными испытаниями.

Авторами данной статьи уже проведен ряд подобных экспериментов, некоторые результаты которых отражены в работе [13].

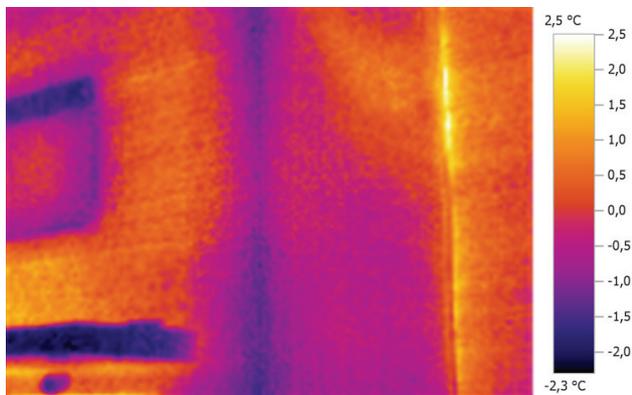


Рисунок 8. Тепловизионная съемка углового участка лицевого слоя в зимний период, результаты которой являются исходными данными для совместного прочностного и температурного расчетов

Наиболее достоверные сведения о распределении температуры в лицевом слое могут быть получены по результатам тепловизионного мониторинга существующих зданий. Это дает возможность отследить изменения в температурных полях за весь годичный цикл, а также выявить численные значения температур мостиков холода, участков на пересечении стен (рис. 8), вокруг проемов и т. п. Авторами данной статьи в настоящее время ведется тепловизионный мониторинг нескольких зданий.

Полученные разности температур, а также результаты испытаний анкеров являются при этом исходными данными для дальнейших расчетов и анализа напряженно-деформированного состояния лицевого слоя.

После проведения совместного прочностного и температурного расчетов при анализе напряженно-деформированного состояния важнейшим вопросом является критериальная оценка прочности кладки.

Так, для участков стен, меняющих направление, наибольшие растягивающие напряжения σ_x изгиба лицевого слоя возникают в угловых зонах стен как на внутренней, так и на наружной стороне лицевого слоя (рис. 9). Следствием указанных напряжений будут вертикальные трещины в угловых зонах. В качестве критериальной оценки в этом случае можно использовать зависимость:

$$\sigma_x \leq f_{x1},$$

где f_{x1} – сопротивление кладки лицевого слоя при изгибе по перевязанному сечению перпендикулярно его плоскости [28].

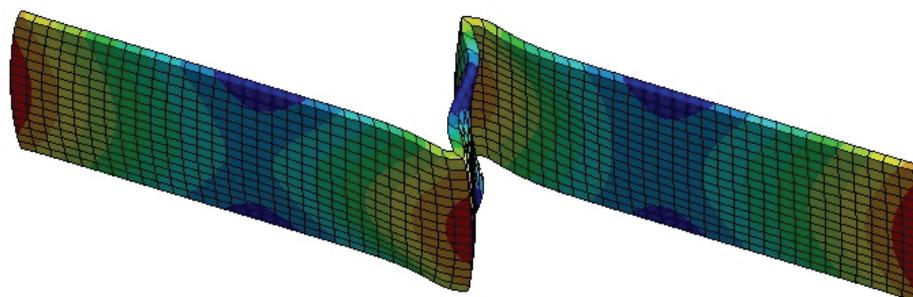


Рисунок 9. Результаты совместного прочностного и температурного расчетов (деформированное состояние) углового участка лицевого слоя

На прямолинейных участках стен предельное состояние лицевого слоя в этом случае может быть установлено путем сравнения полученных расчетом растягивающих напряжений $\sigma_1(\alpha)$ с прочностью кладки на растяжение под углом α , то есть:

$$\sigma_1(\alpha) \leq f_{x1}.$$

Выводы

Приведенный выше далеко не исчерпывающий анализ является, по мнению авторов, убедительным аргументом в пользу отказа от повсеместного применения в России камней с высокой пустотностью в облицовочном слое многослойных каменных стен. В ходе анализа было выяснено:

- применение пустотелых камней взамен полнотелых практически не сказывается на теплозащитных свойствах всего стенового ограждения; общий вес стены при этом уменьшается не более чем на 2%;
- раствор, заполняющий пустоты при устройстве кладки, создает мостики холода и тем самым уменьшает теплозащитные характеристики лицевого слоя, которые в отдельных случаях могут оказаться даже ниже, чем при применении в лицевом слое полнотелого кирпича;
- пустоты в камнях уменьшают эффективную длину анкеровки связей, соединяющих лицевой слой с внутренним, что резко снижает надежность анкеровки и отрицательно сказывается на напряженно-деформированном состоянии лицевого слоя;
- пустотные камни более восприимчивы к эффектам от защемления лицевого слоя между перекрытиями, чем полнотелые; возникающие в стенках между щелями растягивающие напряжения, а также касательные напряжения на контакте кладки с плитами перекрытия приводят к образованию трещин и прогрессирующему разрушению камней;
- попадание воды в пустоты при одновременном действии отрицательных температур приводит к деструкции пустотных камней;
- лицевой слой, выполненный с применением пустотных камней, имеет крайне низкую ремонтпригодность.

Если к вышеперечисленному добавить сложное напряженно-деформированное состояние, в котором находится лицевой слой как от силовых, так и от температурных воздействий (особенно в угловых зонах, в областях сопряжения с дисками перекрытия, перемышечных зонах и т. п.), то можно заключить, что применение пустотелых камней сегодня предопределяет аварийное состояние лицевого слоя завтра.

В заключение хочется еще раз отметить безаварийную работу лицевого слоя многослойных стен из полнотелого или дырчатого керамического кирпича с пустотностью не более 15% в зарубежной практике, в том числе в северных европейских странах.

Однако перед тем как рекомендовать аналогичное решение для российской практики строительства, необходимо провести ряд исследований в этом направлении. Авторами данной статьи предлагается комплексный метод исследования, основными элементами которого можно назвать:

- проведение совместного прочностного и температурного расчетов в пространственной постановке;
- использование в качестве исходных данных по анкерровке результатов лабораторных и натурных испытаний (усилие вырыва и т. п.);
- использование в качестве исходных данных по распределению и изменению температур в лицевом слое результатов тепловизионного мониторинга;
- выявление оптимальных конструктивных решений по лицевому слою путем совместного анализа результатов расчетов с результатами обследования и мониторинга зданий с наружными многослойными стенами.

Только после проведения подобных исследований можно будет убедительно рекомендовать конкретное решение по проценту пустотности камней, применяемых в лицевом слое наружных многослойных стен, а также другие конструктивные решения по стенам.

Литература

1. Лобов О.И., Ананьев А.И. Долговечность наружных стен современных многоэтажных зданий // Жилищное строительство. 2008. №8. С. 48–54.
2. Ищук М.К. Отечественный опыт возведения зданий с наружными стенами из облегченной кладки. М.: РИФ «Стройматериалы», 2009. 360 с.
3. Гроздов В.Т. О недостатках существующих проектных решений навесных наружных стен в многоэтажных монолитных железобетонных зданиях // Труды ВИТУ «Дефекты зданий и сооружений». Санкт-Петербург, 2003. С. 36–39.
4. Деркач В.Н., Орлович Р.Б. Вопросы качества и долговечности облицовки слоистых каменных стен // Инженерно-строительный журнал. 2011. №2. С. 42–47.
5. Ищук М.К. Требования к многослойным стенам с гибкими связями // Жилищное строительство. 2008. №5. С. 15–19.
6. Ищук М.К. Причины дефектов наружных стен с лицевым слоем из кирпичной кладки // Жилищное строительство. 2008. №3. С. 28–31.
7. EN 1996-1-1. Eurocode 6. Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten. Teil 1-1/Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk.
8. Гагарин В.Г. Теплофизические свойства современных стеновых ограждающих конструкций многоэтажных зданий. // Сборник трудов II Всероссийской научно-технической конференции «Строительная теплофизика и энергоэффективное проектирование ограждающих конструкций зданий». Санкт-Петербург, 2009. С. 33–44.
9. Ананьев А.И., Абарыков В.П. Обоснование теплотехнических требований в межгосударственном стандарте ГОСТ 530-2007 «Кирпич и камни керамические. Общие технические условия» // Сборник Трудов II Всероссийской научно-технической конференции «Строительная теплофизика и энергоэффективное проектирование ограждающих конструкций зданий». Санкт-Петербург, 2009. С. 7–18.
10. Ананьев А.А., Гохберг Ю.Ц. Пути повышения срока безремонтной службы наружных стен жилых зданий, облицованных кирпичом // Промышленное и гражданское строительство. 2011. №1. С. 14–19.
11. Орлович Р.Б., Малышко Л. Принцип создания новых керамических изделий для кирпичного домостроения // Известия вузов. Строительство. №6. 2000. С. 59–63.
12. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий. М., 2004.
13. 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(36). С. 3–11.
14. Page A.W., Shrive N.G. A Critical Assessment of Compression Tests for Hollow Block Masonry. Masonry International. 1988. Vol. 2. No.2. Pp. 64–70.

15. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. М., 2011.
16. Ищук М.К., Зуева А.В. Назначение расчетной температуры наружных стен с лицевым слоем из кирпичной кладки // Строительная механика и расчет сооружений. 2006. №4. С. 71–73.
17. Орлович Р.Б., Найчук А.Я., Деркач В.Н. Анизотропия прочности каменной кладки из кладочных элементов с щелевыми вертикальными пустотами // Строительная механика и расчет сооружений. 2010. №3. С. 35–38.
18. Орлович Р. Б., Найчук А.Я., Деркач В.Н. Анкеровка лицевого слоя в слоистых каменных стенах // Промышленное и гражданское строительство. 2010. №6. С. 36–39.
19. Грановский А.В., Киселев Д.А. О методике испытаний анкеров на вырыв из различных стеновых материалов и возможных областях их применения // Жилищное строительство. 2010. №2. С. 7–8.
20. EN 846-5: 2002 (Еврокоды) Определение несущей способности и жесткости анкеров, работающих на сжатие и растяжение.
21. EN 846-7: 2002 (Еврокоды) Определение несущей способности и жесткости на сдвиг анкеров и связей.
22. Muraier T. Edelstahl im zweishaligen Mauerwerk-Sicherheit im Hintergrund // Mauerwerk. 2006. No.6. Pp. 230–234.
23. Roumani N.A. The shear strength of prestressed brichwork sections. PhD thesis. University of Manchester, 1985.
24. Simudic G., Page A.W. Australian developments in the use of walls of geometric section // 7th North American Masonry Conference, University of Notre Dame -South Bend, Indiana, USA. 1996. Vol. 2. Pp. 1007–1018.
25. Phipps M.E., Montague T.I. The behaviour and design of steel shear connectors in plain and prestressed masonry // 7th North American Masonry Conference, University of Notre Dame -South Bend, Indiana, USA. 1996. Vol. 2. Pp. 789–798.
26. Beasley K.J. Masonry Facade Stress Failures // The Construction specifier. 1998. Vol. 51. No.2. Pp. 25–28.
27. Jager W., Pfeifer G. Konstruktionsregeln für Mauerwerk. Mauerwerk Kalender. Berlin, 2005. Pp. 233–264.
28. EN 1996-2.2006 Eurocode 6. Design of masonry structures. Design considerations, selection of materials and execution of masonry.

*Ромуальд Болеславович Орлович, г. Щецин, Польша
Тел. раб.: 48-661868850 эл. почта: orlowicz@mail.ru*

*Александр Сергеевич Горшков, Санкт-Петербург, Россия
Тел. моб.: +7(921)388-43-15 эл. почта: alsgor@yandex.ru*

*Сергей Сергеевич Зимин, Санкт-Петербург, Россия
Тел. моб.: +7(921)347-77-01 эл. почта: zimin_sergei@mail.ru*

© Орлович Р.Б., Горшков А.С., Зимин С.С., 2013

doi: 10.5862/MCE.43.3

Application of stones of high voidage in the facing layer of the multilayer walls

Z.S. Zimin*Saint-Petersburg State Polytechnical University, Saint-Petersburg, Russia
+7(921)347-77-01; e-mail: zimin_serger@mail.ru***R.B. Orlovich***ZUT, Szczecin, Poland
48-661868850; e-mail: orlowicz@mail.ru***A.S. Gorshkov***Saint-Petersburg State Polytechnical University, Saint-Petersburg, Russia
+7(921)388-43-15; e-mail: alsgor@yandex.ru*

Key words

monolithic buildings; face brick layer; multilayer walls; thermal engineering of outside walls

Abstract

Because of the increasing regulatory requirements for heat-shielding properties of the exterior walls multi-layer building envelope became widespread. National practice of operation of multilayer outside walls revealed their increased defects, and first of all, this refers to the facing layer, usually performed with the stones with high voidage.

Facing layer besides its aesthetic properties should reliably protect the internal structures from the negative environmental impact in the course of the operation period of a building. This can only be achieved through an analysis of its work (both the strength and heat engineering), which was often out of sight. The purpose of the study was to assess the possibility of further widespread use of stone masonry with a high voidage as the facing outer layer in Russia, and to identify the most efficient way to analyze the stress-strain state of the top layer.

The foreign experience in using the hollow stones was considered, relevant strength and thermal engineering calculations were made. The conclusions on the renunciation of widespread application of stones of high voidage for lining multilayer walls and the possibility of using stones with not more than 15% range of hollowness were made. It was also concluded that the most reliable mode of deformation of the facing layer can be obtained from the joint strength and thermal calculations based on the results of monitoring of existing buildings, as well as field and laboratory tests.

References

1. Lobov O.I., Ananyev A.I. *Housing Construction*. 2008. No.8. Pp. 48–54. (rus)
2. Ishchuk M.K. *Otechestvennyy opyt vozvedeniya zdaniy s naruzhnymi stenami iz oblegchenoy kladki* [Domestic experience of erecting of buildings with outside walls made of lightweight masonry]. Moscow: RIF «Stroymaterialy», 2009. 360 p. (rus)
3. Grozdov V.T. *Trudy VITU «Defekty zdaniy i sooruzheniy»* [Proceedings of Military Engineering-Technical University “Malfunction of buildings”]. Saint-Petersburg, 2003. Pp. 36–39. (rus)
4. Derkach V.N., Orlovich R.B. *Magazine of Civil Engineering*. 2011. No.2(20). Pp. 42–47. (rus)
5. Ishchuk M.K. *Housing Construction*. 2008. No.5. Pp. 15–19. (rus)
6. Ishchuk M.K. *Housing Construction*. 2008. No.3. Pp. 28–31. (rus)
7. *EN 1996-1-1. Eurocode 6. Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten. Teil 1-1/Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk.*
8. Gagarin V.G. *Sbornik trudov II Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii “Stroitel'naya teplofizika i energoeffektivnoye proektirovaniye ograzhdayushchikh konstruksiy zdaniy”* [Proceedings of II All-Russian scientific and technical conference “Construction thermal physics and energy saving design of building envelope”]. Saint-Petersburg, 2009. Pp. 33–44. (rus)
9. Ananyev A.I., Abarykov V.P. *Sbornik trudov II Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii “Stroitel'naya teplofizika i energoeffektivnoye proektirovaniye ograzhdayushchikh konstruksiy*

- zdaniy*" [Proceedings of II All-Russian scientific and technical conference "Construction thermal physics and energy saving design of building envelope]. Saint-Petersburg, 2009. Pp. 7–18. (rus)
10. Ananyev A.A., Gohberg Yu.Ts. *Industrial and Civil Engineering*. 2011. No.1. Pp. 14–19. (rus)
 11. Orlovich R.B., Malyshko L. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2000. No.6. Pp. 59–63. (rus)
 12. *SP 23-101-2004. Proektirovaniye teplovoy zashchity zdaniy* [Set of rules 23-101-2004. Design of thermal protection of buildings]. Moscow, 2004. (rus)
 13. Orlovich R.B., Rubtsov N.M., Zimin S.S. *Magazine of Civil Engineering*. 2013. No.1(36). Pp. 3–11. (rus)
 14. Page A.W., Shrive N.G. A Critical Assessment of Compression Tests for Hollow Block Masonry. *Masonry International*. 1988. Vol. 2. No.2. Pp. 64–70.
 15. *SP 20.13330.2011. Nagruzki i vozdeystviya* [Set of rules 20.13330.2011. Load and influence]. Moscow, 2011. (rus)
 16. Ishchuk M.K., Zueva A.V. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy*. 2006. No.4. Pp. 71–73. (rus)
 17. Orlovich R.B., Najchuk A.Ja., Derkach V.N. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy*. 2010. No.3. Pp. 35–38. (rus)
 18. Orlovich R. B., Naychuk A.Ya., Derkach V.N. *Industrial and Civil Engineering*. 2010. No.6. Pp. 36–39. (rus)
 19. Granovskiy A.V., Kiselev D.A. *Housing Construction*. 2010. No.2. Pp. 7–8. (rus)
 20. *EN 846-5: 2002. Methods of test for ancillary components for masonry. Determination of tensile and compressive load capacity and load displacement characteristics of wall ties.*
 21. *EN 846-7: 2002. Methods of test for ancillary components for masonry - Determination of shear load capacity and load displacement characteristics of shear ties and slip ties.*
 22. Muraier T. *Edelstahl im zweishaligen Mauerwerk-Sicherheit im Hintergrund. Mauerwerk*. 2006. No.6. Pp. 230–234.
 23. Roumani N.A. *The shear strength of prestressed brichwork sections*. PhD thesis. University of Manchester, 1985.
 24. Simudic G., Page A.W. Australian developments in the use of walls of geometric section. *7th North American Masonry Conference*, University of Notre Dame -South Bend, Indiana, USA. 1996. Vol. 2. Pp. 1007–1018.
 25. Phipps M.E., Montague T.I. The behaviour and design of steel shear connectors in plain and prestressed masonry. *7th North American Masonry Conference*, University of Notre Dame -South Bend, Indiana, USA. 1996. Vol. 2. Pp. 789–798.
 26. Beasley K.J. Masonry Facade Stress Failures. *The Construction specifier*. 1998. Vol. 51. No.2. Pp. 25–28.
 27. Jager W., Pfeifer G. Konstruktionsregeln für Mauerwerk. *Mauerwerk Kalender*. Berlin, 2005. Pp. 233–264.
 28. *EN 1996-2:2006 Eurocode 6. Design of masonry structures. Design considerations, selection of materials and execution of masonry.*

Full text of this article in Russian: pp. 14–23