doi: 10.5862/MCE.60.4

Повреждение каменного лицевого слоя в зоне сопряжения с железобетонными перекрытиями

The damage of a stone facing layer at the junction with reinforced concrete floors

Д-р техн. наук, заведующий кафедрой
Р.Б. Орлович,
Западно-Померанский технологический университет Щецина, г. Щетин, Польша
канд. техн. наук, заместитель директора
В.Н. Деркач,
Филиал РУП "Институт БелНИИС" – Научно-технический центр, г. Брест, Беларусь
старший преподаватель С.С. Зимин,
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия

R.B. Orlovich,
West Pomeranian University of Technology Szczecin, Szczecin, Poland
V.N. Derkach,
Branch of RUE Institute BelNIIS – Scientific-technical Centre, Brest, Belarus
S.S. Zimin,
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

Ключевые слова: каркасные здания; многослойная стена; облицовочный слой; марка раствора; температурные воздействия.

Key words: frame buildings, multi-layer wall, facing layer, mortar type, temperature effects

Аннотация. В статье приводится анализ технического состояния лицевого каменного слоя двухслойных фасадных стен каркасно-монолитных зданий в зоне сопряжения с железобетонными дисками перекрытий. Приведены результаты численных исследований напряженно-деформированного состояния поэтажно опертых многослойных стен с облицовочным слоем при температурных воздействиях. Выполнен анализ сопротивления облицовочного слоя стены температурным воздействиям с учетом деформационных характеристик растворных швов. Показано, что применение для лицевого слоя высокомарочных растворов приводит к увеличению сжимающих напряжений на его контакте с дисками перекрытий. Выполнен анализ напряженно-деформированного состояния пустотелого кирпича высокой пустотности при заполнении пустот раствором и температурном воздействии. Показано, что перепад температуры всего в 10 градусов вызывает в кирпиче растягивающие напряжения, превышающие допустимые.

Abstract. The article provides an analysis of the technical state of a stone facing layer of two-layer facade walls of monolithic buildings at the junction with reinforced concrete floors. The results of the numerical investigations of the stress-strain state of floor-by-floor supported multilayered walls with a facing layer at temperature influences are given. The analysis of the resistance of the facing layer of the wall to temperature effects, taking into account the deformation characteristics of mortar joints, was carried out. It was shown that the use of high-quality mortars in the facing layer increases the compressive stress on its contact with the slab.

В каркасно-монолитном домостроении в качестве фасадных ограждающих конструкций широкое применение получили двухслойные каменные стены, состоящие из внутреннего термоизоляционного слоя из легких пено- либо газобетонных блоков и лицевого слоя из пустотных керамических камней. Оба слоя соединены между собой горизонтальными металлическими связями и опираются на железобетонные диски перекрытий. В ряде случаев уже в первые годы эксплуатации лицевой слой подвергается деструкции наружных поверхностей [1–12]. Практика показывает, что в большинстве случаев такой характер разрушения имеет место в зоне сопряжения лицевого слоя с железобетонными дисками перекрытий и обусловлен сложным напряженно-деформируемым состоянием кладки лицевого слоя (рис. 1).

Стоит отметить, что отечественная нормативная документация [13] дает общие рекомендации при проектировании лицевых слоев многослойных стен; при этом учета сложного сопротивления при расчете или методов его минимизации конструктивными мероприятиями в отмеченных документах не содержится. Что же касается зарубежной нормативной документации [14], то она не предусматривают проектирования лицевых слоев с поэтажным опиранием на плиты перекрытий. Отсюда и отсутствие литературы, в которой бы отражалась данная проблематика. При этом результаты исследований, направленных на анализ поведения кладки при определенном сложном напряженно-деформируемом состоянии [15–24], некорректно переносить на анализ поведения кладки, находящейся в обозначенном выше состоянии.

В настоящей статье анализируется ряд факторов, которые приводят к деструкции кладки в зоне сопряжения лицевого слоя с плитами перекрытий.

Концептуальной причиной появления большинства выявляемых при обследовании повреждений (в том числе отмеченного выше) является непроработка решений по наружным стенам и, в частности, лицевым слоям на стадии проектирования. Дело в том, что традиционно решения по наружным стенам прорабатываются архитекторами. При этом проводится ряд расчетов, основной из которых – теплотехнический. Что же касается прочностных расчетов, то в большинстве случаев они не выполняются. Это обосновывается тем, что наружные стены не являются несущими, а при их устройстве с опиранием на плиты перекрытий они несут только нагрузку от собственного веса в пределах одного этажа. В любом случае все ограничивается элементарными расчетами на сжатие от собственного веса. Однако результаты численного моделирования, проводимого авторами статьи в рамках работ по обследованию, показывают, что в кладке лицевого слоя складывается сложное напряженно-деформируемое состояние: кладка сопротивляется всем видам деформирования – сжатию, растяжению, изгибу, срезу; также в ней возникают эффекты кручения. Причем происходит сопротивление усилиям, направленным под разными углами по отношению к горизонтальным растворным швам – известно, что для кладки характерна анизотропия прочностных свойств в зависимости от отмеченного угла. Ситуацию усугубляет применение в лицевом слое кирпича высокой пустотности, что усиливает анизотропию и уменьшает сопротивление кладки практически всем видам деформирования, за исключением центрального сжатия. Сложное напряженно-деформированное состояние складывается по причине совместной работы лицевого слоя с внутренними несущими конструкциями на фоне восприятия им природно-климатических воздействий. То есть, с одной стороны, кладка реагирует на деформации железобетонных конструкций, которые носят неравномерный характер, с другой, в ней возникают деформации от температурно-влажностных и ветровых воздействий. Немаловажным при этом оказывается ее внутренняя структура: применяемые в кладке раствор и кирпич, пустотность кирпича и пр.

О влажностном воздействии

В зоне сопряжения лицевого слоя с плитами перекрытий кладка работает в наиболее неблагоприятных температурно-влажностных условиях, поскольку она непосредственно сопрягается с железобетонным перекрытием, являющимся мостиком холода [25]. Особенно это касается защитного слоя кладки, маскирующего торцы железобетонных перекрытий. Именно в указанной зоне наблюдается наибольшее скопление влаги, которая проникает в виде водяного пара как изнутри помещений, так и от косых дождей, особенно в осенний период [26]. Вода, попадающая в кладку, стекает через пустоты кирпичей и накапливается в зоне их опирания на диски перекрытий. При замерзании накопившаяся влага между торцами перекрытий и защитным слоем выдавливает его наружу фасада (рис. 1а). При этом характер разрушения может иметь прогрессирующий характер, охватывающий большую зону лицевого слоя сверху и снизу дисков перекрытий. При выступающих заподлицо с каменным лицевым слоем торцах дисков перекрытий, в том числе и при их оштукатуривании жестким цементным раствором, разрушение каменной кладки обычно происходит в ее верстах, смежных с перекрытиями (рис. 1б). Таким образом, рационально предусматривать в исследуемых зонах влагоотводящие элементы (например, шнуры).

а) б)

Рисунок 1. Характерные дефекты лицевого каменного слоя в зоне сопряжения с железобетонными дисками перекрытий

О пустотелых камнях

При применении пустотных керамических камней строительный раствор, попадая в пустоты, оказывает негативное влияние не только на их морозостойкость, но и на трещиностойкость в летнее время. Это связано с тем, что влагопоглощение и коэффициент температурного расширения раствора почти в 2 раза выше аналогичных характеристик керамических камней. В зимнее время увлажненный строительный раствор, заполняющий пустоты, увеличивается в объеме и разрушает камни. В летнее время повышенные температурные деформации раствора стеснены стенками щелевого кирпича, в результате чего в них возникают растягивающие напряжения. Как показывает численный анализ (рис. 2), наибольшие растягивающие напряжения возникают в поперечных внутренних и продольных лицевых стенках камней, что предопределяет их растрескивание в период высоких температур, учитывая относительно нулевое сопротивление керамического черепа на растяжение (1.2 … 1.8 МПа). Следует при этом также иметь в виду, что стенки щелевых камней часто имеют большие усадочные напряжения в результате сушки и обжига, а также трещины технологического характера. В этом смысле более правильным конструктивным решением было бы выполнение кладки в зоне сопряжения с перекрытиями из полнотелого кирпича, как это предлагалось в работах [2, 3].

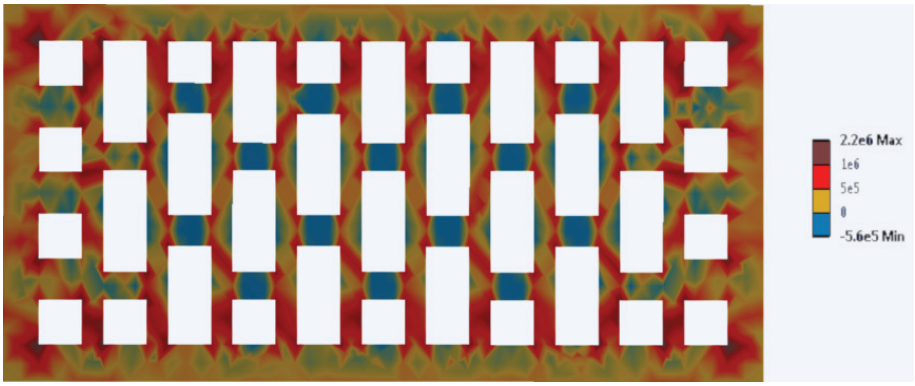

Рисунок 2. Изополя главных растягивающих напряжений в стенках щелевых камней при заполненных строительным раствором пустотах от действия положительных температур ($\Delta = 10$ °C), Па

О температурном воздействии и горизонтальных деформационных швах

Неблагоприятное влияние на эксплуатационное состояние кладки в зоне дисков перекрытий оказывают также силовые факторы, связанные с отсутствием горизонтальных деформационных швов в пределах этажа между низом диска перекрытий и верхней верстой лицевого слоя. На необходимость устройства деформационных (осадочных) швов между каменным заполнением и перекрытиями железобетонных каркасов указывалось еще при разработке таких стен [1]. Однако на практике во многих случаях деформационные швы либо отсутствуют, либо выполняются

некачественно. В связи с этим лицевой слой в пределах этажа оказывается «зажатым» между перекрытиями, воспринимая сжимающие усилия от температурных деформаций, а также от осадки железобетонного каркаса здания и прогибов дисков перекрытий вследствие реологических процессов [27].

Как показывает практика, разрушение фасада обычно происходит в весенне-летний период при значительных положительных температурах наружного воздуха. На основании экспериментальных исследований авторами установлено, что в весенний период (май) температура наружной поверхности лицевого слоя толщиной 12 см из керамических камней может превышать 40 °С, а внутренней – 30 °С. В летний, наиболее жаркий, период температура наружной поверхности вследствие солнечной радиации может достигать 50 °С, а внутренней – 25 °С (при наличии вентилируемого зазора между лицевым и внутренним слоем стены). Примерно такие же данные приводятся в работах [28, 29]. Стоит отметить, что на величину температуры наружной поверхности оказывает влияние цвет кирпича. Таким образом, перепад температур между внутренней и наружной поверхностями лицевого слоя в весенне-летний период может колебаться в пределах 10…25 °С, вызывая его коробление наружу фасада. На рисунке 2 показано деформированное состояние лицевого слоя при разности положительных температур на его внешней и внутренней поверхностях ΔT = 10 °С. Данные получены расчетным путем для лицевого кирпичного слоя и внутреннего слоя из газосиликатных блоков толщиной 12 см и 30 см соответственно. Рассмотрены два варианта: когда оба слоя объединены между собой горизонтальными связями (рис. 2б) и в предположении отсутствия их совместной работы на изгиб из плоскости стены (рис. 2в).

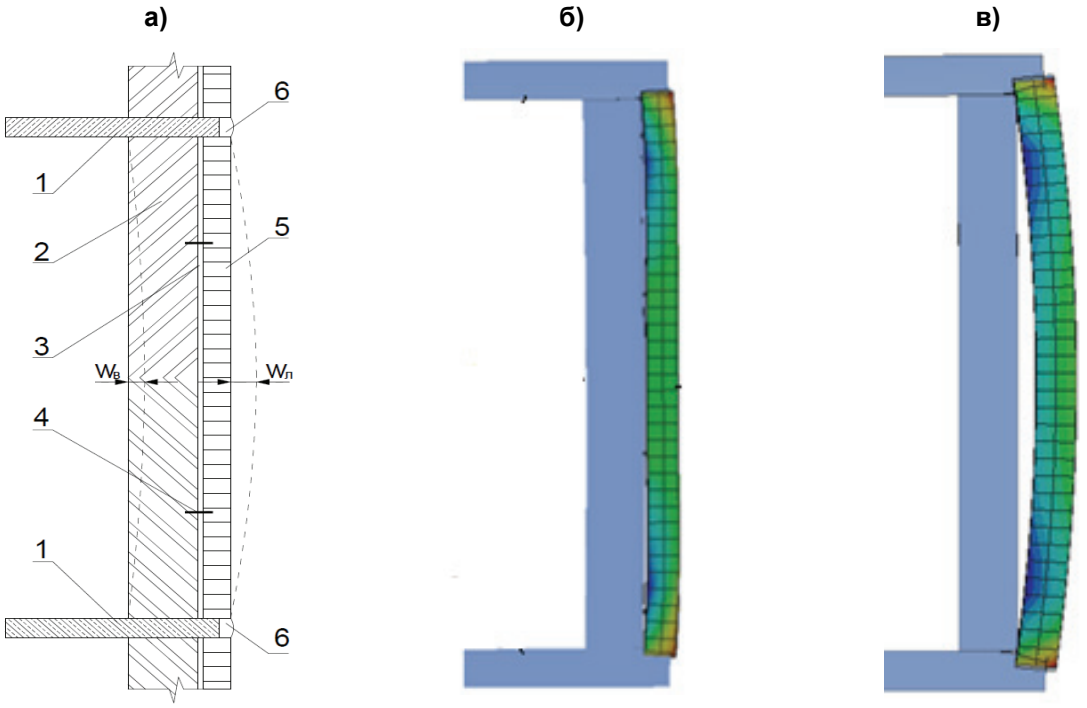

Рисунок 3. Характер деформирования лицевого каменного слоя при разности положительных температур на его внешней и внутренней поверхности: а) конструктивное решение стены; б) деформированное состояние при учете совместной работы с внутренним каменным слоем из пенобетонных блоков; в) деформированное состояние без учета совместной работы; 1 – диски перекрытий; 2 – внутренний каменный слой; 3 – воздушный зазор; 4 – гибкие анкера; 5 – каменный лицевой слой; 6 – каменный лицевой слой, закрывающий торец перекрытия

Стесненная депланация горизонтальных сечений лицевого слоя на участках примыкания к диску перекрытия вызывает неравномерное распределение контактных сжимающих напряжений. Наибольшее сжатие испытывают внешние участки лицевой кладки. Причем при отсутствии горизонтальных связей между внутренним и лицевым слоями стены, что нередко наблюдается в практике, максимальные сжимающие напряжения возрастают в полтора–два раза. На рисунке 4 приведены эпюры нормальных напряжений σ в горизонтальных сечениях лицевого слоя, расположенных вблизи дисков перекрытия и в середине его высоты. Данные получены путем расчета лицевого слоя толщиной t = 12 см при изменении температуры на его внутренней поверхности на 20 °С, а на наружной поверхности – на 40 °С. Рассмотрен облицовочный слой, выполненный из керамических камней марки М150 на растворе М100, при отсутствии горизонтальных связей с внутренним слоем.

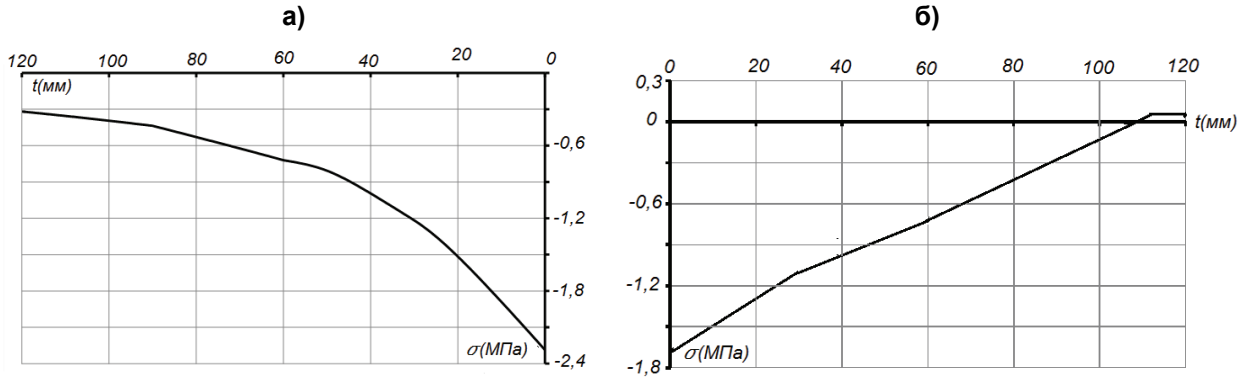

Рисунок 4. Эпюры нормальных напряжений в горизонтальных сечениях лицевого слоя от температурных деформаций: а) в зоне сопряжения с дисками перекрытий; б) в середине высоты стены

Полученные максимальные сжимающие напряжения в опорных участках лицевого слоя меньше сопротивления кладки сжатию и не могут вызвать ее разрушение. Однако их величина может превысить сопротивление сжатию кладки при дополнительном действии ветровой нагрузки (отсоса), а также при осадке каркаса здания и прогибах дисков перекрытий. Особенно это касается участков кладки, заполняющих нишу между торцами дисков перекрытий и внешней поверхностью лицевого слоя (позиция 6 на рис. 3а). Наиболее неблагоприятным является встречаемый в практике случай, когда лицевой слой толщиной 25 см опирается на версту тычковых кирпичей, уложенную на дисках перекрытий со свесом в полкирпича.

Из эпюры нормальных напряжений в сечении, расположенном в середине высоты лицевого слоя (рис. 4б), следует, что с его внешней стороны перпендикулярно горизонтальным растворным швам действуют растягивающие напряжения. Их величина при одновременном действии ветровой нагрузки и осадки каркаса здания будет превышать сопротивление кладки растяжению по неперевязанным сечениям. Это приведет к образованию горизонтальных трещин в зоне растворных швов, в которые может попадать дождевая вода, вызывающая ускоренное размораживание кладки.

О деформативности кладки

На величину сжимающих напряжений в облицовочном слое существенное влияние оказывают деформационные характеристики кладки, зависящие от марки не только кирпича, но и раствора. Поскольку лицевой каменный слой является самонесущим, нет необходимости в применении растворов повышенной марки, что нередко имеет место на практике. Кладочный раствор облицовочного слоя должен быть достаточно прочным при сжатии и при этом в достаточной мере пластичным. Следует отметить, что, согласно требованиям немецких норм DIN 1053–1, для кладки облицовочного слоя многослойных стен допускается применение стандартных кладочных растворов MGII – MGIIa, прочность которых на сжатие соответствует отечественным кладочным растворам М25–М50. Кладочные растворы MGIII, аналогичные по прочности на сжатие отечественным растворам М100, применять в облицовочном слое многослойных стен не допускается, за исключением расшивки швов и армированной кладки [30].

Поскольку облицовочный слой не несет вертикальной нагрузки, за исключением собственного веса, то его деформации в результате колебания температур проявляются сильнее, чем в нагруженной кладке. Иллюстрацией этому является полученная путем численного моделирования зависимость величины максимальных сжимающих напряжений в лицевом слое на контакте с диском перекрытий от марки раствора при постоянной марке пустотных кирпичей М150 (рис. 5). В расчетах приняты следующие деформационные характеристики для кирпича: коэффициент температурного расширения 5.5e-6 ($^oC^{-1}$), модуль упругости E = 11850 МПа. Для раствора коэффициент температурного расширения принимался равным 14.5e-6 ($^oC^{-1}$), а модуль упругости в зависимости от его марки принимался согласно экспериментальным данным работы [31] и варьировался в пределах E = 0…25000 МПа. Из анализа приведенной на рисунке 5 зависимости следует, что с уменьшением марки раствора сжимающие напряжения в лицевом слое, вызванные температурными деформациями, снижаются. Подобные закономерности получены авторами при действии сжимающих напряжений, вызванных осадкой каркаса здания.

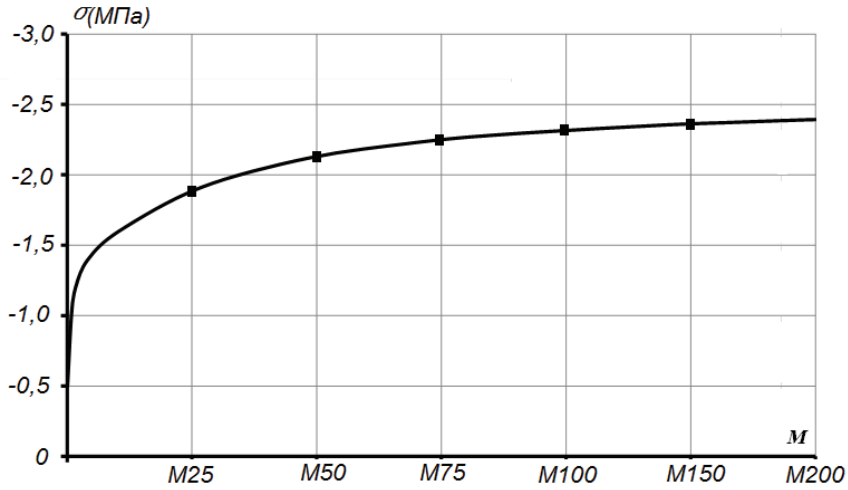

Рисунок 5. Зависимость величины максимальных сжимающих напряжений σ на контакте с дисками перекрытий от марки раствора кладки лицевого слоя М

Применение высокомарочных цементных растворов для кладок лицевого слоя может иметь и другие негативные последствия. Из-за высокой усадки раствора в процессе его твердения в кладках из полнотелых камней нарушается его сцепление с камнями [32]. В кладках из пустотелых камней усадка горизонтальных растворных швов может привести к их растрескиванию либо повреждению лицевых и внутренних стенок камней.

Заключение

Таким образом, приведенный анализ наглядно демонстрирует сложность напряженно-деформированного состояния в зоне сопряжения лицевого слоя с плитами перекрытий, обусловленного как природно-климатическими условиями, так и совместной работой лицевого слоя с внутренними несущими конструкциями, а также внутренней структурой кладки. Неучет данного обстоятельства на стадии проектирования на фоне отсутствия детальных рекомендаций, касающихся проектирования наружных многослойных стен, в нормативной литературе и приводит к описанным выше (и многим другим) повреждениям. В частности, в настоящей статье наглядно показана рациональность выполнения кладки в зоне сопряжения лицевого слоя с перекрытиями из полнотелого кирпича и устройства влагоотводящих элементов, а также нерациональность применения в кладке лицевого слоя раствора высоких марок.

При этом, по мнению авторов статьи, проектирование наружных стен и, в частности, лицевого слоя должно вестись индивидуально для каждого здания, что возможно только при проведении пофрагментного пространственного расчета наружных стен с учетом особенностей конструктивных решений. Последнее обстоятельство требует включения в проектирование наружных стен, кроме архитектора, инженера-расчетчика, чего на сегодняшний день не происходит.

Литература

1. Гроздов В.Т. О недостатках существующих проектных решений наружных навесных стен в многоэтажных монолитных железобетонных зданиях // Труды ВИТУ «Дефекты зданий и сооружений». 2006. С. 15–21.
2. Ищук М.К. Причины дефектов наружных стен с лицевым слоем из кирпичной кладки // Жилищное строительство. 2008. №3. С 28–31.
3. Ищук М.К. Отечественный опыт возведения зданий с наружными стенами из облегченной кладки. М.: РИФ «Стройматериалы», 2009. 360 с.
4. Лобов О. И., Ананьев А.И. Долговечность наружных стен современных многоэтажных зданий // Жилищное строительство. 2008. №8. С. 48–52.
5. Altaha N. Zweischalige Außenwände: Kommentarzur DIN 18195 Beiblatt 1// DasMauerwerk (16). 2012. №6. Pp. 293–296.
6. Drobiec L. Przyczyny uszkodzen murow // XXII Ogolnopolska konferenc jawarsztatpracy projektanta konstrukcji. Szczyrk.2007.Pp. 105–146.
7. Beasley K.J. Masonry Facade Stress Failures // The Construction Specifier. 1998. Vol. 51. №2. Pp. 25–28.
8. Jager W., Thime M. Bemessung von horizontal beanspruchten Mauerwerk nach EN 1996-1-1 mit Hilte modifizierten Momenten verteilungs zahlen // Das Mauerwerk. 2005. №1. Pp. 8–13.
9. Schubert P. Beitragsserie: Schaden freies bauen mit Mauerwerk. Thema 2: Innen/Außenwände – Risse durch zu große Verformungs unterschiede in vertikaler Richtung // Das Mauerwerk. 2001. №4. Pp. 142–144.
10. Schubert P. Beitragsserie: Schaden freies bauen mit Mauerwerk. Thema 1: Zweischalige Außenwende – Risse durch zu große Verformungs unterschiede in horizontaler Richtung // Das Mauerwerk. 2001. №1. Pp. 35–38.
11. Schubert P. Zweischalige Außenwändenach DIN 1053-1. Konstruktion. Baustoffe // Das Mauerwerk. 2003. №6. Pp. 190–196.
12. Schubert P. Zweischalige Außenwändenach DIN 1053-1-Dehnungsfugen in der Außenschale (Vorblendschale) // Das Mauerwerk. 2003. №6. Pp. 202–204.
13. СП 15.13330.2012 «Каменные и армокаменные конструкции». М., 2012.
14. EN 1996–2.2006 Eurocode 6. Design of masonry structures. Design considerations, selection of materials and execution of masonry.
15. Murauer T. Edelstahl im zweishaligen Mauerwerk-Sicherheit im Hintergrund // Mauerwerk. 2006. №6. Pp. 230–234.
16. Roumani N.A. The shear strength of prestressed brichwork sections. PhD thesis. University of Manchester. 1985.
17. 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.
18. 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.
19. Jager W., Pfeifer G. Konstruktionsregeln für Mauerwerk. Mauerwerk Kalender. Berlin. 2005. Pp. 233–264.
20. Lin K., Totoev Y.Z., Liu H.J., Page A.W. Modeling of dry-stacked masonry panel confined by reinforced concrete frame // Archives of Civil and Mechanical Engineering. 2014. Vol. 14. Issue 3. Pp. 497–509.
21. Zhou X., Chen P., Wang Y. Finite element calculation

References

1. Grozdov V.T. O nedostatkakh sushchestvuyushchikh proyektnykh resheniy naruzhnykh navesnykh sten v mnogoetazhnykh monolitnykh zhelezobetonnykh zdaniyakh [About defects of legacy outdoor curtain walls design decisions in multistory monolithic concrete-steel building]. *Trudy VITU «Defekty zdaniy i sooruzheniy»*. St. Petersburg. 2006. Pp. 15–21.
2. Ishchuk M.K. Prichiny defektov naruzhnykh sten s litsevym sloyem iz kirpichnoy kladki [Reasons of defect of enceinte walls with brick masonry exterior layer appearance]. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo*. 2008. No. 3. Pp. 28–31.
3. Ishchuk M.K. *Otechestvennyy opyt vozvedeniya zdaniy s naruzhnymi stenami iz oblegchennoy kladki [Domestic experience of building construction with light-load laying enceinte walls].* Moscow. RIF «Stroymaterialy». 2009. 360 p.
4. Lobov O.I., Ananyev A.I. Dolgovechnost naruzhnykh sten sovremennykh mnogoetazhnykh zdaniy [Durability of enceinte walls of modern multistorey buildings]. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo.* 2008. No. 8. Pp. 48–52.
5. Altaha N. ZweischaligeAußenwände:KommentarzurDIN 18195 Beiblatt 1. *Das Mauerwerk*. 2012. No. 6. Pp. 293–296.
6. Drobiec L. Przyczyny uszkodzen murow. *XXII Ogolnopolska konferenc jawarsztatpracy projektanta konstrukcji*. Szczyrk. 2007. Pp. 105–146.
7. Beasley K.J. Masonry Facade Stress Failures. *The Construction Specifier*. 1998. Vol. 51. No. 2. Pp. 25–28.
8. Jager W., Thime M. Bemessung von horizontal beanspruchten Mauerwerk nach EN 1996-1-1 mit Hilte modifizierten Momenten verteilungs zahlen. *Das Mauerwerk*. 2005. No. 1. Pp. 8–13.
9. Schubert P. Beitragsserie: Schaden freies bauen mit Mauerwerk. Thema 2: Innen/Außenwände – Risse durch zu große Verformungs unterschiede in vertikaler Richtung. *Das Mauerwerk*. 2001. No. 4. Pp. 142–144.
10. Schubert P. Beitragsserie: Schaden freies bauen mit Mauerwerk. Thema 1: Zweischalige Außenwende – Risse durch zu große Verformungs unterschiede in horizontaler Richtung. *Das Mauerwerk*. 2001. No. 1. Pp. 35–38.
11. Schubert R. ZweischaligeAußenwändenach DIN 1053–1. Konstruktion. Baustoffe. *Das Mauerwerk.* 2003. No. 6. Pp. 190–196.
12. Schubert R. ZweischaligeAußenwändenach DIN 1053–1 Dehnungsfugen in der Außenschale (Vorblendschale). *Das Mauerwerk*. 2003. No. 6. Pp. 202–204.
13. *SP 15.13330.2012 «Kamennyye i armokamennyye konstruktsii» [SP 15.13330.2012 «Stone and reinforced masonry constructions»].* Moscow. 2012.
14. *EN 1996-2.2006 Eurocode 6. Design of masonry structures. Design considerations, selection of materials and execution of masonry.*
15. Murauer T. Edelstahl im zweishaligen Mauerwerk-Sicherheit im Hintergrund. *Das Mauerwerk.* 2006. No. 6. Pp. 230–234.
16. Roumani N.A. *The shear strength of prestressed brichwork sections.* PhD thesis. University of Manchester. 1985.
17. 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.
18. 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.
19. Jager W., Pfeifer G. Konstruktionsregeln für Mauerwerk. *Mauerwerk Kalender.* Berlin. 2005. Pp. 233–264.
20. Lin K., Totoev Y.Z., Liu H.J., Page A.W. Modeling of dry-stacked masonry panel confined by reinforced concrete frame. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 2014. Vol. 14. Issue 3. Pp. 497–509.
21. Zhou X., Chen P., Wang Y. Finite element calculation and

and experiment comparison about masonry-infilled frame structure considering connection ways between infill wall and frame // World Information on Earthquake Engineering. 2015. Vol. 31. Issue 2. Pp. 188–195.

22. Luso E., Lourenço P.B. Experimental characterization of commercial lime based grouts for stone masonry consolidation // Construction and Building Materials. 2016. Vol. 102. Pp. 216–225.
23. Milani G., Lourenço P.B. Simple homogenized model for the nonlinear analysis of FRP-strengthened masonry structures. II: Structural applications // Journal of Engineering Mechanics. 2013. Vol. 139. Issue 1. Pp. 77–93.
24. Page A.W., Brooks D.S. Design of masonry walls for vertical loading - a review of the provisions of the SAA Masonry Code // Transactions of the Institution of Engineers, Australia. Civil engineering. 1988. Vol. CE30. Issue 5. Pp. 265–277.
25. Орлович Р.Б., Деркач В.Н. Сопряжение лицевого слоя слоистых каменных стен с плитами перекрытий // Промышленное и гражданское строительство. 2011. №11. С. 62–65.
26. Орлович Р.Б., Горшков А.С., Зимин С.С. Применение камней с высокой пустотностью в облицовочном слое многослойных стен // Инженерно-строительный журнал. 2013. №8. С. 14–23.
27. Орлович Р.Б., Зимин С.С., Рубцов Н.М., О работе облицовочного каменного слоя наружных стен каркасно-монолитных зданий при силовых воздействиях // Строительство и реконструкция. 2014. №4(54). С. 26–30.
28. Семенцов С.А. Деформации и напряжения в керамической облицовке зданий с железобетонным каркасом // Исследования по каменным конструкциям. М.: Госстройиздат, 1957. С. 52–79.
29. Орлович Р.Б., Деркач В.Н. О вентилируемой воздушной прослойке слоистых каменных стен // Архитектура и строительство. 2010. №6. С. 72–74.
30. Kalksandstein-Planung, Konstruktion, Ausführung. Düsseldorf: VerlagBau+Technik Gmbh. 2014. 363 p.
31. Пангаев В.В. Развитие расчетно-экспериментальных методов исследований прочности кладки каменных конструкций: дисс. … д-ра техн. наук. Новосибирск, 2009. 34 с.
32. Поляков С.В. К вопросу сцепления в кирпичной кладке // Исследования по каменным конструкциям. М.: Госстройиздат, 1957. С. 298–301.

experiment comparison about masonry-infilled frame structure considering connection ways between infill wall and frame. *World Information on Earthquake Engineering*. 2015. Vol. 31. Issue 2. Pp. 188–195.

22. Luso E., Lourenço P.B. Experimental characterization of commercial lime based grouts for stone masonry consolidation. *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 102. Pp. 216–225.
23. Milani G., Lourenço P.B. Simple homogenized model for the nonlinear analysis of FRP-strengthened masonry structures. II: Structural applications. *Journal of Engineering Mechanics*. 2013. Vol. 139. Issue 1. Pp. 77–93.
24. Page A.W., Brooks D.S. Design of masonry walls for vertical loading - a review of the provisions of the SAA Masonry Code. Transactions of the Institution of Engineers, Australia. *Civil engineering*, 1988. Vol. CE30. Issue 5. Pp. 265–277.
25. Orlovich R.B., Derkach V.N. Sopryazheniye litsevogo sloya sloistykh kamennykh sten s plitami perekrytiy [Conjunction of a Face Layer of Laminated Stone Walls with Floor Slabs]. *Promyshlennoe I grazhdanskoe stroitelstvo*. 2011. No. 11. Pp. 62–65.
26. Orlovich R.B., Gorshkov A.S., Zimin S.S. Primeneniye kamney s vysokoy pustotnostyu v oblitsovochnom sloye mnogosloynykh sten [Application of stones of high voidage in the facing layer of the multilayer walls]. *Magazine of Civil Engineering*. 2013. No. 8. Pp. 14–23.
27. Orlovich R.B., Zimin S.S., Rubtsov N.M., O rabote oblitsovochnogo kamennogo sloya naruzhnykh sten karkasno-monolitnykh zdaniy pri silovykh vozdeystviyakh [Work stone facing layer of external multi-layer walls of frame-monolithic multi-story building at force effects]. *Building and reconstruction*. 2014. No. 4 (54). Pp. 26–30.
28. Sementsov S.A. Deformatsii i napryazheniya v keramicheskoy oblitsovke zdaniy s zhelezobetonnym karkasom. [Deformations and efforts in ceramic facing of buildings with reinforced concrete skeleton frame]. *Issledovaniya po kamennym konstruktsiyam*. Moscow. Gosstroyizdat. 1957. Pp. 52–79.
29. Orlovich R.B., Derkach V.N. O ventiliruyemoy vozdushnoy prosloyke sloistykh kamennykh sten [About lamellated stone walls aerated air space]. *Architecture and construction of Russia*. 2010. No. 6. Pp. 72–74.
30. Kalksandstein-Planung, Konstruktion, Ausführung. Düsseldorf: VerlagBau+Technik Gmbh. 2014. 363 p.
31. Pangayev V.V. *Razvitiye raschetno-eksperimentalnykh metodov issledovaniy prochnosti kladki kamennykh konstruktsiy [Development of experiment-calculated method of testing of masonry structure durability]*. Doctoral thesis. Novosibirsk. 2009. 34 p.
32. Polyakov S.V. K voprosu stsepleniya v kirpichnoy kladke [About question of cohesion in brick masonry]. *Issledovaniya po kamennym konstruktsiyam*. Moscow. Gosstroyizdat. 1957. Pp. 298–301.

Ромуальд Болеславович Орлович,
+48661868850; эл. почта: orlowicz@mail.ru

Валерий Николаевич Деркач,
+375-296-411962; эл. почта:
v-derkatch@yandex.ru

Сергей Сергеевич Зимин,
+7(921)3477701; эл. почта:
zimin_sergei@mail.ru

Romuald Orlovich,
+48661868850; orlowicz@mail.ru

Valery Derkach,
+375-296-411962; v-derkatch@yandex.ru

Sergej Zimin,
+7(921)3477701; zimin_sergei@mail.ru

© Орлович Р.Б., Деркач В.Н., Зимин С.С., 2015