



Механизм повреждаемости ненесущей облицовки многослойных каменных стен

В.Н. Деркач ^{1*}, И.Е. Демчук ², Р.Б. Орлович ³

¹⁻² Филиал РУП "Институт БелНИИС" – Научно-технический центр, 224017, Республика Беларусь, г. Брест, ул. Московская, 267/2

³ Западн-Померанский технологический университет Щецин, al. Piastów 17, 70-310 г. Щецин, Польша

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ	ИСТОРИЯ	КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА
doi: 10.18720/CUBS.54.5	Подана в редакцию 10.01.2017	облицовочный слой; кладочный раствор; температурно-влажностные воздействия; численное моделирование; трещиностойкость.

АННОТАЦИЯ

В статье приведены характерные повреждения лицевого слоя из щелевого керамического кирпича многослойного стенового ограждения. Выполнен анализ причин повреждений лицевого слоя. Установлено, что применение растворов повышенной марки для кладки облицовочного слоя приводит к росту растягивающих и касательных напряжений в кирпиче при температурно-влажностных воздействиях. Показано, что кладочный раствор облицовочного слоя должен быть достаточно прочным при сжатии и при этом в достаточной мере пластичным. Низкомарочные минеральные растворы обладают низким модулем упругости, что повышает трещиностойкость кладки при температурно-влажностных воздействиях. Даны рекомендации по повышению трещиностойкости облицовочного слоя.

Содержание

1. Введение	64
2. Напряженно-деформированное состояние каменной кладки облицовочного слоя при температурно-влажностных воздействиях	65
3. Результаты и обсуждение	67
4. Заключение	68

Контактная информация:

- ^{1*} +375-296-411962, v-derkach@yandex.ru (Деркач Валерий Николаевич, д.т.н., заместитель директора)
² +375-297-263712, 7263712@mail.ru (Демчук Игорь Евгеньевич, научный сотрудник)
³ 953355006, orlowicz@mail.ru (Орлович Роман Болеславович, д.т.н., профессор)

1. Введение

В современном домостроении в качестве фасадных ограждающих конструкций широкое применение получили многослойные каменные стены, лицевой слой которых выполнен из пустотных керамических камней. В ряде случаев уже в первые годы эксплуатации этот слой подвергается разрушению в виде деструкции его наружных поверхностей [1-15]. Такое разрушение характерно для участков сопряжения лицевого слоя с железобетонными дисками перекрытий, балконными плитами, угловых зон оконных проемов и т.д. Причиной этого является ряд факторов, которые не учитываются на этапе проектирования и возведения здания. Как правило, в указанных зонах наблюдается наибольшее скопление влаги, которая проникает в виде водяного пара как изнутри помещений, так и от косых дождей, особенно в осенний период.

Практика показывает, что наиболее интенсивное разрушение облицовки происходит в весенний период, когда каменная кладка находится в увлажненном состоянии и одновременно подвергается солнечному нагреву. Например, в Санкт-Петербурге наибольшему разрушению подвергаются стены ориентированные на юго-запад. Юго-западное направление является господствующим направлением ветра в этом регионе, что приводит к периодическому увлажнению лицевого слоя атмосферными осадками.

Разрушение обычно начинается с появления вертикальных трещин на стенках кирпичей, что свидетельствует о появлении в них сжимающих напряжений перпендикулярных горизонтальным растворным швам (рис. 1, а).

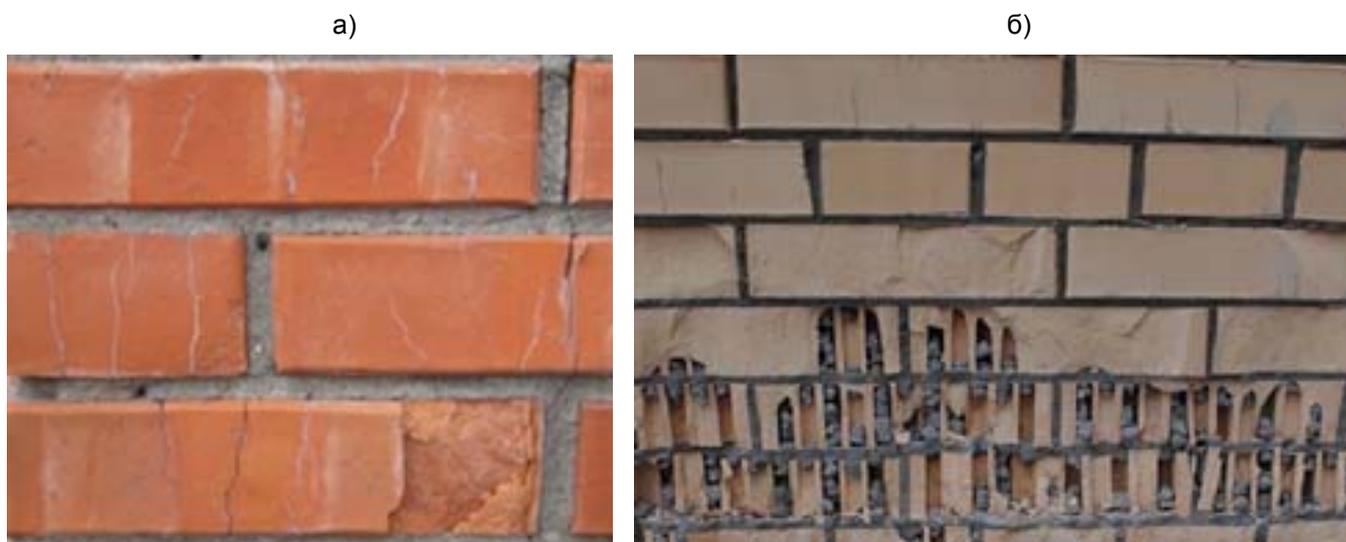


Рис. 1. Характер разрушения облицовочного слоя из щелевого кирпича:
а) – образование вертикальных трещин с лущением, б) – отрыв лицевой стенки от поперечных стенок кирпича

В дальнейшем наступает лущение внешних слоев стенки в пределах ее толщины. В конечном итоге наступает полное разрушение лицевых стенок кирпича с их отрывом от поперечных стенок (рис. 1, б).

Следует отметить, что в зданиях старой постройки, кладка стен которых выполнена из полнотелых кирпичей на известковых или известково-цементных растворах, такой характер разрушения практически не встречается. Исключением являются случаи, когда во время реставрационных работ расшивку растворных швов осуществляют жесткими цементно-песчаными растворами. Такие швы стесняют температурно-влажностных деформаций стенок кирпича (температурное расширение и влажностное набухание) на участке между горизонтальными растворными швами, что может быть причиной появления в них разрушающих напряжений.

Цель исследований, приведенных в настоящей статье, состояла в оценке влияния деформационных характеристик кладочного раствора на напряженно-деформированное состояние кладки лицевого слоя многослойных каменных стен и разработке предложений по повышению надежности лицевого слоя при температурно-влажностных воздействиях.

2. Напряженно-деформированное состояние каменной кладки облицовочного слоя при температурно-влажностных воздействиях

С целью выявления напряженного состояния кирпича в зоне его разрушения авторами выполнены численные исследования, в основу которых положена конечно-элементная модель фрагмента каменной кладки из щелевого кирпича с толщиной стенки 15 мм (рис. 2).

Горизонтальные растворные швы толщиной 10 мм и кирпич моделировались объемными конечными элементами, которые соединялись с помощью контактных конечных элементов, дискредитирующих тонкий фиктивный слой, обладающий свойствами трения и сцепления. Предполагалось, что температурные линейные деформации раствора в швах в 2 раза превышают аналогичные деформации кирпича. Варьируемыми параметрами являлось соотношение модулей упругости растворных швов и керамического черепа кирпича.

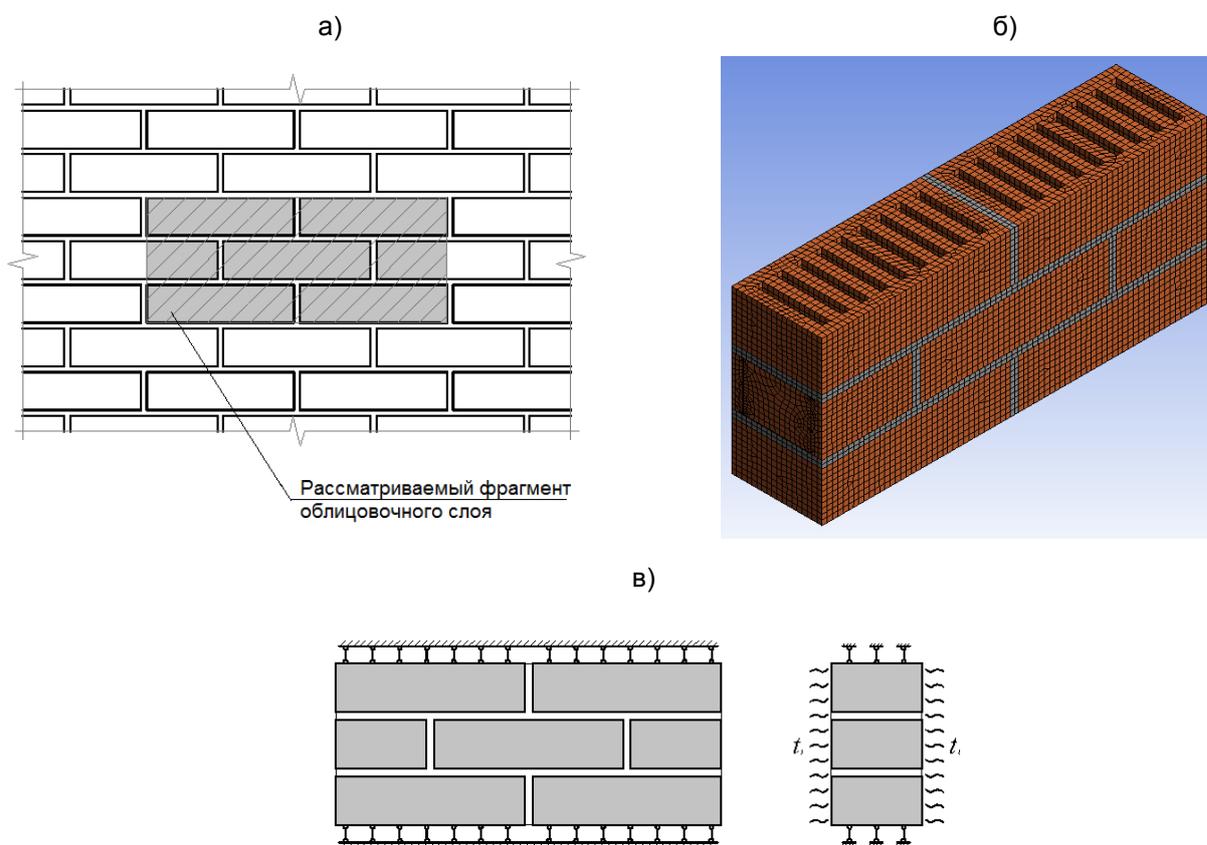


Рис. 2. Расчетная модель анализируемого фрагмента облицовочного слоя: а) – анализируемый фрагмент каменной кладки; б), в) – конечноэлементная модель анализируемого фрагмента кладки и граничные условия

На рисунке 3 представлены палитры нормальных растягивающих и касательных напряжений, действующие в зоне сопряжения поперечных и продольных стенок лицевого кирпича при температурном перепаде 10°C , а также графические зависимости, связывающие значения указанных напряжений с отношением модулей упругости раствора E_p и кирпича E_k .

Из рисунка 3 следует, что максимальная концентрация растягивающих и касательных напряжений имеет место вблизи горизонтального растворного шва. Причем значения этих напряжений возрастают с ростом отношения модулей упругости растворных швов и кирпича. При возрастании прочности кладочного раствора от М25 до М100 максимальные значения главных растягивающих напряжений в лицевой стенке кирпича (σ_{\max}) увеличиваются примерно в 1,5 раза, а в поперечной стенке (σ_{\max}^*) в 1,15 раза. При этом максимальные значения касательных напряжений (τ) в поперечной стенке кирпича выросли в 1,6 раза. Следует отметить, что при влажностном набухании керамического кирпича данные показатели могут иметь более высокие значения. Учитывая относительно низкую прочность керамического черепа на растяжение (1,2–1,8 МПа), полученные напряжения являются разрушающими.

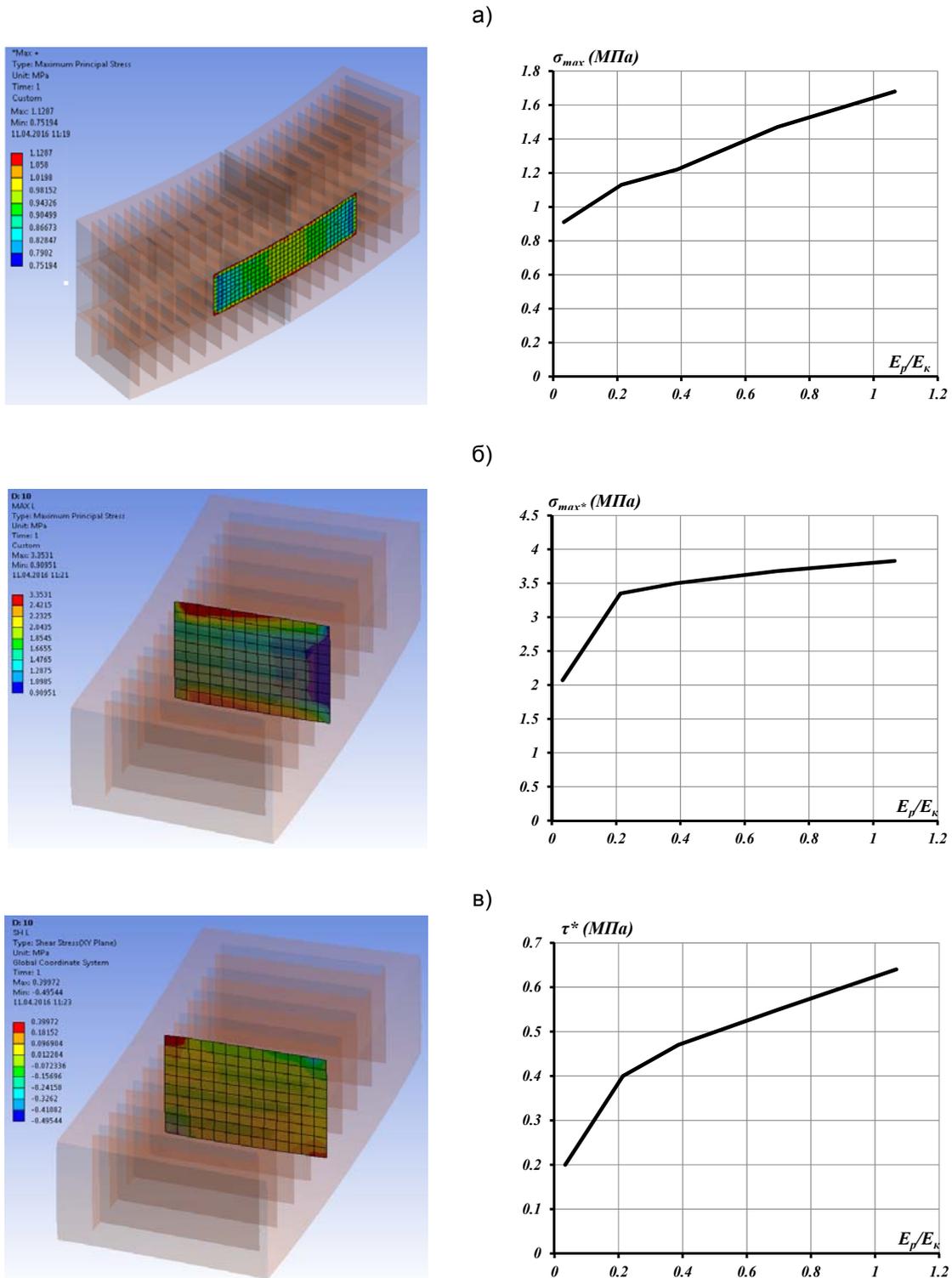


Рис. 3. Напряженно-деформированное состояние стенок щелевого кирпича облицовочного слоя при температурных воздействиях: а) – главные растягивающие напряжения в наружной лицевой стенке кирпича; б) – главные растягивающие напряжения в поперечной стенке кирпича; в) – касательные напряжения в поперечной стенке кирпича

3. Результаты и обсуждение

Поскольку лицевой каменный слой при его поэтажном опирании на перекрытия является ненесущим, нет необходимости в применении растворов повышенной марки, что нередко имеет место в практике. Кладочный раствор облицовочного слоя должен быть достаточно прочным при сжатии и при этом в достаточной мере пластичным. Низкомарочные минеральные растворы обладают низким модулем упругости, что повышает трещиностойкость кладки при температурно-влажностных воздействиях. 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 не допускается, за исключением расшивки швов и армированной кладки [19-20].

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 [21]. При этом в образовавшиеся между камнями и растворными швами трещины легко проникает вода из атмосферы, что приводит к переувлажнению кладки стен. В кладках из пустотелых камней усадка горизонтальных растворных швов может привести к их растрескиванию либо повреждению лицевых и внутренних стенок камней.

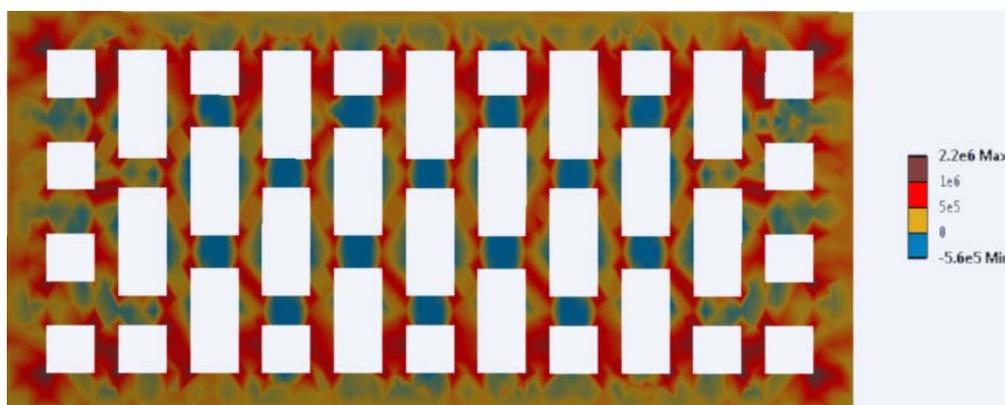


Рис. 4. Изополя главных растягивающих напряжений (Па) в стенках щелевых камней при заполненных строительным раствором пустотах при температурном перепаде $\Delta T=10^\circ$

Применению пустотных керамических камней в каменных кладках связано с попаданием строительного раствора в пустоты, который, как показывает практика, может заполнять их по объему до 50% и более. Это приводит к перерасходу строительного раствора до 30% и снижению теплотехнических характеристик кладки [22]. Кроме того, заполнение пустот раствором может негативно влиять на морозостойкость и трещиностойкость кладки при ее нагреве солнечной радиацией. 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 керамических камней, 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.4), наибольшие растягивающие напряжения возникают в поперечных внутренних и продольных лицевых стенках камней, что предопределяет их растрескивание в летний период, учитывая относительно низкое сопротивление керамического черепа на растяжение ($1,2 \div 1,8$ 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.

Рассмотренные механизмы разрушения преобладают в зонах опирания облицовочного слоя на железобетонные перекрытия через растворный шов. Здесь из-за различия температурных деформаций между бетоном и кладкой возникают значительные касательные напряжения. В связи с этим более правильным конструктивным решением было бы выполнение кладки в зоне сопряжения с перекрытиями из полнотелого кирпича, как это предлагалось в работах [13, 15, 18]. Минимизация влияния касательных напряжений на прочность пустотных камней может быть также достигнута путем устройства между плитами перекрытий и опираемой на них кладкой облицовочного слоя антифрикционных прокладок из пленочных материалов [15-17].

4. Заключение

На основании анализа напряженно-деформированного состояния облицовочного слоя многослойных каменных стен, подверженного температурно-влажностным воздействиям, можно заключить следующее:

1. Каменную кладку облицовочного слоя многослойных поэтажно опертых стен следует выполнять с применением кладочных растворов марки не выше М75, с низким модулем деформаций, обладающих высокой прочностью на сдвиг и растяжение. В наибольшей степени данным параметрам соответствуют сухие растворные смеси заводского изготовления, рецептура которых назначается с учетом конкретных условий применения.

2. Первые один-два ряда кладки лицевого слоя в зонах сопряжения стен с опорными конструкциями рекомендуется выполнять из полнотелого кирпича, при этом между облицовкой и опорной конструкцией целесообразно устраивать антифрикционные прокладки из пленочных материалов.

Литература

- [1]. Лобов О. И., Ананьев А.И. Долговечность наружных стен современных многоэтажных зданий // Жилищное строительство. 2008. №8. С. 48–52.
- [2]. Drobiec L. Przyczyny uszkodzen murów// XXII Ogólnopolska konferencja warsztat pracy projektanta konstrukcji.- Szczyrk. 2007. P. 105-146.
- [3]. Małyszko L., Orłowicz R. Wybrane sposoby napraw zarysowanych ścian murowych. Przegląd Budowlany, № 12, 2008, Pp. 40-46.
- [4]. Małyszko L., Orłowicz R. Wzmocnienia Konstrukcji Murowych, w tym zasady obliczania wzmocnień. XXII Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Szczyrk 7-10 marzec 2007, Tom 2, s. 75÷104.
- [5]. Orłowicz R., Małyszko L., Kindracki J. Morfologia uszkodzeń ścian i elementów wykończenia w konstrukcjach murowych. XIV Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Ustroń, 1999, tom 1, część 2, p. 167÷192.
- [6]. Schubert P. Beitragsserie: Schadenfreies bauen mit Mauerwerk. Thema 1: Zweischalige Außenwende – Risse durch zu große Verformungsunterschiede in horizontaler Richtung. Das Mauerwerk, No1, 2001, p. 35÷38.
- [7]. Schubert P. Beitragsserie: Schadenfreies bauen mit Mauerwerk. Thema 2: Innen/Außenwende – Risse durch zu große Verformungsunterschiede in vertikaler Richtung. Das Mauerwerk, No4, 2001, p. 142÷144.
- [8]. Ищук М.К. Отечественный опыт возведения зданий с наружными стенами из облегченной кладки. М.: РИФ «Стройматериалы», 2009. 360 с.
- [9]. Ищук М.К. Российский опыт возведения наружных стен с лицевым слоем из кирпичной кладки // Технологии строительства. 2009. №2(64). С. 28-37.
- [10]. Огородник В.М., Огородник Ю.В. Некоторые проблемы обследования зданий с отделкой лицевым кирпичом в Санкт-Петербурге// Инженерно-строительный журнал. 2010. №7.С. 10-13.
- [11]. Халтурин Ю.В. Проблемы многослойных наружных стен с наружной облицовкой кирпичом // Вестник АлтГТУ им. И.И. Ползунова. 2010. №1-2. С. 78-81.
- [12]. Деркач В.Н., Найчук А.Я. Долговечность слоистых стен каркасных зданий// Проблемы современного железобетона: Материалы III международного симпозиума. Сб. тр. в 2т. Т.1. Бетонные и железобетонные конструкции. Минск: Минсктиппроект, 2011. С.134-140.
- [13]. Деркач В.Н., Орлович Р.Б. Вопросы качества и долговечности облицовки слоистых каменных стен // Инженерно-строительный журнал. 2011. №2(20). С. 42-47.
- [14]. Умякова Н.П. Долговечность трехслойных стен с облицовкой из кирпича с высоким уровнем теплзащиты// Вестник МГСУ. 2013. №1. С.94-100.
- [15]. Drobiec Ł., Kubica J. Zapobieganie zarysowaniem ścian murowych opartych na stropach żelbetowych. Materiały Budowlane, № 4, 2006, s. 21÷23, 72.
- [16]. Janowski Z. Metody i materiały stosowane do napraw tradycyjnych konstrukcji murowych. XIV Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Ustroń, 1999, tom 1, część 2, s. 5÷18.
- [17]. Janowski Z. Zasady prawidłowego wykonania i odbioru jakościowego konstrukcji murowych. XVIII Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Ustroń, 2003, tom 3, s. 485÷501.
- [18]. Орлович Р.Б., Деркач В.Н., Зимин С.С. Повреждения каменного лицевого слоя в зоне сопряжения с железобетонным перекрытием // Инженерно-строительный журнал. 2015. №8. С. 30 – 37.
- [19]. Kalksandstein- Planung, Konstruktion, Ausführung. Düsseldorf: Verlag Bau+Technik GmbH, 2014. – 363 s.
- [20]. Ткачик П.П. Каменные конструкции из силикатных изделий. Проектирование, конструктивные решения, производство работ. Минск: Стринко. 2012.- 378 с.
- [21]. Поляков С.В. К вопросу сцепления в кирпичной кладке // Исследования по каменным конструкциям: сб. статей под научн. ред. Л.И. Онищика. – ЦНИИСК, М.: 1957. С. 298 – 301.
- [22]. Гринфильд Г.И., Вишневский А.А. Кирпич и камни с высокой пустотностью в облицовочной кладке наружных стен // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. №11(50). С. 23-32.

The mechanism of damage non-bearing facing multilayered masonry walls

V.N. Derkach^{1*}, I.E. Demchuk², R.B. Orlovich³

¹⁻²Branch of RUE Institute BelNIIS – Scientific-technical Centre, 267/2, Moskovskaya str., Brest, 224017 Belarus

³West Pomeranian University of Technology Szczecin, al. Piastów 17, 70-310 Szczecin, Poland

Article info

scientific article

doi: 10.18720/CUBS.54.5

Article history

Received 10.01.2017

Keywords

facing layer;
mortar;
temperature and moisture action;
numerical simulation;
crack growth resistance.

ABSTRACT

The article describes typical damages of the facing layer from the slit ceramic brick in multilayered wall. It was found that the use of increased strength mortars for masonry of the facing layer leads to an increase of tensile and shear stresses in the brick at the temperature and humidity actions. It is shown that the mortar of the facing layer should be sufficiently strong in compression and still enough plastic. Low-strength mineral mortars have a low modulus of elasticity which increases the masonry crack growth resistance in temperature and humidity actions. Recommendations on increase crack growth resistance of facing layer have been presented.

Contact information:

^{1*} +375-296-411962, v-derkach@yandex.ru (Valery Derkach, PhD, Vice-Director)

² +375297263712, 7263712@mail.ru (Igor Demchuk, Research Officer)

³ 953355006, orlowicz@mail.ru (Roman Orlovich, PhD, Professor)

References

- [1]. Lobov O. I., Ananyev A.I. Dolgovechnost naruzhnykh sten sovremennykh mnogoetazhnykh zdaniy. [The durability of the outer walls of modern high-rise buildings]. Zhilishchnoye stroitelstvo. 2008. No. 8. Pp. 48–52. (rus)
- [1]. Drobiec L. Przyczyny uszkodzen murow. XXII Ogólnopolska konferencja warsztat pracy projektanta konstrukcji.- Szczyrk. 2007. Pp. 105-146.
- [2]. Małyszko L., Orłowicz R. Wybrane sposoby napraw zarysowanych ścian murowych. Przegląd Budowlany, № 12, 2008, Pp. 40÷46.
- [3]. Małyszko L., Orłowicz R. Wzmocnienia Konstrukcji Murowych, w tym zasady obliczania wzmocnień. XXII Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Szczyrk 7-10 marzec 2007, Tom 2, Pp. 75÷104.
- [4]. Orłowicz R., Małyszko L., Kindracki J. Morfologia uszkodzeń ścian i elementów wykończenia w konstrukcjach murowych. XIV Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Ustroń, 1999, tom 1, część 2, Pp. 167÷192.
- [5]. Schubert P. Beitragsserie: Schadenfreies bauen mit Mauerwerk. Thema 1: Zweischalige Außenwende – Risse durch zu große Verformungsunterschiede in horizontaler Richtung. Das Mauerwerk, No. 1, 2001, Pp. 35÷38.
- [6]. Schubert P. Beitragsserie: Schadenfreies bauen mit Mauerwerk. Thema 2: Innen/Außenwende – Risse durch zu große Verformungsunterschiede in vertikaler Richtung. Das Mauerwerk, No. 4, 2001, Pp. 142÷144.
- [7]. Ishchuk M.K. Otechestvennyy opyt vozvedeniya zdaniy s naruzhnymi stenami iz olegchennoy kladki. [Domestic experience of constructing buildings with exterior walls made of lightweight masonry]. M.: RIF «Stroymaterialy», 2009. 360 p. (rus)
- [8]. Ishchuk M.K. Rossiyskiy opyt vozvedeniya naruzhnykh sten s litsevym sloyem iz kirpichnoy kladki. [Russian experience in the construction of exterior walls with facing layer of masonry]. Tekhnologii stroitelstva. 2009. No. 2(64). Pp. 28-37. (rus)
- [9]. Ogorodnik V.M., Ogorodnik Yu.V. Nekotoryye problemy obsledovaniya zdaniy s otdelkoy litsevym kirpichom v Sankt-Peterburge. [Some problems with the inspection of buildings facing brick finish in St. Petersburg]. Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2010. No. 7. Pp. 10-13. (rus)
- [10]. Khalturin Yu.V. Problemy mnogosloynnykh naruzhnykh sten s naruzhnoy oblitsovkoj kirpichom. [Problems multilayer external walls with external facing brick]. Vestnik AltGTU im. I.I. Polzunova. 2010. No. 1-2. Pp. 78-81. (rus)
- [11]. Derkach V.N., Naychuk A.Ya. Dolgovechnost sloistykh sten karkasnykh zdaniy. [The durability of the layered walls of frame buildings]. Problemy sovremennogo zhelezobeta: Materialy III mezhdunarodnogo simpoziuma. Sb. tr. v 2t. T.1. Betonnyye i zhelezobetonnyye konstruktsii. Minsk: Minsktipproyekt, 2011. Pp.134-140. (rus)
- [12]. Derkach V.N., Orlovich R.B. Voprosy kachestva i dolgovechnosti oblitsovki sloistykh kamennykh sten. [Quality and durability of cladding layered stone walls]. Inzhener-no-stroitelnyy zhurnal. 2011. No. 2(20). Pp. 42-47. (rus)
- [13]. Umyakova N.P. Dolgovechnost trekhsloynnykh sten s oblitsovkoj iz kirpicha s vysokim urovnem teplozashchity. [The durability of sandwich walls with facing brick with a high level of thermal protection]. Vestnik MGSU. 2013. No. 1. Pp.94-100. (rus)
- [14]. Drobiec Ł., Kubica J. Zapobieganie zarysowaniem ścian murowych opartych na stropach żelbetowych. Materiały Budowlane, No. 4, 2006, Pp. 21÷23, 72.
- [15]. Janowski Z. Metody i materiały stosowane do napraw tradycyjnych konstrukcji murowych. XIV Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Ustroń, 1999, tom 1, część 2, Pp. 5÷18.
- [16]. Janowski Z. Zasady prawidłowego wykonania i odbioru jakościowego konstrukcji murowych. XVIII Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Ustroń, 2003, tom 3, Pp. 485÷501.
- [17]. Orlovich R.B., Derkach V.N., Zimin S.S. Povrezhdeniya kamennogo litsevoogo sloya v zone sopryazheniya s zhelezobetonnyim perekrytiyem. [Damage stone facial layer interface zone with reinforced concrete floor]. Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2015. No. 8. Pp. 30 – 37. (rus)
- [18]. Kalksandstein- Planung, Konstruktion, Ausführung. Düsseldorf: Verlag Bau+Technik GmbH, 2014. – 363 p.
- [19]. Tkachik P.P. Kamennyye konstruktsii iz silikatnykh izdeliy. Proyektirovaniye, konstruktivnyye resheniya, proizvodstvo rabot. [Stone structure of silicate products. Design, designs, production papers]. Minsk: Strinko. 2012.- 378 p. (rus)
- [20]. Polyakov S.V. K voprosu stsepleniya v kirpichnoy kladke. [On the question of adhesion to masonry]. Issledovaniya po kamennym konstruktsiyam: sb. statey pod nauchn. red. L.I. Onishchika. – TsNIISK, M.: 1957. Pp. 298 – 301. (rus)
- [21]. Grinfield G.I., Vishnevskiy A.A. Kirpich i kamni s vysokoy pustotnostyu v oblitsovochnoy kladke naruzhnykh sten. [Bricks and stones with a high hollowness in facing masonry exterior walls]. Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy. 2016. No. 11(50). Pp. 23-32. (rus)

Деркач В.Н., Демчук И.Е., Орлович Р.Б., Механизм повреждаемости несущей облицовки многослойных каменных стен, Строительство уникальных зданий и сооружений, 2017, №3 (54). С. 63-70.

Derkach V.N., Demchuk I.E., Orlovich R.B. The mechanism of damage non-bearing facing multilayered masonry walls. 2017. 3 (54). Pp. 63-70. (rus)