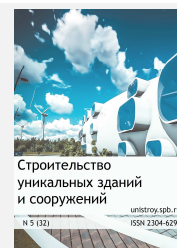


# Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: [www.unistroy.spb.ru](http://www.unistroy.spb.ru)



## Механизмы образования вертикальных трещин в угловой зоне на пересечении наружных стен

С.С. Зимин<sup>1</sup>, Н.П. Романов<sup>2</sup>, О.В. Романова<sup>3</sup>

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 195251, Россия, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.

| Информация о статье | История                       | Ключевые слова                                                                                                                                 |
|---------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| УДК 692.23          | Подана в редакцию 31 мая 2015 | многослойные наружные стены, лицевой кирпичный слой, деструкция кирпичной кладки, механизмы образования трещин, температурно-влажностный режим |

### АННОТАЦИЯ

Начало массового строительства зданий с монолитным каркасом в начале XXI века потребовало использования более эффективных ограждающих конструкций с точки зрения теплопередачи. Недостаток необходимой информации по устройству слоистых стен привел к тому, что ошибки, допущенные при проектировании и возведении многослойного стенового ограждения каркасных зданий, явились впоследствии одной из причин появления трещин и деструкции кирпичного облицовочного слоя. Целью данной работы является рассмотрение вертикальных трещин в угловых зонах зданий, как одного из наиболее характерных повреждений кирпичной кладки. Проведя анализ напряженно-деформированного состояния лицевого кирпичного слоя при различных условиях его сопряжения с плитами перекрытия, выявили некоторые механизмы образования вертикальных трещин в угловых зонах зданий. Мы определили, что несмотря на кажущуюся аналогичную природу происхождения вертикальных трещин, механизмы их образования существенно отличаются. В результате установили, что для выбора оптимального метода защиты облицовочного слоя от повреждений необходимо производить расчет кирпичной кладки, который позволит свести к минимуму вероятность образования деструкции.

### Содержание

|    |                                      |    |
|----|--------------------------------------|----|
| 1. | Введение                             | 34 |
| 2. | Обзор литературы                     | 34 |
| 3. | Постановка задачи                    | 34 |
| 4. | Механизмы образования угловых трещин | 34 |
| 5. | Заключение                           | 39 |

Контактный автор:

- 1 +7 (921) 347 7701, [zimin\\_sergei@mail.ru](mailto:zimin_sergei@mail.ru) (Зимин Сергей Сергеевич, старший преподаватель)
- 2 +7 (963) 327 8993, [kolarom2011@gmail.com](mailto:kolarom2011@gmail.com) (Романов Николай Павлович, студент)
- 3 +7 (909) 589 6852, [okavryanova@yandex.ru](mailto:okavryanova@yandex.ru) (Романова Оксана Владимировна, студент)

## 1. Введение

Слоистые каменные стены нашли свое применение в связи с ужесточением требований теплотехнических свойств ограждающих конструкций. Это потребовало от проектировщиков решений, которые еще недостаточно были обоснованы наукой. В сложившейся ситуации одним из наиболее применяемых методов по улучшению уровня теплозащиты стало устройство многослойных стен. При этом, не обладая соответствующей нормативной базой и достаточным опытом строительства, многие решения были заимствованы за рубежом и в первую очередь из европейских стран, где слоистые стены начали широко внедряться на 20-30 лет ранее [1].

Эксплуатация слоистых стен, особенно в многоэтажном каркасно-монолитном домостроении, уже в первые годы выявила ряд проблем, связанных, в частности, с особенностями работы кирпичного облицовочного слоя, которые в некоторых случаях приводили к нарушению целостности конструкции и аварийному состоянию стенового ограждения, несмотря на то, что долговечность таких стен не должна быть значительно ниже долговечности несущих конструкций каркаса здания. Принимая во внимание данное требование, можно отметить, что на практике статический расчет лицевого слоя зачастую не выполняется. Это может стать причиной появления трещин в наружной кирпичной кладке, что свидетельствует о несоответствии конструкции требованиям прочности, долговечности и устойчивости [2]. Для предотвращения подобного вида деструкции необходимо выявить и проанализировать закономерности ее образования, что и является целью данной статьи

## 2. Обзор литературы

В виду относительно недавнего использования в строительной практике многослойных стен, существует нехватка литературы, посвященной данному типу конструкции и возможным ее повреждениям. Некоторые механизмы деструкции кладки описаны в работах Р.Б. Орловича [6, 15, 22], М.К. Ищука [1, 7], В.Н. Деркача, однако систематизированной информации, которая обеспечила бы отсутствие принципиальных ошибок на этапе проектирования, недостаточно [3].

## 3. Постановка задачи

Опыт эксплуатации каркасно-монолитных зданий показал ряд характерных повреждений, таких как:

- Деструкция кладки в торцах перекрытия;
- Деструкция кладки в зонах над перемычками;
- Деструкция кладки в простенках;
- Угловые трещины;

В этой статье мы рассмотрим одно из таких повреждений - трещины в угловых зонах зданий. Определим характерные причины их образования на некоторых участках кирпичной кладки при различной работе элементов конструкций здания [4].

## 4. Механизмы образования угловых трещин

Вертикальные трещины являются одними из наиболее распространенных типов повреждений кирпичного лицевого слоя. Они могут образовываться в разных зонах кладки и иметь визуальную схожесть между собой, однако причины их образования имеют свои особенности и, как правило, значительно отличаются [6].

Мы проведем анализ напряженно-деформированного состояния лицевого кирпичного слоя, рассмотрим несколько различных механизмов образования трещин, которые зависят от особенностей конструктивных схем зданий [7].

### 4.1. При относительно равных условиях сопряжения лицевых слоев стен с плитами перекрытий (под действием температуры)

Например, данный случай находит проявление, когда лицевой слой обеих стен зажат между дисками перекрытий. При этом внутренние слои стен могут быть выполнены из одного материала или из разных, но суммарные погонные жесткости связей в среднем равны.

Дефектность облицовочного слоя в процессе эксплуатации в виде трещин чаще всего связывают с его температурными деформациями. Напряжения, вызываемые изменениями температуры, особенно опасны в угловых зонах зданий, где они достигают наибольшей величины. Немалую роль играет ориентация здания относительно сторон света и период устройства лицевого слоя. В зависимости от положения солнца в течение дня наружные стены по периметру здания, постепенно нагреваясь, будут испытывать температурные деформации относительно друг друга. Так, например, во время восхода солнца восточная стена будет нагреваться сильнее остальных и расширяться относительно северной стены, а южная, при высоком стоянии солнца, будет стремиться расширяться относительно восточной стены [8]. При возведении кирпичной кладки зимой ее максимальная относительная деформация растяжения будет характерна для летнего периода. При нагревании лицевой кирпич будет стремиться расширяться, но в виду взаимного отсутствия свободы горизонтальных перемещений стен, напряжения в угловой зоне здания будут расти (Рисунок 1). Возникшие горизонтальные деформации воспринимаются гибкими анкерными связями, однако они не являются неподвижными опорами, а обладают податливостью в горизонтальном направлении [9]. Учитывая одинаковые условия сопряжения слоев с плитами перекрытий и внутренним слоем стен ограждающих конструкций по периметру здания, мы получаем в среднем равные суммарные погонные жесткости связей. Таким образом, внутренние усилия на фоне высокой податливости связей и низкой прочности кладки на растяжение и срез, достигнув определенной концентрации, приведут к срезу кладки по длине в месте пересечения стен (Рисунок 2) [10].

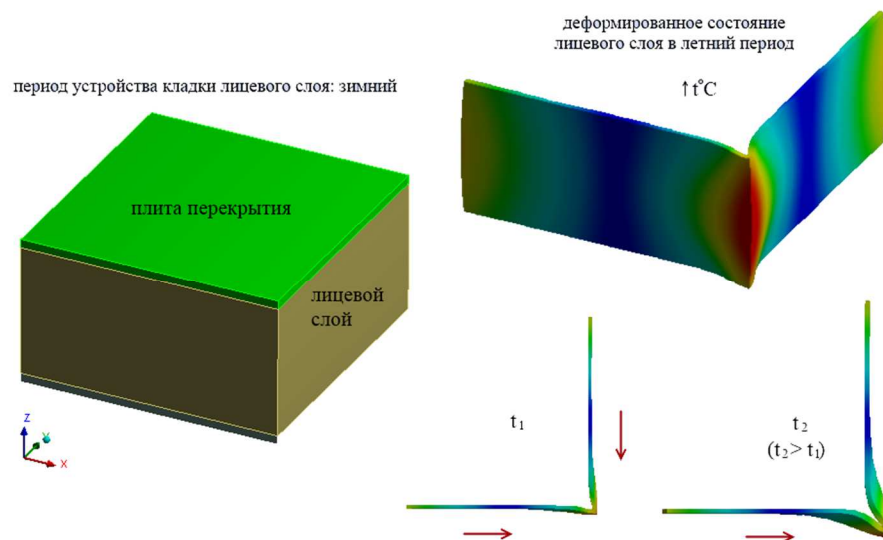


Рисунок 1. Напряженно-деформированное состояние кладки в летний период



Рисунок 2. Вертикальная трещина, вызванная деформациями растяжения торцевой стены

Кирпичная кладка, возведенная в летний период, при понижении температуры зимой будет испытывать растягивающие деформации в угловых зонах от места пересечения стен (Рисунок 3). Как уже говорилось ранее, на фоне отсутствия свободы горизонтальных перемещений и низкой прочности кладки на растяжение, а также высокой податливости анкерных связей, скопившиеся напряжения приведут к разрыву облицовочного слоя и образованию вертикальных трещин (Рисунок 4) [11].

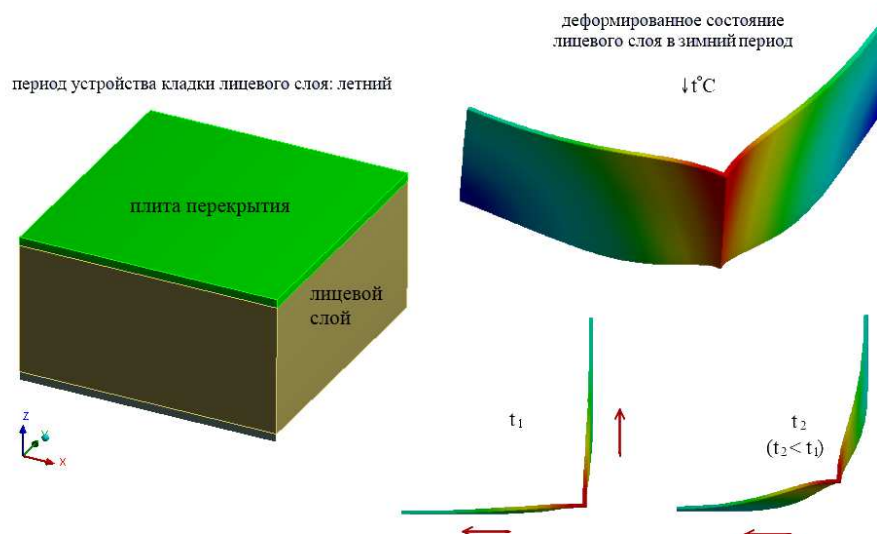


Рисунок 3. Напряженно-деформированное состояние кладки в зимний период



Рисунок 4. Вертикальная трещина, вызванная деформациями, направленными от угловой зоны торцевой стены

#### 4.2. При абсолютно неравных условиях сопряжения лицевых слоев с плитами перекрытий и внутренним слоем стен

Примером таких условий является случай, когда лицевой слой фасадной стены устроен на всю высоту здания, а торцевой – с поэтажным опиранием на балконные плиты перекрытий (Рисунок 5), то есть суммарные погонные жесткости связей существенно отличаются [12-13].

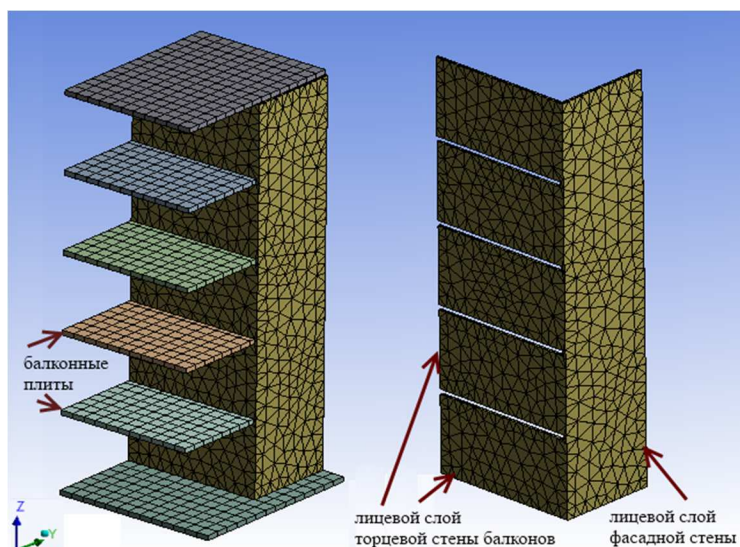


Рисунок 5. Схема участка здания при неравных условиях сопряжения лицевых слоев с плитами перекрытий

Помимо трещин в угловых зонах, вызванных температурными деформациями, областью возникновения вертикальных трещин также являются места пересечения фасадных стен с торцевыми стенами балконов. Как показывает отечественная практика, в большинстве случаев горизонтальные деформационные швы в местах примыкания верха кладки к железобетонной плите перекрытия отсутствуют. В результате чего нагрузка от перекрытия частично передается на кирпичную кладку, что приводит к включению ее в работу и заземлению лицевого слоя торцевой стены [14]. Собственный вес участка, зажатого между плитами перекрытий, меньше, чем вес кладки фасадной стены, выполненной без поэтажного опирания. Кроме того, жесткость ограждающей конструкции, определяющая ее способность к сопротивлению деформациям, тем ниже, чем выше конструкция, поэтому участок кладки, устроенный на всю высоту здания, будет иметь большие вертикальные перемещения. Совокупность этих факторов приводит к развитию продольных деформаций, которые возрастают от нижележащих этажей к верхним. Так, на рисунке 6а показан случай, когда лицевой слой фасадной стены испытывает большие вертикальные деформации от собственного веса на верхних этажах, в то время как торцевые стены и зажатая кирпичная кладка балконных стен имеют значительно меньшие продольные деформации. Это приводит к срезу облицовочного слоя и его смещению ниже кладки торцевой стены (Рисунок 6б) [15].

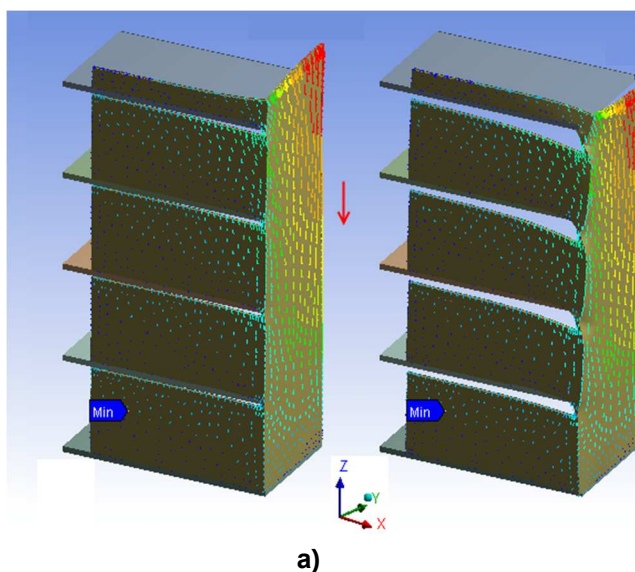


Рисунок 6. Деформации кладки: а) продольные деформации, б) срез кладки

Осевым деформациям сжатия по направлению действия силы всегда сопутствуют деформации поперечного расширения. В отличие от продольных, их увеличение происходит от верхних этажей к нижним с нарастанием напряжений от собственного веса кладки. Кирпич и раствор, составляющие кладку, работают совместно. Более жесткие материалы, как правило кирпич, сдерживают поперечные деформации менее жестких материалов, таких как раствор. В результате, кирпичная кладка оказывается растянутой, а раствор – сжатым. Учитывая, что торцевые стены балконов имеют меньший собственный вес, наибольшая разница поперечных деформаций лицевых слоев будет наблюдаться в угловых зонах нижних этажей, и, следовательно, именно там будет происходить срез кладки [16].

#### 4.3. Вертикальные трещины в лицевом слое в месте пересечения стен, вызванные эффектами изгиба и кручения

Эффекты изгиба и кручения сопровождают практически все вышеописанные механизмы, однако степень проявления зависит от конструктивных решений лицевого слоя, его условий сопряжения с плитами перекрытий и внутренним слоем. Наиболее характерными местами проявления данных эффектов являются угловые и z-образные участки стен [17].

Напряженно-деформированное состояние кладки наружного слоя изменяется в течение года в зависимости от температуры окружающего воздуха и солнечной радиации. Вследствие этого характер деформации зависит от периода замыкания конструкции, совпадающего с временем возведения кладки наружного слоя [18-19]. В z-образных фрагментах вследствие температурных воздействий может происходить сдвиг слоев относительно друг друга [1]. Механизмы, вызванные эффектами изгиба и кручения, аналогичны деформациям от изменения температуры в угловых зонах облицовочного слоя, но отличие z-образных участков заключается в развитии деформаций продольных стен в противоположных направлениях.

При возведении кладки в зимний период, летом, лицевой кирпич, расширяясь, будет приводить к деформациям растяжения в угловых зонах, которые, будучи направленными в противоположные стороны, приведут к появлению пары сил, создающих эффект кручения средней стены (Рисунок 7). Стоит отметить, что чем больше длина средней стены, тем больше плечо сил, что приводит к увеличению крутящего момента и появлению деструкции кладки в угловых зонах.

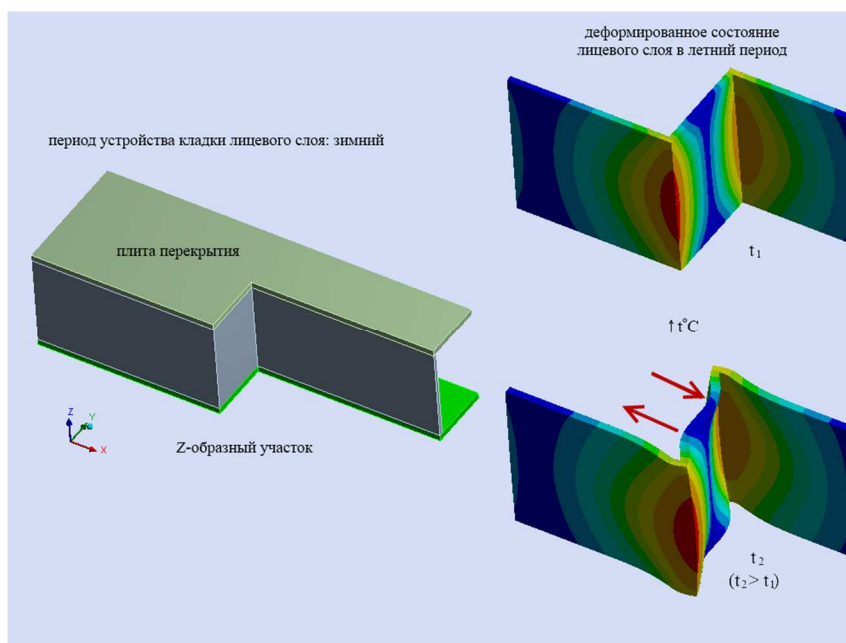


Рисунок 7. Напряженно-деформированное состояние при эффекте кручения

В случае устройства кирпичной кладки в летний период, растягивающие деформации в холодное время, при понижении температуры, будут направлены от угловой зоны. Отсутствие свободы горизонтальных перемещений и низкая прочность кладки на растяжение приводят к изгибу продольных стен

и растяжению средней стены (Рисунок 8), что является причиной появления деструкции лицевого слоя в виде вертикальных трещин [20].

Таким образом, температурные деформации продольных стен создают эффект кручения или изгиба средней стены в зависимости от периода возведения кирпичной кладки. Их противоположная направленность приводит к повышению вероятности образования трещин в кладке лицевого слоя в z-образном участке [21].

## 5. Заключение

В данной работе описаны наиболее наглядные механизмы образования вертикальных трещин, однако существуют и другие, которые зависят от конструктивных схем здания, условий опирания и сопряжения элементов конструкций. Стоит учитывать, что механизмы образования деструкции могут накладываться друг на друга, тем самым оказывая существенно большие разрушающие воздействия. Например, дефекты кладки, изображенные на рисунке 9, расположены с одной стороны в зоне перемычки, а с другой стороны в зоне под торцом плиты перекрытия. Углы оконных и дверных проемов являются концентраторами напряжений, а частичное опирание железобетонной плиты на облицовочный слой приводит к пассивному использованию несущей способности кладки. Наложение этих двух механизмов увеличивает в несколько раз вероятность возникновения дефектов наружного кирпичного слоя.



Рисунок 9. Наложение механизмов образования деструкции кладки

Несмотря на кажущуюся аналогичную природу происхождения вертикальных трещин, мы показали, что механизмы их образования могут существенно отличаться. Учитывая различные виды деструкций облицовочного слоя, а также возможность усиления разрушающего воздействия за счет их наложения, необходимо производить расчет кирпичной кладки. Некоторых дефектов, связанных с угловыми вертикальными трещинами, можно избежать устройством деформационных швов [22]. Однако возникновение трещин также возможно предотвратить путем усиления кладки или принятия таких конструктивных решений, при которых напряжения от среза не превышали бы предельных значений. Таким образом, самым важным фактором для выбора оптимального метода защиты облицовочного слоя от повреждений является расчет кирпичной кладки, который сводит к минимуму вероятность образования деструкции.

## Литература

- [1]. Ищук М.К. *Отечественный опыт возведения зданий с наружными стенами из облегченной кладки*. М.: Изд-во РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ», 2009. 354 с.
- [2]. Кашеварова Г.Г., Иванов М.Л. *Натурные и численные эксперименты, направленные на построение зависимости напряжения от деформации кирпичной кладки* // Приволжский научный вестник. 2012. №8 (12). С. 10-15.
- [3]. Бедов А.И., Балакшин А.С., Воронов А.А. *Причины аварийных ситуаций ограждающих конструкций из каменной кладки многослойных систем многоэтажных жилых зданий* // Строительство и реконструкция. 2014. № 6 (56). С. 11-17.
- [4]. Серикхалиев С.Б., Зимин С.С., Орлович Р.Б. *Дефекты защитно-декоративной кирпичной облицовки фасадов каркасных зданий* // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. №5 (20). С. 28-38.
- [5]. Пангаев В.В., Савченко А.Ю. *О влиянии изгиба на разрушение кирпича сжатой кладки* // Известия высших учебных заведений. 2008. №7. С. 137-141.
- [6]. Орлович Р.Б., Зимин С.С., Сазонов А.С. *О работе облицовочного каменного слоя каркасных зданий при силовых воздействиях* // Строительство и реконструкция. 2014. №1 (51). С. 29-34.
- [7]. Ищук М.К., Зуева А.В. *Исследование напряженно-деформированного состояния лицевого слоя из кирпичной кладки при температурно-влажностных воздействиях* // ПГС. 2007. №3. С. 40-43.
- [8]. Копаница Д.Г., Кабанцев О.В., Усеинов Э.С. *Экспериментальные исследования фрагментов кирпичной кладки на действие статической и динамической нагрузки* // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2012. №4 (37). С. 157-178.
- [9]. Иванов М.Л. *Численная модель процесса разрушения кирпичной кладки* // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2013. №2. С. 140-145.
- [10]. Иванов М.Л. *Численная модель неравномерной осадки кирпичной стены* // Приволжский научный вестник. 2012. №6 (10). С. 13-19.
- [11]. Деркач В.Н., Орлович Р.Б. *Вопросы качества и долговечности облицовки слоистых каменных стен* // Инженерно-строительный журнал. 2011. №2. С. 42-47.
- [12]. Найчук А.Я., Деркач В.Н., Орлович Р.Б. *Зарубежный опыт возведения наружных стен высотных каркасных зданий* // Архитектура и строительство. 2010. №1 (212). С. 86-87.
- [13]. Поляков С.В. *Каменная кладка в каркасных зданиях*. – М.: Изд-во Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1956. 189 с.
- [14]. Найчук А.Я., Деркач В.Н., Орлович Р.Б. *О роли облицовочного слоя в слоистых каменных стенах* // Архитектура и строительство. 2010. №1 (216). С. 66-75.
- [15]. Орлович Р.Б., Горшков А.А., Зимин С.С. *Применение камней с высокой пустотностью в облицовочном слое многослойных стен* // Инженерно-строительный журнал. 2013. №8. С. 14-23.
- [16]. Кузнецова Г. *Слоистые кладки в каркасно-монолитном строительстве* // Технологии строительства. 2009. № 1 (63).
- [17]. В.Н. Деркач. *Совместная работа каменного заполнения и железобетонного монолитного каркаса* // Инженерно-строительный журнал. 2013. №5. С. 14-23.
- [18]. Pande G.N., Middleton J., Kralj B. *Numerical modelling of brick masonry panels subject to lateral loadings*. Computers & structures. 1996. No. 4. Pp. 735-745.
- [19]. Gilbert M., Hobbs B., Molyneaux C.K. *The performance of unreinforced masonry walls subjected to low-velocity impacts: mechanism analysis*. International journal of impact engineering. 2002. No. 3. Pp. 253-275.
- [20]. Деркач В.Н. *Деформационные характеристики каменной кладки в условиях плоского напряженного состояния* // Строительство и реконструкция. 2012. №2. С. 3-10.
- [21]. Uva G., Salerno G. *Towards a multiscale analysis of periodic masonry brickwork: a fem algorithm with damage and friction*. International journal of solids and structures. 2006. No. 13. Pp. 3739-3769.
- [22]. Орлович Р.Б., Зимин С.С., Рубцов Н.М. *О расположении вертикальных деформационных швов в каменной облицовке наружных стен каркасно-монолитных зданий* // Строительство и реконструкция. 2014. № 3 (53). С. 15-19.

## Mechanisms for the formation of vertical cracks in the corner zones at the intersection of the exposed walls

S.S. Zimin<sup>1</sup>, N.P. Romanov<sup>2</sup>, O.V. Romanova<sup>3</sup>.

*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Polytechnicheskaya st., St.Petersburg, 195251, Russia.*

### ARTICLE INFO

scientific article

doi:

### Article history

Received 31 May 2015

### Keywords

sandwich exterior wall,  
texture brick layer,  
destruction of the brickwork,  
mechanisms for the formation of  
vertical cracks,  
temperature and humidity conditions

### ABSTRACT

The beginning of mass construction of buildings with reinforced concrete frame at the beginning of the twenty-first century required the use of more efficient enclosing structures in the context of heat transfer resistance. The lack of the necessary information on the device sandwich walls led to the fact that mistakes made in the design and construction of laminated structure, were subsequently one of the causes of cracks and destruction of brickwork. The purpose of this article is to examine the vertical cracks in the corner zones of buildings, as one of the typical damage the brickwork. After analysis of the strain-stress distribution of the texture brick layer under different conditions of its interface with the concrete floor, revealed some of the mechanisms of formation of vertical cracks in the corner zones of buildings. We have determined that despite the apparent origin of a similar nature vertical cracks, mechanisms of their formation differ greatly. As a result, we found that the method for selecting the optimum exterior brickwork of protection against damage is necessary to analysis and calculate of structures brickwork, which will minimize the chance of destruction.

---

*Corresponding author:*

- <sup>1</sup> +7 (921) 347 7701, zimin\_sergei@mail.ru (Sergey Sergeevich Zimin, Senior Lecturer)
- <sup>2</sup> +7 (963) 327 8993, kolarom2011@gmail.com (Nikolay Pavlovich Romanov, Student)
- <sup>3</sup> +7 (909) 589 6852, okaveryanova@yandex.ru (Oksana Vladimirovna Romanova, Student)

## References

- [1]. Ishhuk M.K. *Otechestvennyj opyt vozvedeniya zdaniy s naruzhnymi stenami iz oblegchennoj kladki*. [Domestic experience of construction of buildings with exterior walls made of lightweight masonry]. Moscow: RIF «STROJMATERIALY», 2009. 354 p. (rus)
- [2]. Kashevarova G.G., Ivanov M.L. *Naturnye i chislennye jeksperimenty, napravlennye na postroenie zavisimosti naprjazheniya ot deformacii kirpichnoj kladki*. [Field and numerical experiments aimed at building the dependence of the stress-strain masonry]. Privolzhskij nauchnyj vestnik. 2012. No. 8 (12). Pp.10-15. (rus)
- [3]. Bedov A.I., Balakshin A.S., Voronov A.A. *Prichiny avarijnyh situacij ograzhdajushhih konstrukcij iz kamЕННОj kladki mnogoslojnyh sistem mnogoetazhnyh zhilyh zdaniy*. [The causes of emergency situations walling stone masonry multilayer systems of multi-storey residential buildings]. Stroitel'stvo i rekonstrukcija. 2014. No. 6 (56). Pp.11-17. (rus)
- [4]. Serikhaliev S.B., Zimin S.S., Orlovich R.B. *Defekty zashhitno-dekorativnoj kirpichnoj oblicovki fasadov karkasnyh zdaniy*. [Defects of protective and decorative brick veneer frame building facades]. Construction of Unique Buildings and Structures. 2014. No.5 (20). Pp. 28-38. (rus)
- [5]. Pangaev V.V., Savchenko A.Ju. *O vlijanii izgiba na razrushenie kirpicha szhatoj kladki*. [On the influence of the bend on the destruction of the compressed brick masonry]. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. 2008. No. 7. Pp. 137-141. (rus)
- [6]. Orlovich R.B., Zimin S.S., Sazonov A.S. *O rabote oblicovochnogo kamennogo sloja karkasnyh zdaniy pri silovyh vozdeystvijah*. [On the work of stone cladding layer frame buildings by power influences]. Stroitel'stvo i rekonstrukcija. 2014. No. 1 (51). Pp. 29-34. (rus)
- [7]. Ishhuk M.K., Zueva A.V. *Issledovanie naprjazhenno-deformirovannogo sostojaniya licevogo sloja iz kirpichnoj kladki pri temperaturno-vlazhnostnyh vozdeystvijah*. [Investigation of the stress-strain state of an obverse layer of masonry when temperature and humidity effects]. PGS. 2007. No. 3. Pp. 40-43. (rus)
- [8]. Kopanica D.G., Kabancev O.V., Useinov Je.S. *Jeksperimental'nye issledovaniya fragmentov kirpichnoj kladki na dejstvie staticheskoy i dinamicheskoy nagruzki*. [Experimental studies of the fragments of masonry on the static and dynamic loads]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2012. No. 4 (37). Pp. 157-178. (rus)
- [9]. Ivanov M.L. *Chislennaja model' processa razrusheniya kirpichnoj kladki*. [Numerical model of the process of destruction of the brickwork]. Aktual'nye napravleniya nauchnyh issledovanij XXI veka: teorija i praktika. 2013. No. 2. Pp. 140-145. (rus)
- [10]. Ivanov M.L. *Chislennaja model' neravnomernoj osadki kirpichnoj steny*. [Numerical model of uneven precipitation of the brick walls]. Privolzhskij nauchnyj vestnik. 2012. No.6 (10). Pp.13-19. (rus)
- [11]. Derkach V.N., Orlovich R.B. *Voprosy kachestva i dolgovechnosti oblicovki sloistyh kamennyh sten*. [The quality and durability of laminated veneer stone walls]. Magazine of Civil Engineering. 2011. No.2. Pp. 42-47. (rus)
- [12]. Najchuk A.Ja., Derkach V.N., Orlovich R.B. *Zarubezhnyj opyt vozvedeniya naruzhnyh sten vysotnyh karkasnyh zdaniy*. [Foreign experience in the construction of exterior walls of high-rise frame buildings]. Arhitektura i stroitel'stvo. 2010. No. 1 (212). Pp. 86-87. (rus)
- [13]. Poljakov S.V. *Kamennaja kladka v karkasnyh zdaniyah*. [Stone walls in frame buildings]. – Moscow: Gosudarstvennoe izdatel'stvo literatury po stroitel'stvo i arhitekture, 1956. 189 p. (rus)
- [14]. Najchuk A.Ja., Derkach V.N., Orlovich R.B. *O roli oblicovochnogo sloja v sloistyh kamennyh stenah*. [On the role of the cladding layer in a layered stone walls]. Arhitektura i stroitel'stvo. 2010. No. 1 (216). Pp. 66-75. (rus)
- [15]. Orlovich R.B., Gorshkov A.A., Zimin S.S. *Primenenie kamnej s vysokoj pustotnost'ju v oblicovochnom sloe mnogoslojnyh sten*. [The use of stones with high voidage in the facing layer of the multilayer walls]. Magazine of Civil Engineering. 2013. No. 8. Pp. 14-23. (rus)
- [16]. Kuznecova G. *Sloistye kladki v karkasno-monolitnom stroitel'stve*. [Layered masonry in frame-monolithic construction]. Tehnologii stroitel'stva. 2009. No. 1 (63). (rus)
- [17]. Derkach V.N. *Sovmestnaja rabota kamennogo zapolnenija i zhelezobetonного monolitного karkasa*. [Joint work with stone fill and reinforced concrete monolithic frame]. Magazine of Civil Engineering. 2013. No. 5. Pp. 14-23. (rus)
- [18]. Pande G.N., Middleton J., Kralj B. *Numerical modelling of brick masonry panels subject to lateral loadings*. Computers & structures. 1996. No. 4. Pp. 735-745.
- [19]. Gilbert M., Hobbs B., Molyneaux C.K. *The performance of unreinforced masonry walls subjected to low-velocity impacts: mechanism analysis*. International journal of impact engineering. 2002. No. 3. Pp. 253-275.

- [20].Derkach V.N. *Deformacionnye harakteristiki kamЕННОj kladki v uslovijah ploskogo napryazhennogo sostojanija*. [Deformation characteristics of masonry under plane stress state]. Stroitel'stvo i rekonstrukcija. 2012. No. 2. Pp. 3-10. (rus)
- [21].Uva G., Salerno G. *Towards a multiscale analysis of periodic masonry brickwork: a fem algorithm with damage and friction*. International journal of solids and structures. 2006. No. 13. Pp. 3739-3769.
- [22].Orlovich R.B., Zimin S.S., Rubcov N.M. *O raspolozhenii vertikal'nyh deformacionnyh shvov v kamЕННОj oblicovke naruzhnyh sten karkasno-monolitnyh zdaniy*. [The location of vertical expansion joints in stone veneer exterior walls frame-monolithic buildings]. Stroitel'stvo i rekonstrukcija. 2014. No. 3 (53). Pp. 15-19. (rus)

*Зимин С.С., Романов Н.П., Романова О.В. Механизмы образования вертикальных трещин в угловой зоне на пересечении наружных стен// Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. №9(36). С. 33-43.*

*Zimin S.S., Romanov N.P., Romanova O.V. Mechanisms for the formation of vertical cracks in the corner zones at the intersection of the exposed walls. Construction of Unique Buildings and Structures, 2015, 9(36), Pp. 33-43. (rus)*