



doi: 10.18720/CUBS.71.2

## Напряженно-деформированное состояние кирпичной облицовки в области сопряжения с плитами перекрытия при отсутствии деформационного шва

### Stress-strain state of brick facing in interface with floor slabs in absence of an expansion joint

С.С. Зимин<sup>1\*</sup>, А.Ю. Сударь<sup>2</sup>, Е.И. Васильева<sup>3</sup>S.S. Zimin<sup>1\*</sup>, A.Yu. Sudar<sup>2</sup>, E.I. Vasilyeva<sup>3</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет  
Петра Великого, Санкт-Петербурге, РоссияPeter the Great St. Petersburg Polytechnic University,  
St. Petersburg, Russia

#### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

кирпич;  
кладка;  
гибкие связи;  
лицевой слой;  
многослойные стены;  
температурные воздействия

#### KEYWORDS

brick;  
masonry;  
anchor;  
multi-layer wall;  
facing layer;  
temperature effects

#### ИСТОРИЯ

Подана в редакцию: 04.04.2018  
Принята: 20.10.2018

#### ARTICLE HISTORY

Submitted: 04.04.2018  
Accepted: 20.10.2018

#### АННОТАЦИЯ

Приведены результаты исследования напряженно-деформированного состояния лицевого слоя из кирпичной кладки в зоне сопряжения с перекрытием при температурном воздействии. Для получения расчетных данных использовался программный комплекс ANSYS, в котором моделировался фрагмент кирпичной кладки между двух железобетонных перекрытий. Предварительный анализ общего напряженно-деформированного состояния позволил определить наиболее опасные точки, в которых в дальнейшем отслеживалось изменение напряжений при изменении варьируемых параметров. В ходе анализа результатов расчета были получены зависимости напряжений от жесткостных характеристик гибких связей и от площади контакта кладки с плитами перекрытия. Выявленные закономерности позволяют подбирать оптимальные значения жесткости гибких связей, а также величины свеса кирпичного лицевого слоя для минимизации напряжений в опасных точках, что позволит увеличить срок службы облицовочного материала без возникновения разрушений.

#### ABSTRACT

The article gives results of investigations of the stress-strain state of the face layer made of brickwork in the zone of conjugation with overlap at temperature influence. For getting estimated data was used software package ANSYS. There was made a model of brickwork between two reinforced-concrete ceiling panels. Pretest analysis of general stress strain behavior allowed to determine the most dangerous points, where strain changes depending on variable parameters were controlled. After the analysis were got dependence of strain from anchor rigidity and contact area value. Detected relationships could allow select optimal anchor rigidity and value of brickwork cantilever to provide minimal strain in dangerous points. That could rise working life of bricks without any damages.

#### Содержание

1.	Введение	13
2.	Методы	16
3.	Результаты и обсуждение	17
4.	Заключение	19

## 1. Введение

Значительное повышение требований к тепловой защите зданий привело к существенному увеличению требуемой толщины кирпичных стен [1]. В связи с этим в 90-е годы в строительной сфере

начала находить применение заимствованная у западных стран технология возведения многослойных ограждающих конструкций. В этом случае конструктивная схема здания выполняется каркасной, каркасно-стеновой или стеновой, при этом несущие стены располагаются внутри здания. Одним из вариантов многослойных стен является самонесущая стена из газобетонных блоков с внешним облицовочным слоем кирпичной кладки (разрез стены представлен на рисунке 1). Основными достоинствами данного решения считались эстетическая привлекательность и удовлетворяющие нормам показатели тепловой защиты. По этой причине было построено значительное количество зданий с многослойными ограждающими конструкциями, имеющими лицевой кирпичный слой. В последнее время в ходе обследования таких зданий начали выявляться деструкции каменной кладки, и это явление стало носить массовый характер. По этой причине производится анализ ошибок, допущенных при проектировании и повлекших за собой разрушение облицовки [2-5, 31, 33], а также осуществляется активный поиск способов ее ремонта [6] и усиления [7]. Авторами статьи [34] проводились лабораторные испытания фрагментов стеновых конструкций из газобетонных блоков, облицованных снаружи силикатным кирпичом, на сопротивление климатическим и техногенным воздействиям, по результатам которых даны рекомендации по увеличению срока эксплуатации данной конструкции.

Типичными повреждениями облицовочного слоя кирпичной кладки являются: вертикальные трещины на углах зданий, деструкции в области сопряжения кладки с плитами перекрытий, горизонтальные трещины посередине высоты простенка, деструкции в зонах железобетонных или металлических перемычек над проемами, появление на стенках кирпичей вертикальных трещин, лущение внешних слоев до полного разрушения наружной стенки кирпича и ее отрыва, высолы на стенках кирпича [8, 9], увлажнение внутренней части стены, увлажнение облицовки под оконными проемами и в зоне междуэтажных перекрытий.

В работе [14] описаны основные причины возникновения наиболее часто встречающихся повреждений облицовочного слоя стен. Их возникновение многие исследователи связывают с тем, что заимствованная у западных стран технология возведения многослойных стен с облицовочным слоем в виде кирпичной кладки не была адаптирована под местные климатические условия Российской Федерации [10]. В работе [11, 32] описываются типовые конструктивные решения опирания кладки на железобетонный каркас и возникающие при этом повреждения.

Авторами настоящей статьи было проведено обследование здания с облицовкой многослойной наружной стены кирпичной кладкой. При этом были выявлены многочисленные деструкции кирпичной облицовки (рисунок 2-3). Разрушение лицевого слоя ограждающей конструкции обследуемого здания выступает ярким примером последствий допущения ошибок при проектировании многослойных стен. Одной из таких ошибок является отсутствие в кирпичной кладке горизонтальных деформационных швов, что приводит к зацементированию лицевого слоя между плитами перекрытий и последующим его разрушениям.

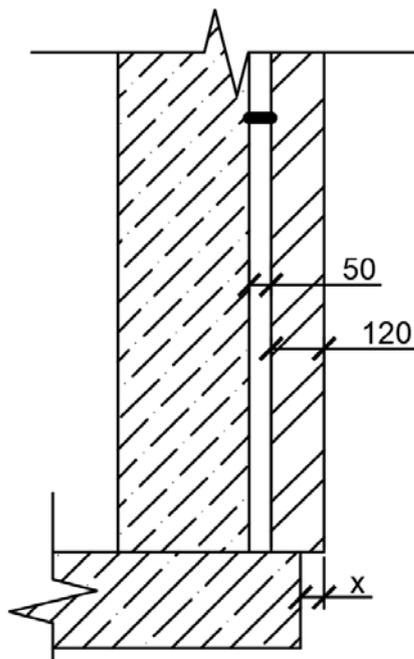


Рис.1 Схема ограждающей конструкции здания



**Рис.2 Деструкция в области сопряжения с плитой перекрытия и в углах оконных проемов**



**Рис.3. Пример здания с повреждениями облицовочной кирпичной кладки из пустотелого кирпича**

Ряд ученых, занимающихся исследованием подобного рода разрушений, пришел к выводу о нахождении лицевого кирпичного слоя в сложном напряженно-деформированном состоянии [12-14]. Таким образом, требуется определять новые критерии прочности кирпичной кладки, так как в современных источниках отсутствует информация о подобных характеристиках. Рядом ученых уже проводились лабораторные испытания фрагментов кирпичной кладки на растяжение и сжатие под углом к растворному шву [15-20]. Необходимость учета анизотропии каменной кладки при определении ее прочности также подтверждается в статье [21]. Стоит отметить отсутствие в отечественной нормативной документации требований к расчету кирпичной кладки, находящейся в сложном НДС, а также методик определения шага деформационных швов.

В данной статье будет рассматриваться сложное напряженно-деформированное состояние фрагмента лицевого слоя из кирпичной кладки, заземленного между плитами перекрытий здания и находящегося при температурном воздействии. Деформации и напряжения, возникающие в каменных конструкциях при данном воздействии, уже исследовались рядом ученых [22-24]. Исследованию будет подвергаться кирпичная кладка без выполнения горизонтальных деформационных швов. Это позволит оценить важность их наличия в возводимых конструкциях.

Крепление кирпичной облицовки к внутренним слоям ограждающей конструкции осуществляется за счет установки гибких связей, укладываемых в растворные швы. Данное решение применяется в основном для предотвращения опрокидывания наружного слоя. В отечественной нормативной документации отсутствуют требования к расчету гибких связей, что является существенной недоработкой, так как они оказывают влияние на НДС кирпичной кладки. Влияние различных характеристик гибких связей на возникающие внутренние усилия в облицовочном кирпичном слое требует детального изучения [5, 25-27].

Возможны разные варианты опирания кирпичной облицовки на плиту перекрытия. От выбранного способа зависят напряжения в лицевом слое. Влияние различных способов опирания на возникающие внутренние усилия в облицовочном кирпичном слое также требует изучения.

Целью данной научной работы является получение напряженно-деформированного состояния кирпичной облицовки в области сопряжения с плитами перекрытия при помощи ПК «ANSYS» и оценка влияния жесткости гибких связей и величины свеса кирпичной кладки на напряжения, возникающие от действия температурной нагрузки.

Для достижения поставленных целей выделены следующие задачи:

1. Анализ распределения напряжений на участках примыкания облицовочного слоя к плите перекрытия вдоль кирпичной кладки и выявление наиболее опасных точек;
2. Получение зависимостей, описывающих распределение нормальных сжимающих напряжений по ширине кирпичной кладки и выявление наиболее опасных точек;
3. Получение графиков изменения величины максимальных напряжений в опасных точках в зависимости от жесткости гибких связей и в зависимости от величины свеса кирпичной кладки;

Анализ полученных зависимостей и нахождение оптимальной жесткости гибких связей и величины свеса кирпичной кладки.

## 2. Методы

В качестве исследуемого объекта был принят фрагмент каменного лицевого слоя многослойной стены высотой 3,5 метра и шириной 2 метра (такая ширина достаточна для учета краевого эффекта при его сильных проявлениях). Толщина кладки – 120 мм, что соответствует ширине одного кирпича. Гибкие связи расположены в шахматном порядке с шагом, показанным на рисунке 5. На рисунке 4 изображена расчетная схема исследуемого фрагмента облицовочного слоя кирпичной кладки.

Исследование напряженно-деформированного состояния облицовочного слоя кирпичной кладки проводилось с помощью универсальной программной системы конечно-элементного анализа (МКЭ) – ANSYS. При моделировании было принято допущение об однородности кирпичной кладки. Использование гомогенной модели является достаточно эффективным методом моделирования, если заранее известны характеристики используемых материалов [21]. Обобщенные деформационные характеристики однородного материала определялись по действующим нормативным документам [28], как для кирпичной кладки, выполненной из кирпича марки М150 и раствора марки М100. Приняты следующие параметры: модуль Юнга  $E = 2,2$  МПа, коэффициент Пуассона  $\mu = 0,25$ , коэффициент температурного расширения  $\alpha_t = 5 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ .

На площади контакта каменной кладки с плитами перекрытия, а также на свободных концах гибких связей и в месте их контакта с кирпичной кладкой задавалась жесткая заделка. Во избежание появления краевого эффекта фиксировались угловые перемещения торцов стены относительно осей Y и Z, а также линейные перемещения вдоль оси X. Модель исследуемого фрагмента кирпичной кладки приведена на рисунке 5. В качестве нагрузки на каменный лицевой слой принимались единичные температурные воздействия  $\Delta t = \pm 10^\circ\text{C}$ . Определение НДС исследуемого объекта от действия единичной нагрузки позволит оценить величину напряжений и деформаций, возникающих при иных температурных воздействиях, характерных для различных районов строительства, и дать соответствующие рекомендации по проектированию.

Ввиду того, что целью работы является получение НДС кирпичной кладки исключительно от температурного воздействия, воздействие ветровой нагрузки, которая может быть рассмотрена в отдельном исследовании для получения рекомендаций по проектированию кирпичной облицовки [35], не входит в рассмотрение данного исследования.

После выполнения расчета в программном комплексе ANSYS необходимо выполнить предварительный анализ распределения напряжений в кирпичной кладке для определения наиболее опасных точек, в которых в дальнейшем будет отслеживаться динамика изменения напряжений при варьировании различных параметров. В качестве изменяемых параметров были приняты жесткость гибких связей, а также величина свеса кирпичной кладки (рисунок 6). Жесткость гибких связей варьировалась от 0 до  $1,57 \text{ кНм}^2$ , величина свеса – от 0 до 60 мм).

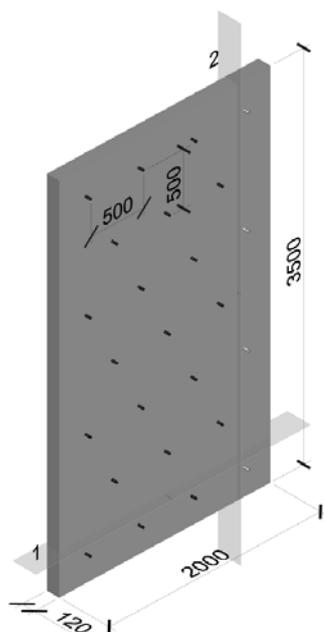


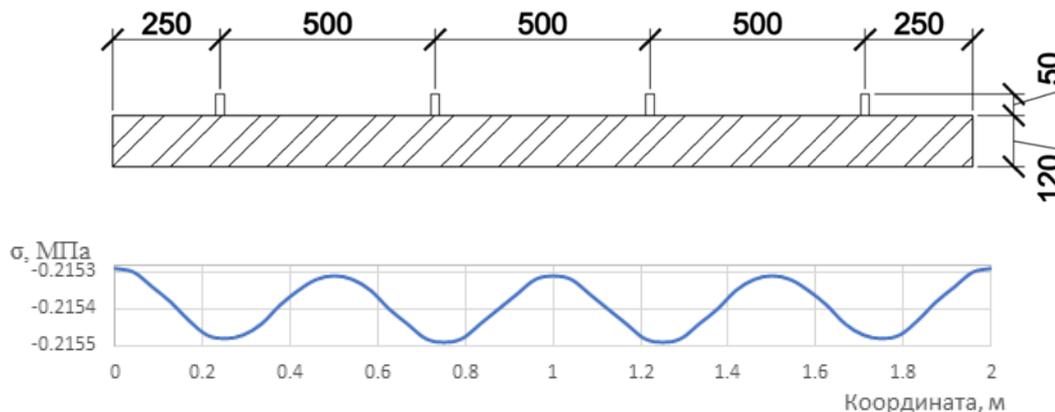
Рис. 5 Модель кирпичной кладки в программном комплексе ANSYS



Рис. 6 Изменение величины свеса

### 3. Результаты и обсуждение

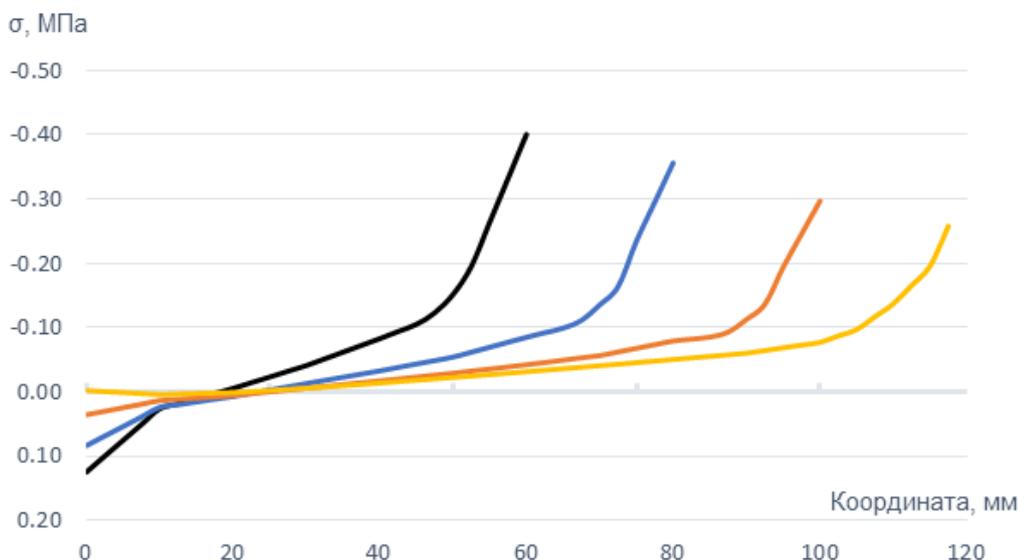
После выполнения расчета был проведен анализ распределения контактных нормальных напряжений на участках примыкания облицовочного слоя к плите перекрытия. Как видно из графика (рисунок 7), наибольшие нормальные напряжения возникают между гибкими связями, что связано с их работой на изгиб. Поэтому наиболее опасными являются точки, расположенные в области контакта кирпичной кладки с плитами перекрытия и наиболее удаленные от гибких связей.



**Рис. 7** Максимальные напряжения облицовочного слоя на плоскости опирания

Для дальнейшего исследования взаимодействия гибких связей, плиты перекрытия и кирпичной кладки производилось вычисление нормальных напряжений в опасных точках и их распределение по толщине лицевого слоя.

На рисунке 8 представлено полученное по итогам расчета в программном комплексе ANSYS распределение нормальных напряжений, возникающих по контакту кирпичной кладки с плитами перекрытий, при воздействии положительных температур.



**Рис.8.** Распределение нормальных сжимающих напряжений по ширине кирпичной кладки

Характер полученных зависимостей совпадает с результатами подобных исследований [29]. Несмотря на то, что величина сжимающих напряжений не превосходит величины расчетного сопротивления кирпичной кладки сжатию (для исследуемой кладки  $R_{сж} = 2.2$  МПа), и разрушения не произойдет, неоспоримый вклад температурного воздействия присутствует. Кроме того, практика показывает, что перепад температур между внутренней и внешней сторонами лицевого слоя из кирпичной кладки может значительно превышать величину в  $10^{\circ}\text{C}$  [30] и может достигать до  $25^{\circ}\text{C}$ .

Это происходит за счет нагревания поверхности стены от действия солнечной радиации, при этом немаловажную роль играет цвет кирпича. Более того, совместное действие разницы температур с

другими видами нагрузок (ветровая нагрузка, осадки частей каркаса здания) может привести к появлению сжимающих напряжений, величина которых будет превышать допустимую. Влияние температурного перепада  $\Delta t = -10^\circ\text{C}$  вызывает возникновение нормальных растягивающих напряжений и не может привести к компрессионному разрушению кирпичей в области сопряжения лицевого слоя с плитами перекрытия. Однако этих напряжений достаточно для того, чтобы произошло раскрытие растворного шва, так как предельное значение растягивающих напряжений под углом  $90^\circ$  к нему по результатам исследований [16] не превышает 0,5 МПа. При этом расчетное значение сопротивления осевому растяжению при расчете сечений кладки, проходящих по горизонтальному растворному шву, по СП 15.13330.2012 принимается равным 0,08 МПа. Циклическое чередование отрицательного и положительного перепада температур приводит к увеличению ширины образующихся трещин, а попадание внутрь нее влаги еще больше усугубляет ситуацию.

Как показывают расчеты, наибольшие нормальные сжимающие напряжения возникают на границе плиты перекрытия, кроме того, при уменьшении величины свеса кирпичной кладки их величина снижается (рисунок 9). При сокращении величины свеса облицовочного слоя эксцентриситет опорных реакций уменьшается, следовательно, уменьшаются и изгибные деформации. Это приводит к тому, что контактные напряжения снижаются.

На рисунке 9 показаны полученные зависимости максимальных сжимающих напряжений от величины свеса лицевого слоя из кирпичной кладки. Стоит отметить, что при всех рассмотренных жесткостях гибких связей величины контактных сжимающих напряжений стремятся к одному общему значению. Из этого следует, что чем больше жесткость гибких связей, тем меньше влияния оказывает площадь контакта с плитой перекрытия на НДС кирпичной кладки.

Анализируя графики (см. рис. 9), можно заключить, что увеличение площади контакта лицевого слоя с плитами перекрытия позволяет снизить величину нормальных напряжений. Однако при больших значениях жесткости этого не происходит и максимальные значения сжимающих напряжений практически не меняются и график зависимости близок к горизонтальному. Объяснить это явление можно тем, что под влиянием гибких связей большой жесткости изгибные деформации кладки становятся очень малы. Таким образом, величина максимальных контактных напряжений в большей степени зависит от температурного расширения в вертикальном направлении.

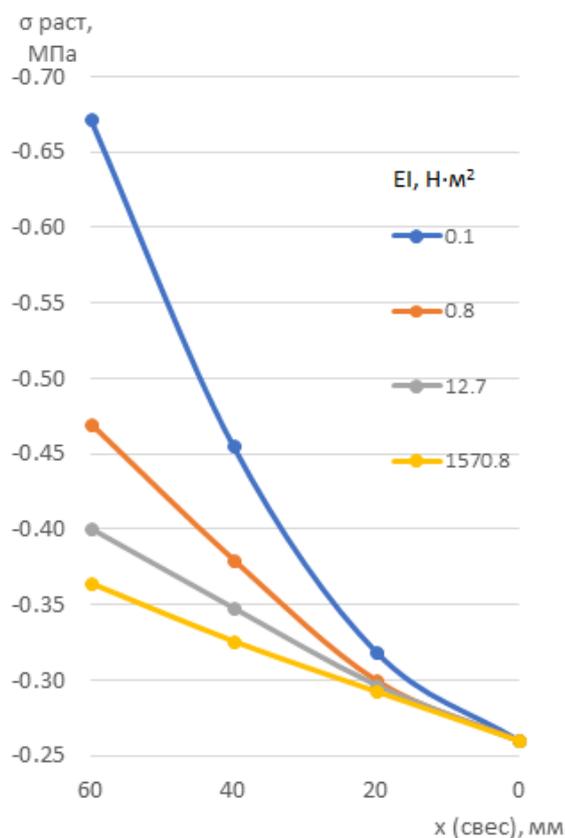


Рис. 9. Зависимость максимальных сжимающих напряжений от свеса облицовочного слоя при  $t = +10^\circ\text{C}$

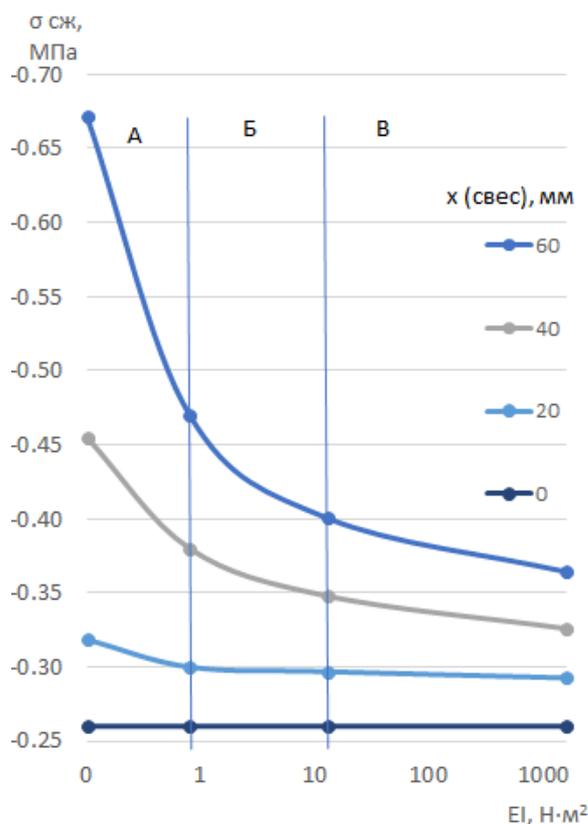


Рис. 10. Изменение максимальных сжимающих напряжений в зависимости от жесткости гибких связей при  $t = +10^\circ\text{C}$

Стоит также оценить вклад совместной работы гибких связей и лицевого слоя. В ходе проведенной исследовательской работы вычислялись максимальные контактные сжимающие напряжения при различных значениях жесткости гибких связей, расстановка которых оставалась постоянной. Полученные результаты представлены в виде графиков на рисунке 10.

Характер зависимости, определяющей влияние жесткости гибкой связи на максимальные контактные сжимающие напряжения, аналогичен для всех площадей опирания лицевого слоя. Всю область построения графиков можно разделить на 3 части: область условно малых жесткостей (А), область средних жесткостей (Б) и область больших жесткостей (В). До некоторого значения жесткости (в области А) работа гибких связей незначительно сказывается на НДС лицевого слоя, при увеличении жесткости наблюдается резкий спад величины напряжений в области контакта лицевого слоя с плитой перекрытия. Однако при некотором значении жесткости гибкой связи интенсивность снижения напряжений за счет совместной работы гибких связей с кирпичной кладкой падает (область Б) и при дальнейшем увеличении жесткости величина сжимающих напряжений практически не меняется (область В). Стоит отметить, что зависимости для различных площадей опирания лицевого слоя с увеличением жесткости гибких связей стремятся к одному общему значению.

На рисунках 10 также видно, что при величине свеса облицовочного слоя менее 20 мм (график для  $x = 20$  мм) изменение максимальных и минимальных напряжений при увеличении жесткости гибких связей становится незначительным. Это говорит о том, что при малых значениях свеса кирпичной кладки вклад работы гибких связей на снижение напряжений, возникающих в зоне сопряжения стены с плитой перекрытия, незначителен, и жесткость гибких связей следует определять исходя из их влияния на напряжения, возникающие в других опасных точках кирпичной кладки.

## 4. Заключение

В результате анализа полученных данных можно сделать следующие выводы:

1. Существует некоторое оптимальное значение жесткости, и применение гибких связей большей жесткости не имеет смысла, так как это не вносит значительного вклада в снижение величины возникающих напряжений. Кроме того, увеличивается стоимость установки более жестких связей, что делает их применение экономически неэффективным.
2. При сокращении величины свеса облицовочного слоя эксцентриситет опорных реакций уменьшается. Это означает, что при отсутствии свеса величина контактных напряжений принимает минимальные значения. Однако при выполнении кирпичного облицовочного слоя с полным опиранием на плиту перекрытия она будет поддаваться температурному воздействию, а также влиянию атмосферных осадков. Это приведет к разрушению бетона, уменьшению защитного слоя и, как следствие, коррозии арматуры. Следовательно, наличие свеса лицевого слоя из кирпичной кладки предпочтительнее, и его защемление между плитами перекрытия от температурного воздействия все же будет происходить. Решением данной проблемы может стать устройство в кирпичной кладке горизонтальных деформационных швов.
3. Недостатком современных нормативных документов является отсутствие методик расчетов кирпичных кладок, находящихся в сложном напряженно-деформированном состоянии, а также проектирования деформационных швов. Кроме того, требуется находить новые лабораторные методы испытаний кирпичных кладок для определения критериев прочности, так как на данный момент численные значения этих параметров отсутствуют.

Проведенные исследования в очередной раз показали острую необходимость более глубокого изучения многослойных стеновых конструкций, в частности, облицовки несущих и самонесущих стен кирпичной кладкой.

### Литература

- [1]. Ананьев А.А., Лобов О.И. Керамический кирпич и его место в современном строительстве // Промышленное и гражданское строительство. 2014. №10. С.62-64.
- [2]. Гроздов В.Т. О некоторых ошибках проектирования железобетонных и каменных конструкций и технического обследования зданий и сооружений. – СПб., 2006.
- [3]. 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.
- [4]. Деркач В.Н., Орлович Р.Б. Вопросы качества и долговечности облицовки слоистых каменных стен // Инженерно-строительный журнал. 2011. №2(20). С. 42-47.

### References

- [1]. Ananyev A.I., Lobov O.I. Keramicheskiy kirpich i yego mesto v sovremennom stroitelstve [Ceramic brick and its place in the construction of modern buildings]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2014. No. 10. Pp. 62-64. (rus)
- [2]. Grozdov V.T. O nekotorykh oshibkakh proyektirovaniya zhelezobetonnykh i kamennykh konstruksiy i tekhnicheskogo obsledovaniya zdaniy i sooruzheniy [Design mistakes of reinforced concrete structures and masonry and technical survey of buildings and structures]. St.Petersburg, 2006. 48 p. (rus)
- [3]. Grozdov V.T. O nedostatkakh sushchestvuyushchikh proyektnykh resheniy naruzhnykh navesnykh sten v mnogoetazhnykh monolitnykh zhelezobetonnykh zdaniyakh [Shortcomings of external curtain wall design solutions in case of multi-storey monolithic reinforced concrete buildings]. Trudy VITU «Defekty zdaniy i sooruzheniy», 2006.

- [5]. APG Martins, G Vasconcelos, A.C. Costa. Experimental study on the mechanical performance of steel ties for brick masonry veneers. Brick and block masonry: trends, innovations and challenges: // Proceedings of the 16th International Brick and Block Masonry Conference 2016. Pp. 1723-1731.
- [6]. Орлович Р.Б., Зимин С.С., Начкина П.А., Трусова А.А. Ремонт кирпичного лицевого слоя в современных каркасно-монолитных домах // Строительство уникальных зданий и сооружений 2014. №8(23). С. 136-153.
- [7]. Павлова М.О., Захаров В.А., Павленко М.Н. Инновационные методы усиления энергоэффективных наружных стен с облицовкой из керамического кирпича // Труды II Всероссийской научно-технической конференции (Строительная теплофизика и энергоэффективное проектирование ограждающих конструкций): СПб. 2009. С.106-111.
- [8]. Зимин С.С., Романова О.В., Романов Н.П. Причины разрушения кладки наружных стен технического этажа // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 12(27). С. 112-122.
- [9]. C.T. Grimm. Masonry Cracks: A Review of the Literature. Proceedings of the 7th Canadian Masonry Symposium. 1995. Pp. 618-629.
- [10]. Перехоженцев А.Г., Груздо И.Ю. Влияние климатических воздействий на температурно-влажностное состояние поверхностных слоев многослойных наружных ограждающих конструкций зданий // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 4(46). С. 143-149.
- [11]. Федотов С.Д., Улыбин А.В. Сборник трудов конференции Опыт обследования и специфика усиления кирпичных фасадов современных многоэтажных зданий // Материалы VII международной научно-практической конференции: Изд-во ФГАОУ ВО СПбПУ Петра Великого. 2017. С. 284-295.
- [12]. Орлович Р.Б., Деркач В.Н., Зимин С.С. Повреждение каменного лицевого слоя в зоне сопряжения с железобетонными перекрытиями // Инженерно-строительный журнал. 2015. №8(60). С.30-37.
- [13]. 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.
- [14]. 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.
- [15]. Деркач В.Н., Белов В.В. Прочность каменной кладки на растяжение под углом к горизонтальным растворным швам. Вестник гражданских инженеров. 2012. №2. С. 65-70.
- [16]. Деркач В.Н. Прочность каменной кладки при осевом растяжении // Вестник гражданских инженеров. 2012. № 5(34). С.58-6.
- [17]. M. Corradia, A. Borria, A. Vignolib. Experimental study on the determination of strength of masonry walls. Construction and Building Materials.2003. Vol.17(5). PP. 325–337.
- [18]. M.C. Griffith, N.T.K. Lam, J.L. Wilson, K. Doherty. Experimental investigation of unreinforced brick masonry walls in flexure. Journal of Structural Engineering. 2004. Vol. 130, No. 3, pp. 423-432.
- [19]. A.W.Page. The biaxial compressive strength of brick masonry. Proceedings of the Institution of Civil Engineers. 1981. Vol.71. pp. 893-906.
- [20]. Hemant B. Kaushik, Durgesh C. Rai, Sudhir K. Jain. Stress-Strain Characteristics of Clay Brick Masonry under Uniaxial Compression. Journal of Materials in Civil engineering. 2007. No 19 (9). Pp. 728-738.
- [21]. Беспалов В.В., Зимин С.С. Прочность каменной кладки Pp. 15-21. (rus)
- [4]. Derkach V.N., Orlovich R.B. Voprosy kachestva i dolgovechnosti oblitsovki sloistykh kamennykh sten [About the quality and longevity of facing of laminose stone walls]. Magazine of civil engineering. 2011. No. 2(20). Pp. 42-47. (rus)
- [5]. APG Martins, G Vasconcelos, A.C. Costa. Experimental study on the mechanical performance of steel ties for brick masonry veneers. Proceedings of 16. Brick and block masonry: trends, innovations and challenges. International Brick and Block Masonry Conference. Padova, 2016. Pp. 1723-1731.
- [6]. Orlovich R.B., Zimin S.S., Nachkina P.A., Trusova A.A. Remont kirpichnogo litseвого sloya v sovremennykh karkasno-monolitnykh domakh [Repair of brick surface layer in modern solid-frame houses]. Construction of Unique Buildings and Structures. 2014. No. 8(23). Pp. 136-153. (rus)
- [7]. Pavlova M.O., Zakharov V.A., Pavlenko M.N. Innovatsionnyye metody usileniya energoeffektivnykh naruzhnykh sten s oblitsovkoj iz keramicheskogo kirpicha [Innovative methods of structural reinforcement of energy-efficient external walls with brick lining]. Trudy II Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii (Stroitel'naya teplofizika i energoeffektivnoye proyektirovaniye ograzhdayushchikh konstruksiy): St.Petersburg. 2009. Pp.106-111. (rus)
- [8]. Zimin S.S., Romanova O.V., Romanov N.P. Prichiny destruktssii kladki naruzhnykh sten tekhnicheskogo etazha [Reasons of destruction brickwork of exterior walls technical floor]. Construction of Unique Buildings and Structures. 2014. No. 12(27). Pp. 112-122. (rus)
- [9]. C.T. Grimm. Masonry Cracks: A Review of the Literature. Proceedings of 7. Canadian Masonry Symposium, 1995. Pp. 618-629.
- [10]. Perehzhentsev A.G., Gruzdo I.U. Vliyaniye klimaticheskikh vozdeystviy na temperaturno-vlazhnostnoye sostoyaniye poverkhnostnykh sloev mnogoslonykh naruzhnykh ograzhdayushchikh konstruksiy zdaniy [Influence of climate impacts on temperature and humidity state of the surface layers of the multilayer external walling buildings]. International Research Journal. 2016. No. 4(46). Pp. 143-149. (rus)
- [11]. Fedotov S.D., Ulybin A.V. Sbornik trudov konferentsii Opyt obsledovaniya i spetsifika usileniya kirpichnykh fasadov sovremennykh mnogoetazhnykh zdaniy [Research experience and specific strengthening of brick facades of modern multi-storey buildings]. Materialy VII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: Izd-vo FGAOU VO SPbPU Petra Velikogo. 2017. Pp. 284-295. (rus)
- [12]. Orlovich R.B., Derkach V.N., Zimin S.S. Povrezhdenie kamennogo litseвого sloya v zone sopryazheniya s zhelezobetonnyimi perekrytiyami [The damage of a stone facing layer at the junction with reinforced concrete floors]. Magazine of Civil Engineering. 2015. No. 8. Pp. 30–37 (rus)
- [13]. Orlovich R.B., Gorshkov A.S., Zimin S.S. Primeneniye kamney s vysokoy pustotnostyu v oblitsovochnom sloye mnogoslonykh sten [Application of stones of high voidage in the facing layer of the multilayer walls]. Magazine of Civil Engineering. 2013. No. 8(43). Pp. 14–23. (rus)
- [14]. Serikkhaliyev S.B., Zimin S.S., Orlovich R.B. Defekty zashchitno-dekorativnoy kirpichnoy oblitsovki fasadov karkasnykh zdaniy [The defects of protective facing masonry of frame buildings]. Construction of Unique Buildings and Structures 2014. No. 5(20). Pp. 28-38. (rus)
- [15]. Derkach V.N., Belov V.V. Prochnost kamennoy kladki na rastyazheniye pod uglom k horizontalnym rastvornym shvam [Tensile strength of the masonry at tensioning at an angle to horizontal mortar joints]. Bulletin of Civil Engineers. 2012. No. 2. Pp.65-70. (rus)
- [16]. Derkach V.N. Prochnost kamennoy kladki pri osevom rastyazhenii [Axial tensile strength of masonry]. Bulletin of Civil Engineers. 2012. No. 5 (34). Pp.58-6. (rus)
- [17]. M. Corradia, A. Borria, A. Vignolib. Experimental study on the determination of strength of masonry walls. Construction and Building Materials.2003. Vol. 17(5). Pp. 325–337.
- [18]. M.C. Griffith, N.T.K. Lam, J.L. Wilson, K. Doherty. Experimental investigation of unreinforced brick masonry walls in flexure. Journal of Structural Engineering. 2004. Vol. 130. No. 3. Pp. 423-432.
- [19]. A.W.Page. The biaxial compressive strength of brick masonry. Proceedings of the Institution of Civil Engineers. 1981. Vol. 71. Pp. 893-906.

- сводчатых конструкций // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. №11(50). С.37-51.
- [22]. G. Kanellopoulos, V.G. Koutsomarkos, K.J. Kontoleon, K. Georgiadis-Filik. Numerical Analysis and Modelling of Heat Transfer Processes through Perforated Clay Brick Masonry Walls. *Procedia Environmental Sciences*. 2017. No 38, Pp. 492-499.
- [23]. Li Yan, Wang Tonghui, Nie Hui. The Simple Simulation Study of Temperature Cracks in Masonry Structure Wall. *Intelligent Systems Design and Engineering Applications (ISDEA), Sixth International Conference*. 2015.
- [24]. P. Fajman, J. Máca, P. Beran. Influence of temperature changes on the Vladislav Hall vault. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*. 2010. Vol. 7, No. 2 (158). Pp. 219–225.
- [25]. Ищук М.К. Требования к многослойным стенам с гибкими связями // Жилищное строительство. 2008. №5. С. 15-19.
- [26]. 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.
- [27]. APG Martins, G Vasconcelos, A.C. Costa. Experimental assessment of the mechanical behaviour of ties on brick veneers anchored to brick masonry infills. *Construction and Building Materials*. 2017. No 156. Pp. 515-531.
- [28]. СП 15.13330.2012 Каменные и армокаменные конструкции.
- [29]. Орлович Р.Б., Деркач В.Н. Сопряжение лицевого слоя сплошных каменных стен с плитами перекрытий // Промышленное и гражданское строительство. 2011. № 11. С. 60-63.
- [30]. СТО 3655450. 1013-2008. Методы расчета лицевого слоя из кирпичной кладки наружных облегченных стен с учетом температурно-влажностных воздействий.
- [31]. Кнатько М.В., Горшков А.С., Рымкевич П.П. Лабораторные и натурные исследования долговечности (эксплуатационного срока службы) стеновой конструкции из автоклавного газобетона с облицовочным слоем из силикатного кирпича// Инженерно – строительный журнал. 2009. № 8. С. 20-26.
- [32]. Лобов О.И., Ананьев А.И. Долговечность наружных стен современных многоэтажных зданий // Жилищное строительство. 2008. №8. С. 48-52.
- [33]. Ватин Н.И., Корниенко С.В. Кирпич и камни с высокой пустотностью в облицовочной кладке наружных стен (в порядке научной дискуссии) // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. № 1 (52). С. 86-92
- [34]. Горшков А.С. Оценка долговечности стеновой конструкции на основании лабораторных и натуральных испытаний // Строительные материалы. 2009. № 8. С.12-17
- [35]. Деркач В.Н. Соппротивление ветровым воздействиям поэтажно опертых многослойных стен с облицовочным слоем // Инженерно-строительный журнал. 2015. № 8(60). С.38-43
- [20]. Hemant B. Kaushik, Durgesh C. Rai, Sudhir K. Jain. Stress-Strain Characteristics of Clay Brick Masonry under Uniaxial Compression. *Journal of Materials in Civil engineering*. 2007. No. 19 (9). Pp. 728-738.
- [21]. Bespalov V.V., Zimin S.S. Prochnost kamennoy kladki svodchatykh konstruksiy [The strength of masonry vaulted structures]. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2016. No. 11(50). Pp. 37-51. (rus)
- [22]. G. Kanellopoulos, V.G. Koutsomarkos, K.J. Kontoleon, K. Georgiadis-Filik. Numerical Analysis and Modelling of Heat Transfer Processes through Perforated Clay Brick Masonry Walls. *Procedia Environmental Sciences*. 2017. No. 38, Pp. 492-499.
- [23]. Li Yan, Wang Tonghui, Nie Hui. The Simple Simulation Study of Temperature Cracks in Masonry Structure Wall. *Intelligent Systems Design and Engineering Applications (ISDEA), Sixth International Conference*. 2015.
- [24]. P. Fajman, J. Máca, P. Beran. Influence of temperature changes on the Vladislav Hall vault. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*. 2010. Vol. 7, No. 2 (158). Pp. 219–225.
- [25]. Ishchuk M.K. Trebovaniya k mnogoslonym stenam s gibkimi svyazyami [Requirements for multilayer walls with ties]. *Zhilishchnoye stroitelstvo*. 2008. No. 5. Pp. 15-19. (rus)
- [26]. Orlovich R.B., Rubtsov N.M., Zimin S.S. O rabote ankerov v mnogoslonykh ograzhdayushchikh konstruksiyakh s naruzhnym kirpichnym sloyem [Towards the anchor's behavior in multilayer building envelope with face brick layer]. *Magazine of Civil Engineering*. 2013. № 1(36). Pp. 3-11. (rus)
- [27]. APG Martins, G Vasconcelos, A.C. Costa. Experimental assessment of the mechanical behavior of ties on brick veneers anchored to brick masonry infills. *Construction and Building Materials*. 2017. No. 156. Pp. 515-531.
- [28]. Set of Rules SP 15.13330.2012 Kamennyye i armokamennyye konstruksii [Rock and reinforced masonry structures].
- [29]. Orlovich R.B., Derkach V.N. Sopryazheniye litsevoogo sloya sploshnykh kamennykh sten s plitami perekrytiy [Conjunction of a face layer of solid stone walls with floor slabs]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2011. No. 11. Pp. 60-63. (rus)
- [30]. Organization Standard STO 3655450. 1013-2008. Metody rascheta litsevoogo sloya iz kirpichnoy kladki naruzhnykh oblegchennykh sten s uchetom temperaturno-vlazhnostnykh vozdeystviy [Calculation methods of masonry facing layer with provision for temperature and humidity actions]. (rus)
- [31]. Knatko M.V., Gorshkov A.S., Rymkevich P.P. Laboratornyye i naturnyye issledovaniya dolgovechnosti (ekspluatatsionnogo sroka sluzhby) stenovoy konstruksii iz avtoklavnoogo gazobetona s oblitsovochnym sloyem iz silikatnoogo kirpicha [Laboratory research of autoclave construction (with brick lining) durability]. *Magazine of Civil Engineering*. 2009. No. 8. Pp. 20-26. (rus)
- [32]. Lobov O.I., Ananyev A.I. Dolgovechnost naruzhnykh sten sovremennykh mnogoetazhnykh zdaniy [External walls durability in modern multistorey buildings]. *Zhilishchnoye stroitelstvo*. 2008. No. 8. Pp. 48-52. (rus)
- [33]. Vatin N.I., Kornienko S.V. Masonry units with high percentage of holes in a facing laying of external walls (as a scientific discussion). *Construction of Unique Buildings and Structures*, 2017, 1 (52), Pp. 86-92. (rus)
- [34]. Gorshkov A.S. Otsenka dolgovechnosti stenovoy konstruksii na osnovanii laboratornykh i naturnykh ispytaniy [Durability evaluation of walls in virtue of laboratory experiments]. *Stroitelnyye materialy*. 2009. No. 8. Pp.12-17. (rus)
- [35]. Derkach V.N. Soprotivlenie vetrovym vozdeystviyam poetazhno opertykh mnogoslonykh sten s oblitsovochnym sloem [Wind load resistance of multilayer walls supported floor-by-floor with a facing layer]. *Magazine of Civil Engineering*. 2015. No. 8. Pp. 38–43. (rus)

**Контактная информация**

- 1.\* +7(921)3477701, zimin\_serger@mail.ru (Зимин Сергей Сергеевич, старший преподаватель)
2. +7(962)6928695, sudar2307@mail.ru (Сударь Алексей Юрьевич, студент)
3. +7(921)0988072, vaska96@yandex.ru (Васильева Екатерина Игоревна, студент)

**Contact information**

- 1.\* +7(921)3477701, zimin\_serger@mail.ru (Zimin Firstname1, Senior Lecturer)
2. +7(962)6928695, sudar2307@mail.ru (Alexey Sudar, Student)
3. +7(921)0988072, vaska96@yandex.ru (Ekaterina Vasilyeva, Student)