

Усиление кирпичной кладки композитными материалами и винтовыми стержнями

С.А. Старцев¹, А.А. Сундукова²

^{1,2}ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет», 195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29.

¹ООО "БиоспейсСтрой", 191023, Россия, Санкт-Петербург, Караванная, 1, офис 207.

Информация о статье

УДК 691

Научная статья

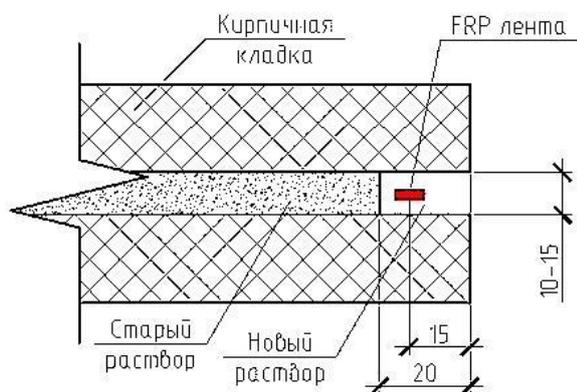
История

Подана в редакцию 20 декабря 2013
Принята 25 мая 2014

Ключевые слова

усиление конструкций,
кирпичная кладка,
композитные материалы,
анкеры,
винтовые стержни.

АННОТАЦИЯ



В статье рассмотрены методы усиления кирпичной кладки с использованием композитных материалов, а также при помощи винтовых стержней из нержавеющей стали. Эти методики в России не получили широкого применения из-за отсутствия нормативной базы, которая бы регламентировала их использование.

Традиционные методы усиления эффективны, но в некоторых случаях неприменимы для использования. Примером может служить усиление несущих конструкций исторических зданий, сохранение внешнего облика которых является определяющим фактором. В этом случае применение обсуждаемых методов может служить оправданной альтернативой.

В статье был проведен анализ существующих методов усиления кирпичной кладки, а также предложен способ расчета данных методов усиления с выводами и рекомендациями на его основе.

Целью работы являлось рассмотрение технологии и анализ достоинств и недостатков каждого из методов, на которые следует опираться при выборе решений по усилению кладки. В заключении подтвердилась необходимость дальнейших испытаний с целью подтверждения теоретических выводов практическими результатами.

Содержание

Введение	18
Обзор литературы	18
Цель работы	19
Описание методов усиления кирпичной кладки	19
Заключение	26

1

Контактный автор:

+7 (911) 134 6034; StartsevSA@biospacestroy.ru (Старцев Сергей Александрович, старший преподаватель, директор ООО "БиоспейсСтрой")

2

+7 (904) 638 4612, asun91@mail.ru (Сундукова Арина Анатольевна, магистр)

Введение

Множество построек Санкт-Петербурга выполнено из кирпича. Кирпич как строительный материал сочетает в себе такие качества, как: прочность, долговечность, экологичность, низкую теплопроводность, архитектурную выразительность и многие другие.

Неравномерные осадки грунтов, воздействия атмосферных осадков, перепады температур, недостатки и ошибки проектных решений, несоблюдение технологических и эксплуатационных нормативов и регламентов – все это ускоряет процесс разрушения кладки. Своевременный ремонт и усиление несущих конструкций здания поддерживают его в рабочем состоянии [13]. Вопрос обеспечения долговечности кирпичной кладки всегда являлся актуальным.

При реконструкции исторических зданий и сооружений возникает необходимость усиления и сопряжения отдельных элементов конструкции или всего здания в целом. Необходимость таких действий устанавливается по результатам обследования и поверочных расчетов. Ключевым моментом проведения подобных работ является сохранение архитектурной выразительности [2].

Характерным показателем поврежденной кладки являются трещины. Согласно статистике [1, 12] основными причинами возникновения трещин являются неравномерные осадки грунтов, перегрузки конструкций, температурно-влажностные деформации и др. На рисунках 1а-1г, из каталога английского производителя винтовых стержней HELIFIX, представлены примеры трещин, возникающих в кирпичной кладке.

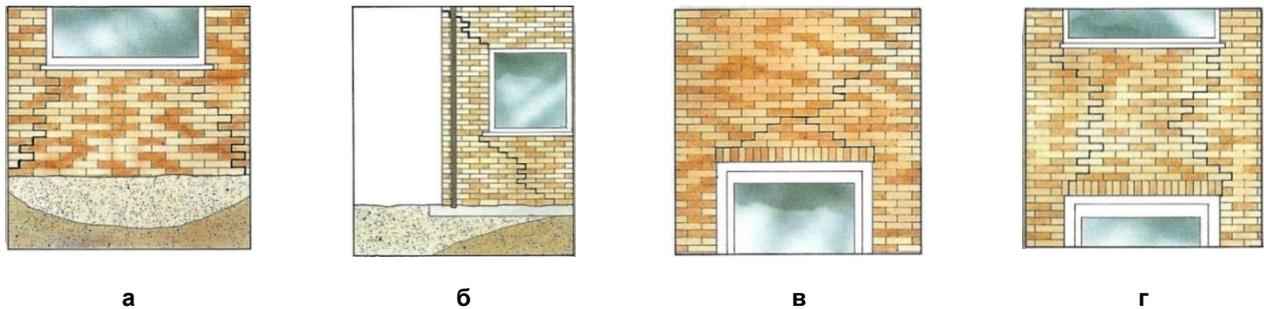


Рисунок 1. Трещины, возникающие в кирпичной кладке (а, б – от неравномерного оседания грунта; в – растрескивание в зоне перемычки; г – растрескивание кирпичной кладки от перегрузки простенка)

Обзор литературы

Усиление строительных конструкций всегда являлось актуальным вопросом. Изучению дефектов зданий и их устранению посвящены работы таких авторов, как Физдель А.И., Гроздов В.Т., Бойко М.Д., Мураховский А.И., Величкин В.З. и др. Вопросы прочности и деформативности каменных конструкций рассмотрены в исследованиях Онищика Л.И., Гастева В.А., Полякова С.В., Кравчени Н.И., Емельянова А.А., Пицкля Л.Н., Гениева Г.А., Воронова А.Н., Улыбина А.В. [2, 3, 6, 8, 28].

Многочисленные испытания и заключения о прочностных характеристиках кирпичной кладки были проведены в ЦНИИСК им. Кучеренко [4, 5].

В нормативных документах, таких как СНиП II-22-81 «Проектирование каменных и армокаменных конструкций», и «Пособие к СНиП II-22-81» не содержится рекомендаций по выбору метода усиления. Нормативные методики расчета композитных материалов и анкеров так же отсутствуют [3, 20-22]. В европейском стандарте EUROCOD 6 (Каменные конструкции) содержится метод расчета по винтовым стержням. Эти данные можно применить для расчета и разработки методики по усилению винтовыми стержнями [20-22].

Отсутствие нормативной базы и методов расчета в области усиления кирпичной кладки композитными материалами ставит перед инженерами сложную задачу по оценке надежности применяемых решений. При написании данной статьи были изучены работы [14, 17-24] итальянских, испанских и польских исследователей по испытаниям композитных материалов. При исследовании работы винтовых стержней в качестве усиливающих элементов кладки были использованы работы [15-18] в основном немецких и польских исследователей.

Цель работы

Целью работы является технико-экономический анализ усиления кирпичной кладки композитными материалами и винтовыми стержнями строительных конструкций исторических зданий и сооружений, а также описание общей технологии с анализом достоинств, недостатков и эффективности каждого из методов, которые послужат рекомендациями при выборе работ для усиления кирпичной кладки.

Для достижения указанной цели были поставлены и решены следующие задачи:

1. проведён анализ современных зарубежных методов усиления кирпичной кладки композитными материалами и анкерами;
2. выявлены достоинства и недостатки рассматриваемых методов усиления;
3. разработан принцип методики численного расчета;
4. дано сравнение эффективности рассматриваемых методов усиления.

Описание методов усиления кирпичной кладки

В отечественной практике выделяют следующие традиционные методы усиления кирпичной кладки [6]:

- применение стальных обойм, хомутов и пр.;
- устройство сердечника;
- инъецирование специальных растворов;
- частичная или полная замена элементов кладки.

Несмотря на эффективность увеличения прочностных характеристик кирпичной кладки традиционными методами, происходит изменение внешней конфигурации усиливаемого объекта. Метод инъецирования раствора пригоден для незначительных повреждений. В случае замены старой кладки новой усиление сопровождается дополнительными трудоемкими работами по устройству разгрузки.

Рассмотрим альтернативные методы усиления каменных конструкций:

1. усиление кирпичной кладки композитными материалами;
2. устройство анкеров с помощью винтовых стержней из нержавеющей стали.

Композитные материалы представляют собой ткани, ленты, холсты. Они состоят из армирующего и связующего компонентов. В Европе система усиления композитами известна под названием FRP (Fiber Reinforced Polymer) – иными словами усиление полимерным волокном.

Подобные полимерные системы (FRP) обладают малым весом, высокой прочностью и коррозионной стойкостью [14]. Сетка из этих материалов для усиления строительных конструкций представлена на рисунке 2.

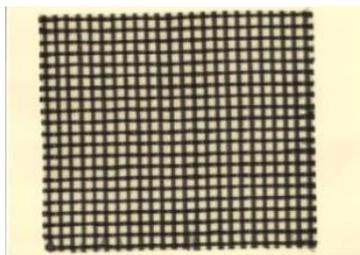


Рисунок 2. Общий вид композитной сетки из углеволокна

В качестве армирующего компонента может выступать неорганические и органические волокна. К неорганическим волокнам относятся углеволокно, стекловолокно, базальтовое волокно. К органическим волокнам относятся арамидные, льняные и конопляные волокна. На рисунках 3а-3г представлены фотографии образцов композитных материалов итальянской компании FIDIA.



Рисунок 3. Образцы композитных материалов (а – углеволокно; б – стекловолокно; в – арамидволокно; г – базальтовое волокно)

Таблица 1. Сравнение физико-механических характеристик различных волокон и стали

Материал	Модуль Юнга, Е	Предел прочности при растяжении, σ_r	Деформация при разрыве, ε_r	Удельный вес, ρ
	ГПа	МПа	%	гр/см ³
Углеволокно (лента)	240-280	3500	1,6-1,73	1,75
Стекловолокно (лента)	85-90	2500	4,5-5,5	2,46-2,49
Арамид (лента)	120	3200	1,0-2,5	1,44
Сетка из углеволокна 5x5	230	3500	1,5-1,8	1,8
Сетка из стекловолокна 5x5	70	2800	1,0-3,0	3,0-3,5
Сетка базальтовая 5x5	87	4000	2,0-6,0	2,8-3,2
Сталь	206	250-400 (текучесть) 350-600 (разрыв)	20-30	7,8

*Прим. Данные представлены из различных каталогов производителей данной продукции.

Как видно из таблицы, предел прочности при растяжении у FRP материалов примерно в 6-10 раз больше, чем у стали. Этот показатель является определяющим при работе материала на растяжение.

Технология усиления конструкций композитными волокнами заключается в наклейке с помощью специального эпоксидного клея или клея на основе микроцемента на поверхность конструкций высокопрочных холстов. Усиление выполняется по подготовленной поверхности кладки, с пропиткой и грунтовкой поверхностного слоя. Возможно усиление как изгибаемых конструкций в растянутых зонах и на приопорных участках в зоне действия поперечных сил, так и сжатых и внецентренно сжатых элементов [7].

Как уже отмечалось ранее, методика расчета усиления композитными материалами отсутствует, поэтому в дальнейшем будут описаны основы, на которые опирается численный расчет в этой статье.

В ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко была проведена серия испытаний кирпичных колонн на сжатие, усиленных бандажами из углеродных холстов. В ходе испытаний было установлено, что несущая способность колонн может быть увеличена почти в 2 раза по сравнению с эталоном [23]. Образцы испытывали на сжатие и изгиб. Результаты испытаний показали, что прочность кладки при сжатии увеличивается с применением углеволокна примерно в 2-2,4 раза (в зависимости от схемы армирования на образце) [4, 5, 23]. Схемы армирования были различными, представлены на рисунке 4.

Максимальную эффективность показали образцы, полностью покрытые сетками. Согласно испытаниям [23] относительная прочность увеличилась в 2,6 раза. Однако с данной конфигурацией усиления связан ряд нерешенных вопросов. Усилив конструкцию подобным образом, исключается паропроницаемость кирпичной кладки. Кроме того, разрушение кладки приобретает внезапный характер, поскольку исключается возможность контроля над образованием трещин.

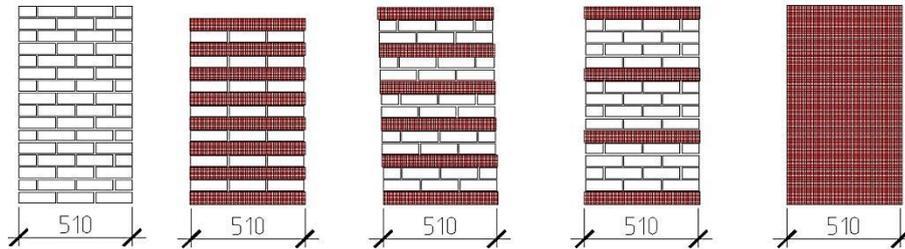


Рисунок 4. Схемы армирования композитными сетками при испытании образцов на сжатие

На рисунке 5а и 5б красными стрелками показаны растягивающие усилия вследствие неравномерной осадки грунта, которые перпендикулярны друг к другу. Равнодействующая этих сил показана синими стрелками. В результате из рисунка 5а и 5б видно, что растягивающие напряжения проходят под углом 45° главным растягивающим усилиям. Трещины образуются перпендикулярно растягивающим напряжениям в виде синих стрелок и могут проходить как по камню, раствору, так и по обоим материалам составляющих кладку. На рисунке 5в изображено образование трещин, при перегрузке участка стены, растягивающие усилия показаны синими стрелками.

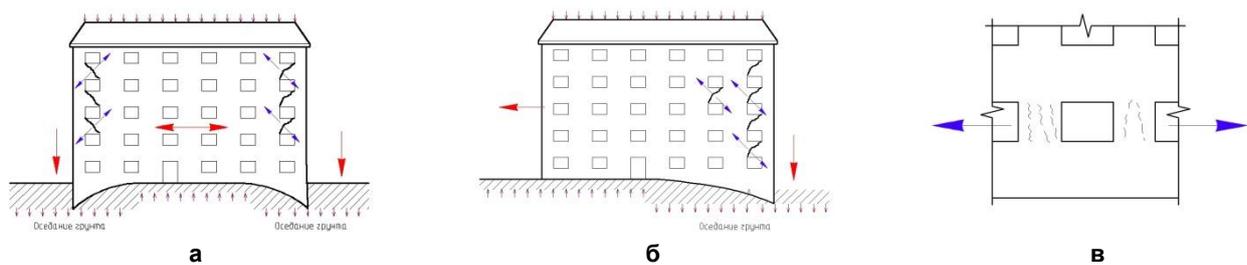


Рисунок 5. Формы разрушения здания и растягивающие усилия

(а – при оседании грунта с одной стороны; б – при оседании с двух сторон; в – от перегрузки участка стены)

Разрушение кирпичной кладки является следствием того, что растягивающие напряжения превышают допустимые значения:

$$\sigma_{\text{раст.}} \geq [\sigma_{\text{раст.}}] \quad (1)$$

Поскольку кладка на растяжение имеет меньшие прочностные характеристики, в отличие от сжатия, усиление кирпичной кладки производится для того, чтобы восполнить недостаток несущей способности на растяжение [8, 27]. Можем сделать вывод, что главный принцип размещения композитных сеток и винтовых стержней заключается в параллельном расположении растягивающим усилиям.

На рисунках 6а-6г показаны примеры расположения лент, сеток и стержней при вертикальных трещинах. На рисунках 7а-7г показаны примеры расположения лент, сеток и стержней при диагональных трещинах. Как видно из рисунков, ленты, сетки и стержни располагается перпендикулярно трещине. Так материал воспринимает на себя те растягивающие напряжения, которые не воспринимает кирпичная кладка.

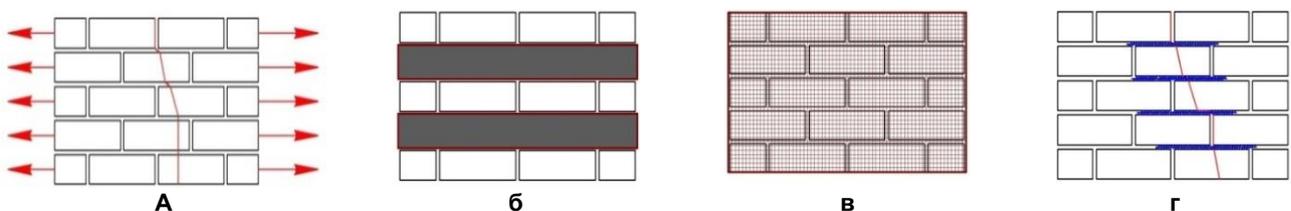


Рисунок 6. Примеры расположения лент, сеток и стержней при вертикальной трещине
(а – вертикальная трещина; б – усиление лентами; в – усиление сетками; г – усиление стержнями)

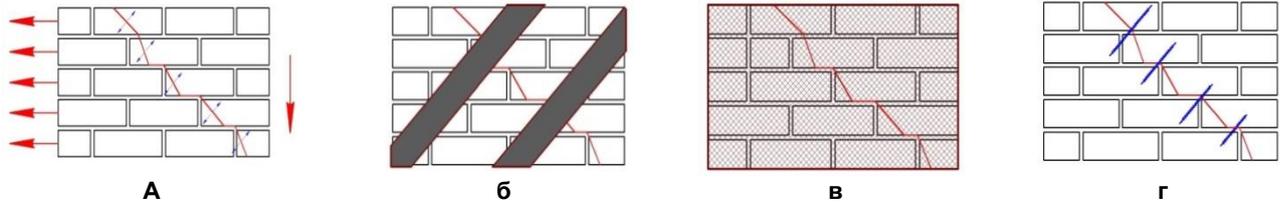


Рисунок 7. Примеры расположения лент, сеток и стержней при различных диагональной трещине (а – диагональная трещина; б – усиление лентами; в – усиление сетками; г – усиление стержнями)

Для изучения эффективности усиления композитными материалами и винтовыми стержнями был выполнен расчет несущей способности кирпичной кладки стены 5-ти этажного здания, в котором производилась надстройка помещения, приводящая к увеличению нагрузок. По результатам расчета было сделано заключение о необходимости увеличения несущей способности простенка на 26%.

Расчет усиления композитными лентами и сетками в данной работе был произведен по аналогии с косвенным армированием, исходя из принципа увеличения расчетного сопротивления кладки прибавлением расчетного сопротивления усиливающего материала:

$$R_{арм} = R + R_{ус} \quad (2)$$

где $R_{арм}$ – прочность армированной кладки, R – расчетное сопротивление кладки, $R_{ус}$ – расчетное сопротивление усиливающего материала (лента или сетка). Расчет $R_{ус}$ производится в соответствии с [20]:

$$R_{ус} = \frac{2 \cdot \mu \cdot R_{угл}}{100} \quad (3)$$

где $\mu = \frac{S_{арм}}{S_{кл}} \times 100$ – коэффициент поверхностного армирования, $R_{угл}$ – расчетное сопротивление усиливающего материала разрыву.

Коэффициент поверхностного армирования был предложен в работе [23], и данные были получены в результате испытаний кирпичных центрально-нагруженных столбов, усиленных лентами.

Результаты расчета показали, что эффективность усиления зависит от вида армирующего компонента композитного материала и значения его предела прочности на разрыв. Усиление лентами было произведено при использовании углеволокна, стекловолокна и арамидволокна. Ленты на основе базальтового волокна не получили широкого применения, вследствие своей высокой прочности, данные по этим материалам отсутствуют.

Усиление сетками производилось при использовании углеволокна, стекловолокна и базальтового волокна. Арамид не получил широкого использования среди сеток из-за анизотропии структуры волокна, которая приводит к образованию петель на сетке.

Анализируя результаты расчета среди лент, отметим самый высокий показатель эффективности усиления у углеволокна. Среди сеток самый высокий показатель эффективности усиления оказался у базальтовых материалов.

Результаты расчета технологической эффективности усиления лентами и сетками представлены на рисунке 8а-8б.



Рисунок 8 (а - сравнение технологической эффективности усиления лентами, б – сетками)

В рассматриваемом примере усиление углеволокном и арамидволокном было произведено через 3 ряда кладки. При усилении стекловолокном, понадобилось армирование через 2 ряда кладки. Однако с точки зрения стоимости, усиление стекловолокном примерно 2 раза дешевле, по данным производителей. Можно сделать вывод, что усиление стекловолокном обойдется дешевле, несмотря на большее количество требуемого материала по сравнению с углеволокном и др.

Анализ расчета усиления сетками показал, что наибольшим значением эффективности обладают базальтовые сетки. Усиление сетками из стекловолокна оказалось менее эффективным, однако обеспечило требуемое усиление в данном случае, и с точки зрения стоимости является самым дешевым материалом среди композитных сеток.

Общая стоимость усиления лентами из углеволокна исследуемого объекта, по данным цен из каталога производителя, составит 60 тыс. руб. Стоимость усиления сетками из углеволокна составит в данном случае 50 тыс. руб.

Исследование данной системы усиления композитными материалами позволяет выделить следующие достоинства:

- высокий показатель прочности на разрыв армирующих компонентов;
- коррозионная стойкость;
- легкость монтажа;
- малый вес материала и как следствие минимальные нагрузки на восстанавливаемые конструкции;
- универсальность применения к любым формам и как следствие сохранение архитектурного облика конструкций [5, 9, 10, 26].

В качестве адгезива для наклейки лент применяется эпоксидный клей или клей на основе микроцемента, что обеспечивает быстрое включение материала усиления в совместную работу с конструкцией. Применение эпоксидного клея требует обеспечения безопасности проведения работ, поскольку его пары опасны для дыхания человека. В таком случае работы должны проводиться в обязательно проветриваемых помещениях и с использованием перчаток и специальной одежды.

Микроцемент с добавлением полимерных смол, в отличие от эпоксидного клея, в качестве адгезива является более эффективным с точки зрения безопасности проведения работ, а также с точки зрения огнестойкости. При усилении сетками, для закрепления их на поверхности усиливаемых конструкций, также используют клеящий раствор на основе цемента [26].

При усилении композитными материалами существует ряд недостатков:

- высокая стоимость материала;
- низкий показатель огнестойкости эпоксидных клеев (начиная от 50°C) [9, 10].

Другим современным и эффективным способом усиления кирпичной кладки при ее растрескивании является применение винтовых стержней из нержавеющей стали (рисунок 9).

Во многих европейских странах такие связи применяются последние 30 лет не только для ремонта кирпичной кладки при растрескивании, но и для связи наружного слоя облицовки с внутренним слоем [17, 18].

Нержавеющая сталь, из которой изготавливаются эти стержни, имеет прочность на разрыв в 2 раза большую, чем прочность арматуры, обычно используемой в железобетонных изделиях. Малые диаметры стержней требуют соответственно малых канавок и отверстий, и поэтому имеют минимальное влияние на прочность конструкции и требуют минимального расхода раствора для заполнения шва [17, 18].



Рисунок 9 – Винтовой стержень

Модуль упругости спиральных стержней составляет $E = 150 \text{ кН/мм}^2$. Стержни выпускаются диаметрами 6, 8, 10 мм [15]. Стержни воспринимают на себя растяжение, влияющее на образование и развитие трещин в кладке. Такая технология усиления кирпичной кладки в Европе имеет название «bed joint reinforcement technique», что переводится как техника усиления горизонтального шва [24].

Анализ работы стержней позволяет сделать вывод о том, что, также как и композитные материалы, они устанавливаются для восприятия растягивающих усилий [15-17]. Таким образом, направления стержней должны совпадать с направлением этих растяжений, которые превышают допустимые значения.

Выделим ряд задач, связанных с расчетом усиления кладки стержнями, а именно:

1. определение несущей способности кладки обследуемых конструкций;
2. выделение «слабых зон» и значений нагрузок, превышающих расчетные напряжения;
3. определение направления их действия;
4. расчет требуемого количества стержней, для восприятия превышающих нагрузок.

Кирпичная кладка является материалом неоднородным и комплексным. В данной работе для расчета конструкции был применен упругий анализ и были использованы условные параметры упругости и прочности камня.

Определение несущей способности не является сложной задачей для инженера. Для выполнения второй и третьей задач в ПК SCAD была построена модель исследуемого объекта, в виде пластины, разбитая на конечные элементы (рисунок 10а). Закрепление расчетной схемы производилось с учетом оседания грунта, который показан на рисунке 10а синим прямоугольником. Нагрузки собственного веса и вышележащих конструкций, приложенные к модели исследования, показаны на рисунке 10б. Вид схемы был принят «балка-стенка». На рисунке 10в представлена расчетная модель с отображением главных напряжений.

Зная расчетное сопротивление кладки растяжению, определили зоны, в которых величина напряжения оказалась больше допустимого значения. На рисунке 11 синим цветом выделена область превышающих напряжений. Недостаток несущей способности кладки в каждом конечном элементе необходимо было восполнить несущей способностью стержней.

Для определения требуемого количества стержней, в каждом КЭ с превышающими напряжениями, была использована формула (3). Коэффициент армирования был определен по формулам СНиП [20], как при усилении поперечными сетками, где $\mu = \frac{V_{арм}}{V_{кл}} \times 100$.

Принятая схема усиления стержнями, полученная в результате расчета, показана на рисунке 11. Стержни на рисунке 11 показаны красным цветом. Общая длина требуемых стержней составила 9 м. Суммарная прочность простенка после усиления составила 1,64 МПа, или 126%. Стоимость усиления в данном случае, по данным цен каталога производителя, составит 40 тыс. руб.

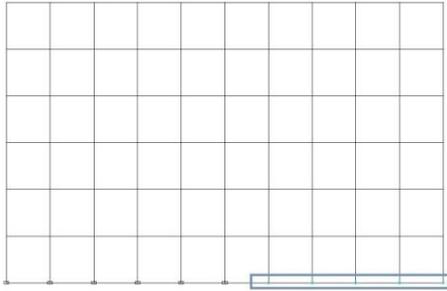


Рисунок 10а. Модель исследуемого объекта

10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1

Рисунок 10б. Приложенные нагрузки

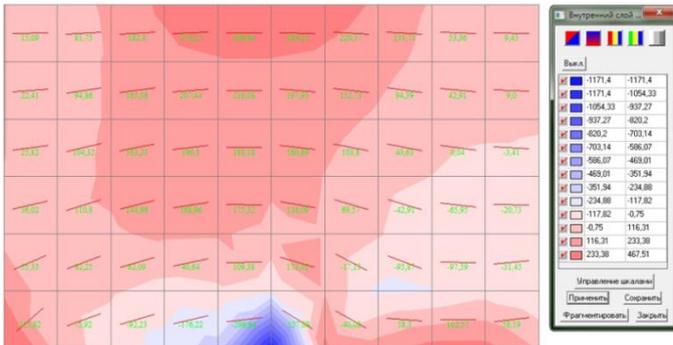


Рисунок 10в. Отображение изополей главных напряжений

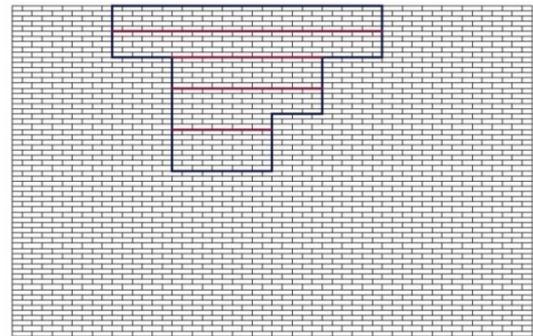


Рисунок 11. Принятая схема усиления стержнями

Технология установки стержней представляет собой следующий процесс: в начале при помощи фрезы для прорезания пазов в кирпичной кладке, создают горизонтальный шов глубиной около 4-6 см. Ширина шва должна быть как минимум 1 см (рисунок 12а). Канавку прочищают сжатым воздухом (рисунок 12б). Затем при помощи пистолетов укладывают вязущий раствор вглубь шва, примерно на 2 см. Укладывают стержень вглубь шва (рисунок 12в). Выполняют финишные работы специальным раствором для закрепления стержня в кладке (рисунок 12г). Инъектирование трещин - рисунок 12д [18]:

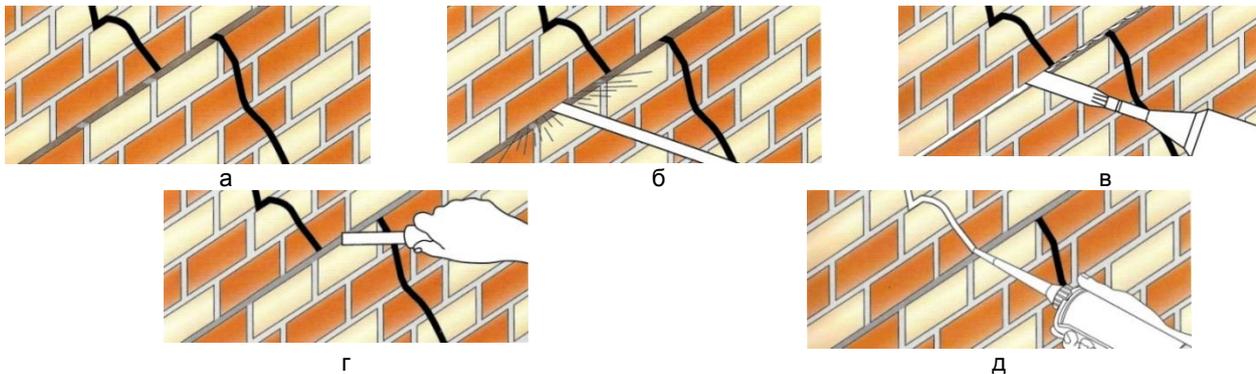


Рисунок 12. Технология установки стержней (а – устройство канавки; б – очистка канавки сжатым воздухом; в – установка стержня; г – заделка шва специальным раствором; д – инъектирование трещин)

Следует отметить, что в случае техники «bed joint reinforcement», вместо стальных стержней (рисунок 13а) применяют композитных волокон (рисунок 13б). Несмотря на высокую прочность, FRP является гибким материалом и его поведение в растворе мало изучено [24].

Достоинствами систем анкерного армирования являются:

- высокие физические, прочностные и упругие характеристики материала;
- легкий вес;
- высокая технологичность, без использования сложного механизированного труда;

- стойкость к коррозии;
- отсутствие необходимости вмешательства изнутри конструкций (при наличии только внешнего повреждения);
- технологическая совместимость с любыми материалами [11, 12].

Положительным качеством данного метода является и то, что после проведения этих работ внешний облик здания не изменяется.

Обсуждая недостатки данного метода, следует отметить:

- высокую стоимость расходных материалов;
- потребность в квалифицированных рабочих [11, 12].

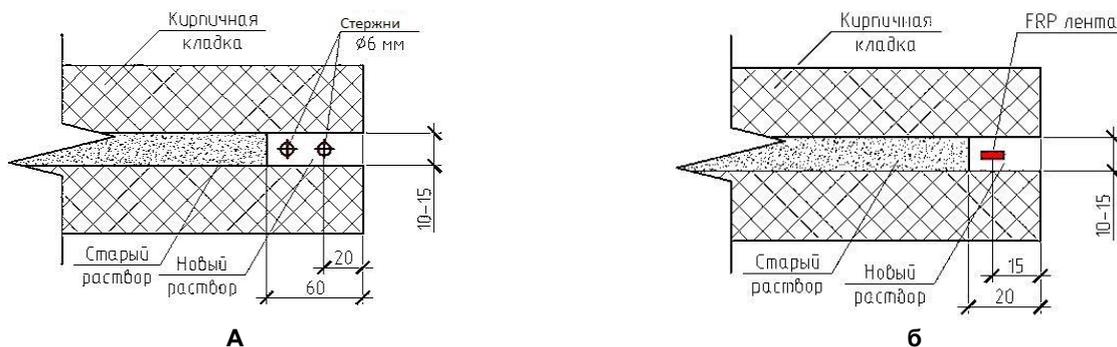


Рисунок 13. Эскиз техники усиления горизонтального шва (а – винтовыми анкерами; б – лентами FRP)

Заключение

В статье были рассмотрены методы усиления кирпичной кладки композитными материалами и винтовыми стержнями. В ходе работы был сделан ряд выводов:

1. По показателям прочностных характеристик данные методы являются эффективными. С точки зрения сохранения архитектурной выразительности, в отличие от усиления обоями и хомутами, являются также более эффективными.

2. Главный принцип размещения композитных сеток и стержней заключается в параллельном расположении растягивающим усилиям.

3. Расчет при усилении композитными лентами был произведен по аналогии с косвенным армированием, исходя из принципа увеличения расчетного сопротивления кладки прибавлением расчетного сопротивления усиления, по формулам (2, 3)

4. Результат расчета показал, что среди композитных лент, наибольшим показателем прочности при растяжении обладает углеволокно. Среди композитных сеток наиболее эффективным оказалось базальтовое волокно.

5. Усиление стеклопластиковыми волокнами обеспечивает требуемое количество армирования и, среди других армирующих компонентов, является самым дешевым материалом.

6. Усиление винтовыми стержнями позволяет избежать вмешательства во внешнюю конфигурацию объекта и способно обеспечить требуемое усиление.

7. Отсутствие нормативной литературы и малый объем экспериментальных исследований данных методов вызывает необходимость проведения дальнейших исследований и испытаний для усиления конструкций рассматриваемыми методами.

Важно помнить, что выбор оптимального решения при ремонте кирпичной кладки носит комплексный характер и является сложной инженерной задачей. В каждом рассматриваемом случае требуются компетентность и квалификация ответственных лиц. Поэтому требуется разработка рекомендаций по оценке надежности принятых методов усиления в различных случаях, доступных проектировщикам и конечным потребителям.

Литература

1. Белов В. В., Деркач В. Н. Экспертиза и технология усиления каменных конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2010. №7. С. 14-20.
2. Гроздов В. Т. Техническое обследование строительных конструкций зданий и сооружений. СПб: Издательский Дом KN+, 2001. 140 с.
3. Ищук М. К. Отечественный опыт возведения зданий с наружными стенами из облегченной кладки. М.: РИФ «Стройматериалы», 2009. 360 с.
4. Кучеренко В. А. Научно-технический отчет по теме: Экспериментальные исследования прочности и деформативности кирпичных стен и стен из ячеистого бетона, усиленного материалами фирмы BASF, М.: ЦНИИСК им. Кучеренко 2010. 183 с.
5. Кучеренко В. А. Рекомендации по обследованию и оценке технического состояния крупнопанельных и каменных зданий. М.: ЦНИИСК им. Кучеренко. 1988. 140 с.
6. Лазовский Д. Н. Проектирование реконструкции зданий и сооружений: учебно-методический комплекс. В 3 ч. Ч. 2. Оценка состояния и усиление строительных конструкций. Новополюк: ПГУ. 2010. 340 с.
7. Назмеева Т. В., Параничева Н. В. Усиление строительных конструкций с помощью углеродных композиционных материалов // Инженерно-строительный журнал, 2010. №2. С.19-22.
8. Онищик Л. И. Прочность и устойчивость каменных конструкций. М.-Л.: Главредстройлит, 1937. 208 с.
9. Современные способы ремонта и усиление каменных конструкций / Орлович Р., Мантегацца Д., Найчук А., Деркач В. // Архитектура, дизайн, строительство, СПб: 2010. №1. С. 86-87.
10. Павлова М. О. Ремонт и усиление каменных конструкций: инновационные методы // Строительный профиль. 2009. №8-09. С. 29-31.
11. Павлова М. О. Современные исследования и разработки способов ремонта, реконструкции, реставрации и мониторинга в России и в Европе // Технология строительства. 2009. №3. С. 21-23.
12. Серов А., Орлович Р., Морозов И. Мониторинг трещин в каменных зданиях: современные методы// Архитектура, дизайн, строительство. 2009. №1. С. 62-63.
13. Физдель А. И. Дефекты в конструкциях и сооружениях и методы их устранения. М.: Стройиздат, 1978. 160 с.
14. Ernest Bernat-Maso, Christian Escrig, Chrysl A. Aranha et. al. (2013). Construction Experimental assessment of Textile Reinforced Sprayed Mortar strengthening system for brickwork wallttes. Building Materials. 2013. Issue 50. Pp. 226-236.
15. Meichsner H. (2009). Spiral anchors for repair of a laying Calculation and design. Stuttgart. Publishing house. Frauenhofer IRB. 2009. Issue 3. Pp.226-236.
16. Parkinson G., G. Shaw, J. K. Beck. (2010). Appraisal & repair of masonry. Architecture civil engineering. 2010. Issue 1. Pp. 53-62.
17. Robert G. Drysdale, Ahmad A. Hamid. (2011). Masonry structures behavior and design. Poland: The masonry society. 2011. 530 p.
18. Robert G. Drysdale, Ahmad A. Hamid (2013). Masonry structures behavior and design. Poland: The masonry society, 2013. 480 p.
19. Schubert, P. (2008). Properties of a laying, a construction brick, solution for a laying and plaster works. Mauerwerkaler. Berlin: Ernst & Sohn, 2008. 380 p.
20. СНиП II-22-81* Проектирование каменных и армокаменных конструкций. Нормы проектирования.
21. Пособие по проектированию каменных и армокаменных конструкций (к СНиП II-22-81 „Каменные и армокаменные конструкции. Нормы проектирования“).
22. Eurocode 6. Design of masonry structures.
23. Костенко А. Н. Прочность и деформативность центрально и внецентренно-сжатых кирпичных и железобетонных колонн, усиленных угле- и стекловолокном. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, Спец. 05.23.01. М., 2010. 29 с.

24. Valluzzi M.R., Modena C. (2006). Mechanical behavior of masonry structures strengthened with different improvement techniques. *Fracture and Failure of Natural Building Stones*. Italy, 2006. Pp. 137–156.
25. Angelo Di Tommaso. (2012). Structural conservation of historical constructions using composite materials technique. *Structural Analysis of Historical Constructions*. Poland, 2012. Pp. 3-14.
26. Ernest Bernat-Maso, Christian Escrig, Chrysl A. Aranda et. al. (2013). Experimental assessment of Textile Reinforced Sprayed Mortar strengthening system for brickwork wallets. *Construction and Building materials*. Spain, 2013. Pp 3-13.
27. De Vent Ilse, Rots Jan, Van Hees Rob et. al. (2012). Confusing cracks and difficult deformations: Interpreting structural damage in masonry. *Structural Analysis of Historical Constructions*. Poland, 2012. Pp. 243-252.
28. Улыбин А.В., Зубков С.В.: О методах контроля прочности керамического кирпича при обследовании зданий и сооружений // *Инженерно-строительный журнал*. 2012. №3. С. 29-34.

Reinforcement of brick masonry with composite materials and screw-in anchors

S.A. Startsev¹, A.A. Sundukova²

^{1,2}Saint-Petersburg Polytechnical University, 29 Polytechnicheskaya st., St.Petersburg, 195251, Russia

¹"Biospacestroy" Ltd., 207 office, 1, Karavannaya st., St. Petersburg, 191023, Russia.

ARTICLE INFO

Original research article

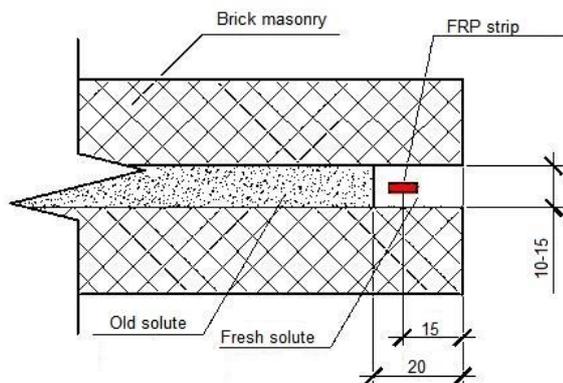
Article history

Received 20 December 2013
Accepted 25 May 2014

Keywords

reinforcement of structures,
brick masonry,
composite materials,
bars,
screw-in anchors.

ABSTRACT



In this paper, methods of masonry reinforcement by composite materials and by anchoring with stainless steel screw rods were observed. Analysis was made for existing methods of strengthening against which highlighted these two methods, as applied abroad and just begin to use on our practice. Low domestic experience of application similar techniques is explained by lack of regulatory base, which would regulate their use. Traditional methods of strengthening are effective, but also have a number of features, and are unacceptable for use in certain cases. For example, strengthening of the historical buildings, which appearance must to be kept. Application of these methods, can serve as real alternative, in that case.

In this article was made analysis of existing methods of reinforcement masonry and also was suggested method of calculation. Conclusions and recommendations were made based on it. Advantages and disadvantages were viewed to each method, which should be based in the choice of works on strengthening brickwork. At the end, the conclusions were made for modeling and calculation of behavior of bricklaying with use of these materials, and for ideas of further tests, to confirmation by practical results.

¹ Corresponding author:
+7 (911) 134 6034; StartsevSA@biospacestroy.ru (Sergey Aleksandrovich Startsev, Senior lecturer, Director of "Biospacestroy" Ltd.)
² +7 (904) 638 4612, asun91@mail.ru (Arina Anatoljevna Sundukova, M.Sc.)

References

1. Belov V.V., Derkach V. N. (2010). Examination and reinforcement technologies for masonry structures. Magazine of Civil Engineering. 2010. Volume 7. Issue 17. Pp. 14-20. (rus)
2. Grozdov V.T. *Tekhnicheskoye obsledovaniye stroitelnykh konstruksiy zdaniy i sooruzheniy* [Technical inspection of construction of buildings and structures] SPb: Izdatelskiy Dom KN+, 2001. 140 p. (rus)
3. Ishchuk M.K. *Otechestvennyy opyt vozvedeniya zdaniy s naruzhnymi stenami iz oblegchennoy kladki* [Domestic experience in construction of buildings with exterior walls made of lightweight masonry] M.: RIF «Stroymaterialy», 2009. 360 p.
4. Kucherenko V.A. *Nauchno-tekhnicheskiiy otchet po teme: Eksperimentalnyye issledovaniya prochnosti i deformativnosti kirpichnykh sten i sten iz yacheistogo betona, usilennogo materialami firmy BASF* [Experimental studies of strength and deformability of brick walls and walls made of cellular concrete, reinforced materials from BASF] M.: TsNIISK im. Kucherenko. 2010. 183 p. (rus)
5. Kucherenko V.A. *Rekomendatsii po obsledovaniyu i otsenke tekhnicheskogo sostoyaniya krupnopanelnykh i kamennykh zdaniy* [Recommendations for an evaluation of technical condition of large and stone buildings]. M.: TsNIISK im. Kucherenko. 1988. 140 p. (rus)
6. Lazovskiy D.N. *Proyektirovaniye rekonstruksii zdaniy i sooruzheniy: uchebno-metodicheskiiy kompleks* [Project of reconstruction of buildings and facilities: training complex]. In 3 parts. Part. 2. *Otsenka sostoyaniya i usileniye stroitelnykh konstruksiy*. Novopolotsk: PGU. 2010. 340 p. (rus)
7. Paranchieva N.V., Nazmeeva T.V. (2010). Strengthening of building structures using carbon composite materials. Magazine of Civil Engineering. 2010. Vol. 2. Issue 12. Pp.19-22. (rus)
8. Onishchik L.I. *Prochnost i ustoychivost kamennykh konstruksiy* [Strength and stability of masonry structures]. M.-L.: Glavredstroylit, 1937. 208 p. (rus)
9. Modern methods of repair and strengthening of masonry structures. (2010). / Orlovich R., Mantegatstva D., Naychuk A., Derkach V. Architecture. Design. Construction. 2010. Issue 1. Pp. 86-87. (rus)
10. Pavlova M.O. (2009). *Remont i usileniye kamennykh konstruksiy: innovatsionnyye metody*. [Repair and strengthening of masonry structures: innovative methods]. *Stroitelnyy profil*. 2009. Vol. 8. Issue 9. Pp. 29-31. (rus)
11. Pavlova M.O. (2009). *Sovremennyye issledovaniya i razrabotki sposobov remonta, rekonstruksii, restavratsii i monitoringa v Rossii i v Yevrope*. [Modern research and development of methods of repair, reconstruction, restoration and monitoring in Russia and in Europe]. *Tekhnologiya stroitelstva*. 2009. Issue 3. Pp. 21-23. (rus)
12. Serov A., Orlovich R., Morozov I. (2009). *Monitoring treshchin v kamennykh zdaniyakh: sovremennyye metody* [Monitoring of cracks in brick buildings: a modern methods] Architecture. Design. Construction. 2009. Issue 1. Pp. 62-63. (rus)
13. Fizdel A. I. *Defekty v konstruksiyakh i sooruzheniyakh i metody ikh ustraneniya* [Defects in design and installations and troubleshooting]. M.: Stroyizdat, 1978. 160 p. (rus)
14. Ernest Bernat-Maso, Christian Escrig, Chrysl A. Aranha et. al. (2013). Construction Experimental assessment of Textile Reinforced Sprayed Mortar strengthening system for brickwork wallttes. Building Materials. 2013. Issue 50. Pp. 226-236.
15. Meichsner H. (2009). Spiral anchors for repair of a laying Calculation and design. Stuttgart. Publishing house. Fraunhofer IRB. 2009. Issue 3. Pp.226-236.
16. Parkinson G., G. Shaw, J. K. Beck. (2010). Appraisal & repair of masonry. Architecture civil engineering. 2010. Issue 1. Pp. 53-62.
17. Robert G. Drysdale, Ahmad A. Hamid. (2011). Masonry structures behavior and design. Poland: The masonry society. 2011. 530 p.
18. Robert G. Drysdale, Ahmad A. Hamid (2013). Masonry structures behavior and design. Poland: The masonry society, 2013. 480 p.
19. Schubert, P. (2008). Properties of a laying, a construction brick, solution for a laying and plaster works. Mauerwerkalendar. Berlin: Ernst & Sohn, 2008. 380 p.
20. SNIP II-22-81 Design of masonry and reinforced masonry structures. Design Standards. (rus)
21. Manual of engineering masonry and reinforced masonry structures (to SNIP II-22-81 "Stone and reinforced masonry structures. Design Standards"). (rus)

22. Eurocode 6. Design of masonry structures.
23. Kostenko A.N. *Prochnost i deformativnost tsentralno i vnetsentrenno-szhatykh kirpichnykh i zhelezobetonnykh kolonn, usilennykh ugle- i steklovoloknom* [Strength and deformability centrally and eccentrically-compressed brick and concrete columns reinforced with carbon and glass fibers]. Dissertation author's abstract, Spec. 05.23.01. Moscow, 2010. 29 p. (rus)
24. Valluzzi M.R., Modena C. (2006). Mechanical behavior of masonry structures strengthened with different improvement techniques. *Fracture and Failure of Natural Building Stones*. Italy, 2006. Pp. 137–156.
25. Angelo Di Tommaso. (2012). Structural conservation of historical constructions using composite materials technique. *Structural Analysis of Historical Constructions*. Poland, 2012. Pp. 3-14.
26. Ernest Bernat-Maso, Christian Escrig, Chrysl A. Aranda et. al. (2013). Experimental assessment of Textile Reinforced Sprayed Mortar strengthening system for brickwork wallets. *Construction and Building materials*. Spain, 2013. Pp 3-13.
27. De Vent Ilse, Rots Jan, Van Hees Rob et. al. (2012). Confusing cracks and difficult deformations: Interpreting structural damage in masonry. *Structural Analysis of Historical Constructions*. Poland, 2012. Pp. 243-252.
28. Ulybin A.V., Zubkov S.V. (2012). Control methods for strength of ceramic bricks in the inspection of buildings. *Magazine of Civil Engineering*. 2012. Vol. 3. Issue 29. Pp. 29-34. (rus)